

honderden aaltjes ging, maar meer dan duizend per etmaal.

Overigens betreft dit minimum schattingen, omdat is waargenomen dat glasaal het opvangnet kan passeren.

De glasaaltjes zijn aanvankelijk in hetzelfde stadium: transparant met een begin van pigmentatie, de wervelkolom is zichtbaar als een zwarte lijn door het lichaam. Drie weken later worden ook glasaaltjes aangetroffen die volledig gepigmenteerd zijn.

Het is niet mogelijk om de werking van de aalgoot uit te drukken in termen van rendement, of percentage doorgelaten glasaal, omdat het ontbreekt aan kwantitatieve gegevens van glasaal in de Oosterschelde.

De conclusies zijn, enkele weken na aanleg van de aalgoot:

- glasaal is uitstekend in staat de constructie te passeren; met de aalgoot is een knelpunt voor intrek opgelost;
- een lokstroom van 5 m³/uur is voldoende voor de aantrekking van glasaal, mits deze is geplaatst naast een gemaal met een groot debiet;
- hoewel er momenten zijn waarop maximale intrek plaatsvindt (bij volle maan 's nachts), bevindt zich op elk tijdstip van de dag glasaal in de goot;
- de hoeveelheid binnentrekende glasaal levert een aanzienlijke bijdrage aan de populatie aal in de polder Schouwen.

Voorbeeldfunctie

Direct nadat de werking van de aalgoot was aangetoond, pakten de Zeeuwse waterschappen initiatieven op om ook op andere lokaties te werken aan de intrek van glasaal.

De meeste acties in het recente waterbeheer worden ondernomen om de ecologische waarde van wateren te verbeteren. Dit project stelt niet alleen de aal als onderdeel van het ecosysteem ten doel, maar ook het voordeel voor beroeps- en sportvisserij. Het bewijst daarmee dat integraal waterbeheer zich kan richten op meerdere functies van het watersysteem.

J. R. Hoekstra en A. A. van de Straat
Provincie Zeeland, afdeling Waterbeheer

● ● ●

Inleiding

Op 21 april jl. is te Delft, bij het IHE (International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, zie afb. 1) de workshop 'Verwijdering van bestrijdingsmiddelen' gehouden.

De workshop vond plaats in het kader van het INKA-project 'Removal of pesticides through ozonation, biological carbon filtration and reverse osmosis'.

Het INKA-project, van start gegaan in 1992, is een samenwerkingsverband tussen het IHE, Norit NV, Kiwa NV Onderzoek en Advies en Gemeentewaterleidingen Amsterdam (GWA). Deze samenwerking beoogt de theoretische achtergronden en praktische haalbaarheid te onderzoeken van een nieuw integraal zuiveringsconcept: directe zuivering van voorgezuiverd Rijnwater (WRK-water) door achtereenvolgens ozonisatie, biologisch actieve-koolfiltratie, langzame zandfiltratie en hyperfiltratie. Op de workshop zijn de eerste resultaten van het onderzoek gepresenteerd, zowel theoretische aspecten en praktische aspecten, en dan vooral resultaten van proefinstallatie-onderzoek.

De ochtendsessie: (biologisch) actieve-koolfiltratie

De aanwezigen werden welkom geheten door prof.ir. W.A. Segers, rector van het IHE. Het verheugde hem veel gast-docenten van het IHE uit de drinkwaterwereld in de zaal te zien, en benadrukte dat het IHE en de waterleidingbedrijven 'twinning' hoog in het vaandel hebben: het IHE specifiek gericht op de onderwijs-component, en de waterleidingbedrijven

specifiek gericht op de overdracht van technische kennis.

Ir. M. K. H. Gast, directeur van GWA, opende de workshop. Hij ging in op het belang van het INKA-project voor GWA. GWA moet in de toekomst de productiecapaciteit van het bedrijf te Vogelenzang (Leiduin) uitbreiden. Hiertoe wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van diepinfiltratie van WRK-water enerzijds, en de mogelijkheden van directe zuivering van WRK-water anderzijds. Het INKA-project richt zich specifiek op de tweede mogelijkheid.

Het INKA-project: ontstaan, organisatie en uitvoering

Dr. ir. M. A. Siebel (IHE) ging in op het INKA-samenwerkingsproject. Het project is ontstaan uit de behoefte aan een zuiveringsproces, dat duininfiltratie niet direct nodig heeft, organische microverontreinigingen verwijdert, weinig chemisch afval produceert, en het AOC-gehalte, zoutgehalte en hardheid verlaagt. Echter, de kosten dienen acceptabel te zijn. Het zuiveringsconcept dat hieraan kan voldoen is de zuivering van WRK-water door ozonisatie, biologisch actieve-koolfiltratie, langzame zandfiltratie en hyperfiltratie. Om dit bij GWA ontwikkelde zuiveringsconcept verder vorm te geven, wordt fundamenteel en praktisch onderzoek verricht naar de werking van dit concept in een samenwerkingsverband tussen IHE, Norit NV, Kiwa NV Onderzoek en Advies en GWA.

Terwijl GWA het onderzoek uitvoert door proefinstallatie-onderzoek volgens de 'black-box benadering', tracht IHE deze 'black-box' te openen. Vooral het effect



Afb. 1 - Het International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE) te Delft

(Fotograaf: Don Lindenburg).

van ozonisatie op de looptijdverlenging van koolfilters is nog een onvolledig begrepen fenomeen, terwijl het optreden van fouling en scaling in hyperfiltratie-installaties nog niet theoretisch is te voorspellen.

Filosofie en benadering

Dr. ir. A. Graveland (GWA) ging kort in op de historische ontwikkeling van de twee drinkwaterproduktiebedrijven van GWA. Van de zes groepen van verontreinigingen die hij daarbij onderscheidde, eisen met name de organische stoffen, zouten en micro-organismen (d.w.z. desinfectie) nadere aandacht. Meer kennis van de verwijdering van organische stof is nodig om het nutriënten-niveau in het reine water te verlagen waarmee nagroei kan worden voorkomen zonder gebruik te maken van chloor, en om *Aeromonas*-ontwikkeling tegen te gaan. Kennis van de verwijdering van zouten is van belang, omdat GWA veel gietijzeren leidingen in het distributiegebied heeft die gevoelig zijn voor corrosie (vooral chlooride). Kennis van desinfectie is van belang, omdat tijdens vorstperiodes het aantal *E-coli* bacteriën kan oplopen (in het water na duinpassage in de huidige zuivering te Leiduin) en een te hoge belasting kan vormen voor de langzame zandfilters, de laatste zuiveringsstap in het huidige proces te Leiduin.

Deze aspecten, gecombineerd met het gegeven dat directe zuivering van WRK-water zonder duinpassage een uitbreidingsscenario is voor het productiebedrijf Leiduin, hebben geleid tot de implementatie van de combinatie ozonisatie-biologisch actieve-koolfiltratie in de productiebedrijven te Leiduin en Weesperkarspel, en de ontwikkeling van het zuiveringsconcept ozonisatie – biologisch actieve-koolfiltratie – langzame zandfiltratie – hyperfiltratie als uitbreidingsscenario voor Leiduin.

Om de biologisch actieve-koolfiltratie en de hyperfiltratie te optimaliseren, moeten de mechanismen van beide processen diepgaand opgehelderd worden. Als voorshot presenteerde dr. ir. Graveland een mechanistisch model van de biologisch actieve-koolfiltratie. Er zijn sterke aanwijzingen dat stoftransport van de reactanten in de koolporiën de snelheidsbepalende processtap is. Biodegradatie en adsorptie kunnen dan niet de snelheidsbepalende stappen zijn, wat hij toelichtte aan de hand van resultaten van de praktijkinstallatie te Weesperkarspel.

Mogelijkheden en onmogelijkheden van biologisch actieve-koolfiltratie

Ir. J. A. Boere (Norit NV) ging in op de

combinatie van biologische processen met actieve-koolfiltratie. Terwijl in sommige toepassingen deze combinatie uiterst ongewenst is (bijv. in de levensmiddelen-industrie), wordt zij in de drinkwaterbereiding tegenwoordig steeds vaker nagestreefd. Vooral het sterk complementaire karakter van beide processen maakt combinatie aantrekkelijk: ze vangen elkaars nadelen voor een groot deel op. De maximalisatie van de looptijd van koolfilters is hier een voorbeeld van. In de literatuur is reeds veel onderzoek beschreven naar biologisch actieve-koolfiltratie met betrekking tot de verwijdering van NOM (Natural Organic Matter), AOC (Assimilable Organic Carbon) en ammonium. Gericht op organische microverontreinigingen en bestrijdingsmiddelen is echter nauwelijks informatie bekend. Om kennis over dit aspect te vergroten participeert Norit in het INKA-project.

Bevordert ozonisatie de verwijdering van pesticiden gedurende actieve-koolfiltratie?

Dit is de centrale vraag in het door Dipl.-Ing. E. Orlandini (IHE) uitgevoerde onderzoek. Als modelstof wordt atrazine gebruikt. Het onderzoek is erop gericht de mechanismen te achterhalen die ten grondslag liggen aan de betere verwijdering van pesticiden in koolfilters indien ozonisatie vooraf gaat aan de koolfiltratie. Uit onderzoek met proeffilters die nu drie jaar lopen blijkt inderdaad dat in de koolfilters atrazine beter wordt verwijderd uit geozoniseerd water (0,7 mg/l) dan uit niet-geozoniseerd water. Nog niet is afgeleid kunnen worden of de betere verwijdering het gevolg is van biodegradatie van atrazine. Volgens Dipl.-Ing. Orlandini heeft ozonisatie mogelijk een geringere competitie tot gevolg tussen NOM en pesticiden, veroorzaakt door de betere afbreekbaarheid en geringere adsorbeerbaarheid van NOM na ozonisatie. Voorbelading van koolfilters (met NOM) met 32.000 bedvolumes geozoniseerd en niet-geozoniseerd water resulteerde in een lagere adsorptiecapaciteit voor atrazine, maar er is echter nog geen verschil in voorbelading aangetoond tussen geozoniseerd en niet-geozoniseerd water.

Biodegradatie van atrazine in biologisch actieve-koolfilters

Mevrouw B. Kiss (IHE) presenteerde de resultaten van een meer fundamenteel onderzoek naar biodegradatie van atrazine. In het onderzoek wordt nagegaan of in de koolfilters, zoals gebruikt door Dipl.-Ing. Orlandini, wel of niet sprake is van biodegradatie van atrazine. Inocula uit de koolfilters zijn daartoe geënt op verschil-

lende media, verrijkt met atrazine. Tevens is getracht via microbiologische testen de aanwezigheid van atrazine-afbrekende micro-organismen vast te stellen. Tot nu toe is nog niet éénduidig vastgesteld kunnen worden of er sprake is van biodegradatie.

Samenvatting ochtendsessie

Dr. ir. M. A. Siebel (IHE) vat het ochtendprogramma samen. De voordelen van de combinatie van ozonisatie met biologisch actieve-koolfiltratie zijn duidelijk: het leidt tot een betere DOC- en pesticidenverwijdering (met als resultaat een langere looptijd van de koolfilters), en koolfiltratie en biologie zijn sterk complementaire processen die in combinatie elkaars nadelen voor een groot deel opheffen.

De mechanismen die ten grondslag liggen aan de betere verwijdering van DOC en atrazine door ozonisatie voorafgaand aan koolfiltratie zijn nog niet opgehelderd. Enerzijds maakte dr. ir. Graveland aannemelijk, via een mechanistisch model, dat stoftransport de snelheidsbepalende processtap is. Omdat adsorptie dan niet de snelheidsbepalende stap is, zouden competitieve adsorptie en voorbelading geen rol spelen. In het model van Graveland speelt biodegradatie van DOC en van pesticiden, dus ook atrazine, een cruciale rol. Anderzijds stelde Dipl.-Ing. Orlandini dat op dit moment aannemelijk is dat ozonisatie leidt tot een betere afbreekbaarheid van NOM en een geringere adsorbeerbaarheid van NOM, waardoor de adsorptiecapaciteit van atrazine wordt vergroot. Biodegradatie van atrazine is door hem nog niet aangetoond. Dr. ir. Siebel benadrukte de noodzaak van een meetmethode waarmee biodegradatie van atrazine direct kan worden gemeten, om uitsluitsel te kunnen geven welke mechanismen nu werkelijk ten grondslag liggen aan de verbeterde verwijdering van atrazine door koolfiltratie van geozoniseerd water.

De middagsessie: membraanfiltratie en de integrale zuivering

Flux-afname in hyperfiltratie-installaties

Mevrouw ir. S. F. E. Boerlage (IHE) ging mede namens mevrouw dr. M. D. Kennedy (IHE) in op het probleem van fouling en scaling in hyperfiltratie-installaties. Beide kunnen leiden tot fluxdaling.

Parameters om fouling te voorspellen zijn SDI (Silt Density Index) en MFI (Modified Fouling Index). Voordeel van de MFI boven de SDI is dat hiermee de optredende koek- of gelfiltratie wordt beschreven, en dat in theorie de flux-

afname daarmee kwantitatief voorspeld kan worden. In de praktijk blijkt er echter nog geen duidelijke correlatie aantoonbaar te zijn tussen de MFI van het water en de fouling-potentie van het water. Het onderzoek heeft tot doel de MFI-meting aan te passen, zodat de flux-afname hiermee wel voorspeld kan worden.

Scaling blijkt ook moeilijk voorspelbaar te zijn. Het vergelijken van het oplosbaarheidsprodukt met het ionenprodukt geeft geen uitsluitsel of precipitatie van zouten zal plaatsvinden. Andere factoren lijken een belangrijke rol te spelen. In het onderzoek worden deze factoren beschreven en gekwantificeerd. Daarnaast wordt gepoogd de werking van anti-scalants op te helderen, zowel voor wat betreft de rol van actieve groepen in de anti-scalants als voor de vereiste dosering.

Precipitatie van bariumsulfaat in hyperfiltratie-installaties

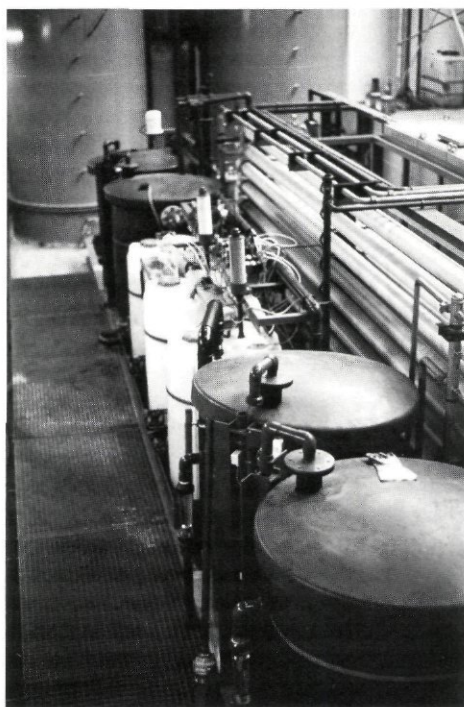
Meer (fundamentele) kennis over het precipitatie-mechanisme van bariumsulfaat is nodig. Dit was de boodschap van mevrouw B. Gadjia (IHE) en ing. P. A. C. Bonné (GWA). Scaling kan voorkomen worden door juiste keuze van procescondities, zoals recovery, zuurdosering, type zuur en anti-scalant dosering. Dit blijkt uit de resultaten van de hyperfiltratie-proefinstallaties van GWA. Daarmee is het al of niet optreden van precipitatie echter nog niet theoretisch verklaard. In oververzadigde oplossingen blijkt precipitatie van bariumsulfaat niet altijd op te treden. Mogelijk spelen kinetische factoren, ionsterkte, complexeringsreacties en de aanwezigheid van inhibitoren een rol. Ook kan de berekening van het oplosbaarheidsprodukt onnauwkeurig of onjuist zijn. Door uit te gaan van activiteiten in plaats van concentraties blijken aanzienlijke hogere oplosbaarheden te worden gevonden dan met de tot nu toe algemeen geaccepteerde methoden.

Meting van de MFI met ultrafiltratie membranen

Als de MFI gemeten wordt met 0,45 μm of 0,05 μm membraanfilters, blijkt nog geen relatie te kunnen worden aangetoond tussen de MFI-waarde en de fouling-potentie van het water.

Door T. Koprowski (IHE), J. van den Akker (Kiwa) en ing. G. Galjaard (Kiwa) wordt onderzocht of het gebruik van ultrafiltratie membranen bij de MFI-meting wel resultaten oplevert, die een correlatie geven met de vervuilingssnelheid van de membranen. Omdat ultrafiltratie-membranen aanmerkelijk duurder zijn dan de normaal toegepaste membraanfilters in de MFI-meting, moeten de ultra-

filtratie-membranen meerdere keren gebruikt kunnen worden. Terugspoelen van de membranen herstelde de flux tot 40-80%, afhankelijk van het membraan-type. Betere reinigingsmethoden zijn daarom noodzakelijk. Met één type ultrafiltratie-membraan zijn bemoedigende resultaten bereikt, daar hiermee reproduceerbare waarden zijn gemeten over zes opeenvolgende metingen.



Afb. 2 - De proefinstallatie in het Technologisch Laboratorium Leiduin van Gemeentewaterleidingen Amsterdam.

Capaciteit van biologisch actieve-koolfiltratie en hyperfiltratie ten aanzien van de verwijdering van bestrijdingsmiddelen

Dr. ir. J. P. van der Hoek (GWA), mede namens drs. R. Hopman (Kiwa) presenteerde de resultaten die behaald zijn in het proefinstallatie-onderzoek in het Technologisch Laboratorium te Leiduin. In de proefinstallatie, weergegeven in afbeelding 2, wordt het zuiveringsconcept ozonisatie – biologisch actieve-koolfiltratie – langzame zandfiltratie – hyperfiltratie onderzocht.

Ozon-koolfiltratie blijkt een zeer robuust zuiveringssysteem te zijn: continu-belastingen van 5 $\mu\text{g/l}$ en zelfs piekbelastingen van 25 $\mu\text{g/l}$ aan bestrijdingsmiddelen (concentratie per bestrijdingsmiddel, in totaal 12 bestrijdingsmiddelen) worden volledig verwijderd, reeds vóór de hyperfiltratie. Alléén hyperfiltratie is niet voldoende: voor meerdere bestrijdingsmiddelen blijkt de retentie van de membranen te laag te zijn om bij deze

hoge gehalten aan de norm van 0,1 $\mu\text{g/l}$ in het produktwater te voldoen.

Behalve dat uit het onderzoek blijkt dat met ozon-koolfiltratie bestrijdingsmiddelen volledig verwijderd worden uit het water, blijkt uit een proces-analyse dat voldoende desinfectie bereikt kan worden door optimalisatie van de ozondosis en ozoncontacttijd. Hyperfiltratie is dan niet meer nodig in het zuiveringsconcept voor de verwijdering van bestrijdingsmiddelen en desinfectie. Een membraansysteem blijft in dit zuiveringsconcept echter nog wel noodzakelijk voor ontzouting en hardheidsreductie. Een alternatief voor hyperfiltratie als ontzoutings- en onthardingsproces is dan elektrodialyse. Voor GWA is dit aanleiding om een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar elektrodialyse.

Samenvatting en afsluiting

Prof. dr. ir. J. C. Schippers (IHE), voorzitter tijdens de workshop, vat de presentaties van de middagssessie samen en sloot de workshop met algemene conclusies.

In de middagssessie bleek dat scaling in principe is te voorkomen door proces-technologische oplossingen. Echter, dit kunnen dure oplossingen zijn. Onderzoek naar het fenomeen scaling blijft daarom nodig. Fouling lijkt een veel groter probleem, dat daarnaast zeer moeilijk is te voorspellen. Onderzoek naar een goede voorspellingsmethode, en naar maatregelen om fouling te voorkomen, is van eminent belang.

Als slotconclusie stelde hij, dat het ernaar uitziet dat het zuiveringsconcept ozonisatie – biologisch actieve-koolfiltratie – langzame zandfiltratie – hyperfiltratie uiterst robuust is en geschikt voor directe zuivering van oppervlaktewater (WRK-water) tot drinkwater. De combinatie van ozonisatie met biologisch actieve-koolfiltratie blijkt een dusdanige capaciteit te hebben met betrekking tot desinfectie en verwijdering van bestrijdingsmiddelen, dat zelfs een alternatief zuiveringsconcept tot de mogelijkheden lijkt te gaan behoren: ozonisatie – biologisch actieve-koolfiltratie – elektrodialyse – langzame zandfiltratie. Wegens de grote belangstelling vanuit de bedrijfstak (zodanig dat de workshop verplaatst moest worden van Leiduin naar Delft i.v.m. de zaalcapaciteit), de interessante resultaten die het onderzoek oplevert, en de intensiteit waarmee het onderzoek wordt uitgevoerd, is herhaling van de workshop in een termijn van circa één jaar gerechtvaardigd.

J. P. van der Hoek,
Gemeentewaterleidingen Amsterdam

● ● ●