



Gert Reijnen, Waterleiding Maatschappij Limburg
Wen Akkermans, Waterleiding Maatschappij Limburg

Biologisch-adsorptieve ontijzering op pompstation Susteren

De ontijzering in de voorfilters van pompstation Susteren van Waterleiding Maatschappij Limburg vindt plaats bij pH-waarden van 6,65 tot 6,95. De ontijzering is vanaf het begin gevoelig geweest voor wisselingen in de productie. De troebelheid van het geproduceerde drinkwater is relatief hoog en varieert sterk door de productieschakelingen. Het is gelukt de concentratie ijzer en de troebelheid van het voorfiltraat te verlagen én de productie te verhogen door de compressorbeluchting in de toevoerleiding te vervangen door een zuurstofdoserings van 5 mg/l in een gaskap in de snelfilters. Daardoor komen minder slecht filterbare ijzerdeeltjes in het filtraat. Het verhogen van de troebelheid na het filterspoelen en na het inschakelen van de filters neemt tevens af wanneer de filters worden nagespoeld met bedexpansie. Een grote verbetering van de ontijzering wordt bereikt met een gelijkmatige productie.

In Susteren wint Waterleiding Maatschappij Limburg grondwater uit twee goed beschermde watervoerende pakketten van de Roerdalslenk. Het grondwater is zeer zacht, weinig gebufferd (laag HCO₃-gehalte) en de pH is laag. Het bevat enkele milligrammen ijzer en lage concentraties mangaan en ammonium. Het water is zuurstofloos en bevat geen nitraat, methaan en zwavelwaterstof (zie tabel 1). De samenstelling is daardoor gunstig voor biologische en adsorptieve ontijzering^{1),3),4),10)}.

De huidige zuivering dateert van 1967 en bestaat uit dubbele filtratie. Deze is zeer eenvoudig en robuust uitgevoerd en gedimensioneerd voor een productie van zes miljoen kubieke meter drinkwater per jaar. De onderwaterpompen vormen de enige pompfase. De voorfiltratie bestaat uit 16 stalen voorfilters van 5 m². Ze waren gevuld met 1,6 meter gebroken grind met een doorsnede van 0,8 tot 1,5 millimeter, dat was aangegroeid met 30 tot 50 gew. %. De nafilts zijn ingericht als beluchtings- en ontgassingstorens voor pH-verhoging door verwijdering van de kooldioxide. Ze zijn daartoe gevuld met grof grind (4 tot 8 millimeter doorsnede) en worden opwaarts doorstroomd met lucht. In een looptijd neemt de filtratieweerstand van de voorfilters toe van 10 kPa na het

spoelen tot 80 kPa aan het einde van de looptijd (1 à 8 mWk). In de loop der jaren werd de looptijd verlengd van 40 naar 80 uren vanwege waterbesparing. Met compressoren werd met een eenvoudige nippel lucht in de toevoerleiding van de filters gebracht. Een ontluchtingspot bovenin elk filter zorgde voor afvoer van de overtollige lucht en een constant waterniveau boven de filterbedden. Dit

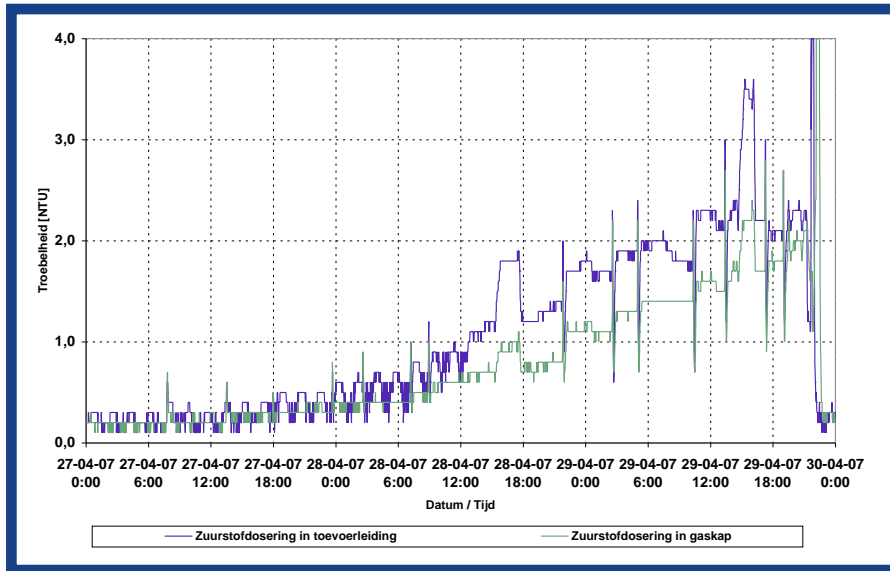
Tabel 1: Door Waterleiding Laboratorium Zuid berekende gemiddelde samenstelling van het grondwater van Susteren in de periode 2001-2008.

parameter	concentratie
Fe totaal (mg/l)	2,9
Fe gefiltreerd (mg/l)	2,5
Mn (mg/l)	0,05
NH ₄ (mg/l)	0,05
NO ₃ (mg/l)	<0,5
SO ₄ (mg/l)	5,9
pH-range	6,65-6,95
HCO ₃ (mg/l)	78
Ca (mg/l)	18,4
Mg (mg/l)	2,9
tH (mmol/l)	0,6
EGV (mS/m)	13
T (°C)	13

beluchtingsstelsel vergde veel onderhoud door ijzerafzettingen. Het voorfiltraat wordt via een verzamelleiding omhoog gebracht naar de vier nafilts en verdeeld over het filteroppervlak met plaatsproeiers. Mangaan werd altijd volledig verwijderd (<0,01 mg/l) en de concentratie ijzer in het productwater lag

Tabel 2: Aantallen deeltjes in voorfiltraat van het proeffilter per grootte klasse en berekende totale deeltjesvolume per klasse in procenten van het totale berekende deeltjesvolume. Gemiddelde waarden over gehele meetperiode.

deeltjes-grootte (µm)	gemiddeld aantal deeltjes (n/ml)	relatieve aandeel deeltjes-volume (%)
1-2	970	6,5
2-3	35	1,5
3-4	6	0,5
4-5	3	0,5
5-7	1,5	0,5
7-10	1	1,5
10-15	1,5	6
>15	10	83
totaal	1030	100



Afb. 1: De troebelheid vermindert als zuurstof wordt gedoseerd in een gaskap boven in een gesloten snelfilter.

tussen < 0,01 en 0,05 mg/l. Wel varieerde de troebelheid sterk en was deze gemiddeld hoog. Toen de norm voor de troebelheid van drinkwater in het Waterleidingbesluit 2001 op 1 FTU werd gesteld, werd deze enkele malen overschreden. Klachten over bruin water in de pendelzones aan de rand van het voorzieningsgebied bleken vooral te worden veroorzaakt door ijzer, want de verhouding tussen ijzer en mangaan in spui monsters lag op circa 1 op 0,014.

Verbeteren van de zuivering

Verhoging van de productie voor het leveren van zachter water aan Maastricht⁸⁾ en renovatie van de technische installatie waren aanleiding na te gaan of de zuivering technisch kan worden geoptimaliseerd. De nagestreefde doelen waren een verlaging van de troebelheid, een verdere vermindering van de afgifte van ijzerdeeltjes aan het net en een vermindering van het onderhoud aan de zuivering en het distributienet.

Als 'ideale' zuivering werd gedacht aan ontijzering door zuurstofdoserings en voorfiltratie in de bestaande stalen filterketels, gevuld met nieuw grind van 0,8 à 1,2 millimeter, gevolgd door een pH-verhoging door versproeiing en 'natte' nafiltratie met fijn grind (0,4 à 0,8 millimeter) voor ontmanganing en verwijdering van ijzerdeeltjes uit het voorfiltraat. De

fijne grindfractie maakt naspoelen met bedexpansie met uitvoerbare technische aanpassingen mogelijk (40 m/h). Voor de noodzakelijke verdere pH-verhoging naar 7,8 werd gedacht aan 'echte' beluchtings- en ontgassingstorens na de nafiltratie. Alternatief was deze torens tussen de voor- en nafilts te plaatsen. Dat zou door de hogere pH in principe gunstig zijn voor de ontmanganing, maar zou wel weer leiden tot meer onderhoud door vervuiling van de beluchtingstorens.

Experimenten

Experimenten met de voorfiltratie werden uitgevoerd met proef- en referentiefilters van de praktijkinstallatie. Voor onderzoek van de nafiltratie met fijn grind werd een proefilter met een doorsnede van 600 millimeter gebruikt, gevoed met filtraat van een geoptimaliseerd voorfilter.

Zuurstofdoserings

De zuurstofdoserings in de toevoerleiding veranderde weinig aan het verloop van de ontijzering en de troebelheid ten opzichte van de compressorbeluchting met het oude grind⁶⁾. Een verlaging van de troebelheid werd later met nieuw grind bereikt door zuurstof te doseren in een gaskap bovenin een gesloten stalen snelfilter (zie afbeelding 1). Van beide filters werd vooraf de toevoerleiding gereinigd om losspoelen van

ijzer daaruit te voorkomen. Na het spoelen wordt aanvankelijk niet alle toegevoerde zuurstof opgelost. De niet-opgeloste zuurstof vormt in vele uren de gaskap. Als de gaskap zo groot is geworden dat het water uit de toevoerleiding op een spatplaat valt, wordt alle toegevoerde zuurstof volledig in het water opgelost. Het vallende water zorgt voor de mengenergie. De gaskap blijft dan gelijk, tot een filterschakeling het evenwicht verstoort. Om te voorkomen dat de bovenkant van het filterbed droog komt te staan, is er een niveaugestuurde ontluuchting gemaakt. Instelbare waarden voor een hoog en een laag niveau zorgen dat de gaskap binnen de gewenste niveaus blijft. Een bijkomend voordeel is dat de frequente reiniging van doseernippels en ontgassingspotten van 16 filters niet meer nodig is. Daarmee worden 300 manuren per jaar bespaard.

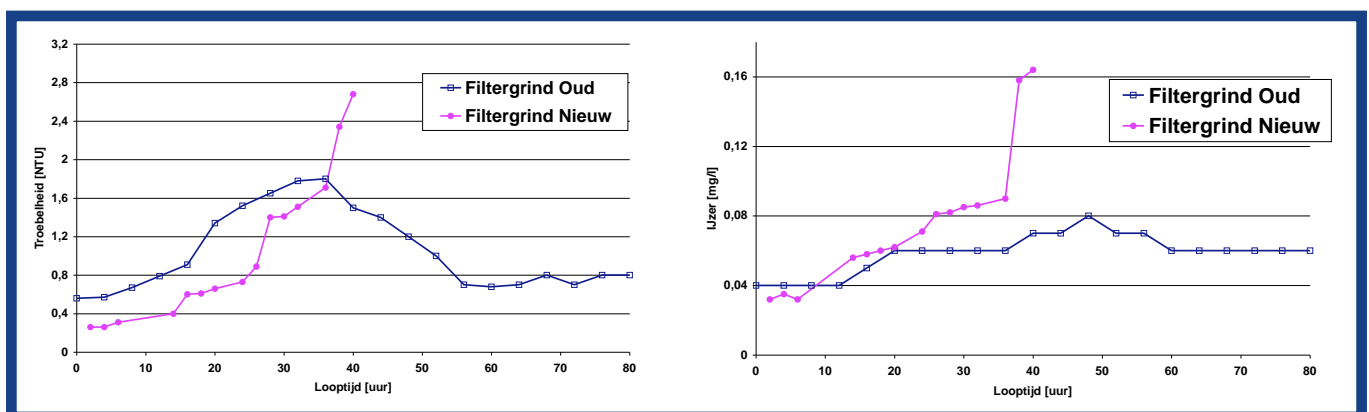
Nieuw filtergrind

Nieuw filtergrind met een doorsnede van 0,8 à 1,2 millimeter veranderde aanvankelijk het verloop van de troebelheid en de concentratie ijzer ongunstig (zie afbeelding 2). De troebelheid van het filtraat was na het spoelen weliswaar circa 50 procent minder, maar begon al snel te stijgen tot ver boven 1 FTU. De filtratieweerstand nam aanvankelijk nauwelijks toe. Bij het oude grind nam de troebelheid aanvankelijk ook flink toe, maar daalde deze na een looptijd van ruim 30 uren weer onder 1 FTU, tegelijk met een toename van de filtratieweerstand.

Looptijd en spoelproces

Door naspoelen met bedexpansie, met 40 in plaats van 30 meter per uur, nam het spoelrendement van het in de voorafgaande looptijd gefiltreerde ijzer toe van 60 naar 75 procent. De troebelheid werd daardoor significant verlaagd. Deze was na het spoelen lager, minder gevoelig voor de bedrijfsvoering en nam bij een looptijd van ongeveer 40 productie-uren minder toe (zie afbeelding 3). Om te zien of een langere looptijd ook met nieuw grind haalbaar zou zijn, werd deze verlengd. Na een looptijd van circa 40 uren nam de troebelheid weer af, tegelijk met het stijgen van de filtratieweerstand (zie afbeelding 4). Bepaling van Fe²⁺ en Fe³⁺ toonde aan dat de ontijzering geheel in de bovenlaag plaatsvindt. Ook de toename van de filtratieweerstand vindt in de bovenlaag plaats. Het gaat

Afb. 2: De troebelheid en de concentratie ijzer namen bij nieuw grind aanvankelijk sterk toe en beperkten daarmee de looptijd.



kennelijk om koekfiltratie die gunstig is voor de ontijzering. Omdat bij het filter met de gaskap geen zwevende stof werd aangetoond in het bovenwater, wordt verwacht dat de koek ontstaat door aangroei van deeltjes met ijzeroxiden in de bovenlaag van het filter.

Zuurstofconcentratie

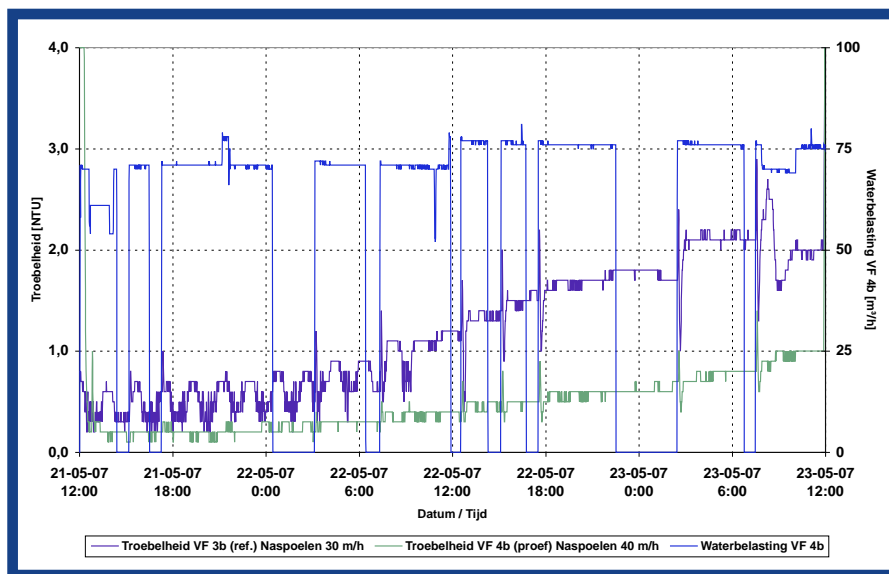
Bij dosering van 1 mg/l zuurstof moest het proeffilter na een looptijd van 60 uren worden gespoeld vanwege de hoge filtratieweerstand. Verhoging van de dosering tot 5 mg/l zuurstof maakte een langere looptijd mogelijk (90 tot 100 uur). De concentratie ijzer in het filtraat bedroeg daarbij gemiddeld over de looptijd 0,017 mg/l. Het verder verhogen van de zuurstofconcentratie tot 10 mg/l leidde tot een verdubbeling van de gemiddelde concentratie ijzer in het filtraat: 0,035 mg/l. Op de mogelijke verklaring hiervoor wordt nog teruggekomen bij de bespreking van het ontijzeringsmechanisme.

Bedrijfsvoering

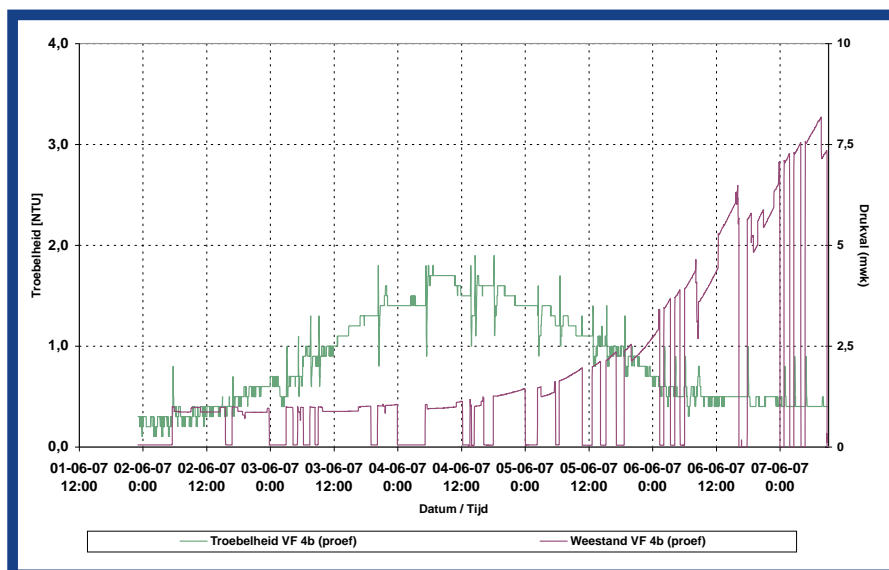
Zeer belangrijk voor de zuivering van Susteren is ook een gelijkmatige waterbelasting van de filters. Bij elke snelheidsverhoging, na het filterspoelen of bij verhoging van de productie, is de troebelheid enige tijd verhoogd. Ook deeltjestelling laat dit zien (zie tabel 3¹¹). De hoogte en de duur van de verhogingen van de troebelheid zijn wel sterk afgenomen door het nieuwe grind en de nieuwe bedrijfsvoering. Een gelijkmatige belasting van de filters leidt sinds eind 2007 tot een significante verlaging van de troebelheid en het ijzergehalte van het reine water (zie afbeelding 5). Een gelijkmatige productie vindt momenteel al plaats door optimaal gebruik te maken van de (productie- en distributie)reservoirs. Wanneer het prognoseprogramma OPIR (Optimale Productie door Intelligente Regeling) operationeel wordt, leidt dit automatisch tot een gelijkmatige productie⁸.

Ontmanganing

De ontmanganing verloopt niet meer zoals vroeger volledig in de voorfilters (restgehalte 0,01 à 0,02 mg/l). Een oorzaak kan zijn dat de oude filterbedden een groter specifiek oppervlak hadden door het vele fijne gruis tussen het grind. De lagere pH (circa 0,15 eenheden) en de lagere concentratie zuurstof door het vervangen van de compressorbeluchting door zuurstofdosing, kunnen ook een oorzaak zijn. De droge nafilten verwijderen het resterende mangaan echter tot minder dan 0,01 mg/l. Filtratie met fijner grind levert geen betere ontmanganing op en verlaagt de troebelheid en de concentratie ijzer niet meetbaar¹³. Na continue deeltjestelling gedurende vijf dagen bleek dat het filtraat van het natte nafilten met fijn grind gemiddeld minder deeltjes bevatte dan het filtraat van een praktijk nafilten¹¹ (zie tabel 3). De oorzaak is echter dat het proeffilter continu werd gevoed met een constante waterbelasting, waardoor veel minder deeltjespieken optraden. De droge nafilten waren tijdens de deeltjesanalyse continu in bedrijf met de toen nog grote variaties in filterbelasting. De



Afb. 3: Naspoelen van een voorfilter met bedexpansie verlaagt de troebelheid sterk en vermindert de gevoeligheid voor productie



Afb. 4: Bij een langere looptijd neemt ook bij nieuw grind na verloop van tijd (productie-uren) de troebelheid weer af, tegelijk met een toename van de filtratieweerstand.

bestaande droge nafiltratie wordt daarom gehandhaafd met een zo constant mogelijke waterbelasting gedurende een etmaal. De 'ideale' zuivering blijkt dus niet nodig voor het verbeteren van de zuivering. Verbeteren van de voorfiltratie is voldoende, met zuurstofdosing in een gaskap, voorfilters met grind van 0,8 tot 1,2 millimeter, nagespoeld met bedexpansie én een gelijkmatige filterbelasting.

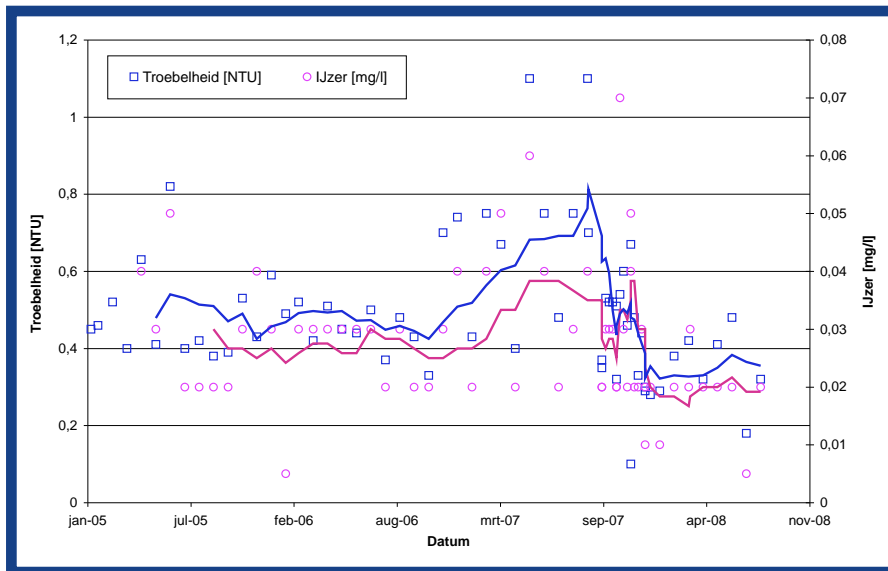
Mechanisme ontijzering

Maar, hoe zijn de resultaten te verklaren? Welke mechanisme(n) is (zijn) belangrijk voor de ontijzering?

Voor de ontijzering zijn drie mechanismen bekend: flocculente, adsorptieve of autokatalytische én biologische ontijzering^{1,5,9}. Samengevat komt het er op neer dat drie mechanismen, min of meer in competitie

Tabel 3: Aantallen deeltjes, gemiddeld over hele meetperiode en tijdens pieken alsmede de tijdsduur van de pieken, voor de proef met het voorfilter, de praktijk met het nafilten en het proef met het nafilten.

filtraat	gemiddeld aantal deeltjes totaal (n/ml)	gemiddeld aantal deeltjes tijdens alle pieken (n/ml)	relatieve tijdsduur pieken (%)
proef met voorfilter	1.030	4.900	16
praktijk nafilten	600	2.700	11
proef met nafilten continue belasting	255	2.600	4



Afb. 5: Eind 2007 nam de troebelheid en de concentratie ijzer van het water fink af door een gelijkmatiger productie. De renovatiewerkzaamheden in 2006 en 2008 hadden aanvankelijk geen ongunstig effect op de waterkwaliteit.

met elkaar, ijzer kunnen verwijderen. Het relatieve aandeel van elk mechanisme wordt onder meer bepaald door de pH. Beneden een pH-waarde van 7 zijn vooral de biologische en de adsorptieve ontijzering dominant. De biologische ontijzering kan de adsorptieve bevorderen⁴⁾. De zuurstofconcentratie is een belangrijke stuurparameter.

Discussie

In Susteren, waar de pH tijdens de ontijzering ligt in de range 6,65 à 6,95, speelt flocculente ontijzering vermoedelijk geen kwantitatieve rol. De pH is te laag voor een snelle oxidatie van Fe^{2+} en de tijd tussen de toevoer van zuurstof in het bovenwater en de filtratie is kort (korte vooroxidatietijd). En als flocculente ontijzering een rol speelt, is de pH zeer ongunstig voor de vlokvorming en zullen slecht filtreerbare ijzer(hydr)oxidecolloïden worden gevormd⁹⁾. Of dat een oorzaak is van het grote aantal kleine deeltjes in het filtraat (zie tabel 2) is niet bekend. Kleine deeltjes kunnen ook afgebroken ijzerdraden zijn, gevormd door *Gallionella* bacteriën. Tevens komen periodiek deeltjes uit de onverwacht sterk vervuilde terreinleidingen in de voorfilters. Dat blijkt uit het kleine aandeel filtreerbaar ijzer in het ruwe water (zie tabel 1).

Omdat het spoelwater van de voorfilters in Susteren grote aantallen *Gallionella ferruginea*-draden bevat (telling WLN: gemiddeld 65×10^6 ijzerdraden per liter) en de toename van de filtratieweerstand minder wordt door verhogen van de zuurstofconcentratie van 1 naar 5 mg/l, een fenomeen dat ook Czekalla⁴⁾ vaststelde, lijkt het aannemelijk dat in Susteren de door Czekalla getypeerde 'Gallionella-ontijzering' optreedt: vorming van ijzer(hydr)oxidatedraden door intracellulaire ontijzering en adsorptieve ontijzering op deze draden, met als gevolg minder compacte ijzerafzettingen bij een hogere concentratie zuurstof. De verklaring is dan dat er bij een hogere zuurstofconcentratie een verschuiving optreedt van biologische naar adsorptieve ontijzering. Door het stoppen van de zuurstofdoser

kon in Susteren worden gemeten dat de ontijzering na drie uur nog nagenoeg volledig was (restconcentratie variërend tussen < 0,01 en 0,06 mg/l). Daarna nam de concentratie ijzer langzaam toe tot 0,2 mg/l na vijf uur. Daarna werd de proef gestopt. Er is dus een aanzienlijke adsorptiecapaciteit van Fe^{2+} . Dat wijst er op dat ook adsorptieve ontijzering een aandeel in de ontijzering zal hebben. Of biopolymeren de adsorptie bevorderen door biokatalyse¹²⁾ kan met een dergelijke proef niet worden vastgesteld.

De bedrijfsvoering die in Susteren een goede ontijzering en een flinke looptijd oplevert, wijkt af van die welke over het algemeen in België en Frankrijk als gunstig voor (zuivere?) biologische ontijzering wordt aangegeven en onder meer wordt toegepast in Lomé (Frankrijk) en Balen (Belgie) en is beproefd in Dalen (Drenthe⁹⁾): een lage concentratie zuurstof (<1 mg/l), grof filtermateriaal en een niet intensieve spoeling^{11,9)}. Een effectieve zuurstofconcentratie in Susteren is circa 5 mg/l en een intensieve spoeling met bedexpansie verlaagt de deeltjesafgifte naar het net. De ijzerverwijdering in een looptijd is weliswaar lager dan in Lomé, Balen en Dalen en bedraagt 'slechts' twee kg Fe/m², tegen bijvoorbeeld acht kg Fe/m² bij experimenten in Dalen. De looptijd is echter acceptabel met 80 tot 90 uren, evenals het spoelwaterverbruik voor de voorfilters: 1,2 procent. Gunstig is dat er nog enige ontmangning in de voorfilters van Susteren optreedt (van 0,05 naar 0,01-0,02 mg/l). In de literatuur wordt aangegeven dat ontmangning en biologische ontijzering niet samengaan.

Conclusie

Zekerheid over de mechanismen die een rol spelen bij de ontijzering in Susteren, is er niet. Het is echter aannemelijk dat adsorptieve ontijzering een rol speelt, op niet te kwantificeren manier versterkt door biologische en biokatalytische ontijzering. Maar de praktijk is dat de doelen zijn bereikt: de ontijzering is verbeterd, het onderhoud

is verminderd met circa 300 uren per jaar en mogelijk wordt de aangroei van het grind beperkt door een hoger spoelrendement. Wellicht is het grootste voordeel van biokatalytische ontijzering op ijzerdraden van *Gallionella ferruginea* nog wel dat daardoor minder ijzer(hydr)oxiden op het grind worden afgezet en daarmee de uitspoelbaarheid wordt vergroot. Wellicht verklaart dat het gebruik van het oude grind gedurende bijna 40 jaar.

LITERATUUR

- 1) Van Bennekom C. en D. de Ridder (2006). Biologische ontijzering: een literatuur screening. Kiwa Water Research. BTO-rapport 2006.074.
- 2) Bruins J., H. Wolters en G. Wubbels (1998). *Gallionella ferruginea*: 'lust of last'? H₂O nr. 7, pag. 20-24.
- 3) Cromphout J. (1993). Design and operation of a 24000 m³/day groundwater production plant based on bacterial iron removal. European filtration congress.
- 4) Czekalla C. (1988). In situ-Analyse der physiologischen und filtrations-technischen Leistung von Eisen- und Manganbacterien in Schnellfilteranlagen der Trinkwasseraufbereitung. Dissertatie.
- 5) Lerk C. (1965). Enkele aspecten van de ontijzering van grondwater. Dissertatie.
- 6) Reijnen G. en M. Hermans (2003). Zuurstof doseren op PS Susteren. Verslag experimenten in 2003. WML. Intern rapport.
- 7) Reijnen G. e.a. (2008). Aanpassing zuivering Susteren: systeemkeuze. WML. Intern rapport.
- 8) Reijnen G. en R. Cuijpers (2008). Zachter water in Maastricht. H₂O nr. 5, pag. 18-20.
- 9) Ridder D. de, J. Bruins, K. Huisman en J. Kappelhof (2008). Biologische ontijzering aantrekkelijk voor grondwaterwinningen met twee filtratiestappen. H₂O nr. 16, pag. 14-15.
- 10) Sharma S. (2001). Adsorptive Iron removal from Groundwater. IHE. Dissertatie.
- 11) Siegers W., A. Abrahamse en G. Reijnen (2007). Rapportage deeltjesmetingen bij WML. Kiwa Water Research. Bedrijfsgerichte deelrapportage BTO-onderzoek Klasseke zuivering.
- 12) Stuyfzand P. (2007). Naar een effectieve diagnose, therapie en presentatie van chemische put- en drainverstopping. H₂O nr. 8, pag 44-47.
- 13) Van der Veldt D., G. Reijnen en L. Palmen (2008). Proefonderzoek optimalisatie Susteren. WML. Intern rapport.