



Werenfried de Vet, Oasen  
Wilfred Burger, Oasen

# Duurzame nitrificatie door dubbellaags droogfiltratie

Oasen gebruikt op enkele zuiveringstations droge filtratie voor de verwijdering van methaan, ijzer, ammonium en mangaan uit het ruwe water. Dit is noodzakelijk om zuurstofloosheid vanwege de hoge ammoniumbelasting te voorkomen. Omdat het grondwater ook relatief veel ijzer bevat, worden van oudsher grove filtergrindfracties toegepast. De uitspoeling van ijzer blijkt tijdens de toegepaste spoeling met lucht en water vaak slecht te zijn, waardoor ijzer zich in het filterbed ophoopt. Dit leidt tot terugval in de nitrificatie. In 2004 zijn daarom proeven begonnen om in de bestaande filters met expansie van het filterbed te spoelen. Enkele droge voorfilters zijn voorzien van een dubbellaags bed (licht antraciet op fijn zand) en de spoelwatersnelheid is verhoogd. Voor een effectieve uitspoeling van het ijzer is een minimale expansie van tien procent van beide lagen noodzakelijk. Op het zuiveringstation Reijerwaard wordt deze met de huidige dubbellaags filtermaterialen niet bereikt en zijn de resultaten niet onderscheidend van de normale enkellaags filtratie. Oasen is voornemens hier in 2007 te starten met fijnere filtermaterialen. Op zuiveringstation Lekkerkerk is wél voldoende expansie gerealiseerd en blijft de nitrificatie in het dubbellaags voorfilter na anderhalf jaar productie vrijwel volledig. Het ijzer wordt grotendeels in de antracietlaag afgevangen. Op deze locatie wordt momenteel een tweede droge dubbellaags filter ingevoerd.

Het grondwater waaruit Oasen in het veenweidegebied van Zuid-Holland Oost drinkwater maakt, bevat hoge concentraties natuurlijke afbraakproducten van veen, zoals methaan en ammonium. Oasen heeft de twijfelachtige eer om voor ammonium met haar pompstations de eerste vier plekken van alle grondwaterwin-

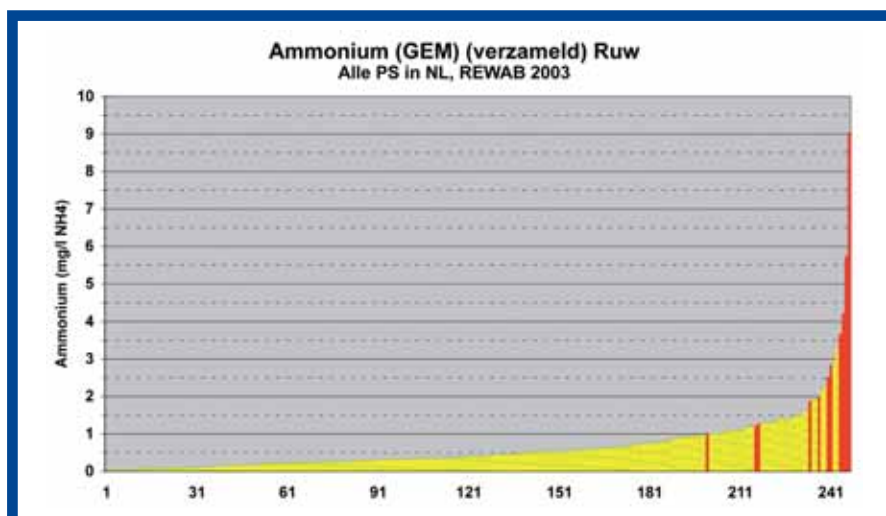
ningen voor drinkwaterproductie in Nederland te bezetten (zie afbeelding 1<sup>1)</sup>). De rode lijnen zijn de zuiveringstations van Oasen.

Ammonium is ongewenst in drinkwater vanwege de kans op nitrietvorming en het bevorderen van nagroei tijdens distributie. De wettelijke norm is daarom streng (0,2 mg/l

NH<sub>4</sub>). Ammoniumverwijdering geschiedt bij Oasen net als elders in Nederland langs biologische weg. Het ammonium wordt tijdens het nitrificatieproces in twee stappen door traag groeiende bacteriën in filters omgezet in nitraat. Op een aantal zuiveringstations kost het voortdurende inspanning om de nitrificatie op voldoende peil te houden. Een van de locaties is zuiveringsstation Lekkerkerk in Krimpen a/d Lek. Dit station heeft twee winvelden: Tiendweg en Schuwacht. Beide winvelden hebben een eigen zuivering met dubbele droge zandfiltratie. De waterstromen worden na deze filtratiestappen gemengd en na koolfiltratie en UV-desinfectie gedistribueerd. Op de zuivering Schuwacht wordt met succes ondergrondse beluchting toegepast om de nitrificatie gezond te houden (zie kader).

Anders dan in de Schuwachtzuivering treden in de Tiendwegzuivering nog wél nitrificatieproblemen op. Ondergronds beluchten is hier een optie, maar Oasen ontwikkelt en test op deze locatie alternatieve technieken om de nitrificatie te verduurzamen. De ammoniumverwijdering in de voorfilters van Tiendweg is doorgaans onvolledig, waardoor de tweede filtratiestap relatief veel ammonium moet omzetten en de nitrificatie

Afb. 1: Ammoniumconcentratie in alle grondwaterwinningen voor drinkwaterproductie in Nederland



component	CH <sub>4</sub>	Fe	NH <sub>4</sub>	Mn
gemiddelde	0,84	5,7	5,3	0,59

\* Analyseresultaten zijn gemiddelden van 1998 t/m 2000.

**Tabel 1. Ruwwaterkwaliteit Winveld Tiendweg (in mg/l)**

soms tot in de koolfilters doorloopt. Zie voor de gemiddelde kwaliteit van het ruwe Tiendwegwater tabel 1.

Over langere tijd bekeken volgt de nitrificatie in ieder Tiendweg voorfilter een vast patroon. De ontmanging in deze filters vertoont geen terugval. De filters verwijderen nagenoeg alle ammonium gedurende een korte periode nadat ze met nieuw zand ingewerkt of extern gereinigd zijn. Na vier tot zes maanden productie vallen ze geleidelijk terug. Als illustratief voorbeeld staat in afbeelding 2 het ammoniumverloop in het filtraat van Tiendweg voorfilter 8. De schijnbaar versterkte terugval van de nitrificatie in april en mei 1999 is veroorzaakt door onderhoud aan een ander Tiendwegfilter, waardoor filter 8 meer water moest zuiveren.

Langere tijd is verondersteld dat nitrificatieproblemen het gevolg zijn van bacteriegroei door de relatief hoge methaanbelasting. Uitgebreid onderzoek heeft echter aangetoond dat methaanverwijdering in droge voorfilters met voldoende doortrekventilatie vooral fysisch verloopt<sup>2)</sup>. Voor de werkelijke oorzaak moet dus verder gezocht worden. Tijdens het langlopend onderzoek naar de nitrificatieproblemen is aangetoond dat de terugval gepaard gaat met toenemende filterbedvervuiling (zie afbeelding 3). De filters dienen vanwege vervuiling regelmatig extern gereinigd te worden. Bovendien leidt vervuiling met biomassa regelmatig tot hoge aantallen Aeromonas-bacteriën in het filtereffluent. Mogelijk wordt het korreloppervlak door het aangroeiende slib geseald en verplaatst de nitrificerende biomassa zich gedeeltelijk naar het slib. Direct na spoeling is een sterke terugval te zien van de nitrificatie.

### Beheersing vervuiling filterbed

De nitrificatie kan in de praktijk ook weer tijdelijk hersteld worden door extern reinigen. Bij deze gangbare onderhoudsme-

## Ondergronds beluchten

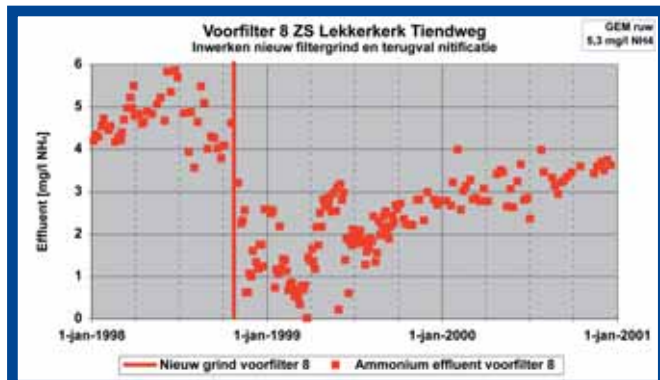
Bij ondergronds beluchten wordt periodiek een klein beetje zuurstofrijk drinkwater in het zuurstofloze watervoerende pakket gepompt. Daardoor start de oxidatie van het ijzer al in het water onder de grond. Uit praktijkonderzoek blijkt dat dit een gunstig effect heeft op de ammoniumverwijdering door bacteriën in de zandfilters uit het vervolgens opgepompte grondwater. Aangezien dit effect voor het eerst opgemerkt is in de zandfilters van zuiveringsstation de Put in Nieuw-Lekkerland, gaat dit fenomeen door het leven als 'het wonder van Nieuw-Lekkerland'. In een promotieonderzoek aan de Universiteit Wageningen tussen 1998 en 2003 heeft Anke Wolthoorn aangetoond dat de bacteriën in het grindfilter beter ammonium uit het grondwater halen als er ijzercolloïden in het water zitten<sup>3)</sup>. Die mobiele complexe ijzercolloïden ontstaan bij ondergrondse oxidatie. Wolthoorn slaagde erin deze ijzercolloïden in het laboratorium na te maken en het lukte haar ook om bacteriën daarmee tot grotere prestaties te bewegen. Het is haar echter niet gelukt deze succesvolle labtesten op te schalen naar een praktijkfilter. Daarvoor is nog te weinig bekend over het gedrag van de ijzercolloïden in het filter en hoe ze bacteriën stimuleren om beter werk te leveren.

Afgelopen zomer begon de eerste auteur van dit artikel een nieuw promotieonderzoek aan de TU Delft om 'het wonder van Nieuw-Lekkerland' verder te ontfaelen. Het streven is gericht op de omzetting van ammonium in zandfilters te kunnen optimaliseren zonder de moeilijke beheersbare ondergrond te gebruiken. De centrale hypothese is dat de complexe ijzercolloïden in het ondergronds beluchte water de ijzeroxidatie in de bovengrondse zandfilters beïnvloeden, waardoor de aangroei op het filtermateriaal gunstiger wordt voor de vestiging en activiteit van nitrificerende micro-organismen. Door middel van batchproeven en kolomexperimenten zal onderzocht worden op welke wijze ijzercolloïden de ijzerverwijdering en resulterende aangroei beïnvloeden en wat de invloed van verschillende typen aangroei op de nitrificerende populatie en activiteit is. Zodra deze relatie voldoende duidelijk zijn, kunnen de procescondities gericht aangepast worden om de colloïdwerking te imiteren. De experimenten in deze tweede fase zullen zowel in proefkolommen als in praktijkfilters plaatsvinden. In 2010 wordt het onderzoek naar verwachting afgerond.

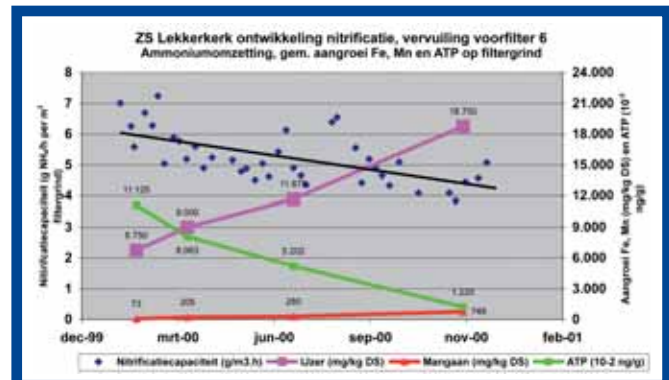
thode wordt het zand met kracht uit en weer in een filter gepompt, waarbij een deel van de aangroei verwijderd wordt. Op Tiendweg wordt ieder voorfilter om de twee jaar extern gereinigd. Extern reinigen is arbeidsintensief en het filter moet uit productie genomen worden. Het verdient dan ook sterk de voorkeur de vervuiling te beheersen door wijziging van de procesvoering en dan vooral het spoelprogramma. Tot voor kort hadden wijzigingen in het spoelprogramma nauwelijks effect op de nitrificatie. De reden daarvoor werd in 2003 duidelijk bij nitrificatieproblemen op zuiveringsstation De Laak in Lexmond. De Laak is één van de grootste zuiveringsstations van Oasen (elf miljoen kubieke meter per jaar). In 2004 is dit station uitgebreid met actief kool en ontharding. Daarvoor bestond het hele zuiveringsproces uit plaatbeluchting en één filtratiestap. Sinds 1999 was het winveld en het zuiveringsstation in twee helften geknipt als tijdelijke maatregel om het bestrijdingsmiddel bentazon tegen te houden. In het voorjaar van 2003 kampte één helft van het zuivering-

station onverwachts met ernstige nitrificatie- en ontmangingproblemen. Om dergelijke problemen in de toekomst te voorkomen, heeft Oasen - ondersteund door Kiwa Water Research - uitgebreid onderzoek verricht. Volgens één opzienbarende hypothese waren de problemen louter toe te schrijven aan marginale kwaliteitsverschillen in het ruwe water van beide straten. Bij de problematische straat komt dit dieper uit de polder waardoor het iets zuurder is en iets meer organisch materiaal bevat. Daardoor verloopt de ijzerverwijdering in de voorfilters van beide straten iets anders. De hypothese is bevestigd in een langlopende proef waarin de overige procescondities, zoals hydraulische belasting en spoelprogramma's, in beide straten minutieus gelijk zijn gehouden. Binnen één jaar traden in dezelfde straat vergelijkbare nitrificatie- en ontmangingproblemen op. Spoelwaterbezinkproeven bevestigden de verschillen in ontijzering tussen beide straten. Voor een beter begrip is verder onderzoek naar de interactie tussen ontijzering en de andere verwijderingsprocessen nodig.

**Afb. 2: Terugval nitrificatie Tiendweg voorfilter**



**Afb. 3: Gelijktijdige terugval nitrificatie en toename aangroei in Tiendweg voorfilter**





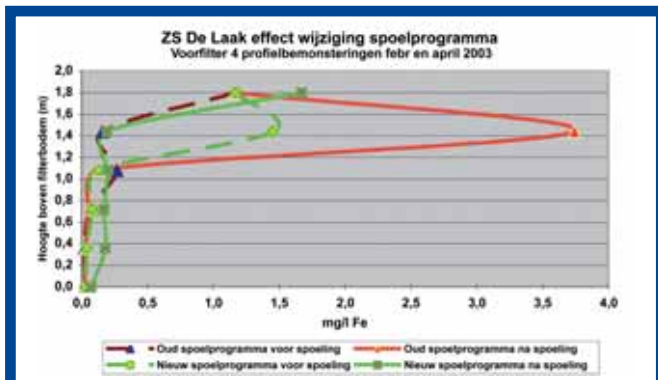
**ZS Lekkerkerk FF07, A 1,4-2,5mm / Z 0,8-1, 25mm  
Aangegroeide dubbellaags filtermaterialen**

Een andere hypothese –voorkoming van filterbed vervuiling door met voldoende expansie te spoelen- wordt in dit artikel geëvalueerd.

Ten tijde van de nitrificatieproblemen op De Laak is uitgebreid onderzoek naar de vervuiling en spoeling van de filterbedden uitgevoerd. Uit profielbemonsteringen juist vóór en na spoelingen bleek dat gedurende de lucht/waterspoeling bovenin het filterbed afgevangen slib (vooral ijzer) dieper het bed in gevoerd werd. De watersnelheid in de naspoelfase was onvoldoende voor expansie van het filterbed en het opgehoopte slib blijft hangen tussen het niet gefluïdiseerde filtermateriaal. De ijzerverwijdering tijdens de oude spoeling (rode lijnen) was daardoor ineffectief, maar verloopt beter nadat een nieuw spoelprogramma met hogere watersnelheid in de naspoelfase (groene lijnen) is doorgevoerd, zoals blijkt uit de ontijzeringsprofielen in afbeelding 4.

Toch heeft de verbeterde spoeling de zuiveringsproblemen in de slechte straat niet voorkomen. De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk in de nog te lage spoelsnelheid voor voldoende expansie. In de voorfilters van De Laak is de haalbare spoelwatersnelheid 33 m/h, waarbij de toplaag juist fluïdiseert. Voor een voldoende expansie van tien procent in het gehele bed is bij

**Afb. 4: Minder ophoping van ijzerslib in filterbed door verbeterd spoelprogramma**



bestaand	enkellaags	nieuw dubbellaags
filtermaterialen	standaardfracties grind 1,7-2,5 mm	standaardfracties: antraciet 1,4-2,5 mm op zand 0,8-1,25 mm
bedhoogte (m)	2 m	1 m antraciet op 1 m zand
spoeldebiet (m <sup>3</sup> /h)	500	800
spoelsnelheid (m/h)	28	44
expansie nieuw filtermateriaal (%)	-	antraciet 14%, zand 6%
looptijd (h)	48	96

**Tabel 2. Opzet dubbellaags voorfilter 7 ZS Lekkerkerk**

de gebruikte fractie 1,0-1,6 mm echter een watersnelheid van ruim 60 m/h nodig. Het belang van voldoende expansie blijkt ook uit het vervolgonderzoek, waarop verderop in dit artikel wordt teruggekomen. Spoelen zonder expansie is bij Oasen wijdverbreid. Een belangrijke reden hiervoor is dat vanwege de grote vuilast van het grondwater grove zand- of zelfs grindfracties (tot 5 mm!) gebruikt worden. De benodigde hoge spoelsnelheden voor expansie van dit materiaal zijn niet haalbaar in de bestaande filters. Daarom is de stap gemaakt naar een lichter filtermateriaal: antraciet (type N). Om een groter korreloppervlak te creëren zonder in te boeten aan bergend vermogen, is voor dubbellaags filtratie gekozen. Deze filters zijn opgebouwd uit een fijne zandlaag onderin met een grovere laag antraciet daarbovenop (zie foto). Omdat antraciet lichter is dan zand, vertonen beide materialen - bij de juiste verhouding in korreldiameters - eenzelfde expansiegedrag tijdens terugspoelen van het filter. Spoelen met expansie is voor dubbellaags filters noodzakelijk om de gelaagdheid te behouden.

Dubbellaags filters worden landelijk al veel toegepast in natte carry-over filters bij pelletontharding. Vitens gebruikt met succes natte dubbellaags voorfilters op onder andere Sint Jans klooster en experimenteert er momenteel mee op Spannenburg. De toepassing in droge voorfilters is echter nieuw. Uit theoretisch oogpunt kan afgevraagd worden of expansiespoelen in droge voorfilters wel tot voldoende uitspoeling van ijzervervuiling leidt. Waar ontijzering in natte filters nagenoeg volledig via vlokingsfiltratie verloopt, vormt adsorptieve oxidatie het voornaamste mechanisme in droge filters<sup>4)</sup>. Adsorptieve

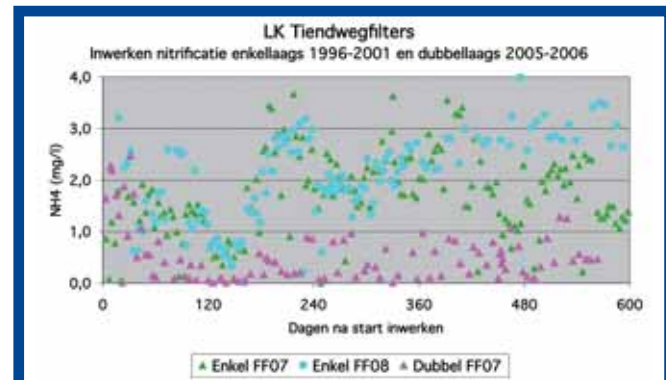
oxidatie leidt tot een hardere en moeilijk uitspoelbare aangroei.

Droge dubbellaags filters zijn bij Oasen vanaf augustus 2004 toegepast op zuiveringsstation Reijerwaard in Ridderkerk. Op Lekkerkerk Tiendweg is in februari 2005 het eerste dubbellaags voorfilter in productie genomen. In tabel 2 worden de specificaties van dit nieuwe dubbellaags filter vergeleken met de bestaande enkellaags filters op Tiendweg. Een hoger spoeldebiet dan 800 kubieke meter per uur is uit oogpunt van de sterkte van de filterbodem onverantwoord.

Tijdens het eerste proefjaar is het dubbellaags voorfilter uitgebreid bewaakt met een intensief monsternameprogramma en continumetingen met ammoniumanalyse en pH-elektrode. De bewaking van de zuurgraad ter controle van de doortrekventilatie is essentieel, omdat de droge voorfilters van Tiendweg ongeveer 1 mg/l methaan door ontgassing moeten verwijderen. Periodiek is aanvullende onderzoek verricht door spoelwater-, carousel- en steekbemonsteringen en het opstellen van luchtflow- en methaanbalansen. Het filtermateriaal werd telkens per laagdiepte geanalyseerd op onder andere aangroei en nitrificerende activiteit. Verder zijn expansiemetingen verricht en zeefkrommen bepaald op de nieuwe en aangroei filtermaterialen.

Zoals uit afbeelding 5 blijkt, werkt droge dubbellaags filtratie op zuiveringsstation Lekkerkerk Tiendweg effectief om de ammoniumverwijdering duurzaam op peil te houden. Na anderhalf jaar is deze nog steeds nagenoeg volledig. Dit is een significant onderscheid met het normale patroon van terugval na vier tot zes maanden. Aanvullende metingen tonen aan dat de

**Afb. 5: Nitrificatie op peil door dubbellaags droogfilter**





combinatie van dubbellaags filtratie en expansiespoeling ook bij droog filterbedrijf resulteert in een effectieve vertraging van de filterbedvervuiling. In het effluent van het dubbellaags filter worden nauwelijks *Aeromonas*-bacteriën aangetroffen. Uit steekbemonsteringen juist vóór en na spoelingen blijkt een effectieve verwijdering van slib (zie afbeelding 6). In afbeelding 6 staan de diepten als punt weergegeven, maar de feitelijke steken zijn uitgevoerd over de lagen 0-0,5 en 0,5-1,0 en 1,0-1,5 m diepte. De grens antraciet - zand ligt op één meter diepte. Uit de metingen vóór spoeling in deze grafiek blijkt echter ook dat de ontijzering gedurende een jaar steeds dieper in het filterbed plaatsvindt. Duidelijk is de slibuitspoeling uit het antraciet beter dan uit het zand, wellicht door de grotere expansie van het antraciet tijdens de waterfase.

In een droogfilter zonder voorbeluchting zal de ontijzering door korte oxidatietijd voor een aanzienlijk deel via adsorptieve oxidatie aan het filtermateriaal plaatsvinden. Er vindt dus voortdurend aangroei plaats. Gezien de slibvorming blijkt ook een deel via vlokingsfiltratie te worden afgevangen. Onvolledige slibverwijdering bij spoelingen leidt ook tot extra aangroei. In afbeelding 7 is te zien dat het filtermateriaal het sterkst aangroeit in de antracietlaag, maar dat de aangroei dieper in het bed en tot in de zandlaag toeneemt gedurende de standtijd. De aangroei op het zand bevat relatief meer mangaan en minder ijzer dan die op het antraciet.

Vanwege de significante aangroei van het filtermateriaal zijn ter controle in een proefkolom expansiecurven van nieuw en in één jaar aangegroeid filtermateriaal bepaald (zie afbeelding 8). De aangroei leidt niet tot minder expansie. Dit geldt zowel voor antraciet als zand. De gemiddelde en mediaan korrel diameter neemt voor antraciet niet toe door voortdurende afschilfering ten gevolge van zijn zachte structuur. Daardoor neemt de uniformiteitcoëfficiënt wel toe en de werkzame korrel diameter af. Na een jaar standtijd bevat de antracietlaag ruim vijf procent fijn materiaal (<0,5 mm). De fijne antracietdeeltjes of andere filterbedvervuiling leiden vooralsnog niet tot versnelde verstopping van het filterbed of blokkade van de doortrekventilatie van het filter die essentieel is voor de methaanontgassing. Gezien de broze structuur van het antraciet blijft wel een belangrijke praktijkvraag of

antraciet extern gereinigd hoeft te worden en zo ja hoe dit dan uitgevoerd dient te worden.

Het zand is slijtvaster en groeit wel aan in de tijd, waarbij de uniformiteitcoëfficiënt nagenoeg gelijk blijft. Uit de toegenomen expansie bij aangegroeid materiaal volgt dat de dichtheid van dit materiaal aanzienlijk lager is dan dat van zand. Dit werd ook door Sharma gevonden in onderzoek naar adsorptieve ontijzering<sup>4)</sup>.

### Belang van voldoende expansie

Momenteel zijn op zuiveringsstation Reijerwaard drie van de zes voorfilters dubbellaags. De resultaten van twee jaar productie zijn bevredigend maar niet onderscheidend van de eerste jaren bij enkellaags filters. De verschillen in effectiviteit tussen Reijerwaard en Lekkerkerk Tiendweg zijn niet onvoorzien. Op Reijerwaard wordt het ruwe water over cascades gevoerd vóór de voorfiltratie. Op het zuiveringsstation Lekkerkerk wordt het ruwe water rechtstreeks op de voorfilters versproeid, wat een geheel andere ontijzering en dus ook een andere bedvervuiling tot gevolg heeft. Het grotere aandeel vlokingsfiltratie op Reijerwaard leidt tot relatief minder snelle aangroei van het antraciet. De fracties in de voorfilters zijn echter grover en tijdens spoeling kan in de zandlaag slechts een beperkte expansie van enkele procenten worden bereikt. Dit blijkt onvoldoende te zijn voor een goede uitspoeling van vlok materiaal, wat op zijn beurt leidt tot ophoping van slib tussen en een relatief snellere aangroei van het filtermateriaal. Om deze situatie te verbeteren, heeft Oasen het voornemen om in 2007 fijnere fracties te testen in een dubbellaags voorfilter op zuiveringsstation Reijerwaard.

### Conclusies

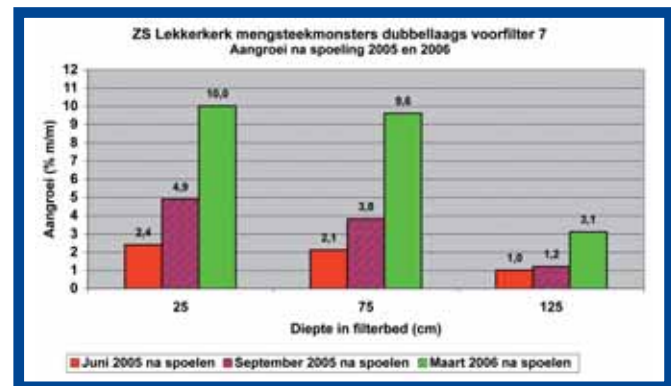
De nitrificatie bij de tot voorheen problematische Tiendwegzuivering van Lekkerkerk kan gedurende meer dan anderhalf jaar goed gehouden worden in droge dubbellaags voorfilters gecombineerd met expansiespoeling. Het meeste vuil (ijzer!) wordt dan in de bovenste antracietlaag afgevangen. De onderliggende zandlaag blijft relatief schoon. In het onderzoek zijn sterke aanwijzingen gevonden dat juist de ophoping van slib de nitrificatie verstoort.

Voor een effectieve expansiespoeling met goede afvoer van slib is minimaal ongeveer tien procent expansie in zowel de antraciet- als zandlaag noodzakelijk. De vraag blijft wat de doorslaggevend factor in de verbetering is: de dubbellaags, expansiespoeling of het materiaal antraciet. Uitsluitel over welke factor het zwaarste weegt, kan een parallel experiment bieden met enkellaags antraciet voorfilters, waarbij het ene met en het ander zonder expansie wordt gespoeld. De positieve ervaringen op zuiveringsstation Lekkerkerk Tiendweg zijn zo overtuigend dat momenteel een tweede voorfilter dubbellaags wordt ingericht.

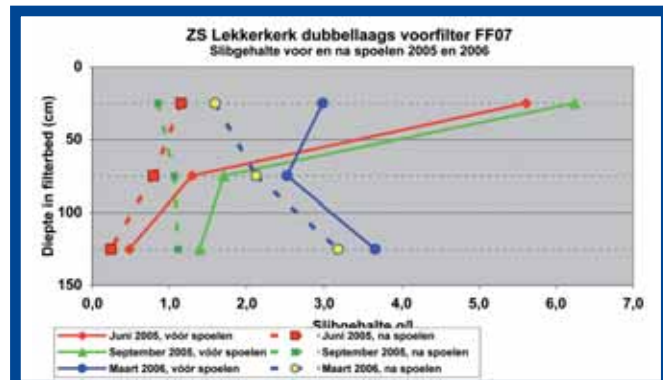
### LITERATUUR

- 1) Ministerie van VROM (2003). REWAB (registratie opgaven van waterleidingbedrijven).
- 2) Vet W. de, W. Burger, A. en D. van der Woerd D. (2002). Methaanbelasting irrelevant voor filterwerking. H<sub>2</sub>O nr. 1, pag. 26-29.
- 3) Wolthoorn A. (2003). Subsurface aeration of anaerobic groundwater - iron colloid formation and the nitrification process. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- 4) Sharma S. (2001). Adsorptive iron removal from groundwater. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen / IHE Delft.

Afb. 7: Aangroei filtermateriaal gedurende één jaar standtijd ZS Lekkerkerk



Afb. 6: Slibgehalte voor en na spoeling gedurende één jaar standtijd ZS Lekkerkerk



Afb. 8: Expansiecurven van nieuw en aangegroeid filtermateriaal Tiendweg

