

Ondergrondse ontijzering en ontmanganing, eerste resultaten van onderzoek in Nederland

proefinstallaties nagegaan dienen te worden en veelal eveneens rond 1 jaar liggen.

Dankbetuiging

Veel dank is verschuldigd aan het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland, Gemeentewaterleidingen, Drinkwaterleiding Rotterdam, het Waterleidingbedrijf Midden-Nederland en de Waterleidingmaatschappij Overijssel voor het beschikbaar stellen van de gegevens, die deze voordracht en publicatie mogelijk maakten.

Rijkssteun voor schone technologie

Minister Ginjaar heeft het aardappelmeel-concern AVeBe f 1.423.000,— verstrekt voor het uitvoeren van een gigantisch ombouwprogramma om de afvalwaterverontreiniging door bestrijding bij de bron te voorkomen. Hiertoe ontwikkelt de AVeBe hoogwaardige technologieën, die het onder meer mogelijk maken om uit het afvalwater eiwitten te winnen.

Verder krijgt de lijmfabriek Trommelen te Dongen (Noord-Brabant) f 180.000,—. Dit bedrijf zal op semi-technische schaal nagaan of het modificeren van het fabricageproces teneinde de milieubelasting te voorkomen technisch en economisch haalbaar is. Het farmaceutisch bedrijf Orphahell krijgt f 60.000,— ten behoeve van de ontwikkeling van een anaeroob zuiveringsproces. Aan de Landbouw Hogeschool te Wageningen is een bijdrage verstrekt ten behoeve van de ontwikkeling van een luchtstrip-proces om ammoniak te verwijderen uit anaeroob behandelde mest (f 60.000,—). Verwacht mag worden, dat bij wetslagen van dit project het zgn. luchtstrip-proces ook toepasbaar is voor anaeroob gezuiverd afvalwater, dat stikstofverbindingen bevat. Anaeroob zuivering is een waterzuiveringsmethode, die steeds meer wordt toegepast. Een belangrijk technisch aspect is, dat het actieve slib een zo hoog mogelijke bezinknelheid heeft. De Gekro Smit Holding (f 200.000,—) zal een onderzoek uitvoeren, waarin wordt nagegaan hoe de bezinknelheid kan worden verhoogd. Dit onderzoek zal in nauwe samenwerking met de Landbouw Hogeschool te Wageningen worden uitgevoerd.

De verstrekte overheidsbijdragen zijn voor 1980 thans ca. f 3.6 miljoen. Het ligt in de bedoeling ook voor 1981 gelden beschikbaar te stellen voor projecten, die de ontwikkeling van schone technologie inhouden teneinde waterverontreiniging te voorkomen respectievelijk te beperken.

1. Inleiding

Door een beperkte hoeveelheid zuurstofrijk water in het watervoerend pakket te injecteren kan in vele gevallen een grotere hoeveelheid grondwater worden onttrokken die minder ijzer en mangaan bevat. Deze wijze van grondwaterzuivering is volledig afwijkend van de conventionele methode bestaande uit beluchting gevolgd door filtratie, met allerlei varianten.

Bij nadere beschouwing van de methode van ondergrondse ontijzering dringen zich ondermeer de volgende vragen op. Op welke



I.R. C. G. E. M. VAN BEEK
KIWA NV

wijze wordt de chemische samenstelling van het met behulp van deze methode onttrokken grondwater beïnvloed? Hoe staat het met de bacteriologische betrouwbaarheid van het op deze wijze onttrokken water? Het uit het grondwater verwijderde ijzer wordt in het watervoerend pakket afgezet, wat zijn hiervan de gevolgen op de hydraulische eigenschappen van het watervoerend pakket? Op de methode zijn verschillende octrooien aangevraagd, hoe staat het daarmee? Is het mogelijk iets te zeggen omtrent de toepassingsmogelijkheden?

Om de mogelijkheden van de ondergrondse ontijzering onder Nederlandse omstandigheden na te gaan is op 19 maart 1979 de Werkgroep Ondergrondse Ontijzering geïnstalleerd. De aanleiding voor deze installatie werd gevormd door de gunstige resultaten van de experimenten die door de WMG op het puttenveld Andelst werden uitgevoerd. Op deze resultaten wordt later nog teruggekomen. In de Werkgroep zijn op dit moment zeven streekwaterleidingbedrijven, het KIWA en het RID vertegenwoordigd. Doelstelling van deze Werkgroep is evaluatie van de methode onder Nederlandse omstandigheden. Daartoe zullen door de deelnemende bedrijven experimenten op hun winningen worden uitgevoerd, het RID zal de milieuhygiënische aspecten verzorgen, terwijl het KIWA het onderzoek zal coördineren en evalueren. De laatstgenoemde taken worden uitgevoerd in het kader van het VEWIN speurwerkprogramma.

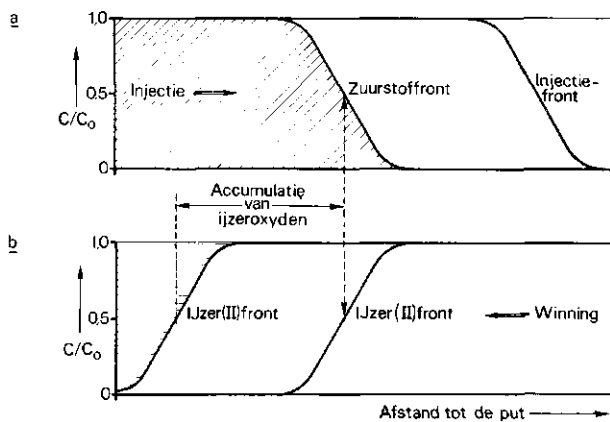
In deze publicatie zullen de reeds verkregen resultaten worden besproken. Tevens zullen, voor zover mogelijk, enkele gedachten over de hierboven gestelde vragen ter discussie worden gesteld. De bij deze methode behorende installatie is zo simpel dat hierop niet nader hoeft te worden ingegaan.

2. Theorie

De binnen de groep bestaande inzichten omtrent de processen die zich bij deze methode in het watervoerend pakket afspeelen zijn reeds in een vorige publicatie [Van Beek en Vaessen, 1979], opgehangen aan een chromatografisch model, besproken. Zij zullen hier in het kort worden samengevat.

Bij het invoeren van zuurstofrijk water in een watervoerend pakket zal het van nature aanwezige grondwater worden verdrongen. Allerlei in de vaste fase van het watervoerend pakket aanwezige oxydeerbare verbindingen, zoals ijzer(II)- en mangaan(II)verbindingen, sulfiden, organisch materiaal etc. kunnen, zodra zij in contact komen met het zuurstofrijke water, worden geoxydeerd. Doordat de opgeloste zuurstof wordt verbruikt, zal het 'injectiefront' zich verder van de put af verbreiden dan het 'zuurstoffront'. De mate van achterblijven van het 'zuurstoffront' op het 'injectiefront' is afhankelijk van de hoeveelheid oxydeerbare verbindingen in de vaste fase van het watervoerend pakket. In afb. 1a is de situatie na beëindiging van de invoer van zuurstofrijk water schematisch aangegeven.

Bij de daaropvolgende onttrekking zal eerst het zuurstofhoudende ingevoerde water (het gearceerde gedeelte in afb. 1a), en vervolgens het zuurstofloze ingevoerde water (het gedeelte tussen het 'zuurstoffront' en het 'injectiefront' in afb. 1a) worden gewonnen. Pas daarna zal grondwater dat nu een lagere concentratie aan ijzer en mangaan bevat dan voorheen het geval was, worden onttrokken. Het in het grondwater in oplossing aanwezige ijzer(II) en mangaan(II) zal aan de gevormde ijzer- en mangaanoxyden worden geadsorbeerd. Dit zal pas gebeuren zodra het grondwater de uiteindelijke positie van het zuurstoffront is gepasseerd. Op dezelfde wijze als het 'zuurstoffront' achterbleef bij het 'injectiefront' zal ook het 'ijzer(II)front' achterblijven bij het 'onttrekkingsfront'. Zodra het onttrokken water weer ijzer(II) begint te bevatten, dat wil zeggen het 'ijzer(II)front' begint de put te bereiken, moet de onttrekking worden gestopt. In afb. 1b is deze situatie schematisch aangegeven. Tijdens de daaropvolgende injectie van zuurstofrijk water zal het geadsorbeerde ijzer(II) en mangaan(II) in ijzer(III) respectievelijk mangaan(IV) worden omgezet, waarbij de gevormde oxyden op de reeds aanwezige afzettingen zullen aangroeien. Vervolgens kan weer grondwater met lagere concentraties ijzer en mangaan worden onttrokken etc. Overigens zijn ijzeroxyden ook in staat met allerlei zware metalen een neerslag te vormen en organische stoffen te adsorberen.



Afb. 1 - a. Situatie bij de beëindiging van de injectie van zuurstofrijk water, en b. situatie tijdens de onttrekking van grondwater dat minder ijzer en mangaan dan voorheen bevat.

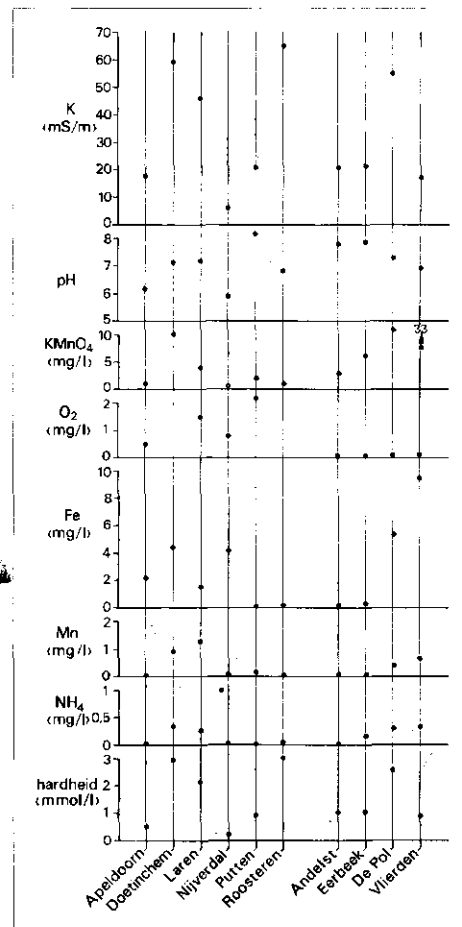
3. Veranderingen in chemische samenstelling

De veranderingen in chemische samenstelling van het op deze wijze onttrokken grondwater kunnen, bij toepassing van deze methode, onder meer beïnvloed worden door de oorspronkelijke chemische samenstelling van het grondwater, de mineralogische en geohydrologische eigenschappen van het watervoerend pakket, de chemische samenstelling van het injectiewater en de bedrijfsvoering. De keuze van de winningen waar experimenten (zullen) worden uitgevoerd of reeds zijn beëindigd, is betrekkelijk willekeurig. Naast wetenschappelijke argumenten spelen ook andere overwegingen een rol zoals bereikbaarheid, produktiecapaciteit, bemanning etc.

De chemische samenstelling van het grondwater op de bij het onderzoek betrokken winningen is in afb. 2 samengevat. De eerste groep van de aangegeven winningen wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van zuurstof in het onttrokken water, de tweede groep bevat geen zuurstof. Bovendien zou nog een derde groep onderscheiden kunnen worden, namelijk onttrokken grondwater dat zwavelwaterstof bevat. Van deze groep zijn nog geen winningen in het onderzoek opgenomen. Uit afb. 2 blijkt dat, naast het al of niet aanwezig zijn van zuurstof, verschillende parameters van de chemische samenstelling van het in het onderzoek betrokken grondwater enorm variëren; het elektrisch geleidingsvermogen van 6 tot 60 mS/m, de pH van 6 tot 8, het $KMnO_4$ -getal van 1 tot 33 etc. Bovendien moet bij deze indeling worden bedacht dat grote verschillen in chemische samenstelling in het van verschillende richtingen en op verschillende diepten naar een put toestromende grondwater aanwezig kunnen zijn. In een dergelijke situatie is het onttrokken grondwater een mengsel van (zeer) verschillende grondwaterkwaliteiten.

De experimenten in Andelst (WMG) zijn reeds beëindigd, terwijl de experimenten in Doetinchem (WOG), Laren (WMN) en Putten (WMG) nog lopen. De resultaten van de experimenten op deze 4 winningen zullen hier worden besproken. De experimenten in Apeldoorn (VNB), Eerbeek

Afb. 2 - Chemische samenstelling van het grondwater waar de experimenten (zullen) worden uitgevoerd of reeds zijn beëindigd. Het water onttrokken op de links aangegeven puttenvelden bevat zuurstof, op de rechts aangegeven puttenvelden niet.



(WMG), Nijverdal (WMO) en de Pol (WOG) zijn kort geleden begonnen, de experimenten op de overige winningen zullen binnenkort beginnen.

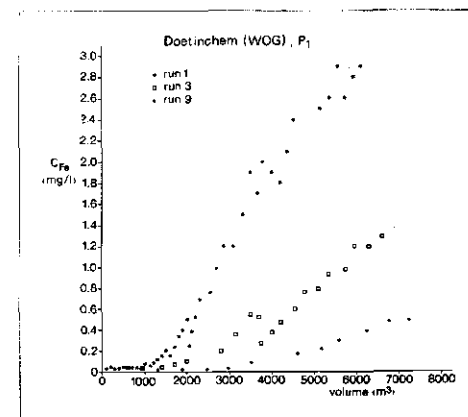
De experimenten op het gebied van de ontijzering zijn begonnen op het puttenveld Andelst (WMG), waar het onttrokken grondwater een spoor ijzer (0,25 mg/l) bevat. Deze experimenten waren een groot succes; de efficiëntie van de winning, dat wil zeggen de verhouding van het onttrokken tot het geïnjecteerde volume water varieerde van 50 tot 80.

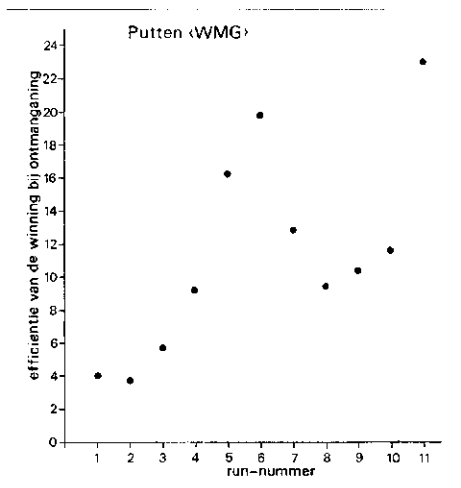
Vervolgens zijn in Doetinchem (WOG) experimenten uitgevoerd met hogere ijzerconcentraties. Een voorbeeld hiervan vormt afb. 3. Voor toepassing van de methode bevatte het onttrokken grondwater circa 4,5 mg/l ijzer. Duidelijk is te zien dat de ontijzering steeds beter gaat verlopen. Ook de hoeveelheid onttrokken grondwater, die voldoet aan de VEWIN-aanbeveling (< 0,1 mg/l ijzer), neemt steeds toe.

De experimenten op het gebied van de ontmanganing zijn begonnen op het puttenveld Putten (WMG). Het onttrokken water bevat hier een spoor mangaan (0,16 mg/l) dat weliswaar de VEWIN-aanbeveling overschrijft, maar nauwelijks ijzer (0,02 mg/l) of ammonium (0,02 mg/l). Zodra bij analyse op het laboratorium de concentratie van mangaan gelijk was aan of groter was dan 0,04 mg/l werd de onttrekking gestopt. Afb. 4 laat het verband tussen de efficiëntie van de winning en het run-nummer zien. Duidelijk is dat de efficiëntie in de loop der tijd beter wordt. Op dit moment is deze put in de normale bedrijfsvoering van het puttenveld opgenomen, waarbij voor de efficiëntie van de winning een waarde van 10 wordt aangehouden.

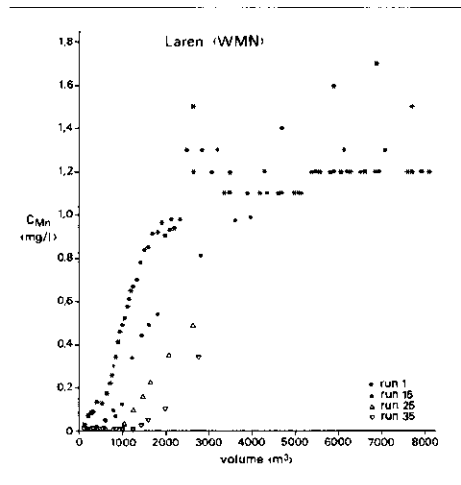
Vervolgens zijn in Laren (WMN) deze

Afb. 3 - Verband tussen de ijzerconcentratie in het onttrokken grondwater en het onttrokken volume als functie van het run-nummer te Doetinchem (WOG). Run 1 is de onttrekking van water na de eerste injectie van zuurstofrijk water enz. De geïnjecteerde hoeveelheid zuurstofrijk water bedroeg telkens circa 1000 m³.





Afb. 4 - Verband tussen de efficiëntie van de winning bij ontmanging en het runnummer op het puttenveld Putten (WMG).



Afb. 5 - Verband tussen de mangaanconcentratie in het onttrokken grondwater en het onttrokken volume als functie van het runnummer te Laren (WMN). De geïnjecteerde hoeveelheid zuurstofrijk water bedroeg telkens circa 1000 m³.

experimenten met een veel hogere mangaanconcentratie voortgezet. De daarbij verkregen resultaten zijn in afb. 5 weergegeven. Mangaan wordt uit het grondwater verwijderd; de afname in de mangaanconcentratie verloopt echter, vergeleken met de afname in de ijzerconcentratie, langzaam. De afname in de mangaanconcentratie heeft zich voortgezet, zodat de concentratie bij 2000 m³ inmiddels (run 25) circa 0,35 mg/l bedraagt.

De ontmanging verloopt nog niet zolang dat aan de aanbevelingen van de R/EWIN wordt voldaan, zoals bij de ontzuring wel het geval was. Het langzame teruglopen van de mangaanconcentratie is ook bij andere experimenten gevonden. Uit de literatuur blijkt dat het wel maanden tot een jaar kan duren voordat de ontmanging goed doorzet. Indien de gewichtsverhouding tussen ijzer en

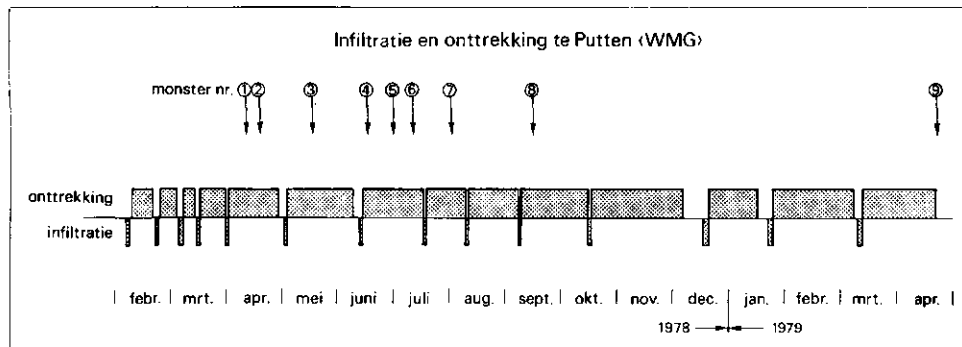
mangaan groter is dan 10 zou ook mangaan volledig verwijderd kunnen worden [Rott, 1977].

In hoeverre de concentraties van ammonium, vrij koolzuur en organische stof van het onttrokken grondwater worden beïnvloed, zoals wel in de literatuur wordt gerapporteerd [Rott 1978, Groba et al. 1978] is nog niet duidelijk. Tot nu toe zijn geen grote veranderingen waargenomen.

4. Bacteriologische betrouwbaarheid

Door Hallberg en Martinell [1976] is verondersteld dat de ondergrondse ontzuring en ontmanging een microbiologisch proces zou zijn. Hierop voortbordurend is door Bieske [1970] de bacteriologische betrouwbaarheid van deze methode in twijfel getrokken. De accumulatie van micro-organismen zou zijns inziens aanleiding kunnen geven tot rottingsprocessen etc. waarbij zich ook ongewenste micro-organismen zouden kunnen ontwikkelen. Zoals reeds aangegeven, wordt door ons verondersteld dat ondergrondse ontzuring een fysisch-chemisch proces is waarbij geen micro-organismen te pas komen [Van Beek en Vaessen, 1979]. De bedrijfstak is zeer wel in staat tot in de verste uiteinden van haar distributienet bacteriologisch betrouwbaar drinkwater te leveren. Daarom moet het zeer wel mogelijk zijn deze methode bacteriologisch betrouwbaar uit te voeren. Desalniettemin worden, om iedere twijfel weg te nemen, regelmatig monsters water op de bacteriologische kwaliteit onderzocht. Daartoe zijn in Andelst 6, in Doetinchem 5 en in Putten 9 monsters bacteriologisch onderzocht. In totaal overschreed 1 monster de grens van 50 kiemen per ml bij 37 °C. Alle overige monsters voldeden aan de normen die daarvoor gesteld worden. Ter illustratie zijn in afb. 6 de tijdstippen van monsterneming voor bacteriologisch onderzoek in Putten (WMG) aangegeven. Uit deze afb. blijkt dat de monsters op willekeurige tijdstippen zijn genomen. De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel I samengevat.

Afb. 6 - Tijdstip van monsterneming voor bacteriologisch onderzoek bij het experiment te Putten (WMG).



TABEL I - Resultaten van het bacteriologisch onderzoek te Putten (WMG).

Monster	Datum	Eijkman	Coli	kiemen/ml
1	11-4-'78	neg.	neg.	0
2	18-4-'78	neg.	neg.	0
3	16-5-'78	neg.	neg.	1
4	6-6-'78	neg.	neg.	2
5	30-6-'78	neg.	neg.	1
6	11-7-'78	neg.	neg.	1
7	1-8-'78	neg.	neg.	1
8	15-9-'78	neg.	neg.	1
9	20-4-'79	neg.	neg.	0

Ook in de buitenlandse literatuur zijn tot nu toe geen gegevens gepubliceerd die de veronderstelling van Bieske [1970] kunnen ondersteunen.

5. Veranderingen in de hydraulische eigenschappen van het watervoerend pakket

Het bij deze methode uit het grondwater verwijderde ijzer (en mangaan) blijft in het watervoerend pakket achter en kan, zoals door velen wordt gevreesd, na korte of lange tijd tot verstopping van het watervoerend pakket leiden. Dat de gevormde ijzerafzettingen in een afname van de porositeit rond de put zullen resulteren is duidelijk. Volgens de in hoofdstuk 2 beschreven redenering zal het verwijderde ijzer accumuleren tussen de gemiddelde afstand tot de put van het 'zuurstoffront' na injectie en de gemiddelde afstand van het 'ijzer(II)front' voordat weer tot injectie wordt overgegaan. Het is niet goed mogelijk in algemene termen over de beïnvloeding van de hydraulische eigenschappen te spreken. Daarom is gekozen voor een toelichting aan de hand van een fictief voorbeeld. In dit voorbeeld wordt door de put 300.000 m³ per jaar onttrokken, is de ijzerconcentratie gelijk aan 5,6 mg/l en wordt per jaar 25 x geïnjecteerd. Door het maken van verschillende veronderstellingen kan voor deze situatie een afname van de porositeit van maximaal 0,2 % per jaar berekend worden. Deze afname zal kleiner worden indien de ijzerconcentratie lager is, per keer een

grotere hoeveelheid zuurstofrijk water wordt geïnjecteerd, en de 'ijzeroxydeconcentratie' in het watervoerend pakket lager is.

De tijdsduur waarna, bij deze snelheid in de afname van de porositeit, de gevolgen van de accumulatie van ijzerafzettingen merkbaar zullen worden, bijvoorbeeld in de vorm van een duidelijke toename in de afpomping of een duidelijke afname van de hydraulische doorlatendheid, zal over het algemeen de gemiddelde levensduur van een put overtreffen. Tevens kan, na het maken van verschillende veronderstellingen, de afstand tot de put, waarbinnen de gevormde ijzerafzettingen zullen accumuleren, worden geschat. Toepassing op de bovenbeschreven situatie resulteert in een afstand van circa 10 m.

Uit bovenstaande beschouwing moge blijken dat voorlopig wordt verondersteld dat de beïnvloeding van de hydraulische eigenschappen van het watervoerend pakket bij toepassing van deze methode een zeer langzaam proces is. Hierbij moet overwogen worden dat het traject waar de gevormde ijzeroxyden zullen worden afgezet, in een situatie met een geringe regionale grondwaterstroming, met behulp van de bedrijfsvoering goed is te kiezen. Mocht de afname van de porositeit resulteren in een merkbare toename van de afpomping dan is het mogelijk het traject met de ijzerafzettingen verder van de put te verschuiven door een grotere hoeveelheid zuurstofrijk water te injecteren.

Aangezien te vrezen valt dat onderzoek naar de afname van de porositeit gecompliceerd en langdurig zal zijn, zal aan dit onderzoek worden begonnen zodra de eerste fase van het project, te weten de evaluatie onder Nederlandse omstandigheden, positief is afgesloten.

Wel wordt ter voorbereiding al kolom- of proeffilterapparatuur ontwikkeld, die nu ingezet kan worden om eventuele problemen bij veldexperimenten te helpen oplossen.

6. Slotbeschouwing

Op grond van de resultaten van de tot nu toe in Nederland uitgevoerde experimenten, aangevuld met informatie uit het buitenland, kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

a. Uit de tot nu toe verkregen resultaten blijkt dat de ontijzering op de onderzochte puttenvelden (Andelst, WMG, Doetinchem, WOG, en Laren, WMN) goed verloopt. Het bleek in alle gevallen mogelijk de concentratie van ijzer onder de daarvoor door de VEWIN gestelde norm te verlagen. Echter tot nu toe zijn de experimenten uitgevoerd op puttenvelden waar ook bij een conventionele zuivering geen problemen

optreden, en was de ijzerconcentratie over het algemeen vrij laag. Bovendien zijn nog niet alle grondwatertypen in het onderzoek betrokken. De resultaten van de uitgevoerde experimenten hebben daarom geen algemeen karakter.

b. De ontmanging daarentegen voldoet op één puttenveld (Putten, WMG) goed bij de verwijdering van een spoor mangaan. Op de overige puttenvelden (Doetinchem, WOG, Laren, WMN) is de ontmanging wel duidelijk op gang gekomen, maar voldoet het aldus behandelde water nog niet aan de VEWIN-aanbeveling. Aangezien tot nu toe niet bekend is welke factoren hierbij een rol spelen zou het zeer voorbarig zijn de resultaten van de experimenten te generaliseren. De tot nu toe verkregen resultaten stemmen overeen met de in de literatuur vermelde waarnemingen: de ontmanging is veel gecompliceerder dan de ontijzering en ook veel moeilijker op gang te brengen.

c. In hoeverre de concentraties van ammonium, vrij koolzuur en organische stof van het onttrokken grondwater worden beïnvloed, zoals wel in de literatuur wordt vermeld [Rott, 1978, Groba et al, 1978] is nog niet duidelijk. Tot nu toe zijn hierover nog geen duidelijke aanwijzingen verkregen.

d. Tot nu toe zijn 20 monsters bacteriologisch onderzocht. Bij één monster overschreed het kiemgetal de daarvoor gestelde norm (< 50 kiemen/ml). Alle overige monsters waren bacteriologisch in orde. Op grond van deze resultaten en de afwezigheid van het tegendeel in de literatuur bestaat de indruk dat de bacteriologische betrouwbaarheid van deze methode ten onrechte in twijfel is getrokken. Door tijdens het verdere verloop van de experimenten regelmatig monsters bacteriologisch te onderzoeken kan het vertrouwen in de bacteriologische betrouwbaarheid verder onderbouwd worden.

e. Bij toepassing van deze methode zullen ijzer- en mangaanafzettingen in het watervoerend pakket accumuleren. Deze zullen op de lange duur de hydraulische eigenschappen van het pakket beïnvloeden. Na het maken van verschillende veronderstellingen is het mogelijk een schatting te maken van de snelheid van de afname van de porositeit. De berekende afname bedraagt voor de beschouwde situatie maximaal 0,2 % per jaar. Op gelijke wijze kan voor dezelfde situatie berekend worden dat de gevormde ijzerafzettingen binnen een afstand van 10 m tot de put zullen accumuleren.

Bij een positief resultaat van de evaluatie zal onderzoek naar deze aspecten ter hand worden genomen.

Over de toepassingsmogelijkheden van deze methode van grondwaterzuivering is in zijn

algemeenheid weinig te zeggen. De situatie zal van geval tot geval moeten worden bestudeerd. Overwegingen die bij toepassing van deze methode een rol kunnen spelen zijn: besparing op de investeringskosten door het wegvallen van de filtratie indien de kwaliteit van het op deze wijze onttrokken water voldoet aan de normen die aan drinkwater gesteld worden, geringere investeringskosten doordat volstaan kan worden met een enkele in plaats van dubbele filtratie of door toepassing van een kleinere reinwaterberging en/of filtercapaciteit, tijdelijke toepassing van deze methode waardoor de investeringen ten behoeve van de zuivering gefaseerd en geoptimaliseerd kunnen worden, of zolang nog geen definitieve vergunning voor de onttrekking van grondwater is verkregen of als aanvulling bij piekverbruiken, betere zuivering bij variërende ruwwatersamenstelling, snellere inbedrijfstelling bij nood-situaties etc. Inherent aan toepassing van deze methode van grondwaterzuivering is de afwezigheid van problemen met spoelwater en/of slib en de preventie van putverstopping door ijzeroxyden en biomassa.

Uit de tot nu toe bereikte resultaten en bovengenoemde overwegingen moge duidelijk zijn dat de Werkgroep nog een lange weg heeft te gaan voordat deze methode van grondwaterzuivering operationeel zal zijn voor de bereiding van drinkwater.

Dankbetuiging

Gaarne wil ik deze publicatie besluiten met een woord van dank aan de voorzitter en leden van de Werkgroep Ondergrondse Ontijzering voor hun opbouwend commentaar op deze publicatie en de deelnemende waterleidingbedrijven voor de voortvarend uitvoering van de experimenten.

Literatuur

- Beek, C. G. E. M. van, en Vaessen, H. *Ontijzerin van grondwater in het watervoerend pakket*. H₂O 12 (1979), nr. 1, blz. 15-19.
- Bieske, E. *Ist eine Enteisung von Grundwasser unter Tage unmittelbar am Bohrbrunnen möglich*. BBR 21 (1970), nr. 11, blz. 416-417.
- Groba, E., Oldenburg, A. und Sumpf, H. *Eisen und Mangan im Grundwasser? Kein Problem!* Subterra Methoden GmbH, (1978), 8 p. + bijlage.
- Hallberg, R. O. and Martinell, R. *Vyredox - in situ purification of groundwater*. Groundwater 1: (1976), nr. 2, blz. 88-93.
- Rott, U. *Die Beeinflussung der Grundwasserqualität im Einzugsgebiet eines Horizontalbrunnens*. BBR 29 (1978), nr. 4, blz. 122-125.
- Rott, U. *Verbesserung der Grundwasserqualität im Boden durch Beeinflussung der Redoxpotentials*. Technische Berichte nr. 22 (1977), Sonderforschungsbereich 79, Technische Universität, Hannover, 34 p.



Slot van pagina 613

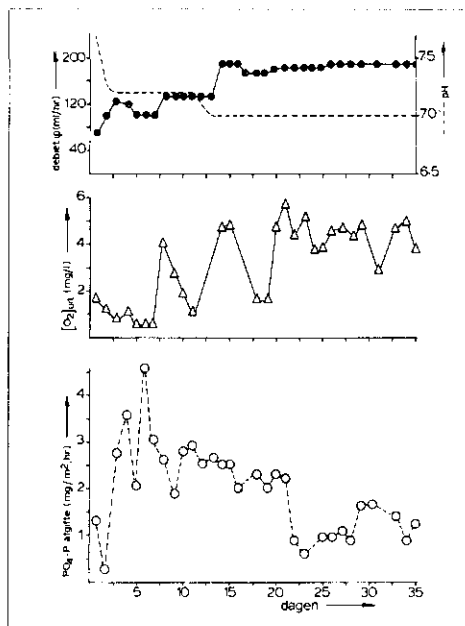
Nalevering van fosfaat door sedimenten

in het bovenstaande water op de afgifte van fosfaat leverde geen eenduidige resultaten op (tabel I). Voor de kolommen 5, 6 en 7 is bij een hogere pH een toenemende afgiftesnelheid gemeten, zowel onder aerobe als 'anaerobe' condities. De kolommen 8, 9, 10 en 11 geven ten dele een ander beeld te zien: hogere afgiftes bij een lagere pH. De verschillen in de fosfaatafgiftesnelheden zijn echter gering en van de orde van grootte van de standaarddeviatie (σ). De in het bovenstaande water ingestelde pH-waarden hebben vermoedelijk weinig invloed op de pH in het sterk gebufferde poriënwater-sediment systeem en daarmee ook weinig invloed op de fosfaatconcentratie daarin. Tijdens maandelijkse veldmetingen in het Brielse Meer is ook geconstateerd dat de pH in het sediment weinig varieerde ondanks grote veranderingen in de pH van het bovenstaande water (Hieltsjes, 1980).

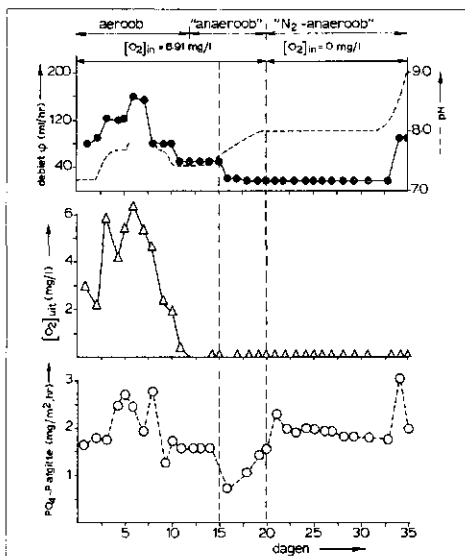
De invloed van de redox-condities in het sediment op de fosfaatafgifte werd ook in de proefopstelling van afb. 4 onderzocht waarbij de reactor soms werd doorstroomd met fosfaatvrij water (continu), maar bij andere experimenten een afgesloten hoeveelheid fosfaatvrij water werd gebruikt (batch). Aerobe en anaerobe condities werden gecreëerd door lucht resp. N₂ door het bovenstaande water te leiden.

Bij de batch experimenten blijken de onderzochte sedimenten zowel onder aerobe als anaerobe condities in staat te zijn fosfaat van het bovenstaande water na te leveren (tabel II). Wel is er een duidelijk verschil: onder aerobe condities gemeten afgiftesnelheden liggen ongeveer de helft lager dan onder anaerobe condities, hetgeen op grond van de bekende fosfaatconcentratiegradiënten over het grensvlak sediment-water ook verwacht mocht worden.

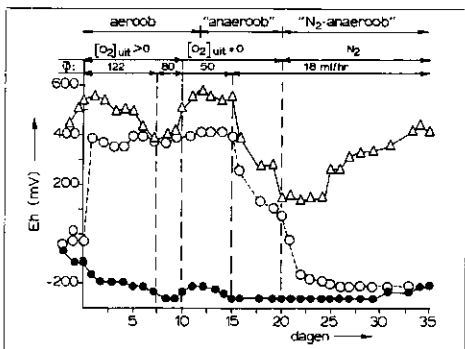
Bij de continue afgifte experimenten werd door de verblijftijd T van het water te regelen een aerobe (kleine T, inkomende water verzadigd met O₂), een 'anaerobe' (grote T, inkomende water verzadigd met O₂) of een 'N₂-anaerobe' (T variabel, inkomend water zuurstofloos) conditie gecreëerd. Voor een tweetal kolommen zijn de ingestelde condities alsmede de gemeten afgiftesnelheden in de afbeeldingen 8 en 9 weergegeven (zie ook tabel I). Opvallend daarbij is, dat in tegenstelling tot de verwachtingen en de resultaten van de batch experimenten, de fosfaatafgiftesnelheden onder 'anaerobe' en zelfs 'N₂-anaerobe' condities lager zijn dan onder aerobe. Dit moet toegeschreven worden aan de gekozen experimentele uitvoering, waarbij onder



Afb. 8 - Verloop van debiet, zuurstofconcentratie, pH en fosfaatafgiftesnelheid in de tijd. Kolomnummer 10.



Afb. 9 - Verloop van debiet, zuurstofconcentratie, pH en fosfaatafgiftesnelheid in de tijd. Kolomnummer 11.



Afb. 10 - Redoxpotentiaalverloop in de tijd op 3 verschillende punten in de kolom (nummer 11).
 Δ: 1 cm boven grenslaag
 O: grenslaag sediment-water
 ●: 1 cm onder grenslaag

aerobe condities door de korte verblijftijd de fosfaatconcentraties in het bovenstaande water relatief laag blijven. De drijvende kracht voor diffusie van fosfaat uit het sediment, de concentratiegradiënt tussen poriënwater en bovenstaand water, blijft dan groot en dus ook de flux van fosfaat. Bij 'anaerobe' condities wordt door de lange verblijftijden een veel hoger fosfaatconcentratie opgebouwd in het bovenstaande water waardoor deze gradiënt afneemt en de flux van fosfaat uit het sediment ook lager wordt. Ter vergelijking: de PO₄-P concentratie in het bovenstaande water was bij de 'anaerobe' experimenten 0,4-1,5 mg/l en bij de aerobe experimenten 0,05-0,4 mg/l. Het meetresultaat is derhalve (althans ten dele) een artefact. Wanneer in het geheel geen zuurstof meer aangevoerd wordt ('N₂-anaerob') nemen de fosfaatfluxen weer toe (afb. 9). De oorzaak hiervan is opnieuw dat de aerobe bovenlaag van het sediment wordt afgebroken en de gereduceerde zone met hogere interstitiële fosfaatconcentraties omhoog schuift tot aan het grensvlak. Voor kolom 11 is een ander ook fraai af te lezen uit het verloop van de redoxpotentiaal zoals die op een drietal punten in de kolom is gemeten (afb. 10). Zo blijft de redoxpotentiaal in de grenslaag sediment-water tot aan de 15e dag ongeveer constant op +400 mV. Wanneer dan echter het debiet nog verder wordt verlaagd (toename T) daalt de redoxpotentiaal tot +70 mV: de aerobe toplaag van het sediment wordt, althans gedeeltelijk, gereduceerd doordat de aanvoer van zuurstof onvoldoende is geworden. Als na de 20e dag er geen zuurstof meer in het aangevoerde water zit ('N₂-anaerob'), daalt de redoxpotentiaal nog verder en bereikt een waarde die overeenkomt met die op 1 cm diepte in het sediment.

Discussie

Van de uitwisselingsprocessen over het grensvlak sediment-water is hier met name het transport van fosfaat vanuit het sediment naar het bovenstaande water bekeken. Daarbij is gebleken dat transport van particulier fosfaat door resuspensie in het Brielse Meer geen rol van betekenis speelt, ook in de ondiepe delen van het meer niet. De verschillen in de samenstelling van de bodem, waarbij met name het fijne materiaal in de diepe gedeelten geaccumuleerd is, is hiermee in overeenstemming. Blijkbaar vindt onder gemiddelde condities vrijwel geen sedimentatie van fijn materiaal plaats in het ondiepe aanvoerkanal, omdat de schuifspanningen aan de bodem daarvoor nog te hoog zijn, terwijl in het diepere water dit proces wel plaatsvindt. Resuspensie van deze fijne, meestal fosfaatrijke,

sedimentfractie vereist stroomsnelheden langs de bodem, die zeker in de diepe stroomgeulen in het meer niet voor zullen komen.

Uit de beschreven afgifte experimenten blijkt dat de onderzochte sedimenten in staat zijn opgelost fosfaat aan het bovenstaande water na te leveren. Weliswaar zijn dit resultaten van laboratoriumexperimenten die zijn uitgevoerd bij omstandigheden die niet geheel vergelijkbaar zijn met die in het meer (speciaal de hydraulische-) maar ze geven zeker de grootte-orde van de fosfaatflux.

Onder aerobe condities is de fosfaatevenwichtsconcentratie in het interstitiële water een functie van de totale hoeveelheid fosfaat, het aantal en de aard van de adsorptieplaatsen op hydroxides, klei, calciet etc. en de pH. Diffusie van fosfaat in het bovenstaande water heeft een verlaging van de interstitiële concentratie tot gevolg, welke door desorptie, afbraak van organisch materiaal en diffusie vanuit dieper gelegen lagen wordt gecompenseerd. Dit naleveringsmechanisme kan dus beschreven worden met een diffusieproces gekoppeld met reacties. Daarbij zijn de reacties vooral evenwichtsprocessen van adsorptie en desorptie, waarbij relatief lage fosfaatconcentraties ontstaan. De fosfaatfluxen uit het sediment zullen dan ook niet erg groot zijn. Gebleken is dat deze fluxen nauwelijks beïnvloed worden door wijzigingen in de temperatuur (5-25 °C). pH-variëaties in het bovenstaande water, die in de meer situatie optreden als gevolg van fotosynthetische activiteit, blijken in het poriënwater niet of nauwelijks gevolgd te worden en hebben dan ook weinig consequenties voor de nalevering onder aerobe condities. Bij zeer hoge pH kan eventueel wel door co-precipitatie van fosfaat met CaCO₃ terugvoer naar het sediment optreden.

Bij de overgang van aerobe naar anaerobe condities in de toplaag van het sediment, zoals dat jaarlijks op een aantal plaatsen in het Brielse Meer voorkomt, neemt de fosfaatevenwichtsconcentratie in het poriënwater toe. De flux vanuit het sediment in het bovenstaande water zal als gevolg daarvan ook stijgen. Vergeleken met de laboratoriumexperimenten kunnen in het meer zelf deze fluxen nog wel groter zijn. Zo zal in de loop van de zomer door de verhoogde fotosynthetische activiteit meer organisch materiaal uitregenen op de bodem. Dit materiaal heeft een weinig compacte structuur met een hoog watergehalte en daardoor een korte diffusieweg voor fosfaat naar het bovenstaande water. Door mineralisatieprocessen kan een extra fosfaatflux naar het bovenstaande water

optreden. De grootte-orde van deze fosfaatfluxen, 0,2 tot 2,0 mg P/m², hr, moet worden gezien in het licht van de totale fosfaatkringloop en in de samenhang met de externe belasting. In het slotartikel van deze serie zal hierop ingegaan worden.

Dankbetuiging

De auteurs zijn dank verschuldigd voor de medewerking die zij hebben gehad van T. Stoffer, A. Koster, E. Geus en G. Banis en verder verschillende medewerkers van de Deltadienst van Rijkswaterstaat.

Literatuur

- Bassie, W. *Beschränkung der Algenentwicklung in den Speickerbecken des Braakman durch Füllen der Phosphate*. Wasser, no. 16, 1978, blz. 202-215.
- Hieltjes, A. H. M., 1980. *Eigenschappen en gedrag van fosfaat in sedimenten*. Dissertatie T.H. Twente, Enschede.
- Hieltjes, A. H. M. en Lijklema, L. *Nalevering van fosfaat door sedimenten*. III: interactie van fosfaat in sediment en (poriën)water. H₂O (12), 1980, nr. 26, blz. 599-602 en 608.
- Lijklema, L. en Hieltjes, A. H. M., 1978. *On the role of iron and calcium in the cycling of phosphates in shallow lakes*. Proc. Workshop on Hydrophysical and Ecological Models for shallow lakes and reservoirs, Laxenburg, IV, IIASA.
- Lijklema, L. en Hieltjes, A. H. M. *Nalevering van fosfaat door sedimenten*. I: inleiding, II: sedimentanalyse. H₂O (12), 1979, nr. 18, blz. 390-396.
- RIWA/RID, 1980. *Slib in Rijn en Maas: een beschrijving van de kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van slib in de Rijn en de Maas in relatie tot de drinkwatervoorziening*. D-RH 79-4/79-5/79-6. Rijkswaterstaat, 1972, 1974. *De waterkwaliteit van het Brielse Meer*. Nota's 13-72, 23-72, 74-01. Afd. Waterhuishouding c.a. Milieu-onderzoek Middelburg.
- Terwindt, J. H. J., 1977. *Deposition, transportation and erosion of mud*. In: Interactions between sediments and fresh water (ed. H. L. Golterman). Junk-Pudoc, Den Haag, blz. 19-24.
- Uunk, E. J. B. *Fosfaatbalans van het Wolderwijd en het Nuldernauw*. H₂O (12), 1979, nr. 18, blz. 397-402.
- ZZW, RIZA, RIJP, 1976. *Eutrofiëring van het toekomstig westelijke randmeer*. Bijlage VI.4.1.1. van de nota: 'Waterstaatkundige werken en waterkwaliteit IJsselmeergebied'.



(End of page 611)

toxic substances, for removal of substances produced by chlorination, and for removal of assimilable organic matter produced by ozonation. Contact times up to 30 minutes are required to meet these objectives, the running time being less than a year.

In treating polluted bankfiltrate and groundwater usually shorter contact times can be maintained. The running time depends on the pollution level.

H₂O (13) 1980, nr. 25; 637

U.D.C. 628.162.1 : 556.3

C. G. E. M. VAN BEEK:

Subsoil removal of iron and manganese from groundwater, first results of research in The Netherlands

Subsoil removal of iron and manganese comprises the injection of a limited amount of oxygen-saturated water into the aquifer, followed by the abstraction of a greater amount of groundwater containing less iron and manganese. Research into the feasibility of this method is coordinated by the working group 'Subsoil iron removal'. Experiments are carried out by the participating waterworks.

At this moment the first results of four well-fields are available, so that only preliminary conclusions can be drawn. Moreover, not all types of groundwater are represented. From these first results it appears that iron removal is satisfactory. Manganese, however, is removed to a less extent, so that the standard is not always met. Results of 20 bacteriological analyses indicated that in one sample the colony count at 37 °C exceeded the standard (50/ml).

As a consequence of this method of groundwater treatment, iron and manganese deposits accumulate in the aquifer, affecting the hydraulic properties. When this method appears to be feasible, research into this phenomenon will be started.

H₂O (13) 1980, nr. 25; 612

U.D.C. 546.185 : 556.555.6

A. H. M. HIELTJES and L. LIJKLEMA:

Exchange of phosphate by sediments

In discussing the exchange of phosphate across the sediment-water interface a distinction is made between particulate and dissolved material.

Research directed towards the occurrence of resuspension of sediments during storms produced no indications that this process takes place in lake Brielle.

Release rates of dissolved phosphate as a function of oxygen concentration, pH and temperature were obtained in laboratory experiments. The experimental set up excluded advection and resuspension; only diffusion was possible. Phosphate fluxes from anaerobic sediments (0,85 mg P/m², hr) are higher than release rates with oxygen rich overlying water (0,45 mg P/m², hr).

pH-variations in the overlying water had no effect on the pH of the interstitial water of the sediments and the release rates.

The effect of temperature was clear: enhancement of release rates with increasing temperature. A discussion of the effects of a reduction of external loading upon sediments and sediment release in lake Brielle will be presented in a subsequent article.

