



Karin Teunissen, TU Delft

Ton Knol, Duinwaterbedrijf Zuid-Holland

Luuk Rietveld, TU Delft

Hans van Dijk, TU Delft / Kiwa Water Research

# Verhoging UV-transmissie bij voorzuivering Bergambacht

De kwaliteit van het drinkwater in Nederland is uitstekend en het klantvertrouwen is dan ook hoog. Dat betekent niet dat de drinkwaterbedrijven tevreden achterover kunnen leunen. Mede als gevolg van de vooruitgang van de analysetechnieken worden de laatste jaren regelmatig 'nieuwe' stoffen, zoals geneesmiddelen en hormoonverstoorders, in zeer lage concentraties aangetroffen in de drinkwaterbronnen. Hoewel deze prioritare stoffen in de huidige situatie geen gevaar vormen voor de volksgezondheid, blijkt dat met name de meer polaire organische stoffen moeilijk te verwijderen zijn met de traditionele zuiveringsprocessen. In het kader hiervan onderzoekt Duinwaterbedrijf Zuid-Holland de mogelijkheden om haar zuivering uit te breiden met een verdergaande barrière tegen deze prioritare stoffen. Eén van de onderzoeksprojecten is geavanceerde oxidatie met de combinatie ultraviolet licht en waterstofperoxide. Bij dit onderzoek werkt DZH samen met Nederlandse en Amerikaanse onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven.



De bezinkbekkens met de zuivering op de achtergrond.

Eén van de alternatieven is het uitbreiden van de voorzuivering in Bergambacht. Zoals bekend wint DZH water uit een natuurlijk bekken in de Afgedamde Maas bij Brakel. In het bekken heeft vlokvorming plaatsgevonden door dosering van  $\text{FeSO}_4$  in combinatie met beluchting. Bij de inname in Brakel is het

water behandeld met microzeven, waarna DZH het via een leiding met een diameter van 1,6 meter over een afstand van 35 kilometer transporteert naar Bergambacht. In de voorzuivering vindt voorbezinking plaats in een tweetal bekkens, gevolgd door (dubbellaags) snelfiltratie in 24 filters (zie foto).

Uit een voorstudie<sup>1)</sup> bleek dat de UV-absorptie van het snelfiltraat in Bergambacht relatief hoog is, waardoor het energieverbruik van UV-lampen hoog zal uitvallen. De UV-absorptie van water wordt met name bepaald door het gehalte aan organische stof (DOC)<sup>2)</sup>. Daarom is onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om met behulp van aanvullende dosering van ijzerchloride het gehalte aan DOC en de UV-absorptie vergaand te verlagen en daarmee de UV-transmissie te verhogen tot circa 90 procent. Een bijkomend voordeel is dat minder desinfectie/oxidatiebijproducten gevormd zullen worden als het DOC-gehalte wordt verlaagd.

Het onderzoek is uitgevoerd op praktijkschaal, waarbij twee alternatieven zijn onderzocht: dosering van  $\text{FeCl}_3$  direct in de voedingsleiding naar de (dubbellaags) snelfilters en dosering van  $\text{FeCl}_3$  in de bezinkbekkens.

Voorafgaand aan de praktijkproeven zijn in het laboratorium met bekerglasproeven de gewenste doseerhoeveelheden en de effecten op de waterkwaliteit vastgesteld.

## Opzet bekerglasproeven

De bekerglasproeven zijn uitgevoerd bij dezelfde snelheidsgradiënten (G-waarden) en meng-en vlokvormingstijden, die ook in de praktijk optreden. De snelheidsgradiënten

Tabel 1. Instellingen bekersglasapparaat snelfilterproeven.

roersnelheid	rpm.	90	20	50
G-waarden	s <sup>-1</sup>	125	10	50
roertijd	min.	1	12	4
bezinktijd	min.	30	30	30

Tabel 2. Instellingen bekersglasapparaat bezinkproeven.

roersnelheid	rpm.	70
G-waarden	s <sup>-1</sup>	73
roertijd	min.	2
bezinktijd	min.	30

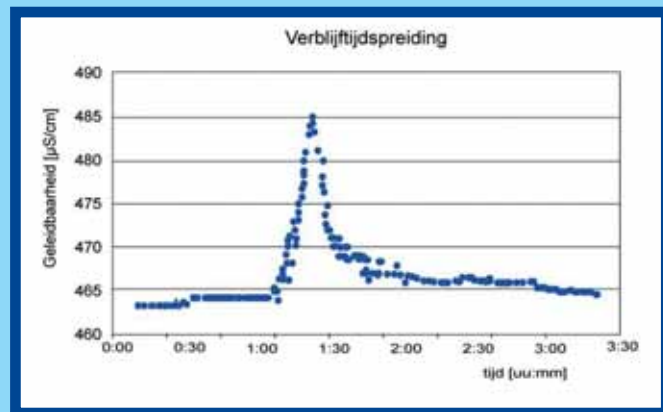
Tabel 3: Snelfilterproeven.

experiment	1	2	3	4
dosering (mg Fe/l)	0,2	0,4	0,6	0,8
duur experiment (uur)	8	8	8	8

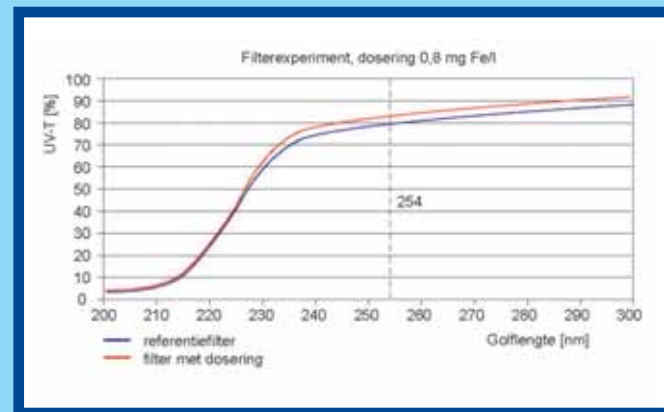
Tabel 4: Bezinkproeven.

experiment	1	2	3
dosering (mg Fe/l)	4,1	11,5	14,5
duur experiment (uur)	3	3	4

Afb. 1: Verbliftijdspreiding bekken.



Afb. 2: UV-transmissie snelfilterproeven.



zijn berekend uit het energieverlies in de aanvoerleidingen, van het doseerpunt tot de snelfilters of tot de bezinkbekkens, inclusief de uitstroming in de snelfilters en bezinkbekkens. Wat voor instellingen dit opleverde, is te zien in tabel 1 en 2.

Bij beide experimenten is de pH gevarieerd tussen 8 en 5,5, met stappen van 0,5. De dosering van ijzerchloride bij de snelfilterproeven varieerde tussen 0,1 en 1,0 mg Fe/l, met stappen van 0,1 mg Fe/l. Bij de bezinkproeven liep de dosering van 0 tot 20 mg Fe/l, met stappen van 2 mg Fe/l.

### Resultaten bekersglasproeven

Bij de lage doseringen (voor de snelfilterproeven) bleek de invloed op de UV-transmissie nihil. Bij de hoge doseringen (voor de bezinkproeven) trad wel een duidelijke verhoging in de UV-transmissie op. Vanaf een dosering van 8 mg Fe/l kwam de transmissie boven de 90 procent uit. Naast de dosering aan ijzerchloride is bij de bekersglasproeven ook de pH telkens aangepast. Hieruit bleek dat een lagere pH leidt tot een hogere UV-transmissie, hetgeen in overeenstemming is met de literatuur<sup>3)</sup> en verklaard kan worden uit de betere verwijdering van DOC bij een lagere pH. Bij de praktijkproeven is de pH niet ingesteld. Wel vindt door de dosering van ijzerchloride een geringe verlaging van de pH plaats.

### Opzet praktijkonderzoek

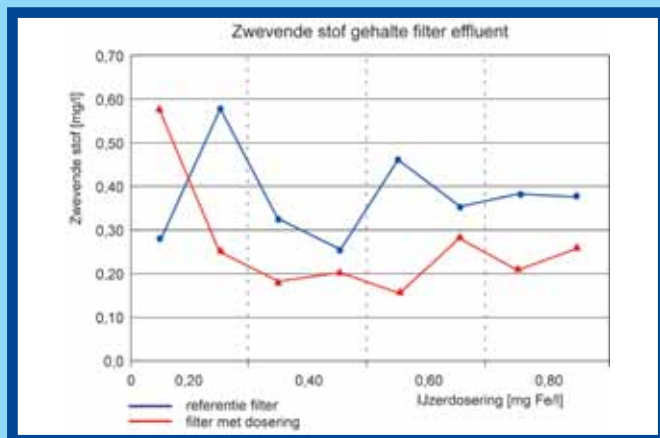
De totale duur van de praktijkexperimenten bedroeg twee weken. De eerste week zijn de snelfilterproeven uitgevoerd, in de tweede week de bezinkproeven. De snelfilterproeven zijn uitgevoerd met een bestaande doseerinstallatie. Deze is in 2005 in gebruik genomen om het zwevende stofgehalte van het snelfiltraat desgewenst te verlagen. In Bergambacht staan 24 dubbellaagsfilters, uitgevoerd in twee straten van twaalf. Op een steunlaag van 0,7 meter dikte ligt 0,6 meter zand (0,8-1,2 mm), met daarboven 0,25 meter antraciet (1,4-2,5 mm). De oppervlakte van een snelfilter is 72 m<sup>2</sup>. De filterlooptijd bedraagt in de zomerperiode normaal gesproken vier tot zes dagen. Voorafgaand aan elk experiment werden de betreffende snelfilters teruggespoeld. Twee keer per dag zijn het influent en het snelfiltraat van vier snelfilters bemonsterd: twee snelfilters waarop gedoseerd werd en twee referentiesnelfilters. Van de monsters is het gehalte aan zwevende stof bepaald en is een UV-scan gemaakt over het spectrum van 200 tot 300 nm. Om de invloed van de vlokvorming op de looptijd te bepalen, is de weerstand over het filterbed vastgesteld. Aan het begin en aan het einde van elk experiment is deze genoteerd. De bezinkbekkens zijn elk 100 meter breed, 50 meter lang en drie meter diep. Bij de bezinkbekkens was geen doseerinstal-

latie aanwezig. Deze is speciaal voor het onderzoek opgebouwd. Op één bezinkbekken (oost) is tijdens de proeven ijzerchloride gedoseerd, waarbij het andere bekken fungeerde als referentie. Voorafgaand aan de bezinkproeven is de verbliftijdspreiding vastgesteld. Een significante hoeveelheid keukenzout (50 kilo) is opgelost in een deelstroom en toegevoegd aan het influent van het oostelijke bezinkbekken. Hier is later ook de ijzerchloride gedoseerd. Na passage van ongeveer 100 meter leiding stroomt het water uit in het zijkanaal, van waaruit het bezinkbekken wordt gevoed. Op de plaats waar de effluentmonsters uit het bezinkbekken worden genomen, is de geleidbaarheid van het water gemeten. Hieruit kan de verbliftijdspreiding worden opgemaakt (zie afbeelding 1). De gemiddelde verbliftijd is gemeten als 1:30 uur. Dit is veel korter dan de theoretisch gemiddelde verbliftijd, berekend als 2:30 uur. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een voorkeurstroming in het bezinkbekken.

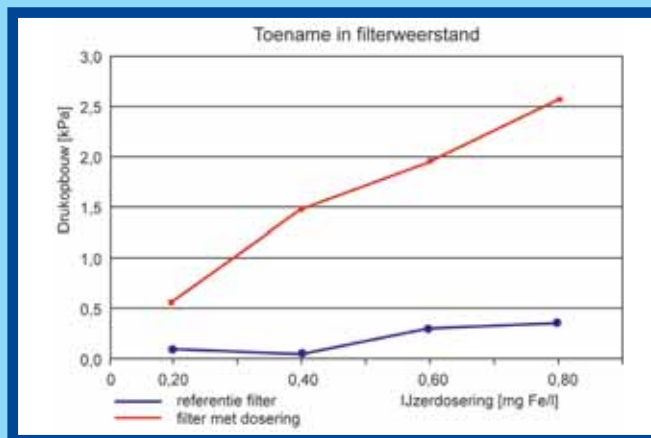
### Resultaten snelfilterproeven

De dosering van ijzerchloride is bij deze proeven laag om sterk oplopende filterbedweerstand te vermijden. De UV-transmissie nam, conform de verwachtingen, nauwelijks toe bij doseringen tot 0,8 mg Fe/l, zoals te zien in afbeelding 2. De filtraatkwaliteit gemeten als het gehalte aan zwevende

Afb. 3: Gehalte aan zwevende stof snelfiltraat (twee en zes uur na start dosering).



Afb. 4: Filterbedweerstand gedurende snelfilterproef (na acht uur doseren).



stof werd wel duidelijk beter. In afbeelding 3 staan de gehalten aan zwevende stof vermeld van de proeffilters en van de referentiefilters. Ook bij de lage doseringen liep de looptijd van de snelfilters snel terug tot de kritische waarde van één dag (afbeelding 4). Met 24 snelfilters betekent dit dat er elk uur een filter in spoeling gaat.

### Resultaten bezinkproeven

Na de dosering van ijzerchloride konden vlokken met het blote oog duidelijk worden waargenomen. De vlokken namen duidelijk in grootte toe naarmate de dosering hoger werd. Ook werd het water helderder; op meerdere plekken was de bodem van het bezinkbekken te zien bij de hoogste dosering. In afbeelding 5 is de UV-transmissie van het effluent van beide bezinkbekkens weergegeven. Aan het aangevoerde Maaswater naar het oostelijke bezinkbekken is 11,5 mg Fe/l gedoseerd. De UV-transmissie neemt duidelijk toe. Een toename werd ook bij de andere doseringen gevonden. Afbeelding 5 laat ook de meerwaarde van een UV-scan zien ten opzichte van het meten van de absorptie of transmissie bij alleen 254 nm. Het is duidelijk op welke wijze de UV-transmissie wordt beïnvloed in het traject van 200 tot 300 nm. Dit geeft meer inzicht in de kwaliteit van het water en in de verbetering van de efficiëntie van de UV-lampen.

Het gehalte aan zwevende stof van het effluentmonster van het bezinkbekken waaraan gedoseerd is, leek visueel wat te zijn toegenomen gedurende de experimenten. Dit werd bevestigd door de analyses (zie afbeelding 6). Ondanks dit hogere gehalte aan zwevende stof is de UV-transmissie, na filtratie, toch toegenomen. Opmerkelijk is dat bij hogere doseringen het verschil tussen het gehalte aan zwevende stof van de twee bezinkbekkens kleiner wordt. Blijkbaar bezinken bij hogere doseringen de vlokken beter.

Bij de snelfilterproeven bleek de dosering van grote invloed op de filterbedweerstand en daarmee op de filterlooptijd. Bij de bezinkproeven is ook gekeken naar een

eventueel effect op de filterbedweerstand. Bij enkele snelfilters was gedurende de experimenten een geringe toename in drukopbouw zichtbaar, maar bij de meeste snelfilters was dit niet waar te nemen. Geconcludeerd is dan ook dat extra filterbedweerstand ten gevolge van de dosering in de bezinkbekkens te verwaarlozen is.

### Vergelijking experimenten

Bij de snelfilterproeven komen de laboratoriumexperimenten nagenoeg overeen met de resultaten die in de praktijk behaald zijn. Bij de bezinkproeven geven de bekerglasexperimenten een overschatting van de bereikte UV-transmissie van ongeveer vijf procent (zie afbeelding 7). Dit verschil kan wellicht worden toegeschreven aan de verschillen in mengcondities. In het laboratorium is in het bekerglas van 1,8 liter binnen enkele

seconden volledige menging bereikt. In de praktijk is de ijzerchloride in het hart van een leiding van één meter diameter gedoseerd, waar weliswaar turbulente stroming optreedt, maar waarbij de menging wellicht toch minder optimaal zal zijn. Van meer invloed is waarschijnlijk de gemeten kortsluitstroming in de bezinkbekkens. Elke dosering is gedurende drie tot vier uur onderzocht. Mogelijk was deze tijdsduur onvoldoende en heeft opmenging plaatsgevonden met water uit de (met een verzonken drijver vastgestelde) neer, een stromingsverschijnsel van water binnen de vloeistofmechanica. Dit is vastgesteld in een extra duurproef. Op bezinkbekken oost is gedurende zes uur gedoseerd met een concentratie van 13,7 mg Fe/l. De resultaten van deze duurproef staan in afbeelding 8. In de eerste paar uur neemt de UV-transmissie

## UV-absorptie, -transmissie en -spectrum

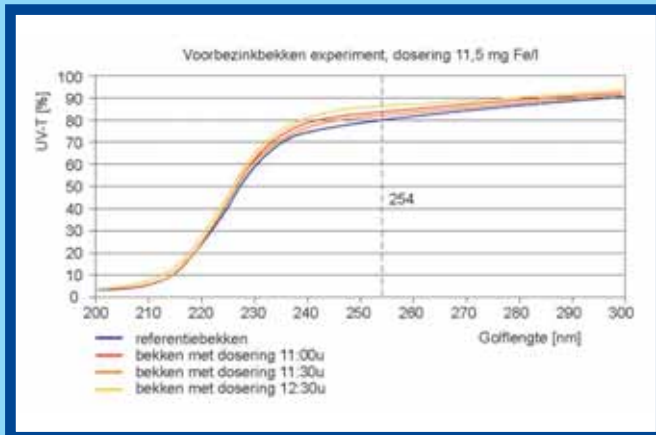
Traditioneel wordt bij de analyse van (drink)water de UV-absorptie bij 254 nm (UV-A) gemeten en gerapporteerd. Het te onderzoeken monster wordt in een cuvet geplaatst, waarna gemeten wordt hoeveel licht door het monster geabsorbeerd wordt. Uiteraard neemt de lichtintensiteit af met de indringingsdiepte en wel volgens een logaritmische relatie, volgens de wet van Lambert-Beer. Voor het ontwerp van UV-reactoren is de UV-transmissie een relevante en praktische maatstaf. De UV-transmissie is gedefinieerd als het gedeelte van de ingestraalde lichtintensiteit die door het monster heen gaat.

UV-A wordt meestal gerapporteerd in de eenheid 1/m, terwijl de UV-T dikwijls wordt uitgedrukt in de eenheid 1/cm, met name bij het ontwerp van UV-reactoren. Een voorbeeld ter illustratie: uit de proeven bij DZH bleek het snelfiltraat bij pompstation Bergambacht een UV-A van 9 (1/m) te hebben. De UV-A na 1 cm is derhalve 0.09 (1/cm). Dit komt overeen met UV-T na 1 cm van 80 procent. Om een UV-T van 90 procent te behalen, moet de UV-A dus gehalveerd worden tot 0.045 (1/cm) ofwel 4.5 (1/m).

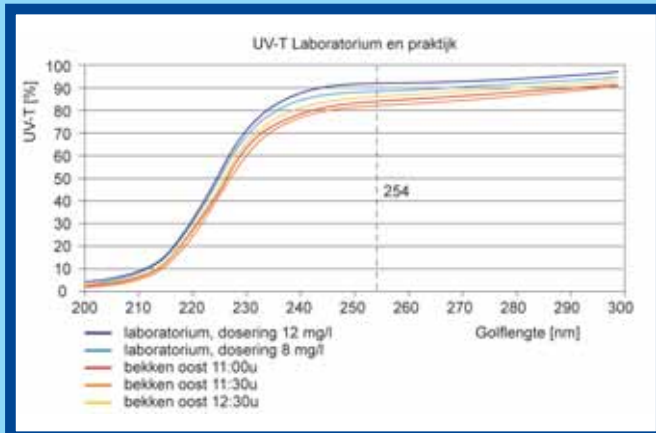
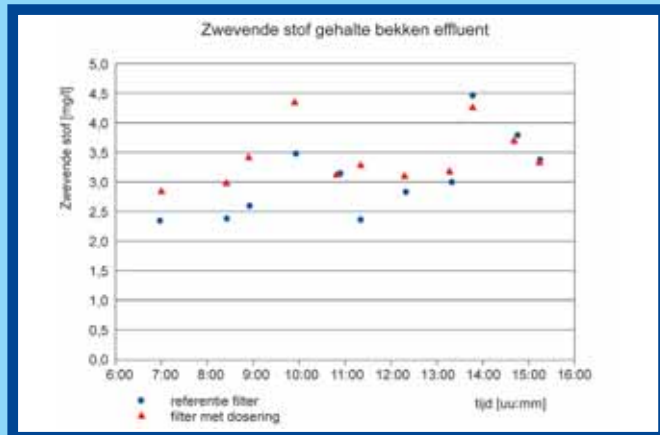
Tot nu toe is het gebruikelijk om UV-A en UV-T alleen te bepalen bij 254 nm. In dit onderzoek is echter gebruik gemaakt van een nieuwe UV/VIS-meter, waarmee absorptie en transmissie bepaald kunnen worden over het gehele UV-spectrum van golflengtes van 200 tot 300 nm. Het voordeel van zo'n UV-scan is dat veel meer informatie beschikbaar komt die relevant is voor het ontwerp van UV-lampen. Met name voor middendruk UV-lampen, die een breed spectrum aan golflengtes uitzenden, is het relevant om de effectieve lichtintensiteit bij verschillende golflengtes te bepalen.

Een lagere UV-T betekent dus direct een lagere lichtintensiteit, omgekeerd kan gesteld worden dat een hogere lichtsterkte van de bron noodzakelijk is om dezelfde effectieve lichtintensiteit te bereiken.

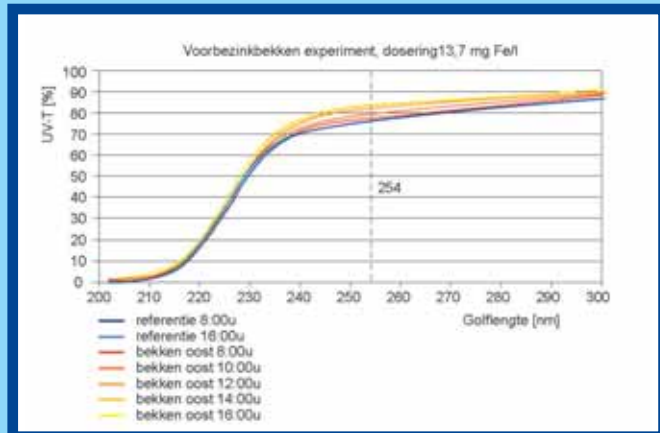
Afb. 5: UV-T bezinkbekken tijdens bezinkproef.



Afb. 6: Zwevende stofgehalte in effluentbekkens.



Afb. 7: Vergelijking UV-transmissie bij laboratoriumexperiment en in praktijk tijdens de bezinkproeven.



Afb. 8: Bezinkproef met 13,7 mg Fe/l dosering gedurende zes uur.

geleidelijk toe. Na vier uur doseren stabiliseert de UV-transmissie zich. Er blijft wel een verschil te zien tussen laboratorium en praktijk.

### Conclusies

In Bergambacht is een verhoging van de UV-transmissie van vijf procent van het voorgezuiverde Maaswater bereikt door ijzerchloride te doseren aan de bezinkbekkens. In de onderzochte periode (juli 2006) was een dosering benodigd van 11,5 mg Fe/l. Extra filterbedweerstand in de nageschakelde snelfilters als gevolg van de dosering op de bezinkbekkens is verwaarloosbaar. Verder heeft dosering op deze locatie in het zuiveringsproces als voordeel dat ijzer, een component die verantwoordelijk kan zijn voor de fouling van UV-lampen<sup>4,5</sup>, ver voor de UV-lampen zou worden gedoseerd. Er zijn twee barrières tussen het doseerpunt en de UV-lampen, aangenomen dat de geavanceerde oxidatie op het snelfiltraat zal plaatsvinden.

Dosering voor de snelfilters leidt niet tot een significante verbetering van de UV-transmissie van het snelfiltraat, vanwege de gelimiteerde hoogte van de dosering. Bij de maximaal geteste dosering van 0,8 mg Fe/l nam de filterlooptijd af tot de kritische waarde van één dag. De vereiste hogere

doseringen zijn niet mogelijk met behoud van een stabiele bedrijfsvoering.

Een nevenresultaat van het praktijkonderzoek is de bevestiging dat de ijzerdosering voor de snelfilters effectief is voor het verlagen van het gehalte aan zwevende stof van het filtraat. Bij de bezinkproeven nam het gehalte aan zwevende stof van het effluent van het bezinkbekken wat toe. Deze toename was lager bij een hogere ijzerdosering. Hogere doseringen zorgden duidelijk voor vlokken met betere bezinkeigenschappen. Dit werd bevestigd door de afnemende ijzerconcentratie in het bekkeneffluent.

Daarnaast bleek dat het proces meer tijd nodig had om zich in te stellen dan de duur van de proeven als gevolg van de vastgestelde kortsluitstroming. Bij de duurproef, met een ijzerdosering van 13,7 mg Fe/l, nam de UV-transmissie toe met tien procent. Het verschil in bereikte UV-transmissie met de laboratoriumproeven en de praktijkproeven kan, naast de kortsluitstroming, mogelijk ook worden toegeschreven aan de menging van het vlokmiddel met het voorgezuiverde Maaswater. Bij de laboratoriumproeven bleek het verlagen van de pH positief uit te werken op de UV-transmissie. Bij de praktijkproeven was het niet mogelijk de pH van het water te verlagen.

### LITERATUUR

- 1) Knol T. en K. Teunissen (2006). Advanced oxidation process for DZH. Stageverslag Technische Universiteit Delft.
- 2) Simonsson M., K. Kaiser, R. Danielsson, F. Andreux en J. Ranger (2005). Estimating nitrate, dissolved organic carbon and DOC fractions in forest floor leachates using ultraviolet absorbance spectra and multivariate analysis. Geoderma jaargang 124, nr. 1-2, pag. 157-168.
- 3) Edzwald J. en J. Tobiasson (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view. Water Science and Technology jaargang 40, nr. 9, pag. 63-70.
- 4) Peng J., Y. Qiu en R. Gehr (2005). Characterization of permanent fouling on the surfaces of UV lamps used for wastewater disinfection. Water Environment Research jaargang 77, nr. 4, pag. 309-322 (14).
- 5) Sheriff M. en R. Gehr (2001). Laboratory investigation of inorganic fouling of low pressure UV disinfection lamps. Water Quality Research Journal of Canada jaargang 36, nr. 1, pag. 71-92.