

RO-concentraatbehandeling met continue zandfilters

Sytze Terwisscha van Scheltinga (Witteveen+Bos), Weren de Vet (Oasen), Hans Wouters (Brightwork), Ronald van der Berg (Logisticon)

Drinkwaterbedrijf Oasen gaat de komende jaren op verschillende locaties anaerobe reverse osmosis (RO) toepassen in de drinkwaterproductie. Het bedrijf onderzoekt daarom diverse mogelijkheden om de concentraatstroom die daarbij wordt geproduceerd duurzaam en verantwoord te verwerken. Eén optie is een zuivering in eigen beheer. Op het zuiveringsstation (ZS) Lekkerkerk is hiervoor onder andere continue (biologische) zandfiltratie van het RO-concentraat onderzocht, als voorbehandeling voor lozing op de rivier de Lek. Het proefonderzoek duurde van februari tot juli 2013 en is begeleid door Witteveen+Bos, Brightwork, Logisticon en Nordic Water. De hier gepresenteerde onderzoeksresultaten laten zien dat het toepassen van continue zandfilters vooral voor de nitrificatie van RO-concentraat van een grondwaterzuivering veelbelovend is.

Oasen kiest om diverse redenen voor RO in de drinkwaterproductie: ontharding, ontzouting en de verwijdering van organische microverontreinigingen. De komende jaren zal op zeker twee zuiveringsstations RO worden gerealiseerd en daarnaast wordt de mogelijkheid van directe zuivering van oppervlaktewater met RO op nieuwe, decentrale locaties onderzocht. Voor ZS Lekkerkerk heeft concentraatverwerking in een AWZI de voorkeur, maar het in eigen beheer zuiveren van het concentraat is een interessant alternatief. Op dit zuiveringsstation is onderzocht of het concentraat biologisch gezuiverd kan worden ter verwijdering van ijzer en ammonium, zodat het op het oppervlaktewater geloosd kan worden. In dit kader is er vanaf begin 2012 onderzoek gedaan op ZS Lekkerkerk, waar anaeroob grondwater in een RO-installatie wordt gezuiverd. Deze installatie draait met een voedingscapaciteit van 60 m³/uur en een recovery van 80%.

Het ruwwater heeft een hardheid van ca. 2,5 mmol/l, hoge concentraties ammonium (ca. 5 mg/l NH₄) en ijzer (ook ca. 5 mg/l) en een methaangehalte van rond de 1 mg/l. Het permeaat gaat naar het drinkwaterproductieproces en het concentraat (12 m³/uur) wordt behandeld om het te mogen lozen op de Lek. Met de 80% recovery van de RO bedragen de ammonium- en ijzerconcentraties in het concentraat elk ongeveer 25 mg/l. Van de lozingseisen (zie tabel 1) is het voldoen aan de norm voor ammonium (< 3,0 mg/l NH₄-N) de grootste opgave. Voor ijzer geldt geen norm, maar onvolledige ontijzering kan het nageschakelde nitrificatieproces verstoren door belasting met ijzer(oxiderende bacteriën).

In het onderzoek zijn de continue zandfilters parallel geschakeld aan een tweede zuiveringsstraat, die als referentie diende. In de referentiestraat werd het concentraat gezuiverd door middel van beluchting, flocculatie en lamellenbezinking voor de ontijzering en een beluchte bioreactor voor de nitrificatie.

Proefopstelling continue zandfilters

Afbeelding 1 toont een foto van de continue zandfilters (type Dynasand). Nitrificatie treedt pas op na het realiseren van vergaande ontijzering. Daarom zijn ontijzering en nitrificatie gescheiden in twee opeenvolgende filterstappen. De nitrificatie vond plaats in twee parallelle continue zandfilters, zodat er voldoende capaciteit was voor het omzetten van ammonium.



Afbeelding 1. Proefinstallatie continue zandfilters op ZS Lekkerkerk

Het principe van continue zandfilters berust op continue spoeling van een deel van het filtermedium waardoor het filter niet uit bedrijf hoeft te worden genomen. Continue filters worden opwaarts doorstroomd. De drijvende kracht achter de continue spoeling is een air-lift systeem, dat ervoor zorgt dat 'vuil' zand van onder in het filter omhoog wordt gebracht. Boven in het filter, in de zogenoemde zandwasser, krijgt het zand de ruimte om weer te bezinken, waarbij een klein gedeelte van het filtraat langs het zand stroomt, het vuil meeneemt en vervolgens afvoert. Het zand uit de zandwasser valt boven op het filterbed. Door het continue proces van het wegzuigen van zand onder uit het filter en het terugvoeren van schoon zand boven op het filterbed hoeft het filterproces niet te worden onderbroken.

De voeding van het continue ontijzeringsfilter werd belucht met zowel een persluchtinjectie als een cascade om het methaan voldoende te strippen en om voldoende zuurstof in te brengen voor de ontijzering. Belasting van een nat filterbed met methaan kan namelijk leiden tot sterke groei en ophoping van methaanoxiderende bacteriën in het filterbed. Om die reden houdt Oasen voor het natte filterbed een maximale methaanbelasting aan van 0,1 mg/l, zoals gewoon is in de bedrijfstak [1]. In dit onderzoek is gekozen voor procescondities waarbij de chemische vooroxidatie en vlokvorming minimaal en de (bio)adsorptieve oxidatie van ijzer maximaal zijn. Dit is gedaan door een korte verblijftijd te realiseren tussen beluchting en filtratie van maximaal 90 seconden. Dit wijkt af van de gangbare procesopzet voor ontijzering met continue zandfilters, bestaande uit vier processtappen: beluchting/coagulatie, vlokmiddeldosering met statische menging, geroerde vlokvorming en continue ontijzeringsfiltratie. Vanwege de gunstige resultaten met de zeer robuuste droge (hoogbelaste, biologische) filtratie in de reguliere grondwaterontijzering geeft Oasen voor de concentraatbehandeling de voorkeur aan ontijzering in één processtap. Bovendien maakt dit een compactere installatie mogelijk.

In alle drie de filters was een beluchtingsring in het filterbed geplaatst om extra lucht te kunnen inbrengen. De intensiteit van de zandcirculatie in de filters werd aangestuurd door de voedingsdruk. Daarnaast was het mogelijk om de zandcirculatie discontinu in te stellen door de

luchttoevoer naar de air-lift te onderbreken, bijvoorbeeld met een tijdschema van 20 minuten spoelen per twee uur.

Resultaten en discussie

Algemene prestaties

Tabel 1 geeft de lozingseisen weer, en de feitelijke concentraties van deze en nog enkele andere lozingsparameters in het onbehandelde concentraat en in het filtraat van de nitrificatiefilters. Uit deze gegevens blijkt dat er ruim aan de lozingseisen werd voldaan, behalve voor ammonium. De ammoniumconcentratie in het filtraat lijkt hoog. Dit komt doordat tabel 1 gemiddelde waarden bevat, gebaseerd op de totale testperiode, dus inclusief de inwerktijd van de nitrificatiefilters. Om er zeker van te zijn dat het op de Lek geloosde concentraat altijd aan de eisen voldeed, werd het filtraat van de nitrificatiefilters tijdens de gehele testperiode ook nog naar de andere concentraatbehandelingsstraat (met beluchting/flocculatie/lamellenbezinking en de bioreactor) verpompt voor verdere behandeling.

Tabel 1. Lozingseisen en samenstelling van het onbehandelde RO-concentraat en van het filtraat van de continue nitrificatiefilters

parameter	eenheid	lozingseis	onbehandeld concentraat RO	gemiddelde in filtraat nitrificatiefilters
chloride	mg/l	3.100	480-600	514
ammonium	mg/l N	3,0	16 - 23	8,0 ¹
totaal fosfaat	mg/l P	1,0	3 - 6	0,3
CZV	mg/l O ₂	50	30 - 40	23
onopgeloste bestanddelen	mg/l	30	30 - 80 (na beluchting)	7,9
pH	-	6 < pH < 9	7,5 - 7,7	7,6
ijzer	mg/l	-	24 - 28	0,9
methaan	mg/l	-	0,6 - 1,2	0,0
EGV	mS/m	-	288 - 334	300
saturatie index	-	-	1,3 - 1,4	1,2
calcium	mg/l	-	380 - 430	406

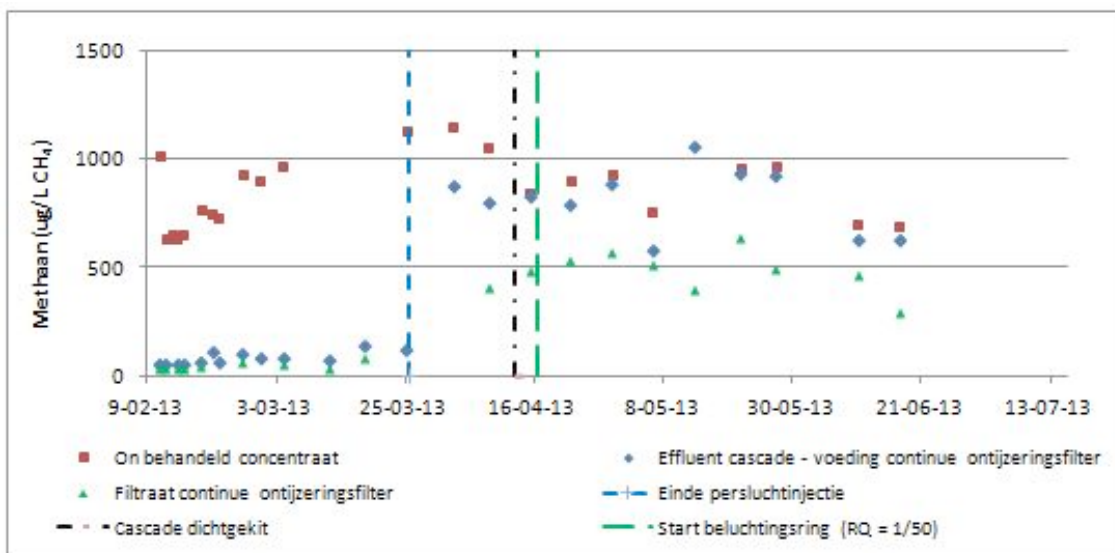
¹) gemiddelde waarde, inclusief inwerktijd (nog geen vergaane nitrificatie)

Methaanverwijdering

De methaanverwijdering heeft op geen enkel moment enig aanwijsbaar probleem in de concentraatbehandeling opgeleverd. De gemeten methaanconcentraties in het onbehandelde concentraat en voor en na het continue ontijzeringsfilter zijn weergegeven in afbeelding 2.

Tijdens de persluchtinjectie werd > 92% van het opgebrachte methaan in de cascade gestript. Na het uitschakelen van de persluchtinjectie en het vervolgens dichtkitten van de cascade – om de (bio)adsorptieve oxidatie van ijzer te stimuleren – werd het continue ontijzeringsfilter belast met vrijwel al het in het concentraat aanwezige methaan. Tijdens de passage van het filter

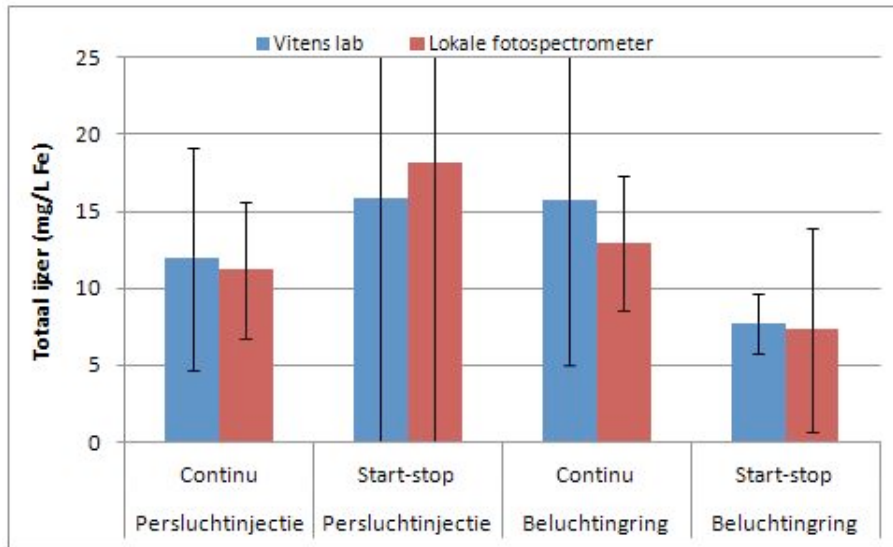
werd methaan nauwelijks verwijderd, ondanks (beperkte) beluchting via de beluchtingsring in het filter. Methaanoxiderende bacteriën groeiden volgens moleculaire analyses (qPCR) maar zeer beperkt in het filter, ondanks de aanwezigheid van methaan en (micro)aerobe condities. Dat methaan in een natfilter niet biologisch geoxideerd wordt maar ijzer wèl, is eerder beschreven [2].



Afbeelding 2. Methaanconcentraties in het concentraat, in het effluent van de cascade (= influent continue ontijzeringsfilter) en in het filtraat van het continue ontijzeringsfilter, gedurende de gehele onderzoeksperiode

Ijzerverwijdering

De ijzerverwijdering in het continue ontijzeringsfilter heeft op geen enkel moment de beoogde effluentkwaliteit (van 0,5 mg/l Fe) opgeleverd, zie afbeelding 3. In deze figuur is de gemiddelde ijzerconcentratie in het filtraat van het ontijzeringsfilter bij de verschillende procesvoeringen weergegeven. Met discontinu spoelen (start-stop systeem) is geprobeerd om koekfiltratie te krijgen, waardoor ijzervlokken efficiënter zouden kunnen worden afgevangen, maar dit had niet het gewenste resultaat. Daarna is de persluchtinjectie uitgeschakeld en is de cascade dichtgemaakt om de vooroxidatie van ijzer te beperken en om de (bio)adsorptieve ontijzering te stimuleren. Uit afbeelding 3 blijkt dat ook dit de ijzerverwijdering niet verbeterde. De ijzerdoorslag werd structureel nooit lager dan 30-40% van het opgebrachte ijzer (gemiddeld 26 mg/l Fe).



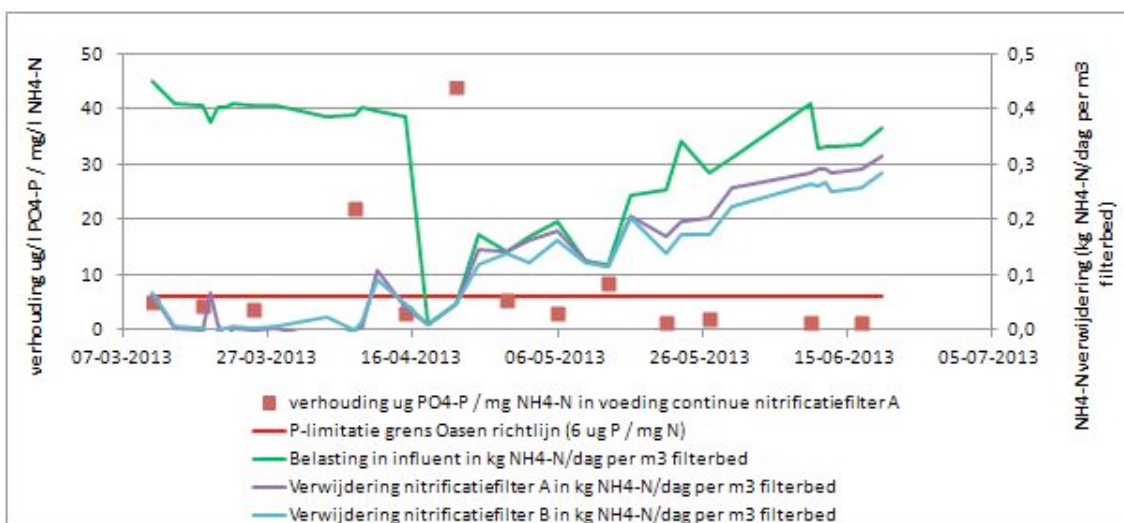
Afbeelding 3. Gemiddelde en standaarddeviatie totaal ijzer in filtraat continue ontijzeringsfilter voor verschillende procesinstellingen tijdens het onderzoek; 'Continu' = continue zandcirculatie en 'Start-stop' = discontinue zandcirculatie

Microbiële analyses (celtellingen) wezen uit dat de biologische ijzeroxidatie door *Gallionella* bacteriën in het continue ontijzeringsfilter beduidend geringer was dan in de hoogbelaste droge biologische filters die Oasen getest heeft op ruw grondwater. Uit analyses van het filtermateriaal bleek dat 81% van het verwijderde ijzer in het ontijzeringsfilter was vastgelegd op het filterzand. Dit resulteerde in een toename van het filterbedvolume van ca. 34%. Geconcludeerd kan worden dat de ontijzering in het continue ontijzeringsfilter grotendeels door chemische adsorptie en oxidatie tot stand is gekomen. De doorgeslagen ijzervlokjes zijn vrijwel volledig in de continue nitrificatiefilters afgevangen, zonder aantoonbaar negatieve invloed op de nitrificatie.

Ammoniumverwijdering

De toepassing van continue zandfilters voor nitrificatie van RO-concentraat is daarentegen veelbelovend, hoewel vanwege de korte duur van de proefperiode nog niets gezegd kan worden over de stabiliteit van het proces op de lange termijn. Na enten en zorgvuldig opbouwen van de ammoniumlast bereikten de twee parallelle nitrificatiefilters een voor Oasen recordhoge nitrificatiecapaciteit van 0,3 kg NH₄-N per m³ reactor per dag. Dat is globaal tweemaal zoveel als in de best nitrificerende productiefilters van Oasen op ZS Reijerwaard (Ridderkerk) en in de alternatieve concentraatbehandeling, de bioreactor. Daarbij bestaat de verwachting dat de capaciteit nog groter kan worden: de filters waren nog niet volledig ingewerkt en werden belast met doorslaand ijzer uit het voorgeschakelde continue ontijzeringsfilter. Ook waren er aanwijzingen voor fosfaatlimitatie. Afbeelding 4 laat de verhouding zien tussen orthofosfaat en ammonium in het influent, en de opbouw van de ammoniumverwijdering per m³ filterbed van beide nitrificatiefilters. Vanaf de opstart van de nitrificatie begin mei 2013 neemt de verhouding P/N af en zit deze structureel flink onder de

Oasenrichtlijn van 6 $\mu\text{g PO}_4\text{-P}$ per mg $\text{NH}_4\text{-N}$, die ook aanbevolen wordt voor nitrificatie in afvalwater [3].



Afbeelding 4. Verhouding orthofosfaat/ammonium in influent en belasting/verwijderingscapaciteit per m³ filterbed voor ammonium in beide nitrificatiefilters

Kalkafzetting

Het onbehandelde concentraat is zwaar kalkoververzadigd. In het onderzoek is daarom expliciet het risico van kalkafzetting in de continue zandfilters als aandachtspunt benoemd. De diverse beluchtingssystemen kunnen daarbij de kalkafzetting versterken door het strippen van CO₂. Dit fenomeen heeft geleid tot operationele problemen met de bioreactor, onderdeel van het alternatieve concentraatbehandelingssysteem. Afbeelding 5 is een foto van een dragermateriaalblok, dat na 6 maanden volkomen was bedekt met ca. 50 kg kalk per blok. De resultaten lieten echter zien dat de kalkoververzadiging in zowel het ontijzeringsfilter als de nitrificatiefilters afnam doordat beide processen zuurvormend zijn. Nadat de nitrificatie zich was gaan ontwikkelen werd er dan ook nauwelijks meer calcium afgezet in de continue zandfilters en vormde kalkafzetting geen probleem meer.



Afbeelding 5. Kalkafzetting op een dragermateriaalblok in de beluchte bioreactor na zes maanden in bedrijf te zijn geweest

Bedrijfsvoering

De bedrijfsvoering van het ontijzeringsfilter verliep verre van vlekkeloos. Het filter is meerdere keren uitgevallen, onder andere doordat het zandcirculatiesysteem verstopte door extreme zandaangroei en door ijzerafzettingen in leidingen als gevolg van een onvolledige ontijzering in het filter, zie afbeelding 6.



Afbeelding 6. IJzerafzetting in de filtraatleiding van het continue ontijzeringsfilter

De bedrijfsvoering van de continue nitrificatiefilters was echter weinig kritisch en de filterwerking bij continue zandcirculatie was nagenoeg gelijk aan die bij discontinue. In het laatste geval hoopte wel meer (ijzer)slib op in het filter. Ook op andere vlakken hebben de nitrificatiefilters naar behoren gefunctioneerd: de effluentkwaliteit voldeed ruimschoots aan de andere lozingsparameters (zoals totaalfosfaat en zwevende stof) en de installaties hebben vrijwel storingsvrij gedraaid.

Conclusies

Met betrekking tot het procesverloop wordt voor de behandeling van RO-concentraat met continue zandfilters geconcludeerd:

- De ijzerverwijdering voldoet bij lange na niet aan de gestelde eis van 0,5 mg/l.
- Continue zandfiltratie is geen geschikt proces voor biologische ontijzering van het RO-concentraat van ZS Lekkerkerk.
- Ondanks een methaanbelasting van 0,5-1 mg/l en actieve beluchting is de biologische methaanoxidatie in het continue ontijzeringsfilter verwaarloosbaar. Moleculaire (qPCR) metingen tonen aan dat de groei van methaanoxideerders in het verzadigde filter nagenoeg nihil is, terwijl de ijzeroxidatie vrijwel volledig verloopt.
- Met continue zandfiltratie is het mogelijk om ammonium vergaand te verwijderen; de continue nitrificatiefilters hebben een voor Oasen recordhoge nitrificatiecapaciteit behaald van ca. 0,3 kg NH₄-N/m³ filterbed per dag. Kalkafzetting vindt in het continue nitrificerende zandfilter niet plaats, mede als gevolg van de pH-verlaging door het nitrificatieproces.

- Een verdere verhoging van de nitrificatiecapaciteit is niet uitgesloten: de filters waren nog niet volledig ingewerkt en er zijn aanwijzingen voor nutriëntenlimitatie. Dit was een kortdurend onderzoek. De stabiliteit en robuustheid van het proces moeten nog in langetermijnonderzoek worden aangetoond.
- De concentraatbehandeling met continue zandfilters is in staat om ook onopgeloste bestandsdelen en totaalfosfaat vergaand te verwijderen, ondanks de ontoereikende ontijzering in het continue ontijzeringsfilter.

Literatuur

1. KIWA (Reijnen, G.K.) (1994). Behandeling van methaanhoudend grondwater: effecten van het voorkomen en de verwijdering van methaan op de fysisch-chemische en biologische kwaliteit van het drinkwater. KIWA Mededeling nr. 123.
2. Grohmann, A., Gollasch, R. and Schuhmacher, G. (1989). Biologische Enteisenung und Entmanganung eines methanhaltigen Grundwassers in Speyer. GWF, 130(9), 7.
3. Scherrenberg, S.M., et al, 2009. Phosphorus and nitrogen profile measurements to locate phosphorus limitation in a fixed bed filter. Water Science and Technology, 60:2537.