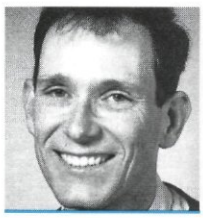
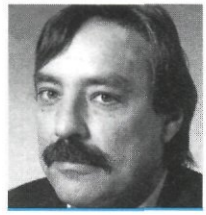
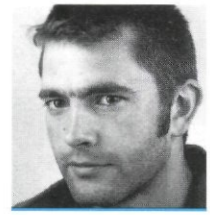
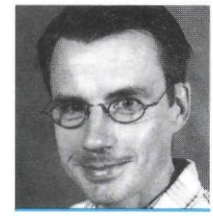





Voorzuivering van kwelwater door ultra- en snelfiltratie

J. Hofman, Gemeentewaterleidingen Amsterdam
H. Koppers, Witteveen+Bos
L. van der Aa, Gemeentewaterleidingen Amsterdam
J-P. van der Hoek, Gemeentewaterleidingen Amsterdam

De rivierplassenwaterleiding van Gemeentewaterleidingen Amsterdam behandelt kwelwater uit de Bethunepolder (circa 25 miljoen kubieke meter per jaar), aangevuld met een beperkte hoeveelheid water uit het Amsterdam-Rijnkanaal (maximaal zes miljoen kubieke meter per jaar), tot drinkwaterkwaliteit. De voorzuivering op vestiging Loenderveen bestaat uit dubbele coagulatie en sedimentatie, verblijf in de waterleidingplas en snelfiltratie. In 1997 en 1998 is onderzoek uitgevoerd naar toepassing van ultrafiltratie als alternatief voor de dubbele coagulatie en sedimentatie. De resultaten hiervan zijn op proefinstallatieschaal vergeleken met coagulatie-sedimentatie en vlokkingsfiltratie in een dynamisch zandfilter.

Momenteel verwijdert de dubbele coagulatie en sedimentatie verwijdert fosfaat, zwevende stof en organische stof. Het verblijf in de waterleidingplas zorgt voor kwaliteitsafvlakking, ammoniumverwijdering en een verbetering van de hygiënische kwaliteit. De snelfiltratie draagt tenslotte zorg voor een verdere ammonium- en algenverwijdering.

Drie belangrijke punten bij het onderzoek naar ultrafiltratie als alternatief voor de dubbele coagulatie en sedimentatie zijn:

Het verkregen halffabrikaat wordt dan naar vestiging Weesperkarspel getransporteerd, waar het verder tot drinkwater wordt gezuiverd.

Het onderzoek naar een alternatief ging uit van drie punten: handhaving van de fosfaatverwijdering tot het gewenste niveau van 15-25 µg/lP, reductie van de slibproductie (de huidige coagulatie produceert circa 8000 ton ijzerslib per jaar) en een mogelijkheid tot uitbreiding van de rivierplassenwaterleiding in kleine flexibele eenheden.

Capaciteitsuitbreiding van die leiding impliceert mogelijk ook een vergroting van de capaciteit in de waterleidingplas. Dit betreft een grootschalige uitbreiding (ontzanding en inrichting van een tweede waterleidingplas) met hoge investeringskosten. Daarom is onderzocht of door toepassing van een additioneel nitrificerend snelfilter de belasting van de waterleidingplas kan worden gereduceerd, waardoor de uitbreiding in omvang beperkt kan worden. Omdat het fosfaatgehalte van invloed is op de werking van een dergelijk filter is in het onderzoek ook gekeken naar de invloed van de drie bovengenoemde defosfateringstechnieken op de nitrificatie in drie proeffilters.

Proefinstallatie

Het onderzoek is uitgevoerd op een proefinstallatie opgebouwd uit drie straten. Het water voor de proefinstallatie is ingenomen aan het einde van het waterleidingkanaal, een kanaal dat de Bethunepolder en de zuivering te Loenderveen met elkaar verbindt. Afbeelding 1 toont het schema van de proefinstallatie in relatie tot de bestaande zuivering.

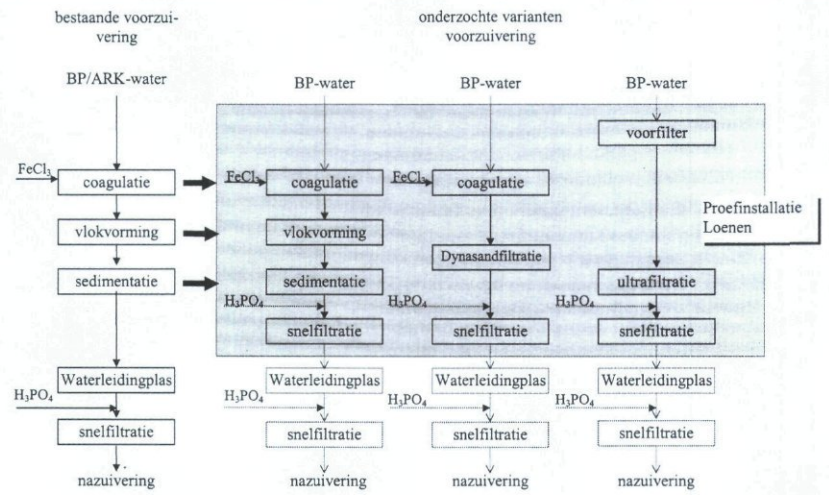
In de eerste straat wordt de defosfatering bereikt door middel van coagulatie en sedimentatie. De tweede straat bestaat uit een vlokkingsfiltratie in een dynamisch zandfilter en de derde straat is opgebouwd rond de ultrafiltratie. Na de drie defosfateringstechnieken zijn drie identieke snelfilters geplaatst voor nitrificatie. Elk filter is uitgerust met een mogelijkheid tot fosforzuurdosering om in koude periodes een geringe hoeveelheid orthofosfaat te kunnen doseren om het nitrificatieproces in stand te houden.

Bij de coagulatie-sedimentatie is de destabilisatie uitgevoerd met ijzerchloride (dosering zes milligram per liter, enkeltraps; in het bedrijf wordt totaal twaalf milligram per liter in twee trappen gedoseerd, zie ook tabel 3). Vervolgens zijn vlokken gevormd in drie geroerde compartimenten. De gevormde vlokken zijn verwijderd door middel van een horizontale bezinker. De capaciteit van de installatie bedraagt vijf kubieke meter per uur en de bezinker is uitgelegd op een oppervlaktebelasting van 1,9 meter per uur.

Vóór de dynamische vlokkingsfiltratie is een ijzerdosering van drie milligram per liter toegepast. Het filter was gevuld met een zandfractie van één tot twee millimeter en had een capaciteit van vijf kubieke meter per uur. Als filtratiesnelheid is zes meter per uur aangehouden.

De ultrafiltratie-installatie was opgebouwd rond drie holle vezel membraanmodules (X-Flow), die in één drukbuis waren geplaatst. Tijdens het onderzoek zijn twee

Afb. 1: Schema proefinstallatie (in grijs kader) en bestaande zuivering.



typen membraanmodules getest: membraanelementen met 1,5 mm en 0,8 mm vezels. Een samenvatting van de membraanspecificatie is weergegeven in tabel 1. Het nitrificatieonderzoek vond plaats op het water geproduceerd met de 0,8 mm membranen.

De installatie is enkelzijdig gevoed, waarbij de voeding afwisselend 'linksom' en 'rechtsom' plaatsvond. Het permeaat is aan beide zijden van de drukbuis afgevoerd met een totale productiecapaciteit van 4,5 kubieke meter per uur. Om een stabiele bedrijfsvoering te realiseren is het volgende spoelregime toegepast:

- gewone terugspoeling met ultrafiltraat elke 20 minuten gedurende 30 seconden, bij de 1,5 mm vezels gecombineerd met een voorwaartse spoeling,
- een chemische spoeling met waterstofperoxide (200 mg/l) en zoutzuur (pH = 1,5) iedere drie uur, met een inweektijd van 20 minuten
- en een chemische spoeling met chloorbleekloog (100 mg/l) iedere 24 uur, eveneens met een inweektijd van 20 minuten.

De drie snelfilters zijn gevuld geweest met een zandfractie van 0,7 à 1,4 millimeter met een bedhoogte van 80 cm en een filteroppervlak van een halve vierkante meter. De filtratiesnelheid was ingesteld op zes meter per uur.

Resultaten en discussie

Ultrafiltratie

Het ultrafiltratieonderzoek is met subsidie van Novem in het kader van het MINT-programma uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek zijn eerder uitgebreid gerapporteerd (zie literatuurlijst).

De Trans Membraan Druk (TMD) om de gewenste productie te realiseren is voor beide toegepaste membranen in de loop van de tijd geleidelijk toegenomen. De TMD wordt onder meer bepaald door de watertemperatuur en de op het membraan aanwezige vuillaag. Om onderscheid te kunnen maken tussen het effect van de temperatuur en de aanwezige vervuiling is met behulp van de flux en de gemeten TMD, de stofoverdrachtscoëffciënt (MTC) voor water berekend. Deze is vervolgens genormaliseerd voor de temperatuur (10°C) met behulp van de viscositeit van water. De MTC is als volgt gedefinieerd:

$$MTC = \frac{Flux}{TMD} \ (m/s \cdot bar)$$

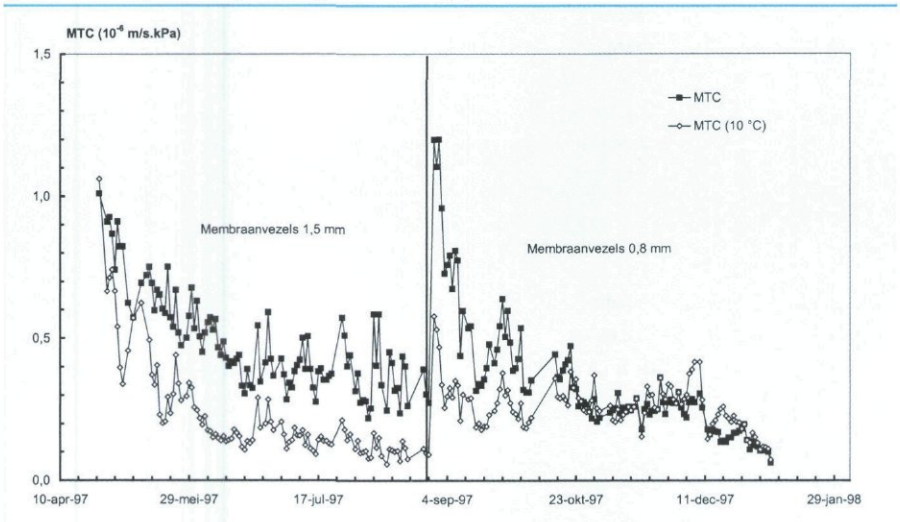
Voor de periode met de 1,5 mm vezels, van 24 april tot 28 augustus 1997, was de bruto flux 100 liter per vierkante meter per uur. In de tweede periode, waarin 0,8 mm membraanvezels zijn toegepast, bedroeg de flux circa 70 liter. Met behulp van deze gegevens en de watertemperatuur zijn de MTC en de genormaliseerde MTC berekend (zie afbeelding 2).

De resultaten tonen aan dat een stabiele bedrijfsvoering met ultrafiltratie op kwelwater uit de Bethunepolder mogelijk is. In de eerste periode van eind april tot begin juni 1997 is een relatief sterke daling van de genormaliseerde MTC te zien. In deze periode is veel geëxperimenteerd met het optimaliseren van het spoelregime, waardoor een permanente vervuiling van de membranen plaatsvond. Bovendien was het onmogelijk om reinigingschemicaliën anders dan zoutzuur, waterstofperoxide of chloorbleekloog toe te passen, omdat het effluent van de ultrafiltratie is teruggebracht naar de aanvoer van het ruwe water voor de drinkwaterproductie. Intensieve reiniging van de membranen is hierdoor niet mogelijk geweest. Vanaf juni tot het eind van de eerste experimentele periode is een stabiele bedrijfsvoering met de membranen gerealiseerd.

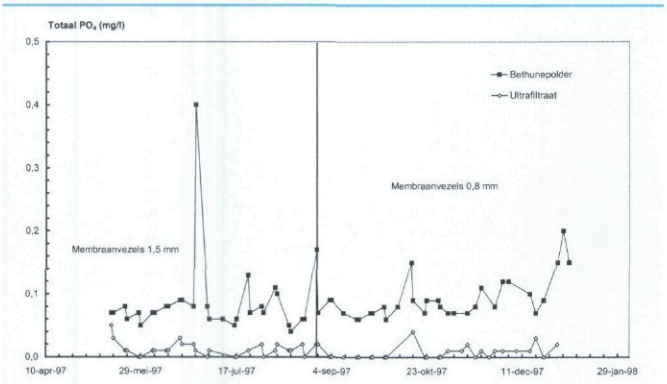
Tabel 1: Specificaties gebruikte membranen.

	membraan 1	membraan 2
membraanoppervlak	15 m²	22,9 m²
MWCO	150-200 kD (1% w/w PVP bij 1 bar)	150-200 kD (1% w/w PVP bij 1 bar)
inwendige diameter	1,5 mm	0,8 mm
doorstroombuizen	nee	ja

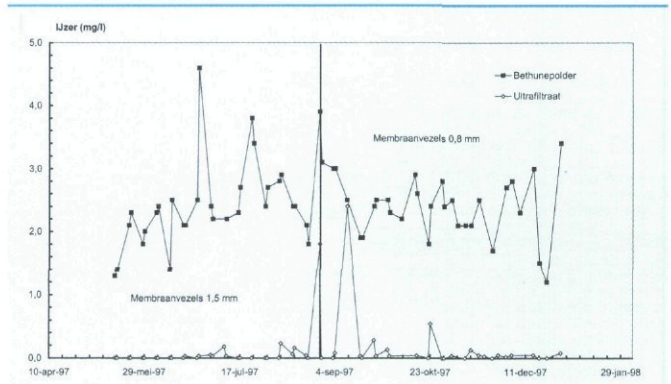
Afb. 2: MTC (actueel en bij 10°C) als functie van de looptijd.



Afb. 3: Totaal fosfaat in Bethunepolderwater en ultrafiltraat.



Afb. 4: IJzergehalte in Bethunepolderwater en ultrafiltraat.



In de tweede periode, vanaf eind augustus 1997, zijn de 0,8 mm vezels toegepast. Na een korte initiële daling van de genormaliseerde MTC is over een relatief lange periode van augustus tot begin december een stabiele MTC gehandhaafd. Daarna is een verdere membraanvervuiling opgetreden, hetgeen te wijten is aan de frequente vezelbreuken die in deze periode zijn opgetreden.

Afbeelding 3 toont het totaal fosfaatgehalte in het kwelwater en het ultrafiltraat. Hieruit blijkt dat vrijwel alle fosfaat door de ultrafiltratie wordt verwijderd. Ook het aanwezige ijzer wordt door de ultrafiltratie vrijwel volledig verwijderd (afbeelding 4). Het fosfaat in het kwelwater is waarschijnlijk voor een groot deel aan het ijzer gebonden, waardoor het als particulair fosfaat aanwezig is. Slechts een klein deel van het fosfaat is aanwezig als (opgelost) orthofosfaat. Het orthofosfaat wordt door de membranen volledig doorgelaten. Het gehalte in het ultrafiltraat is vrijwel constant en bedraagt circa 10 µg/l. Deze waarde komt overeen met de gewenste waarde voor het fosfaatgehalte voor de waterleidingplas.

Dit betekent, dat ultrafiltratie kan dienen als een goed alternatief voor de bestaande dubbele coagulatie. Belangrijk voordeel hierbij is, dat geen ijzerdosering nodig is om tot het gewenste fosfaatniveau te komen. Hierdoor zal de slibproductie aanzienlijk minder zijn. Ook bij toepassing van ultrafiltratie voorafgaand aan een nitrificerend filter biedt deze geringe hoeveelheid orthofosfaat mogelijkheden, zoals verderop zal worden aangetoond.

Om een indruk te krijgen van de verwijdering van zwevende en colloïdale bestanddelen is de troebelheid van het kwelwater en het ultrafiltraat onderzocht. Afbeelding 5 toont de verwijdering van de troebelheid. De troebelheid wordt verlaagd tot waarden rond de detectiegrens (0,1 FTE).

Opvallend is dat het kwelwater uit de Bethunepolder relatief stabiel is qua samenstelling en geen seizoensafhankelijkheid kent (temperatuur uitgezonderd). Toch kunnen in periodes met zware regenval extreme condities voorkomen. In deze periodes wordt de polder extra bemalen om de neerslag af te kunnen voeren. Als voorbeelden worden in de grafieken de data 26 juni 1997, 23 juli 1997 en 27 augustus 1997 genoemd. Op deze drie dagen is een extreem hoge ijzergehalte, kleur, troebelheid en fosfaatgehalte geconstateerd. De extremen kunnen zich in zeer korte tijd (enkele uren) manifesteren. Na de regenperiode wordt in enkele dagen het gemiddelde niveau weer hersteld. Vanwege de relatief lage frequentie van de monitoring (éénmaal per twee weken bemonstering) van de genoemde parameters zal de weersinvloed op de ruwwaterkwaliteit niet altijd in de grafieken terug te vinden zijn. In de praktijk komen de genoemde extremen vaker voor dan de bovenstaande grafieken doen vermoeden.

De sterk variabele influentkwaliteit betekent ook een zeer sterk variërende vuilbelasting van de membranen. Van tijd tot tijd is de vuilbelasting zo extreem hoog dat moest worden afgeweken van het reeds vermelde spoelregime: terugspoelfrequenties moeten worden verhoogd en de flux moet worden verlaagd, om blijvende vervuiling van de membranen te voorkomen.

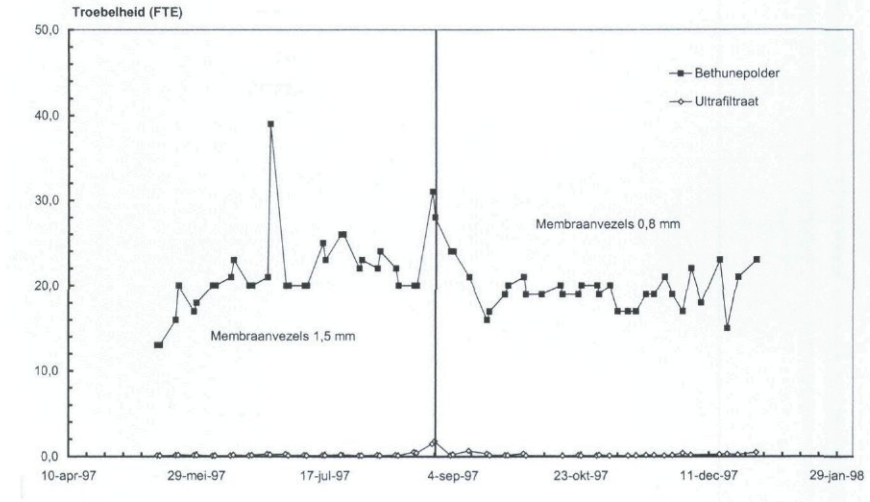
Ondanks het sterk variabele karakter van het voedingswater, blijft de filtraatkwaliteit gehandhaafd. Hieruit wordt geconcludeerd dat het ultrafiltratiemembraan functioneert als een absoluutfilter: alle aangevoerde deeltjes worden door het membraan tegengehouden, onafhankelijk van de concentratie.

De resultaten van het ultrafiltratie-onderzoek zijn vergeleken met de resultaten van de vlokvormingbezinking en dynamische vlokkingsfiltratie. Hierbij is gekeken naar de geproduceerde waterkwaliteit, het energie- en chemicaliënverbruik, leveringszekerheid, spoelwaterverlies en de kosten. De kosten voor de ultrafiltratie zijn gebaseerd op een globaal ontwerp voor een praktijkinstallatie, uitgaande van de resultaten uit het proefinstallatieonderzoek.

De tabellen 2 en 3 geven een overzicht van genoemde aspecten. Geconcludeerd wordt dat:

- ultrafiltratie een betere waterkwaliteit oplevert dan de conventionele zuiveringstechnieken;
- het chemicaliënverbruik van ultrafiltratie veel lager is, hetgeen resulteert in een aanzienlijke reductie van de slibproductie;
- het energieverbruik beduidend hoger is. Dit wordt echter deels gecompenseerd door besparingen in het vervolgproces door de betere waterkwaliteit;
- de kosten hoger zijn dan voor conventionele zuivering. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de membraankosten een grote invloed hebben op de kosten van ultrafiltratie.

Afb. 5: Troebelheid in Bethunepolderwater en ultrafiltraat.



Tabel 2: Waterkwaliteit na defosfatering.

	ultrafiltratie	dynamische vlokkingsfiltratie	vlokvorming-bezinking
temperatuur (°C)	1 - 13	1 - 13	1 - 13
zuurgraad	7,7 - 7,8	7,1 - 7,7	7,0 - 7,6
ammonium (mg/l N)	1,5 - 2,2	1,2 - 2,2	1,5 - 2,2
nitriet (mg/l N)	< 0,01	< 0,01	< 0,01
nitraat (mg/l N)	< 0,1 - 1,0	< 0,1 - 1,2	< 0,1 - 1,0
zuurstof (mg/l)	3 - 11	< 1,0 - 10	5 - 11
orthofosfaat (µg/l-P)	5 - 20	0 - 10	0 - 20
totaal fosfaat (µg/l-P)	5 - 20	10 - 40	20 - 80
deeltjesreductie (log)	2 - 3	1 - 2	1 - 2
DOC (mg/l C)	7 - 9	6 - 8	5 - 8

Nitrificatie

Voor de nitrificatie in de drie snelfilters is voornamelijk het ammoniumgehalte en het restfosfaatgehalte na de defosfateringsstap van belang. Tabel 2 geeft een overzicht van de waterkwaliteiten na de verschillende defosfateringsstappen. De ammoniumconcentratie in het kwelwater blijkt tussen de 1,5 en 2,2 mg/l te liggen. De waarden na dynamische vlokkingsfiltratie liggen iets lager, waarschijnlijk omdat ook in dit filter enige nitrificatie optreedt.

Opvallend is het verschil tussen de fosfaatgehaltes na ultrafiltratie en de andere twee defosfateringsstappen. Het fosfaatgehalte na ultrafiltratie blijkt, zoals al eerder vermeld, volledig als orthofosfaat aanwezig te zijn, terwijl het effluent van het dynamisch vlokkingsfilter en van het water na vlokvorming en bezinking vrijwel volledig uit particulair fosfaat bestaat. Het orthofosfaat is direct opneembaar voor de nitrificerende bacteriën. Derhalve zal in het navolgende snelfilter volledige nitrificatie optreden. In de snelfilters na de andere twee defosfateringstechnieken blijkt fosfaatlimitatie op te treden, en is de nitrificatie niet volledig. Dit wordt geïllustreerd in afbeelding 6. Bijkomend voordeel van ultrafiltratie is de afwezigheid van rest-ijzer en zwevende stof, waardoor extreem lange looptijden (circa één maand) van het snelfilter gerealiseerd worden.

Conclusies

Op basis van de resultaten van het proefinstallatieonderzoek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Ultrafiltratie biedt een goed alternatief voor de bestaande dubbele coagulatie. Een zeer goede waterkwaliteit wordt bereikt om een zelfreinigend effect op de waterleidingplas in stand te houden:
  - Het fosfaatgehalte wordt gereduceerd tot een gewenste richtwaarde van 10 µg/l.
  - De troebelheid wordt gereduceerd, waardoor een goed doorzicht wordt verkregen in de waterleidingplas.
- Ultrafiltratie in combinatie met een nitrificerend snelfilter kan een alternatief bieden voor uitbreiding van de rivierplassenwaterleiding, naast het reeds onderzochte alternatief van ontzanding en inrichting van een tweede waterleidingplas. ¶

LITERATUUR

Witteveen+Bos (1998). Proefinstallatie ultrafiltratie Loenderveen, Rapport nr. TECW/JHAS/rap001.def.

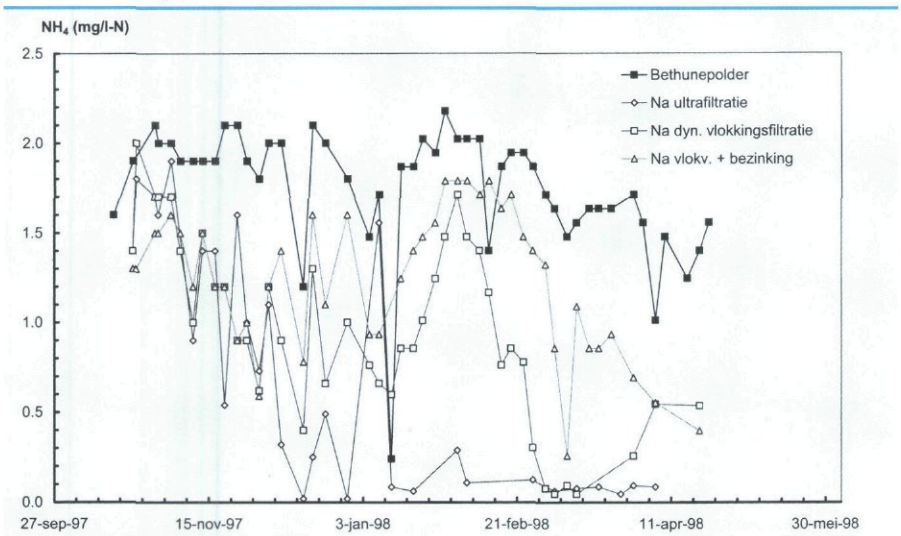
Hofman J., M. Beumer, E. Baars, J-P. van der Hoek en H. Koppers (1998). Enhanced surface water treatment by ultrafiltration. Desalination nr. 119, pag. 113-125.

Aa L. van der (1999). Nitrificatie in snelfilters, praktijkonderzoek Rivier-Plassenwaterleiding GWA en modellering, afstudeerverslag TU Delft/GWA.

Tabel 3: Vergelijking defosfateringstechnieken

Beoordelings-aspect	ultrafiltratie	dynamische vlokkingsfiltratie	vlokvorming-bezinking
energie (kWh/m³)	0,2	0,05	0,03
ijzerchloride (mg/l)	0	1 - 3	12
spoelwaterverlies (%)	10	10	-
slibproductie (ton/jaar)	-	1000	8000
leveringszekerheid	+	+	+
kosten (ct/m³)	40	35	5

Afb. 6: Ammoniumverwijdering door snelfiltratie volgend op defosfatering door ultrafiltratie, dynamische zandfiltratie en vlokvorming en bezinking.
Op 23 februari begon de dosering van fosforzuur na dynamische vlokkingsfiltratie en na vlokvorming en bezinking.



Platform

Platform-artikelen worden in principe in zwart/wit afgedrukt. Wilt u de illustraties in kleur afgedrukt zien, dan moeten wij daarvoor extra drukkosten in rekening brengen. Neem hiervoor contact op met de redactie. Platform-artikelen worden in de regel, als de redactie ze accepteert, na ongeveer een maand geplaatst.

Op de redactie ligt een handleiding die ingaat op de opbouw van deze artikelen en de wijze waarop ze ingeleverd moeten worden. De maximale lengte bedraagt drie pagina's (2000 woorden), waarbij op iedere pagina één illustratie geplaatst kan worden.
Wees kritisch met het gebruik van tabellen en grafieken. Deze nemen vaak veel ruimte in, zijn niet altijd verhelderend en zorgen voor saaie pagina's die niet goed opgemaakt kunnen worden.