




Het 'wonder van Nieuw-Lekkerland'

Anke Wolthoorn, Wageningen Universiteit
Weren de Vet, Hydron Zuid-Holland
Dirk van der Woerdt, Hydron Zuid-Holland
Erwin Temminghoff, Wageningen Universiteit

Bij ondergrondse beluchting, een milde vorm van ondergronds ontijzeren, wordt ijzer uit grondwater in de bodem verwijderd. Een onverwacht effect van ondergrondse beluchting is dat het tijdens de opwerking tot drinkwater de nitrificatie in zandfilters sterk kan verbeteren. Voor Hydron Zuid-Holland is dat gegeven van groot belang, omdat de ammoniumbelasting in de zuivering hoog en geregeld problematisch is. Deze drinkwatermaatschappij heeft samen met Wageningen Universiteit een onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de fysisch-chemische en microbiologische effecten van ondergrondse beluchting. Daarbij werd de vorming van ijzercolloïden in de waterput bestudeerd en de potentieel mobiele ijzercolloïden fractie gemeten. De colloïden zijn bestudeerd in het laboratorium en in het veld. De resultaten van de studie maken het aannemelijk dat ijzercolloïden een verbinding vormen tussen ondergrondse beluchting en de verbeterde nitrificatie in een zandfilter. Op meerdere zuiveringsstations past Hydron Zuid-Holland de techniek inmiddels met succes toe. Ondergrondse beluchting: Pokon voor de zuivering.

Hydron Zuid-Holland produceert haar drinkwater in het veenweidegebied van Zuid-Holland, waar het gewonnen (oever)grondwater overwegend sterk anoxisch is. Hierdoor bevat het opgepompte ruwe water naast ijzer en mangaan ook ammonium en vaak methaan. In tabel 1 staat de gemiddelde kwaliteit van het ruwe water van zuiveringsstation De Put in Nieuw-Lekkerland, een karakteristiek zuiveringsstation voor Hydron Zuid-Holland. Vooral de verwijdering van ammonium vormt van oudsher een geregelde bron van zorg voor het drinkwaterbedrijf[1].

In een anaërobe grondwaterput komt ijzer in de gereduceerde vorm (Fe^{2+}) voor. Om dit grondwater als bron voor drinkwater te kunnen gebruiken, kan het ijzer al in de ondergrond verwijderd worden door de toepassing van ondergrondse ontijzering. Bij de ondergrondse ontijzering wordt een hoeveelheid zuurstofhoudend drinkwater terug gepompt in een anaërobe grondwaterput. Door de toediening van zuurstofhoudend water wordt het gereduceerde ijzer geoxideerd tot Fe^{3+}. Als het grondwater weer wordt opgepompt voor de drinkwaterbereiding, is een deel van het geoxideerde ijzer in de vorm van ijzer(hydr)oxide neergeslagen in de grondwaterput. Ten gevolge van de ondergrondse ontijzering blijkt ook de microbiologische omzetting van ammonium naar nitraat (= nitrificatie) in het voorfilter van een klassieke grondwaterzuivering sterk te verbeteren. Deze waarneming deed Hydron Zuid-Holland voor het eerst op het zuiveringsstation van Nieuw-Lekkerland, waarna deze constatering al snel bekend werd als het 'Wonder van Nieuw-Lekkerland'.

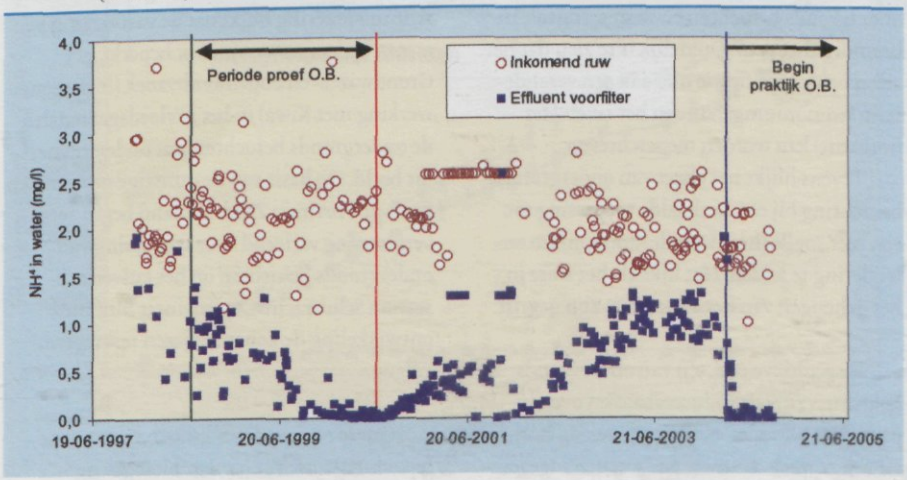
Tabel 1. *Concentraties van enkele elementen in het ruwwater van zuiveringsstation De Put, Nieuw-Lekkerland (2001-2004).*

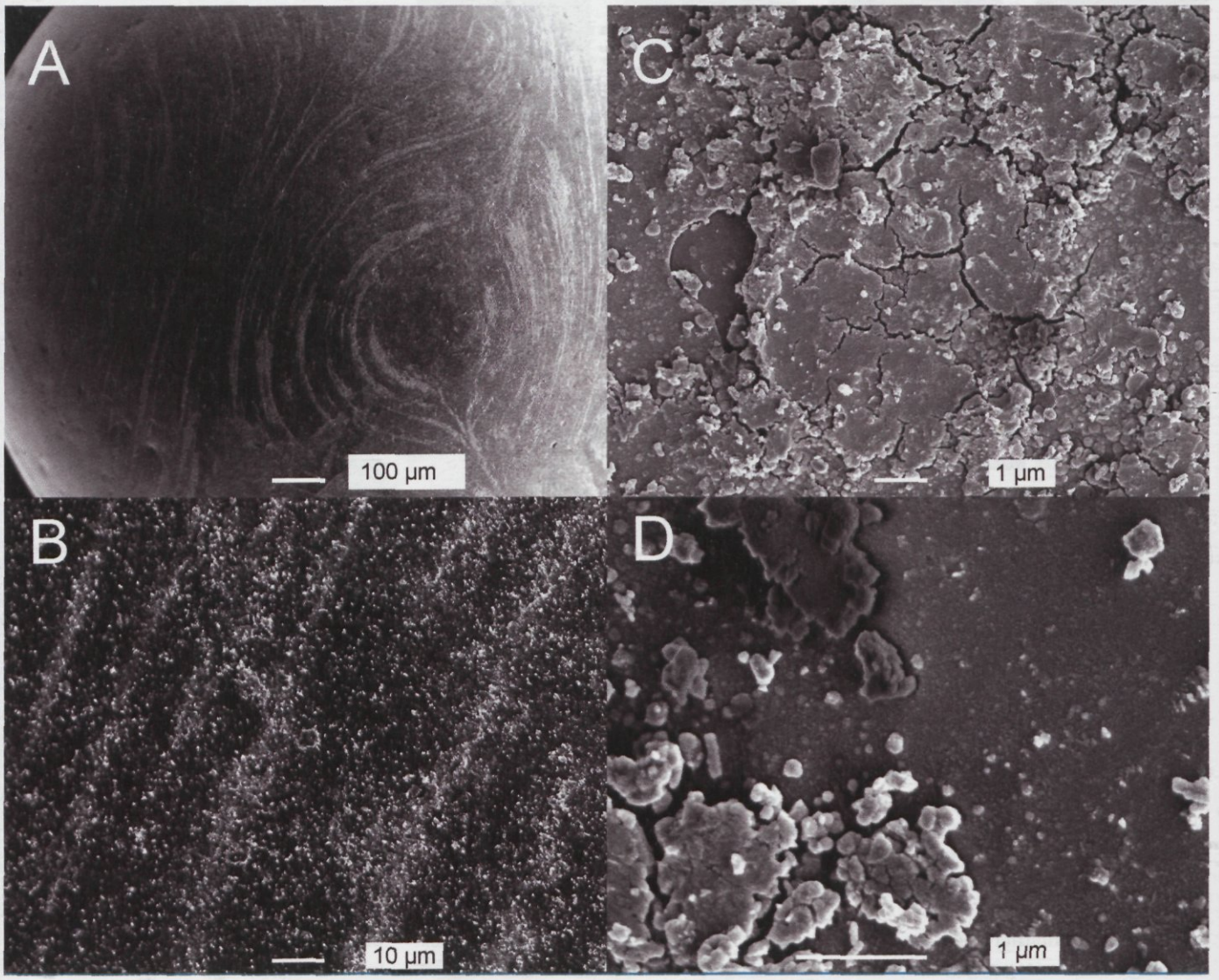
ammonium	4,5	mg/l
ijzer	2,7	mg/l
mangaan	0,48	mg/l
methaan	1,0	mg/l

In deze periode (zo rond 1980) had de drinkwatersector in Nederland brede interesse in de mogelijkheden voor verbetering van de zuivering en het tegengaan van putverstopping door periodiek infiltratie van zuurstofhoudend drinkwater. VEWIN voerde een Speurwerkprogramma uit, en een flink aantal drinkwaterbedrijven en het RID namen van 1979 tot 1983 actief deel aan de Kiwa-werkgroep 'Ondergrondse ontijzering'. De overheid, bij monde van minister Winsemius (Milieubeheer), hield echter de verdere ontwikkeling van ondergrondse ontijzering tegen uit vrees voor bodemverontreiniging. Ook nu nog houdt de Provincie Zuid-Holland sterk vast aan het voorzorgsprincipe. Om deze reden heeft Hydron Zuid-Holland een veel milder infiltratieregime ontwikkeld, terwijl andere waterbedrijven ondergronds ontijzeren toepassen om het ijzer geheel in de bodem te laten neerslaan. Door een beperkte inbreng van zuurstofhoudend water in een winput blijven slechts enkele procenten van het in het grondwater opgeloste ijzer in de bodem achter.

Zelfs in deze extensieve vorm leidt de techniek tot een spectaculaire verbetering van het bovengrondse nitrificatieproces. Om dit cruciale onderscheid ten opzichte van ondergrondse ontijzering te benadrukken, noemt Hydron Zuid-Holland deze toepassing ondergronds beluchten.

Afb. 1: *Ondergronds beluchten in de praktijk: analyseresultaten van de ammoniumconcentratie in het influent en effluent bij toepassing en stopzetting van ondergrondse beluchting op zuiveringsstation Lekkerkerk (Schuwacht).*





Opnamen van een elektronenmicroscoop (SEM) van ijzerhoudende colloïden die bemonsterd zijn in de beluchte grondwaterput. Beeld A is 100 maal vergroot, B 1000 maal, C 10.000 maal en D 25.000 maal. De diameter van de ijzerhoudende colloïden varieerde tussen de 0.3 en 1 µm.

Op een ander zuiveringsstation (Schuwacht in Lekkerkerk) is ondergronds beluchten gedurende een proef van twee jaar toegepast en daarna enige jaren gestopt. Deze proef is in nauwe samenwerking met de Provincie Zuid-Holland uitgevoerd in haar rol als vergunningverlener. Afbeelding 1 laat zien hoe de ammoniumverwijdering verbetert tijdens ondergronds beluchten en weer terugvalt na beëindiging ervan. Duidelijk is te zien dat het effect op de nitrificatie niet aan een veranderend ammoniumgehalte in het ruwwater (influent) kan worden toegeschreven.

Tevens blijkt het effect van ondergrondse beluchting bij een herhaalde toepassing tot een zeer snelle (hernieuwde) ammoniumverwijdering te leiden. Het lijkt als het ware in het geheugen van het systeem te zijn gegrift.

De positieve effecten van ondergronds beluchten zijn reproduceerbaar en overtuigend. Het 'Wonder van Nieuw-Lekkerland' kan als een empirische methode worden ingezet om een slecht verlopend nitrificatieproces in een voorfilter te verbeteren.

De toepassing van ondergrondse beluchting in Nederland is zoals gezegd niet onomstreden. Het accumuleren van ijzerneerslag rondom een grondwaterput en de mogelijke vastlegging van zware metalen is daarbij het onderwerp van discussie[2]. Uit geohydrochemische modellering blijkt dat de vastlegging van arseen op lange termijn zeer beperkt is[3]. Grondwater- en bodemonderzoek (in samenwerking met Kiwa) in het invloedsgebied van de ondergronds beluchten put ondersteunen dit beeld. Op basis van de gunstige uitkomsten heeft de Provincie Zuid-Holland begin 2004 vergunning verleend voor toepassing van ondergronds beluchten op het zuiveringsstation Schuwacht. De provincie blijft de ontwikkeling de komende jaren nauwgezet volgen.

Om meer inzicht te krijgen in zowel de fysisch-chemische en microbiologische processen die optreden tijdens de ondergrondse beluchting, heeft Hydron Zuid-Holland samen met de universiteit van Wageningen een onderzoek uitgevoerd. De resultaten kunnen vervolgens gebruikt worden om een bovengrondse methode te ontwikkelen die het nitrificatieproces in een voorfilter verbetert, zonder dat daarbij de ondergrond wordt belast*. Het praktijkonderzoek op Schuwacht, zowel als het (promotie)-onderzoek bij Wageningen Universiteit is als BTS-project gesubsidieerd door Senter (Ministerie van Economische Zaken).

Kiemenhypothese

Opvallend aan het positieve effect van ondergrondse beluchting op het nitrificatieproces is dat de feitelijke ingreep en het effect op het nitrificatieproces in tijd en plaats van elkaar gescheiden zijn.

Ook is het opmerkelijk dat ondergrondse beluchting op zich een fysisch-chemisch proces is, terwijl het nitrificatieproces een

louter microbiologisch proces is. Op grond van deze twee waarnemingen en een vooronderzoek is de volgende hypothese geformuleerd[4]: Door ondergrondse beluchting ontstaan zeer kleine ijzerhoudende deeltjes: colloïden. Deze zijn voor een deel mobiel en komen vervolgens in het voorfilter terecht. Volgens de hypothese vormen deze colloïden daar een neerslag, die een geschikte oppervlakte biedt voor de vestiging van actieve populaties van nitrificerende bacteriën. Omdat ijzerhoudende colloïden een hoofdrol spelen in deze hypothese, is dit de kiemenhypothese genoemd.

Onderzoek van Wageningen Universiteit

De eerste vraag in het onderzoek was of het basisingrediënt van de kiemenhypothese - mobiele ijzerhoudende colloïden - kunnen ontstaan als gevolg van ondergrondse beluchting. De rechtstreekse oxidatie van Fe^{2+} tot ijzer(hydr)oxiden (homogene oxidatie) verloopt onder de omstandigheden zoals ze in grondwater te vinden zijn, erg traag. Van het gevormde ijzer(hydr)oxide is echter bekend dat het de verdere oxidatie van Fe^{2+} kan katalyseren (autokatalyse). Als de pH van bijvoorbeeld grondwater hoger dan 7 is, dan vindt zowel homogene als ook autokatalytische oxidatie van Fe^{2+} plaats. De som van de homogene en autokatalytische oxidatie van Fe^{2+} wordt een heterogeen oxidatieproces genoemd. De homogene oxidatie van Fe^{2+} leidt tot de vorming van kleine, zeer mobiele ijzercolloïden. De autokatalytische oxidatie van Fe^{2+} daarentegen leidt tot de groei van de colloïden, waardoor deze deeltjes eerder kunnen neerslaan.

Uit laboratoriumexperimenten bleek dat noch de zuurstofconcentratie noch de aanwezigheid van andere elementen een significante invloed hebben op de homogene oxidatiesnelheid. Daarentegen is de autokatalytische oxidatie wel afhankelijk van de zuurstofconcentratie; hoe lager de zuurstofconcentratie, des te langzamer de autokatalytische oxidatie. Ook de samenstelling van het grondwater had een groot effect op de autokatalytische oxidatie. De toevoeging van fosfaat, mangaan, silicaat of opgeloste organische koolstof of combinaties hiervan resulteerden in een afname van de snelheid waarmee het autokatalytische oxidatieproces verliep. Als deze resultaten worden vertaald naar een grondwatersysteem met pH groter dan 7, dan mag worden aangenomen dat de ondergrondse beluchting leidt tot de vorming van potentieel mobiele ijzerhoudende colloïden[5].

Deze resultaten van het laboratoriumonderzoek zijn getoetst in een veldonderzoek, waarbij in beluchte en onbeluchte grondwaterputten ijzerhoudende colloïden werden bemonsterd voordat het water het zuiveringsstation ingepompt werd. De resultaten van het veldexperiment lieten inderdaad zien dat de ondergronds beluchte grondwaterput meer ijzerhoudende colloïden bevatte dan de niet-beluchte grondwaterput. Bovendien is daadwerkelijk een deel van de colloïden voldoende mobiel om in het opgepompte grondwater de waterzuivering te kunnen bereiken.

De volgende stap was om de ijzerhoudende colloïden die in het veld bemonsterd waren, te karakteriseren. Uit de chemische analyse bleek dat de ijzerhoudende colloïden behalve ijzer (39% ± 8%) ook fosfaat, calcium en natrium bevatte. Het ijzer in de colloïden was voornamelijk aanwezig in geoxideerde vorm (Fe^{3+}). Uit de aanvullende elementanalyse met behulp van elektronenmicroscopie (SEM-EDAX) bleek ook mangaan geassocieerd te zijn met de colloïden. De beelden op de pagina hiernaast laten de ijzerhoudende colloïden zien die zijn afgevangen op een glaskorrel.

Synthetische analoog

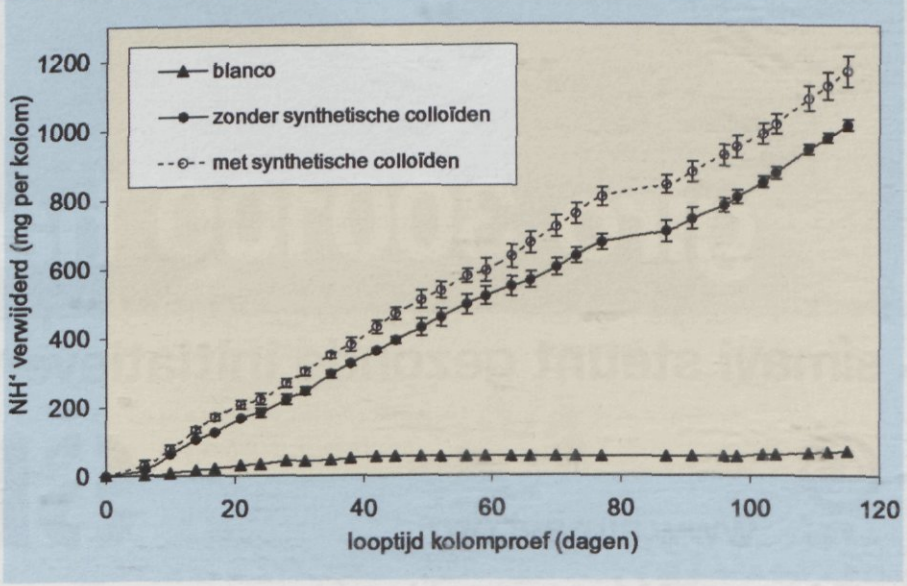
Op het moment dat de chemische samenstelling van de ijzerhoudende colloïden uit het veld was gekarakteriseerd, werd het mogelijk om een synthetische analoog in een laboratoriumopstelling te maken. De samenstelling van het ijzerhoudende deeltje weerspiegelt daarbij de samenstelling van de oplossing waarin het deeltje gevormd is. Daarom kon de gemiddelde samenstelling van het grondwater, zoals dat voorkomt op het zuiveringsstation in Nieuw-Lekkerland, gebruikt worden als richtlijn bij het maken van een synthetische analoog. De synthetische colloïden zijn op grond van zowel morfologische kenmerken als de chemische samenstelling vergeleken met de ijzerhoudende colloïden die zijn bemonsterd in de grondwaterput. Synthetische colloïden die gevormd worden in een oplossing met ijzer, fosfaat, mangaan, silicaat en opgelost organisch stof komen daarbij het meest overeen met de natuurlijke colloïden uit de beluchte grondwaterput[6].

De resultaten van de laboratoriumproeven en de veldproef tonen aan dat ijzercolloïden ontstaan bij ondergrondse beluchting, die mobiel genoeg zijn om in de waterzuivering terecht te kunnen komen. Vervolgens is getoetst of de synthetische ijzerhoudende colloïden een positief effect hebben op het nitrificatieproces. Voor dit experiment is op laboratoriumschaal een aantal voorfilters nagebouwd. De voorfilters van het zuiveringsstation in Nieuw-Lekkerland zijn daarbij als uitgangspunt gebruikt voor het ontwerp van de model-voorfilters. Met deze voorfilters werd synthetisch anaëroob grondwater gezuiverd, dat in het laboratorium werd bereid. De model-voorfilters werden wat betreft de samenstelling van het grondwater, belasting, spoelregime en toepassing van ondergrondse beluchting op een vergelijkbare manier bedreven als de voorfilters in het zuiveringsstation in Nieuw-Lekkerland. Bij een aantal voorfilters werden de synthetische colloïden aan het te zuiveren grondwater toegevoegd. In de model-voorfilters waar de synthetische ijzercolloïden aan werden toegevoegd, verliep het nitrificatieproces significant beter (afbeelding 2). Na vier maanden looptijd werd in totaal tien procent (± 3%) meer ammonium omgezet dan in de model-voorfilters zonder de synthetische colloïden[7].

Vervolgonderzoek

Het exacte mechanisme achter het 'Wonder van Nieuw-Lekkerland' is met deze

Afb. 2: Cumulatieve ammoniumverwijdering in de aan- en afwezigheid van ijzercolloïden als functie van de tijd.



studie nog niet geheel opgehelderd. De resultaten maken het echter aannemelijk dat mobiele ijzerhoudende colloïden de verbinding vormen tussen de ondergrondse beluchting buiten in het veld en het positieve effect op het nitrificatieproces in het voorfilter in het zuiveringsstation. Aanwijzingen bestaan dat met name het oppervlak van de ijzerhoudende colloïden een sleutelrol kan spelen bij de beschikbaarheid van opgelost ijzer of de hechting van nitrificerende bacteriën aan het filtermateriaal. Het oppervlak van de ijzercolloïden kan de oxidatie van Fe^{2+} katalyseren. De autokatalytische oxidatie van Fe^{2+} zal naar verwachting de nitrificatie beïnvloeden, omdat voor de nitrificatie opgelost ijzer essentieel is als sporenelement.

De oppervlaktelading van de ijzercolloïden kan een grote rol spelen bij de hechting van nitrificerende bacteriën aan het filtermateriaal. Daarbij is het van belang de (netto) oppervlaktelading of oppervlaktepotentiaal te bepalen van de ijzerhoudende colloïden die ontstaan als gevolg van ondergrondse beluchting.

Voor de zuivering in Nieuw-Lekkerland geldt dat met name het (molaire) aandeel van calcium, fosfaat en mangaan in de ijzerhoudende colloïden zich anders verhoudt dan in het anorganische slib dat in de voorfilters ontstaat. Hoewel de minerale samenstelling slechts een ruwe karakterisering van de beide soorten deeltjes is, geeft het wel aan dat ijzerhoudende colloïden die ontstaan als gevolg van ondergrondse beluchting wezenlijk lijken te verschillen van de ijzerhoudende deeltjes die ontstaan in het voorfilter.

Vanuit de praktijk dringen zich parallellen op in ander toegepaste onderzoek naar filtratieproblemen. Steekmonsters van filtergrind gedurende enkele jaren standtijd tonen aan, dat de geleidelijke toename van de aangroei op het filtermateriaal gepaard gaat met afname van de levende biomassa en de nitrificatiecapaciteit. Hoe groter het aandeel ijzer in de aangroei, des te slechter de nitrificatie verloopt.

De resultaten uit het onderzoek bieden diverse aanknopingspunten voor de verdere ontwikkeling van een bovengrondse variant van ondergronds beluchten. De voordelen daarvan zijn enerzijds dat minder tijd en geld nodig is voor de bewaking en trendanalyse van de winput en de bodem; anderzijds wordt het inzicht en daarmee ook de stuurbaarheid van het proces vergroot. ¶

LITERATUUR

1) Vet W. de et al. (2002). Methaanbelasting irrelevant voor filterwerking. H_2O nr. 1, pag. 26-29.

2) TCB (1997). Advies Ondergronds Beluchten. Rapport Technische Commissie Bodembescherming.

3) Appelo C. et al. (2003), Modelling in situ iron removal from groundwater with trace elements such as As. Arsenic in ground water. Geochemistry and Occurrence pag. 381-401.

4) Wolthoorn A. (1999). Bepaling van de biologische activiteit in de toplaag van enkele voorfilters. Intern rapport WHZO/WU.

5) Wolthoorn A. et al. (2004). Colloid formation in groundwater: effect of phosphate, manganese, silicate and dissolved organic matter on the dynamic heterogeneous oxidation of ferrous iron. Applied Geochemistry nr. 19, pag. 611-622.

6) Wolthoorn A. et al. (2004). Colloid formation in groundwater by subsurface aeration: characterisation of the geocolloids and their counterparts. Applied Geochemistry nr. 19, pag. 1391-1402.

7) Wolthoorn A. et al. (2004). Effect of synthetic iron colloids on the microbiological NH^{4+} removal process during groundwater purification. Water Research nr. 38, pag. 1884-1892.

* Persluchtinjectie met een lans in de ruwwaterleiding was de eerste, niet succesvolle bovengrondse nabootsing. De zuurstof inbreng was te sterk, wat vervuiling van de leiding tot gevolg had.