Verlaging van kleur en hardheid met nanofiltratie op pompstation Hammerflier (WMO)



ING. J. A. M. VAN PAASSEN
Waterleidingmaatschappij Overijssel NV



B. M. RIETMAN
Waterleidingmaatschappij Overijssel NV



J. VERDOUW
Kiwa NV Onderzoek en Advies



DR. IR. M. M. NEDERLOF
Kiwa NV Onderzoek en Advies

Samenvatting

De WMO wordt op diverse grondwaterpompstations geconfronteerd met hoge gehaltes kleur en hardheid. Voor de zuivering van dergelijk grondwater heeft de WMO gekozen voor nanofiltratie omdat de techniek economisch concurrerend is en flexibeler dan een conventionele zuivering met pelletontharding en actieve-koolfiltratie. Omdat in Nederland nog geen ervaring bestond met toepassing van nanofiltratie op dergelijk grondwater heeft de WMO sinds 1994 proefinstallatie-onderzoek uitgevoerd om de ontwerpgrondslagen voor een praktijkinstallatie te toetsen en om vast te stellen in hoeverre membraanvervuiling optreedt.
Bij aanvang van het proefinstallatie-onderzoek met een opbrengst van 90% en een dosering van zwavelzuur en anti-scalant bleek binnen 24 uur onomkeerbare membraanvervuiling op te treden.
Het onderzoek heeft laten zien dat de membraanvervuiling voor een belangrijk deel veroorzaakt werd door irreversibele adsorptie van NOM aan het membraanoppervlak en door biofouling als gevolg van de dosering van chemicaliën. Naar aanleiding van deze onomkeerbare vervuiling kiest de WMO een ander type membraan. Ook is een chemisch zuivere kwaliteit van het te doseren zuur nodig om biofouling op de membranen te voorkomen.
De lozing van het concentraat stuitte op bezwaren bij de oppervlaktewaterbeheerder vanwege de hoge gehaltes sulfaat en anti-scalant. Om tegemoet te komen aan de oppervlaktewaterbeheerder is gekozen voor dosering van alleen zoutzuur in plaats van een combinatie van zwavelzuur en anti-scalant. Dit heeft als consequentie dat de opbrengst van de nanofiltratie beperkt wordt tot 80%, netto wordt 10% van het opgepompte water als concentraat afgevoerd.

Inleiding

De Waterleiding Maatschappij Overijssel NV (WMO) produceert een aanzienlijk deel van haar totale drinkwater uit grondwater. Op een tiental pompstations van de WMO worden hoge gehaltes aan kleur en hardheid waargenomen (zie tabel I). In een aantal gevallen is ook sprake van een hoog chloridegehalte. Hoewel deze in het reine water niet de norm overschrijdt, gebeurt dit wel in een aantal putten.
Op dit moment heeft de WMO een ontheffing voor de pompstations (6 stuks, zie tabel I) waar de kleur van het reine water de huidige norm van 20 mg/l Pt overschrijdt. Naar verwachting wordt deze norm echter bij de herziening van het Waterleidingbesluit verlaagd naar 15 mg Pt/l en dan zal de norm voor kleur op nog eens vier pompstations worden overschreden.
De hardheid na ontharding moet volgens het huidige Waterleidingbesluit [1] minimaal 1,5 mmol/l zijn, na herziening van het Waterleidingbesluit mag naar verwachting onthard worden tot 1,0 mmol/l. De WMO anticipeert op deze ontwikkelingen door ernaar te streven aan de consumenten in haar voorzieningsgebied drinkwater te leveren met een hardheid van 1,5 mmol/l. Verdere verlaging van de hardheid tot 1,0 mmol/l wordt overwogen wanneer de herziening van het Waterleidingbesluit van kracht wordt.
De WMO geeft er de voorkeur aan de kleur verder te verlagen tot < 10 mg Pt/l met het oog op het comfort van de consument.

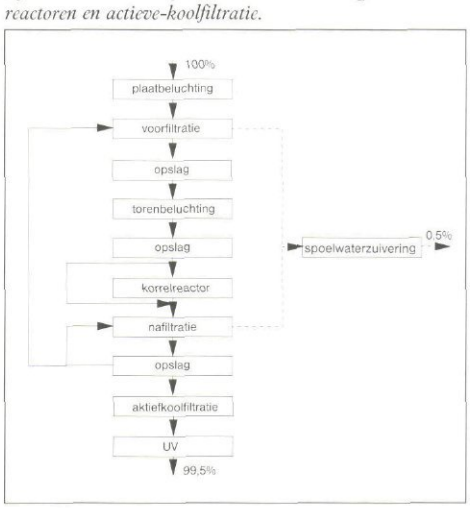
TABEL I – *WMO-pompstations met hoge kleur en hoge hardheid en/of hoog (en stijgend) chloridegehalte in het grondwater.*

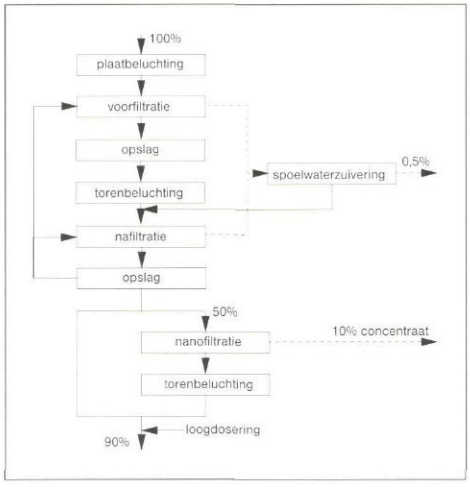
Pompstation	Kleur mg/l Pt	Hardheid mmol/l	Chloride mg/l
Boerhaar	17	2,4	71
Dalfsen	> 20	2,1	–
Denekamp	20	2,6	–
Ceintuurbaan (Deventer)	18	–	116
Zutphenseweg (Deventer)	17	–	104
Diepenveen	22	–	86
Hammerflier	18	2,2	–
St. Jansklooster	25	2,5	–
Staphorst	21	2,2	–
Witharen	20	2,5	–

Pompstation Hammerflier

Een van de pompstations (tabel I) waar de problemen met kleur en hardheid spelen is Ps. Hammerflier. Het pompstation is in 1992 gebouwd, waarbij de WMO er vanuit ging dat de verwijdering van kleur en hardheid met conventionele technieken gerealiseerd zou worden [2]. Het pompstation is uitgevoerd als een provisorium met een capaciteit van 1,2 miljoen m^3 per jaar.
De zuivering is uitgevoerd met actieve-koolfiltratie voor de kleurverwijdering (scenario A in afb. 1). Op termijn zou de zuivering uitgebreid worden met korrelreactoren voor ontharding [3]. De WMO wil in 2001 de winvergunning van 5 miljoen m^3 per jaar benutten en stond voor de vraag of bij de uitbreiding van dit pompstation het conventionele scenario gerealiseerd moest worden of dat nanofiltratie een beter alternatief zou zijn.
Om diverse redenen is de implementatie van nanofiltratie voor de gecombineerde verwijdering van kleur en hardheid aantrekkelijk. Ten eerste werd ingeschat dat een zelfde of zelfs betere waterkwaliteit te realiseren was tegen lagere kosten [4]. Vooral de wens om een kleur van < 10 mg Pt/l te realiseren heeft bij de conventionele zuivering met actieve-koolfiltratie korte looptijden van de actieve-koolfilters (regeneratie eens per 8 maanden) tot gevolg.
In de VS zijn reeds enkele nanofiltratie-installaties gerealiseerd voor de verwijdering van kleur en hardheid uit grondwater. Door recente ontwikkelingen op het

Afb. 1a - Scenario A, conventionele zuivering met korrelreactoren en actieve-koolfiltratie.





Afb. 1b - Scenario B, nanofiltratie op voorgezuiverd grondwater (nafiltraat).

gebied van membraanfiltratie zijn de retenties verbeterd en is er een groter aanbod van membranen beschikbaar [5]. Ten opzichte van conventionele technieken heeft membraanfiltratie nog het voordeel dat het modulair gebouwd kan worden. Uiteindelijk werd besloten om het scenario met nanofiltratie in een deelstroom van circa 50% (scenario B in afb. 1) door een proefinstallatie-onderzoek te toetsen.
Hoewel bijna alle installaties in de VS ruw grondwater behandelen [6], heeft de WMO gekozen voor nanofiltratie van nafiltraat, omdat problemen verwacht werden met neerslag van ijzer; het ruwe water bevat namelijk 25 mg/l ijzer.
Intussen is een definitief besluit voor de realisatie van nanofiltratie genomen.
Doordat de WMO ook ervaring heeft met conventionele technieken (conventionele ontharding op Ps. St. Jansklooster) was de WMO in staat om de afweging tussen een conventionele zuivering en membraanfiltratie te toetsen aan de hand van kwantitatieve gegevens.

In een volgend artikel is deze afweging beschreven, die gemaakt is aan de hand van een brede set criteria, de zogenaamde Criteria en Meetlatten voor de Drinkwater en Ander water Voorziening (CRIME-DAV) [7].

Doelstellingen onderzoek

Omdat nanofiltratie in Nederland nog niet wordt toegepast voor de drinkwaterproductie wilde de WMO op semi-technische schaal ervaring opdoen met de techniek en ontwerpgrondslagen toetsen voor de praktijkinstallatie. Bij aanvang van het onderzoek is een aantal doelstellingen geformuleerd voor de kwaliteit van het product, de bedrijfsvoering van de installatie en de realisatie in de praktijk. Vooral de membraanvervuiling en de bestemming van het concentraat verdiende bijzondere aandacht.
Wat betreft de kwaliteit gaat het om de antwoorden op de volgende vragen:
- welke kwaliteit van het product is te verwachten (kleur, hardheid)?
- wat is het chemicaliëngebruik (zuur en anti-scalant)?
- wat is de biologische stabiliteit van het product?

Voor de bedrijfsvoering:
- is behandeling in deelstroom mogelijk en wat is de eventuele nabehandeling?
- wat is de optimale bedrijfsvoering (retentie, flow, opbrengst)?
- wat is de aard en snelheid van eventuele membraanvervuiling, in relatie tot een reinigingscriterium?
- wat is de beste strategie om vervuiling te voorkomen en hoe zijn de membranen te reinigen?

Voor de verdere realisatie van nanofiltratie:
- wat zijn de ontwerpgrondslagen van de praktijkinstallatie (programma van eisen)?
- hoe verhoudt nanofiltratie zich tot conventionele zuivering met pelletontharding en actieve-koolfiltratie?
- welke bestemmingen zijn mogelijk voor het membraanconcentraat?

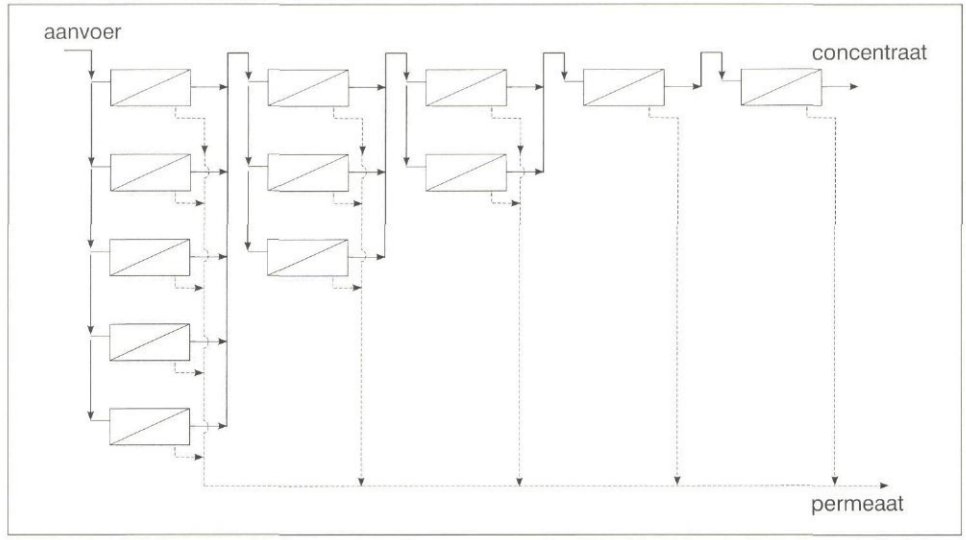
Opzet proefinstallatie-onderzoek

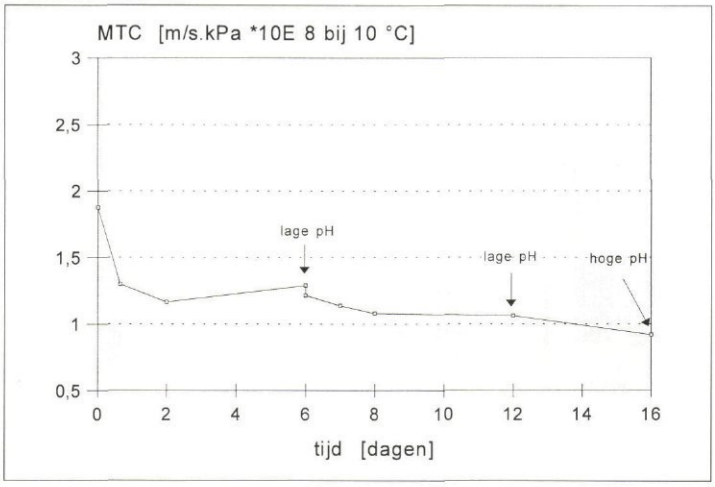
Om het scenario met nanofiltratie te onderzoeken werd een 5-traps proefinstallatie gerealiseerd met een capaciteit van 8 m^3/h (zie schema afb. 2). De proefinstallatie bestaat achtereenvolgens uit twee bufferreservoirs van elk 16 m^3 voor het opvangen van nafiltraat van Ps. Hammerflier, een kaarsenfilter, de nanofiltratie-installatie en een opvangreservoir voor productwater.
In eerste instantie werd gekozen voor een zo hoog mogelijke opbrengst, 90% van de voeding. De reden hiervoor is dat de WMO het verlies aan grondstof zo veel mogelijk wil beperken. De grondwateronttrekkingen staan onder druk in het kader van de verdrogingsproblematiek, waardoor een uitbreiding van de winvergunning niet te verwachten is. Bovendien wordt (ook voor het deel dat geloosd wordt) een heffing betaald van f 0,34 /m^3. De keuze van een opbrengst van 90% heeft als consequentie dat dosering van zuur en anti-scalant noodzakelijk is om scaling van $CaCO_3$ te voorkomen. In eerste instantie werd de installatie bedreven met een dosering van 2 mg/l anti-scalant en 70 mg/l zwavelzuur tot een pH van 6,7.
Ook werd op basis van projectieberekeningen (modelberekeningen) een selectie gemaakt tussen commercieel leverbare nanofiltratiemembranen. Doordat de membranen in eigenschappen (retentie en werkdruk) verschillen, kan een membraantype gekozen worden dat het beste past bij het te behandelen nafiltraat [8]. Uiteindelijk is op basis van kwaliteit van het permeaat, kwaliteit van het concentraat, het chemicaliënverbruik, het energieverbruik, ondersteuning door de leverancier en de beschikbaarheid van experimentele gegevens voor één type membraan gekozen (hier type A genoemd).

De eerste resultaten: een dramatische membraanvervuiling

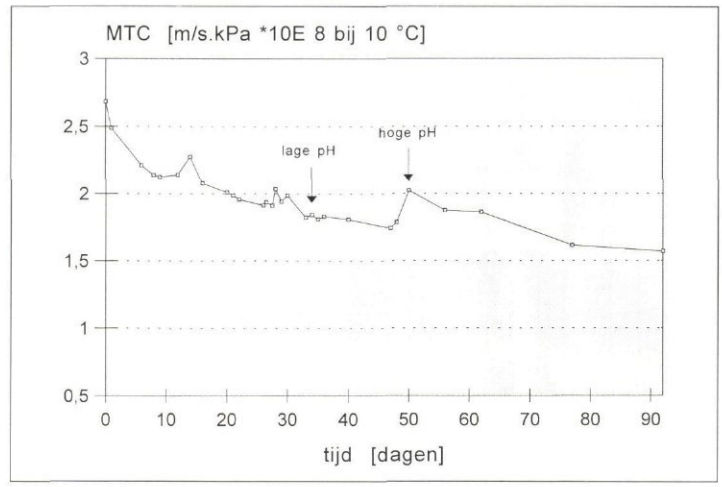
Binnen 24 uur waren de membranen zeer sterk vervuild, de productie nam met liefst 30% af. In afbeelding 3 is de productie van de installatie (genormaliseerd naar temperatuur en druk) uitgezet in de vorm van MTC (massa transport coëfficiënt) als functie van de tijd.
Op zich is een geringe daling van de MTC na opstarten van nieuwe membranen normaal. Een daling van 30% is echter onacceptabel, zeker als men bedenkt dat een daling van 15% veelal als reinigings-

Afb. 2 - Schema van de 5-traps proefinstallatie.





Afb. 3 - Genormaliseerde flux als functie van de tijd bij een opbrengst van 90% en dosering van 70 mg/l zwavelzuur en 2 mg/l anti-scalant (membraantype A).



Afb. 4 - Genormaliseerde flux als functie van de tijd bij een opbrengst van 90% en dosering van 70 mg/l zwavelzuur en 2 mg/l anti-scalant (membraantype A, nieuwe partij).

criterium wordt gehanteerd. Ook na reinigingen met achtereenvolgens fosforzuur (dag 7), citroenzuur (dag 13) en EDTA bij pH van 11 blijft de MTC dalen. Naar aanleiding van deze resultaten is met een testbank met één membraanelement uitvoerig onderzocht wat de oorzaak van deze vervuiling kon zijn.
Na zorgvuldige experimenten waarbij verschillende mogelijkheden uitgetest zijn is geconcludeerd dat een belangrijke oorzaak van de vervuiling lag in de eigenschappen van het membraanmateriaal zelf [9]. Dit werd vooral duidelijk toen bij membraanelementen van hetzelfde type, maar uit een andere partij veel minder vervuiling optrad. Tijdens overleg met de leverancier van de membraanelementen bleken er wijzigingen in het productieproces te hebben plaatsgevonden.
Op basis van deze ervaringen heeft de WMO geconcludeerd dat een goede ingangscontrole van membraanelementen noodzakelijk is en dat alternatieve type membranen in het onderzoek betrokken moeten worden.

Vervuiling van membranen: het mysterie ontrafeld

Ook na vervangen van de vervuilde elementen in de proefinstallatie door nieuwe, waren de vervuilingsproblemen niet opgelost. In afbeelding 4 is de MTC als functie van de tijd weergegeven voor de nieuwe partij elementen van type A. Ook hier is een belangrijke daling van de MTC te zien, zij het minder dan in afbeelding 3. Uiteindelijk is vastgesteld dat de vervuiling drie belangrijke oorzaken had:
- neerslag van ijzer;
- microbiologische activiteit;
- adsorptie van NOM aan het membraanoppervlak.

In principe werden geen problemen met neerslag van ijzer op het membraan verwacht door de dubbele snelfiltratie als voorzuivering. Het ijzergehalte van het nafiltraat is gemiddeld < 0,03 mg/l. Echter, door de bedrijfsvoering van het pompstation, treedt een variatie op in ijzergehalte, MFI en troebelheid van het nafiltraat.
De MFI varieert overwegend tussen 2,5 en 4 s/l^2 maar kent uitschieters naar maximaal 8 s/l^2. Optimalisatie van de voorzuivering waarbij constant lage waarden van ijzer, MFI en troebelheid worden gerealiseerd, is dan ook gewenst [10].
Hierbij moet opgemerkt worden dat wanneer alleen ijzer de oorzaak van de membraanvervuiling is, deze met een reiniging van citroenzuur volledig te verwijderen is. Het feit dat de vervuiling onomkeerbaar is, betekent dat ook andere factoren een rol spelen bij de vervuiling.
Doordat verschillende reinigingen uiteindelijk weinig effect hebben is besloten om met XPS (X-ray Photo-electron Spectroscopy) te laten onderzoeken welke verbindingen daadwerkelijk op het membraanoppervlak aanwezig zijn. Hieruit blijkt dat vooral organische componenten uit het voedingswater irreversibel aan het oppervlak zijn geadsorbeerd. Interactie van NOM met dit membraanmateriaal leidt dus tot irreversibele vervuiling. Deze vervuiling is alleen te voorkomen door een ander membraanmateriaal te selecteren met veel minder NOM interactie.
Bij het verwijderen van de elementen werd een slijmerige massa aan de kopse kanten van het membraan geconstateerd. Bovendien leken er draden te ontstaan bij het doseerpunt van chemicaliën. Dit wijst op microbiologische activiteit door het doseren van chemicaliën (zuur en anti-scalant). In principe zou dit kunnen liggen aan een specifieke interactie van het voedingswater met deze chemicaliën waardoor voor bacteriën gunstige groei-omstandigheden ontstaan. In eerste instantie is echter gekeken naar de groeibevorderende eigenschappen van de gedoseerde chemicaliën zelf. Dit onderzoek wordt afzonderlijk gepubliceerd. Belangrijkste conclusie was dat zowel de gebruikte anti-scalant als het gebruikte zuur leiden tot een verhoging van het AOC-gehalte van circa 10 µg Ac-C eq/l tot maximaal 140 µg Ac-C eq/l (AOC is een maat voor groeipotentie [11]). Op basis hiervan is besloten af te zien van het gebruik van anti-scalant en chemisch zuiver zuur te gebruiken in plaats van zuur van een technische kwaliteit.

Kwaliteit product en bestemming van het geproduceerde concentraat

Ondanks de membraanvervuiling voldoet de kwaliteit van het permeaat bij een opbrengst van 90% aan de verwachting. De retenties voor hardheid en kleur zijn respectievelijk 89 en 98% (tabel II).

TABEL II - *De kwaliteit van het voedingswater na zuurdosering en de kwaliteit van het permeaat uit de proefinstallatie (opbrengst 90%, membraantype A).*

Parameter	Eenheid	Voeding	Permeaat
Temperatuur	°C	12,5	13
pH		6,6	5,9
EGV	mS/m	43	9
CO_2	mg/l	62	63
HCO_3	mg/l	133	26
Cl	mg/l	20	7
SO_4	mg/l	81	< 5
Ca	mg/l	74	8
Mg	mg/l	4	0,4
TH	mmol/l	1,9	0,2
DOC	mg/l	6,8	0,3
UV (254 nm)	m^{-1}	18	1,5
Kleur	mg/l Pt	15	1

In tabel III is de samenstelling van het concentraat gegeven. Van belang hierbij zijn de hoge gehaltes anti-scalant (20 mg/l) en sulfaat (690 mg/l) als gevolg van doseringen.
Overleg met het waterschap Regge en Dinkel en zuiveringsschap West Overijssel

leverde een duidelijk signaal op dat zowel de anti-scalant- als de sulfaatgehaltes ongewenst hoog waren en de verlening van een vergunning zouden kunnen verhinderen.
Verder werd duidelijk dat vroegtijdig overleg gewaardeerd wordt en dus is aan te bevelen. De WMO kan grotendeels aan de bezwaren van de oppervlaktewaterbeheerder tegemoet komen door de anti-scalant achterwege te laten en over te stappen op dosering van 86 mg/l zoutzuur in plaats van 70 mg/l zwavelzuur (tabel III). De consequentie hiervan is dat de opbrengst van de nanofiltratie wordt verlaagd van 90% naar 80% van de voeding.

TABEL III – *Samenstelling van het concentraat bij een opbrengst van 90% en dosering van zwavelzuur en anti-scalant (a) en bij een opbrengst van 80% en dosering van zoutzuur (b).*

Parameter	Eenheid	Concentraat a 0,25 Mm^3/j	Concentraat b 0,5 Mm^3/j
pH		7,3	6,8
HCO_3	mg/l	930	360
Cl	mg/l	105	385
SO_4	mg/l	690	40
TH	mmol/l	16	9
DOC	mg/l	60	35
Kleur	mg/l Pt	120	60
CZV	mg/l O_2	164	90
N-Kjeldahl	mg/l N	3,2	1,9

Ontwerpgrondslagen praktijkinstallatie

De volgende maatregelen leiden tot een stabiele productie gedurende langere tijd:
- ander membraan (type B);
- een opbrengst van 80%;
- dosering van 70 mg/l chemisch zuiver zoutzuur tot een pH van 6,3 zonder anti-scalant.

In afbeelding 5 is op basis van testbank-onderzoek (opbrengst 20%) te zien dat met dergelijke instellingen de MTC gedurende langere tijd (160 dagen) stabiel blijft.
In tabel IV is op basis van berekeningen de verwachte watersamenstelling van de voeding (nafiltraat), permeaat nanofiltratie en de gedistribueerde kwaliteit weergegeven, de kwaliteit van het reine water voldoet aan de normen die de WMO stelt.

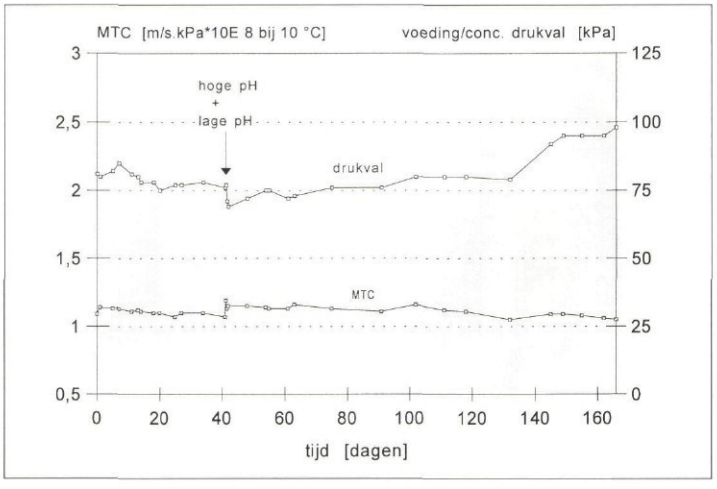
TABEL IV – *Verwachte watersamenstelling van nafiltraat, permeaat en rein water na beluchten en pH correctie bij een opbrengst van 80% en dosering van zoutzuur (membraantype B). Cu_{max} is een berekende waarde van het koperoplossend vermogen na 16 uur stilstand.*

Parameter	Eenheid	Nafiltraat	Permeaat	Rein water
pH		7,8	5,8	7,9
CO_2	mg/l	6	83	3
HCO_3	mg/l	200	27	137
Cl	mg/l	20	43	32
SO_4	mg/l	8	< 5	6
Ca	mg/l	76	27	53
Mg	mg/l	4	1,2	2,6
TH	mmol/l	2,1	0,8	1,5
Kleur	mg/l Pt	17	1	9
Cu_{max}	mg/l			0,7
SI				0,1

Uitgaande van het feit dat het spoelwater van de snelfilters wordt hergebruikt, wordt uiteindelijk 10% van de onttrekking geloosd als concentraat (afb. 1).
De investeringen die met de zuivering van Ps. Hammerflier gemoeid zijn, bedragen 41 miljoen gulden voor een capaciteit van 5 miljoen m^3. De exploitatiekosten zijn naar schatting f 1,65 per m^3 geleverd drinkwater.

Protocol

Mede op basis van het uitgevoerde onderzoek bij de WMO is een protocol opgesteld voor de aanpak van de realisatie van nanofiltratie op een volgend pompstation:
- toetsen van de ruw watersamenstelling aan de gewenste rein watersamenstelling;
- afwegen van mogelijke scenario's met behulp van criteria CRIME-DAV;
- formuleren onderzoeksvragen, in dit stadium nadenken over mogelijke knelpunten voor de (lozings)vergunningen;
- eerste keuze maken voor bedrijfsvoering en membraanleverancier (en minimaal één alternatief) op basis van projectieberekeningen en andere (bovengenoemde) criteria;
- testbankonderzoek met één of twee membraanelementen ter bevestiging van projecties, eerste inschatting van vervuilingsproblemen, en indien van toepassing beoordelen van het functioneren van de voorzuivering;
- proefinstallatie-onderzoek op representatieve schaal gericht op de performance van alle trappen en de vervuiling/reiniging op langere termijn;
- terugkoppelen met de uitgangspunten en het uitwerken tot het uiteindelijke ontwerp;
- 'fine tuning' in de praktijkinstallatie.



Afb. 5 - Genormaliseerde flux als functie van de tijd bij een opbrengst van 20% (testbank) en dosering van 86 mg/l zoutzuur (membraantype B).

Wensen voor de nabije toekomst

Mede uit de vergelijking van het conventionele scenario met het nanofiltratie scenario [7] is geconcludeerd dat vooral de milieuaspecten nadere aandacht verdienen.
Verbetering is mogelijk door:
- verhogen van de opbrengst waardoor de grondstof optimaal wordt benut;
- verlagen van het chemicaliënverbruik door het reduceren van het zuurgebruik en/of gedeeltelijk vervangen door een geschikte anti-scalant die niet leidt tot biofouling en die leidt tot een watersamenstelling van het concentraat die nog beter aan de wensen van het waterschap voldoet;
- verlagen van het energiegebruik door de inzet van lage druk nanofiltratiemembranen;
- op een volgende locatie de mogelijkheid te onderzoeken van het behandelen van anaëroob grondwater.

Hoewel een aantal verbeteringen en kostenbesparingen mogelijk zijn, zijn er geen belemmeringen meer die implementatie van nanofiltratie op Ps. Hammerflier in de weg staan.

Verantwoording

Het project is uitgevoerd door een projectteam bestaande uit de auteurs en begeleid door een projectgroep met brede vertegenwoordiging uit de WMO om alle aspecten van membraanvervuiling tot ontwerp goed tot hun recht te laten komen.
Het project is ondersteund door Waterleidingbedrijf Friesland en mede uitgevoerd in het kader van het gezamenlijk onderzoeksprogramma van de waterleidingbedrijven.
De heren Hiemstra van WMO en Kruithof en Schippers van Kiwa worden bedankt voor het kritisch doornemen van het concept van dit artikel.

Literatuur

1. *Waterleidingbesluit* (1984). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, 220: 1-35.
2. Hiemstra, P. (1990). *Zuiveringstechnisch ontwerp proefinstallatie Hammerflier,* H_2O (23) 1990, nr. 23, p. 456-459.
3. Merks, C. W. A. M. en Nederlof, M. M. (1995).

• *Vervolg op pagina 361.*

per m^3 geproduceerd drinkwater lager zijn, scoort nanofiltratie op het criterium 'economie' toch hoger. Dit komt doordat bij het conventionele scenario de exploitatiekosten snel stijgen wanneer de kleur van het grondwater in de praktijk hoger uitvalt dan de aangenomen waarde. De financiële consequenties van een verhoogde kleur zijn bij nanofiltratie veel beperkter doordat de deelstroomverhouding eenvoudig aangepast kan worden.
'Landschap' heeft een laag gewicht en de voorkeur voor nanofiltratie voor 'landschap' heeft dan ook nauwelijks effect op de eindscore. Deze voorkeur wordt veroorzaakt door de compacte bouw en het geringere ruimtegebruik.
Vooral bij de subcriteria 'productie herbruikbaar afval' en 'bestuurlijk en maatschappelijk draagvlak' waren de meningen over conventioneel of nanofiltratie nogal verdeeld.

Meer aandacht voor milieu

De keuze van de WMO voor nanofiltratie op pompstation Hammerflier is onderschreven in de panelsessie. Opvallend is wel de lagere score van nanofiltratie voor 'milieu'. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het concentraat. De subcriteria 'grondstoffenverbruik' en 'beïnvloeding milieu-compartimenten' scoren laag doordat het concentraat op oppervlaktewater wordt geloosd. Wanneer de milieubezwaren van nanofiltratie kunnen worden verminderd, zal het scenario in totaal beter gaan scoren. Een brede gebiedsgerichte benadering van de concentraatlozing kan een positieve bijdrage aan de waardering voor milieu geven. Als het concentraat namelijk geloosd wordt met het effluent van een afvalwaterzuivering, waar ook het drinkwater uiteindelijk op terecht zou komen, is het netto-effect, met uitzondering van de toevoegingen, veel minder groot dan bij een willekeurig lozingspunt. Door een zorgvuldige locatiekeuze van het lozingspunt hoeft 'beïnvloeding milieucompartimenten' niet negatief te scoren.
Wanneer de milieuaspecten hoger scoren zal automatisch ook het draagvlak verbeteren.

Verbreding draagvlak

Uit andere studies is bekend dat de samenstelling van het panel van invloed is op de toekenning van de gewichten [Grondwaterbeheer Midden Nederland, 1992]. Het kan daarom raadzaam zijn om een dergelijke afwegingssessie niet alleen te beperken tot vertegenwoordigers van het eigen bedrijf, maar bijvoorbeeld ook overheden, milieuorganisaties e.d. hierbij uit te nodigen. Verwacht mag worden dat de uiteindelijke keuze dan een breder draagvlak geniet.

CRIME-DAV met panelsessie: nuttige systematiek

Het enthousiasme bij de WMO'ers over de methodiek was erg groot. De waarderingsmethode op zich is niets nieuws (multicriteria analyse). Echter door de opzet in de vorm van een panelsessie, het direct verwerken per computer van de scores, het bediscussiëren van scores en gewichten, leidt ertoe dat aan het eind van de sessie (in een dag) een integrale keuze kan worden gemaakt uit enkele zuiveringsscenario's. Uiteraard is een goede voorbereiding van de sessie van belang.
De panelsessie heeft voor de WMO duidelijk gemaakt, dat men met de keuze voor nanofiltratie op de goede weg zit. Bij de verdere uitwerking zullen vooral de milieuaspecten een rol spelen. Het panel kwam tot de conclusie dat de methodiek geschikt is voor het afwegen van scenario's en beslissingen binnen de WMO, met name ook in het stadium van planvorming.

Literatuur

Grondwaterbeheer Midden Nederland (1992). *Een nieuw evenwicht, Grondwaterbeheer Midden Nederland,* Rapport van de Stuurgroep. Lelystad, 6 november 1992.
Nieuwenhuyze, R. F. van en Rotterdam, J. J. van (1996). *Instrumentarium voor de duurzame veiligstelling van de drinkwatervoorziening (1). CRIME-DAV: een nieuwe set criteria en meetlatten voor het maken van keuzes.* H_2O (29) 1996, nr. 24, p. 704-707.
Nederlof, M. M. e.a. (1996). *Membraanfiltratie: een integrale afweging van succesfactoren en valkuilen.* Kiwa-rapport SWI 96.201, december 1996.
Paassen, J. A. M. van e.a. (1997). *Verlaging van kleur en hardheid met nanofiltratie op pompstation Hammerflier.* H_2O (30) 1997, nr. 11, p. 362 e.v.
Sombekke, H. D. M. e.a. (1996). *Ps. Hammerflier: verwijdering van kleur en hardheid, conventioneel of nanofiltratie.* Kiwa-rapport SWI 96.200, december 1996.

● ● ●

Hammerflier

• *Slot van pagina 365.*

Stand van zaken ontharden in korrelreactoren in Nederland. Kiwa-rapport SWE 95.001.
4. Merks, C. W. A. M., Nederlof, M. M. en Brink, H. (1996). *Korrelreactoren voor ontharding; membraanprocessen voor gecombineerde problemen, verslag Kiwa workshop 'Ontharden in de toekomst'.* H_2O (29) 1996, nr. 29, p. 283-285.
5. Watson, I. and Hornburg, C. D. (1989). *Lowenergy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking water supplies.* Desalination 72: 11-22.
6. Morin, O. J. (1994). *Membrane Plants in North America,* Journal American Water Works Association 86: 42-54.
7. Sombekke, H., Paassen, J. A. M. van, Rotterdam, J. J. van en Nederlof, M. M. (1997). *Toepassing van CRIME-DAV bij WMO voor keuze zuivering op Hammerflier.* H_2O (30) 1997, nr. 11, p. 358 e.v.
8. Fu, P., Ruiz, H., Thompson, K. and Sprangenberg, C. (1994). *Selecting membranes for removing NOM and DBP precursors.* Journal American Water Works Association, 86: 55-72.
9. Rietman, B. M. en Verdouw J. (1996). *Start onderzoek nanofiltratie Hammerflier: een waardevolle ervaring of een kostbaar fiasco?* Kiwa-rapport SWI 96.138.
10. Schippers, J. C. en Verdouw, J. (1980). *The Modified Fouling Index, a method of determining the fouling characteristics of water.* Desalination 32: 137-148.
11. Kooij, D. van der (1992). *Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth.* Journal American Water Works Association, 84: 57-65.

● ● ●

Vennen

• *Slot van pagina 370.*

Oisterwijk. I. De vennen in het westelijk gedeelte. Hugo de Vrieslaboratorium, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
Lancaster, J., Real, M., Juggins, S., Monteith, D. T., Flower, R. J. and Beaumont, W. R. C. (1996). *Monitoring temporal changes in the biology of acid waters.* Freshw. Biol. 36: 179-201.
Leuven, R. S. E. W., Kersten, H. L. M., Schuurkes, J. A. A. R., Roelofs, J. G. M. and Arts, G. H. P. (1986). *Evidence for recent acidification of lentic soft waters in The Netherlands.* Water, Air, Soil Poll., 30: 387-392.
Marnette, E. C. L., Houweling, H., Dam, H. van and Erisman, J. W. (1993). *Effects of decreased atmospheric deposition on the sulfur budgets of two Dutch moorland pools.* Biogeochemistry, 23: 119-144.
Mol, A. W. M. (1986). *Overzicht van hydrobiologische literatuur in Noord-Brabant.* RIN-rapport 86/4. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
Nijpels, E. H. T. M. (1987). *Tussentijdse evaluatie verzuringsbeleid.* Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer/Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Ministerie van Landbouw, 's-Gravenhage.
Nijpels, E. (1989). *Bestrijdingsplan verzuring: de problematiek van de verzuring.* Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1988-1989 18 225, nr. 31. SDU, 's-Gravenhage.
Oliver, B. G., Thurman, E. M. and Malcolm, R. L. (1983). *The contribution of humic substances to the acidity of colored natural waters.* Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 2031-2035.
Reuss, J. O. and Johnson, D. W. (1986). *Acid deposition and the acidification of soils and waters. Springer, New York.*
RIVM (1993). *Milieurendement van het NMP-2: aanvulling op de nationale milieuverkenning 3.* Samsom H. D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
RIVM (1995). *Milieubalans 95.* Samsom H. D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
Schuurkes, J. A. A. R., Kok, C. J. and Hartog, C. den (1986). *Ammonium and nitrate uptake by aquatic plants from poorly buffered and acidified waters.* Aquat. Bot., 24: 131-146.
Schuurmans, C. J. E. (1977). *Meteorologische aspecten van de droge zomer van 1976.* H_2O, (10) 1977, p. 178-180.
Shaffer, P. W., Hooper, Eshleman, R. P. K. N. and Church, M. R. (1988). *Watershed vs in-lake alkalinity generation: a comparison of rates using input-output studies.* Water, Air, Soil Poll., 39: 263-273.
Skjelkvåle, B. L., Newell, A. D., Raddum, G., Johannessen, M., Hovind, H., Tjomsland, T. and Wathne, B. (1994). *The six years report: Acidification of surface water in Europe and North America.* Dose/response relationships and long-term trends. Norwegian Institute for Water Research, Oslo.
Siegel, S. (1956). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences.* McGraw-Hill, New York.
Verkaar, D., Duuren, L. van en Schaminée, J. (1992). *De internationale betekenis van Nederland voor hogere planten op grond van biografische gegevens.* De Levende Natuur 93: 34-39.
Zadelhoff, E. van and Lammers, W. (1995). *The Dutch ecological network.* Landschap, 12: 77-88.

● ● ●