

Ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket

1. Inleiding

Volgens de aanbevelingen van de VEWIN dient de concentratie van ijzer in het drinkwater kleiner te zijn dan 0,1 mg/l en bij voorkeur kleiner dan 0,05 mg/l. Met uitzondering van een aantal winningen die zuurstofrijk grondwater onttrekken, overtreft de ijzerconcentratie in het door de waterleidingbedrijven onttrokken grondwater gewoonlijk deze aanbeveling. Dit betekent dat de ontijzering bij de bereiding van drinkwater uit grondwater een belangrijke rol speelt.



IR. C. G. E. M. VAN BEEK
KIWA



IR. H. VAESSEN
NV Waterleiding Mij Gelderland

De klassieke methode van ontijzering bestaat uit beluchting gevolgd door filtratie om de gevormde ijzeroxiden te verwijderen. Het is echter ook mogelijk het te onttrekken grondwater ondergronds te ontijzeren door een oxydatiemiddel in het watervoerend pakket te brengen.

Onder de benamingen Vyredox en Subterra wordt de methode van ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket momenteel op de markt gebracht. Toepassing van deze methode van ontijzering is financieel aantrekkelijk. Wanneer door ontijzering in het watervoerend pakket een conventionele zuivering met behulp van snelfiltratie overbodig wordt, mag verwacht worden dat onder Nederlandse omstandigheden een besparing van ca. 20 % op de produktiekosten kan worden bereikt. Daardoor is deze methode opnieuw in de belangstelling gekomen.

In deze publikatie zal nader op de processen, die bij ontijzering in het watervoerend pakket een rol spelen, worden ingegaan. Hierbij zullen ook enige mogelijkheden en moeilijkheden bij toepassing van deze methode zijdelings ter sprake komen. Waar mogelijk zal de methode met gegevens uit de praktijk worden toegelicht.

2. Ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket

De ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket wordt gekenmerkt door de onttrekking van een grote hoeveelheid

ijzer vrij water na de invoer van een beperkte hoeveelheid zuurstofrijk water. Hallberg en Martinell (1976) geven de volgende verklaring voor de ontijzering en de ontmangening. Door de invoer van zuurstofrijk water ontstaat rond de put een min of meer aerob milieu. In een zone op enige afstand van de put wordt ijzer(II) geoxydeerd tot ijzer(III). In een dichterbij de put gelegen zone treedt oxydatie van mangaan(II) tot mangaan(IV) op. Bij deze oxydatiereacties wordt door de zgn. ijzer- en mangaanoxyderende micro-organismen een belangrijke rol gespeeld. De aanwezigheid van deze micro-organismen blijkt uit het aanwezig zijn van een adaptatieperiode: de ontijzering verloopt pas goed na een aantal cycli van invoer en onttrekking. Volgens Höll (1975) zou de zgn. biogene zone, waarin onder invloed van ijzeroxyderende micro-organismen het in oplossing aanwezige ijzer wordt verwijderd, 10 à 20 cm dik zijn. Rott (1975, 1976) noemt alle processen die bij de ontijzering en ontmangening een rol spelen, doch geeft niet aan op welke wijze de ontijzering in het watervoerend pakket verloopt. Wel zouden micro-organismen een belangrijke rol spelen. Aangezien zij poreuze waterdoorlatende ijzerafzettingen zouden vormen, zou met het verstopp

van het watervoerend pakket nauwelijks rekening behoeven te worden gehouden. De toelichting van Hallberg en Martinell (1976) en van Rott (1975) op de processen die bij de ondergrondse ontijzering een rol spelen is onbevredigend. Hoewel aan ijzer- en mangaanoxyderende micro-organismen een belangrijke rol wordt toegeschreven, lijkt de aanwezigheid van deze micro-organismen onwaarschijnlijk. Van het onderzoek op het gebied van putverstopping is immers bekend dat een accumulatie van ijzeroxyden en biomassa in korte tijd tot ernstige verstopping aanleiding kan geven. Tot nu toe is echter bij geen van de in bedrijf zijnde installaties enige verstopping van het watervoerend pakket geconstateerd. Bovendien bleek bij de experimenten van de WMG op het voormalig waterwinterrein te Andelst, in een watervoerend pakket waarin vanwege het ontbreken van zuurstof nauwelijks ijzeroxyderende micro-organismen aanwezig kunnen zijn, dat de ontijzering in het watervoerend pakket zonder problemen op gang kon worden gebracht. Een adaptatieperiode bleek niet of nauwelijks aanwezig.

Daarop is nagegaan of de waargenomen verschijnselen ook op een andere wijze zouden kunnen worden verklaard.

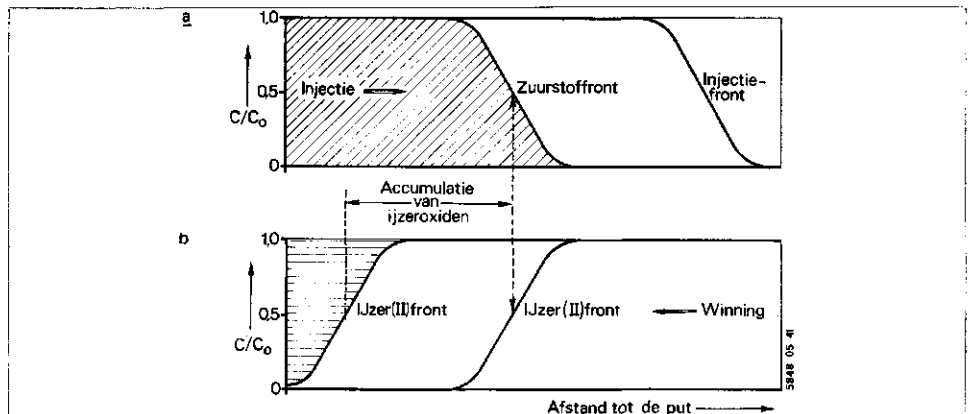
Afb. 1 - Schematisch overzicht van de processen die zich bij ontijzering in het watervoerend pakket afspeelen. De horizontale as geeft de afstand tot de put aan, de verticale as de fractionele concentratie van de aangegeven parameter, waarbij c_0 tijdens injectie de concentratie in het geïnjecteerde water en tijdens winning de concentratie in het onttrokken water weergeeft. De pijl geeft de richting van de stroming aan.

a. Injectie van zuurstofrijk water.
Op het einde van de injectie is de positie van het 'injectiefront' recht evenredig met de geïnjecteerde hoeveelheid water, de positie van het zuurstoffront wordt bepaald door de 'concentratie' van oxydeerbare stoffen in het watervoerend pakket. Tussen put en zuurstoffront bevinden zich geoxydeerde verbindingen, voorbij het zuurstoffront kan geen oxydatie hebben plaatsgevonden. Bij het beëindigen van de injectie is de door de gearceerde oppervlakte weergegeven hoeveelheid zuurstof nog in oplossing aanwezig. Deze zal bij onttrekking weer worden teruggepompt.

b. Winning van ijzer vrij water.
Zodra het van nature aanwezige grondwater de uiteindelijke positie van het zuurstoffront tijdens

de injectie heeft bereikt, zal het in oplossing aanwezige ijzer (II) aan de gevormde ijzer- en mangaanoxiden worden geadsorbeerd. Bij voortgaande winning zal het 'ijzer(II)front' door de geoxydeerde zone naar de put schuiven. Zodra het front de put heeft bereikt moet weer zuurstofrijk water worden geïnjecteerd om het geadsorbeerde ijzer (II) te oxyderen. De gearceerde oppervlakte is een maat voor de niet te benutten adsorptiecapaciteit om te voorkomen dat de ijzerconcentratie in het onttrokken water te hoog zal oplopen.

De gevormde ijzeroxyden zullen dus accumuleren tussen de gemiddelde afstand van het zuurstoffront na injectie en de gemiddelde afstand van het ijzer(II)-front voordat weer tot injectie wordt overgegaan.

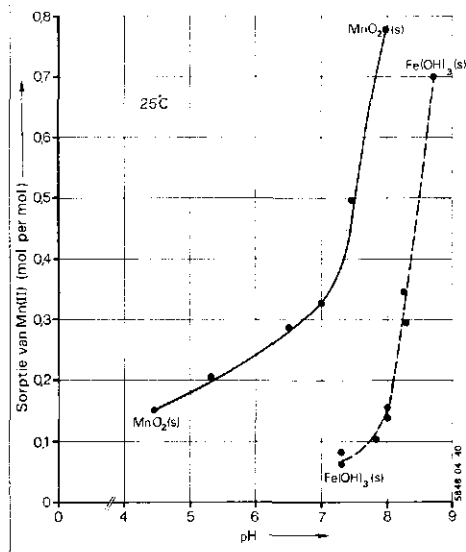


3. Model voor de ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket

Door het invoeren van zuurstofrijk water in het watervoerend pakket zal het van nature aanwezige anaerobe grondwater worden verdrongen. Allerlei in de vaste fase van de formatie aanwezige oxydeerbare verbindingen, zoals ijzer(II)- en mangaan(II)-verbindingen, sulfiden, organisch materiaal etc. zullen, zodra zij in contact komen met het zuurstofrijke water, worden geoxydeerd. Hierbij zullen onder andere ijzer- en mangaanoxyden worden gevormd. Doordat de opgeloste zuurstof wordt verbruikt zal het geïnjecteerde water zich verder dan de geïnjecteerde zuurstof van de injectieput af verbreiden. De mate van achterblijven van het 'zuurstoffront' op het 'injectie-waterfront' is afhankelijk van de hoeveelheid oxydeerbare verbindingen in de vaste fase van het watervoerend pakket. In afb. 1 is schematisch de positie van de verschillende fronten aangegeven. De vorm (steilheid) van de verschillende fronten is willekeurig gekozen.

Tijdens de daaropvolgende onttrekking zal door de gevormde ijzer- en mangaanoxyden ijzer(II) worden geadsorbeerd. In de literatuur wordt algemeen aangetoond dat allerlei zware metalen door ijzer- en mangaanoxyden geadsorbeerd kunnen worden. Voor informatie naar het mechanisme van wat hier eenvoudigheidshalve als adsorptie wordt aangeduid, wordt verwezen naar de desbetreffende literatuur (Hem, 1977, Murray, 1975, Posselt et al, 1968). Aangezien geen informatie is gevonden omtrent de mate van adsorptie van ijzer(II) aan ijzeroxyden en het gedrag van ijzer(II) en mangaan(II) bij adsorptie vergelijkbaar is, is in afb. 2 de adsorptie van mangaan(II) op $MnO_2(s)$ en op $Fe(OH)_3(s)$ als functie van de pH weergegeven (Stumm and Morgan, 1970, pag. 543). De mate van adsorptie wordt bepaald door de concentratie van het betreffende kation, de concentraties van de overige kationen, de pH en de aanwezigheid van organische chelaten en anorganische complexen (Jenne, 1968). Op dezelfde wijze als tijdens de injectie het 'zuurstoffront' achterblijft bij het 'injectiewaterfront' zal bij de onttrekking het 'ijzer(II)front' achterblijven bij het 'waterwinfront' en langzaam door de zone, waarin de tijdens de injectie gevormde ijzer- en mangaanoxyden aanwezig zijn, voortbewegen. Zodra het 'ijzer(II)front' de put begint te naderen zal de concentratie van ijzer in het opgepompte water toenemen en moet wederom zuurstofrijk water worden geïnjecteerd.

Tijdens deze injectie van zuurstofrijk water zal het geadsorbeerde ijzer(II) in ijzer(III) worden omgezet, waarbij de gevormde oxyden op de reeds aanwezige afzettingen



Afb. 2 - Adsorptie van mangaan(II) op mangaanoxyde en op ferrihydroxide als functie van de pH. Uit Stumm and Morgan (1970, p. 543).

zullen aangroeien. Volgens deze redenering lijkt de vorming van een weinig volumineus neerslag waarschijnlijk.

Het spreekt vanzelf dat bij het begin van iedere onttrekking een gedeelte van de geïnjecteerde hoeveelheid zuurstof, namelijk de hoeveelheid die nog in oplossing aanwezig is, wordt teruggepompt. In afb. 1a is het oppervlak tussen de put en het zuurstoffront een maat voor deze hoeveelheid.

Adsorptie en oxydatie zijn binnen de waterleidingwereld bekende begrippen. Bij de autokatalytische ontmanging en ontijzering verlopen de adsorptie en de oxydatie tegelijkertijd naast elkaar. Bij de hier gegeven verklaring daarentegen verlopen de adsorptie en de oxydatie bij de ontijzering in het watervoerend pakket gescheiden in de tijd. Dit is ook het geval bij ontijzering en ontmanging in filters gevuld met 'manganees greensand zeolite' (Sayell and Davis, 1975). Hierbij wordt onbelucht water door de filters geleid, die dan na verloop van tijd met $KMnO_4$ worden geregenereerd (geoxydeerd). In zijn meest recente publikatie noemt Rott (1978) de afwisselende adsorptie en oxydatie ook als mogelijke verklaring voor de ontijzering in het watervoerend pakket.

4. Nevenverschijnselen bij ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket

Naast het beoogde doel, namelijk het onttrekken van ijzervrij grondwater treden nog andere processen op. Door afzetting van de gevormde ijzeroxyden zal het watervoerend pakket langzaam verstopten. Bovendien zullen naast de oxydatie van ijzer(II) tot ijzeroxyden, ook allerlei andere in de formatie aanwezige oxydeerbare

stoffen met de ingevoerde zuurstof reageren.

4.1. Verstopping van het watervoerend pakket

In afb. 1 is al aangegeven dat, volgens het in paragraaf 3 voorgestelde model, de gevormde ijzeroxyden zullen accumuleren tussen de gemiddelde afstand van het zuurstoffront na injectie en de gemiddelde afstand van het ijzer(II)-front voor injectie. Hoe dichter deze afstanden bij elkaar liggen, des te sneller zal het watervoerend pakket rond de put verstopt raken. Hoe dichter deze afstanden bij de put liggen, des te sneller zal de afpomping in de put toenemen. Deze redenering geeft aan dat het mogelijk is door de keuze van de positie van het traject waarin de gevormde ijzeroxyden zullen accumuleren, de verstopping van het watervoerend pakket te beïnvloeden.

Dit kan gebeuren door al weer zuurstofrijk water te injecteren lang voordat het ijzer(II)-front de put heeft bereikt. Aangezien in het watervoerend pakket nog ijzeroxydeoppervlakken uit de voorafgaande injectieperiode niet met ijzer(II) bezet zijn, zal bij injectie van een gelijke hoeveelheid zuurstofrijk water het zuurstoffront wat verder in het pakket opschuiven. Aangezien tijdens de onttrekking de vorming van ijzeroxyden bij het zuurstoffront begint, zal op deze wijze het traject waarover de accumulatie zal plaatsvinden iets verder van de put af worden verlegd.

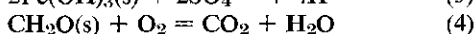
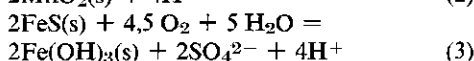
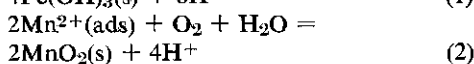
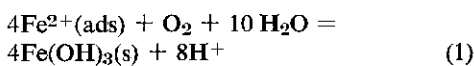
Hetzelfde effect kan ook bereikt worden door één keer extra veel zuurstofrijk water te injecteren en zo het zuurstoffront in het watervoerend pakket op te schuiven. Beter is grote hoeveelheden zuurstofrijk water te injecteren en grote hoeveelheden ijzervrij water te onttrekken. De accumulatie van ijzeroxyden zal dan over een groot traject plaatsvinden waardoor de verstopping van het watervoerend pakket pas na lange tijd merkbaar zal worden.

In het hier beschreven model wordt het in oplossing aanwezige ijzer(II) onder invloed van fysisch-chemische processen geadsorbeerd en vervolgens geoxydeerd. In deze situatie lijkt de vorming van een weinig volumineus ijzerneslag het meest waarschijnlijk. De gevormde ijzerafzettingen lijken dan ook geenszins op de accumulatie van biomassa en ijzeroxyden zoals die bij verstopte putten aanwezig is. Voor zover bekend is bij de installaties in Finland en Zweden, waarvan een aantal nu al bijna 10 jaar in bedrijf is, tot nu toe geen verstopping van het watervoerend pakket geconstateerd.

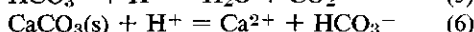
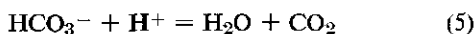
4.2. Beïnvloeding van de watersamenstelling

Naast de verwijdering van ijzer kan de samenstelling van het onttrokken water ook

nog op andere manieren worden beïnvloed. Het is goed hierbij een onderscheid te maken tussen de oxydatiereacties tijdens de injectie van zuurstofrijk water en de adsorptiereacties tijdens de onttrekking. Behalve het geadsorbeerde ijzer(II) kunnen nog allerlei andere in de formatie aanwezige stoffen geoxydeerd worden, bijv. geadsorbeerd Mn(II), sulfiden, organisch materiaal etc. Deze oxydatiereacties kunnen worden weergegeven als:



Uit deze reactievergelijkingen blijkt dat bij de oxydatie tevens protonen (H⁺-ionen) worden gevormd en mogelijk ook vrij koolzuur. Buffering van de gevormde protonen zal geschieden door het vrij koolzuur-waterstofcarbonaatevenwicht en indien het watervoerend pakket kalk bevat ook door het kalk-waterstofcarbonaatevenwicht:

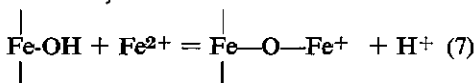


De grootte van de pH-daling wordt dus bepaald door de buffercapaciteit van het grondwater en/of van het watervoerend pakket. De veranderingen in samenstelling ten gevolge van de beschreven reacties (de afname van de pH, de toename van de concentraties van sulfaat, vrij koolzuur en calcium) kunnen alleen maar plaatsvinden in het geïnjecteerde water. Bij de aanvang van de onttrekking zullen deze veranderingen dan ook alleen in het teruggewonnen geïnjecteerde water aanwezig zijn. Zoals al bij afb. 1 is toegelicht, zal in het teruggewonnen geïnjecteerde water ook een gedeelte van de ingevoerde zuurstof aanwezig zijn.

Sulfiden en organisch materiaal zijn slechts in beperkte hoeveelheden als vaste stof in het watervoerend pakket aanwezig.

Na verloop van tijd zullen deze verbindingen onder invloed van de oxydatie rond de put zijn verdwenen, waardoor per injectie steeds grotere hoeveelheden ijzervrij water kunnen worden onttrokken.

Tijdens de onttrekking zal het ijzer(II) in oplossing geadsorbeerd worden aan het oppervlak van ijzer- mangaanoxyden. Om de elektroneutraliteit van de oplossing te handhaven moeten dan andere positief geladen ionen in oplossing gaan. De ionen die hiervoor het meest in aanmerking komen zijn H⁺-ionen:



In deze vergelijking stelt Fe—OH het

adsorptiecomplex, gevormd door de ijzer-oxydeafzettingen voor. De in vergelijking (7) geproduceerde H⁺-ionen zullen weer gebufferd worden. Vermoedelijk vertoont het adsorptiecomplex een hoge preferentie voor ijzer(II)-ionen zodat andere kationen veel minder sterk geadsorbeerd zullen worden.

Enige resultaten van chemische analyses van het onttrokken water zijn gepubliceerd.

Aangezien niet is aangegeven op welk moment de monsters zijn genomen, dat wil zeggen of het monsters zijn afkomstig van het teruggewonnen geïnjecteerde water dan wel van het ontijzerde grondwater, zijn deze resultaten niet te interpreteren.

Bij de WMG zijn ook op dit gebied in Andelst experimenten uitgevoerd. De concentraties van ijzer (ca. 0,24 mg/l) en overige in het water aanwezige oxydeerbare stoffen waren echter zo gering, dat naast de afwezigheid van ijzer andere wijzigingen in de chemische samenstelling van het onttrokken ontijzerde water niet of nauwelijks waren waar te nemen.

5. Efficiëntie van de winning

De verhouding tussen de geïnjecteerde hoeveelheid zuurstofrijk water (V_{in}) en de daaropvolgend onttrokken hoeveelheid ijzervrij water (V_{uit}) geeft de efficiëntie van de winning aan:

$$\alpha = \frac{V_{\text{uit}}}{V_{\text{in}}} \quad (8)$$

Deze efficiëntie kan worden benaderd door van het oxydatiemiddel en de oxydatieproducten een balans op te zetten. Uitwerking van deze balans leidt tot de volgende relatie:

$$\alpha = 1 + b(1-f-a) \frac{4(c_{\text{O}_2})_{\text{in}}}{c_{\text{Fe}} + 2c_{\text{Mn}}} \quad (9)$$

Hierin is:

b = factor, die aangeeft welk gedeelte van het gedurende de eerst cycli gevormde adsorptiecomplex voor de adsorptie van ijzer(II) benut kan worden, zie afb. 1b.

f = correctiefactor, die aangeeft welk deel van de geïnjecteerde hoeveelheid zuurstof bij de winning weer wordt afgevoerd, zie afb. 1a.

a = correctiefactor voor het deel van de geïnjecteerde hoeveelheid zuurstof dat verbruikt wordt voor de niet beoogde oxydaties van oxydeerbare verbindingen in de vaste fase van het watervoerend pakket.

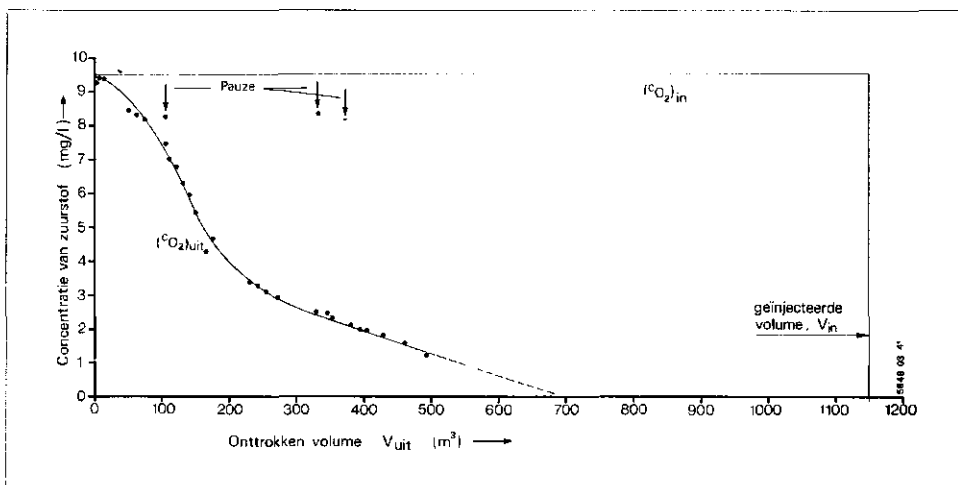
(c_{O₂})_{in} = concentratie van zuurstof in het geïnjecteerde water, in mmol/l.

c_{Fe} = concentratie van ijzer(II) in het grondwater, in mmol/l.

Het zuurstofrijke water kan op verschillende manieren aan het watervoerend pakket worden toegevoegd, alleen via de winput, alleen via satellietputjes die op enige afstand rondom de eigenlijke winput zijn geplaatst, of via beiden. Tijdens de onttrekking zal onmiddellijk na de injectie een gedeelte van de ingebrachte zuurstof weer worden teruggepompt. Hoe kleiner dit gedeelte is des te kleiner is de waarde van f. Over de waarde van f is enige informatie beschikbaar. Bij experimenten te Andelst, waarbij de injectie van zuurstofrijk water alleen via de winput plaatsvond, werd door de WMG een waarde van circa 0,20 voor f gevonden, zie afb. 3. Uit gegevens van een experiment te Chalon sur Saone kan een waarde van ca. 0,45 voor f worden berekend (Flygare, 1976).

Informatie over de waarde van a, de fractie van de toegevoerde hoeveelheid zuurstof die in niet beoogde oxydatiereacties wordt verbruikt, is niet beschikbaar. Aangezien

Afb. 3 - Verband tussen de zuurstofconcentratie en ingevoerde resp. onttrokken hoeveelheid water, in experiment 2 op het waterwingebied te Andelst (WMG).



de hoeveelheid sulfide en organisch materiaal in de door zuurstof beïnvloede zone rond de put eindig is, zullen deze reacties na verloop van tijd niet meer optreden. De waarde van a zal dus tot 0 naderen, de efficiëntie van de winning zal daardoor beter worden.

Informatie over de waarde van b is niet beschikbaar. Om doorslaan van ijzer te voorkomen, kan het onmiddellijk nabij de put aanwezige adsorptiecomplex niet worden benut. Na enkele cycli van injectie en onttrekking zal dit gedeelte van het adsorptiecomplex geen rol meer spelen in de zuurstofbalans en zal de waarde van b naar 1 naderen.

Aangezien nog onvoldoende informatie beschikbaar is over de ontmanging in het watervoerend pakket wordt in deze publicatie alleen de ontijzering beschouwd. De concentratie van mangaan(II) in het grondwater wordt daarom verwaarloosd, dat wil zeggen gelijk gesteld aan nul of gerangschikt onder de niet beoogde oxydatiereacties.

Indien de efficiëntie van de winning door de ontijzering wordt bepaald, gaat vergelijking (9) over in:

$$\alpha^{Fe} = 1 + b(1-f-a) \alpha_{max}^{Fe} \quad (10)$$

Hierin is α_{max}^{Fe} de maximaal bereikbare

efficiëntie van de winning indien alle zuurstof voor de oxydatie van ijzer(II) wordt verbruikt:

$$\alpha_{max}^{Fe} = \frac{4(C_{O_2})_{in}}{C_{Fe}} \quad (11)$$

Uit de vergelijkingen (10) en (11) volgt dat bij de ontijzering de efficiëntie van de winning wordt bepaald door de concentratie van ijzer(II) in het grondwater, de concentratie van zuurstof in het geïnjecteerde water en het rendement van de ontijzering, dat wil zeggen in hoeverre de toegevoerde zuurstof voor de oxydatie van ijzer(II) beschikbaar is. In figuur 4 is voor de ontijzering het verband tussen de efficiëntie van de winning en de ijzerconcentratie weergegeven als functie van het rendement van de ontijzering. Tevens zijn in deze figuur de gevonden efficiënties van winning van een aantal installaties en experimenten aangegeven (zie tabel 1).

Bij bestudering van de gegevens uit tabel 1 en afb. 4 blijkt dat 5 à 50 % van de ingevoerde zuurstof voor de oxydatie van ijzer(II) wordt verbruikt. De laagste waarden, 5 à 30 %, worden gevonden bij experimenten waarin wordt nagegaan of ontijzering in de formatie mogelijk is. Bij deze experimenten wordt het zuurstofrijke water in alle gevallen

TABEL 1 - Samenvatting van de informatie op het gebied van de ontijzering in het watervoerend pakket.

Nr.	Plaats	ijzer (II) concentratie mg/l	aard *	injectie **	efficiëntie v. d. winning	referentie
1	Andelst (Ned)	ca. 0,24	a	c	50 à 80	—
2	Chalon sur Saone (Fr)	0,60	a	c	2,8 à 4,8	Flygare (1976)
3	Grimśas (Zwe)	0,64—3,9	b	d	4 à 7	Anon (1978)
4	Jokiranta (Finl)	1,1 —2,5	b	d	11,1 ?	Rott (1976)
5	Kellokoski (Finl)	1,5 —3,5	b	d	10,7	Rott (1976)
6	Landringhausen (D)	2,5 —3,6	b	d	5 à 10	Rott (1975)
7	Landringhausen (D)	3,6 —4,0	b	d	10	Brandes et al (1977)
8	Loviselund (Zwe)	2,5	b	d	4	Brandes et al (1977)
9	Ørlevkloster (Den)	0,44—0,75	a	c	8 à 9	Glensvig (1976)
10	Ørlevkloster (Den)	11	b	d	ca. 3	Brandes et al (1977)
11	Stallarholmen (Zwe)	0,12—0,47	b	c	12 à 48	Brandes et al (1977)
12	Trehøje (Den)	0,73	b	d	9	Glensvig (1978)

* a = experiment, b = installatie

** c = injectie van zuurstofrijk water alleen via winput
d = injectie via winput en satellietputten

alleen via de winput in het watervoerend pakket gebracht. Bovendien kan tijdens deze periode een gedeelte van de ingevoerde zuurstof voor andere oxydatiereacties worden verbruikt.

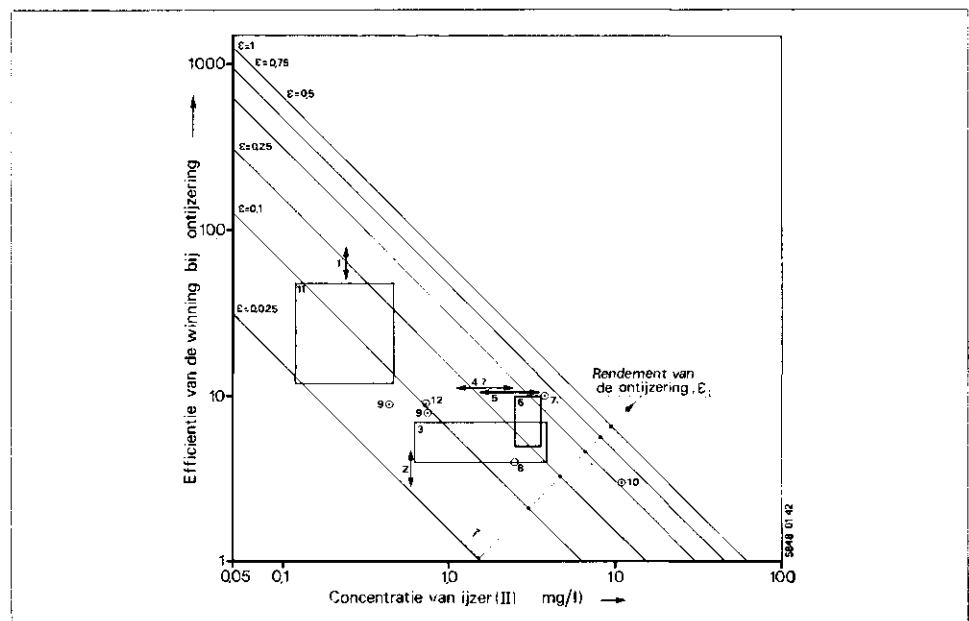
Hogere waarden, 5 à 50 %, voor het zuurstofverbruik voor de ijzeroxydatie worden gevonden bij installaties waar het zuurstofrijke water zowel via de winput als via de satellietputten wordt toegevoerd. Bij de installatie te Stallarholmen, waar het zuurstofrijke water alleen via de winput wordt geïnjecteerd, varieert deze waarde tussen 5 en 25 %.

Een aantal van de installaties is in bedrijf bij kleine winningen, bijvoorbeeld te Grimśas 100.000 m³/jaar. Het is daarom niet onmogelijk dat in een aantal gevallen de lage waarde van het zuurstofverbruik voor de

ijzeroxydatie moet worden toegeschreven aan een zeer voorzichtige bedrijfsvoering. Afb. 4 geeft de indruk dat bij lage ijzer(II)-concentraties een kleiner gedeelte van de ingebrachte zuurstof voor de ijzeroxydatie wordt gebruikt dan bij hogere ijzer(II)-concentraties. Aangezien de mangaan(II)-concentratie minder dan circa 0,5 mg/l bedraagt, zal, indien ook een gedeelte van de zuurstof voor de ontmanging wordt verbruikt, dit effect bij lagere ijzer(II)-concentraties groter zijn dan bij hogere. Bovendien kan de efficiëntie zijn afgestemd geweest op de ontmanging, aangezien in de praktijk blijkt dat mangaan(II) veel eerder de put bereikt dan ijzer(II).

Op een aantal puttenvelden verandert de chemische samenstelling van het grondwater met de diepte. De niet constante chemische samenstelling van het toe-

Afb. 4 - Verband tussen de efficiëntie van de winning en de ijzerconcentratie van het grondwater als functie van het rendement van de ontijzering. De concentratie van zuurstof in het ingaande water is gelijk gesteld aan 9 mg/l. De nummers verwijzen naar tabel 1.



stromende grondwater naar het putfilter geeft ook aanleiding tot lagere waarden voor de efficiëntie van de winning.

6. Slotbeschouwing

In deze publicatie zijn in een model de processen die bij ontijzering in het watervoerend pakket een rol spelen beschreven. In dit model wordt de ontijzering van het grondwater in het pakket toegeschreven aan adsorptie van ijzer(II) aan ijzer- en mangaanoxiden, gevolgd door oxydatie van het geadsorbeerde ijzer(II) door middel van injectie van zuurstofrijk water.

Aangezien zowel de adsorptie als de oxydatie van ijzer(II) bij hogere waarden van de pH steeds beter verlopen, kan toepassing van deze methode bij grondwater met een lage pH aanleiding tot problemen geven. Dit zou ook het geval kunnen zijn bij zeer zachte watertypen met nauwelijks bufferende eigenschappen. Nader onderzoek zal moeten aangeven aan welke omstandigheden de toepassing van de methode is gebonden. De methode zal ook problemen kunnen geven bij toepassing in formaties die niet of nauwelijks ijzer(II)-verbindingen in de vaste fase bevatten.

Bij toepassing van deze methode zullen in het watervoerend pakket ijzeroxyden gevormd worden. Als het beschreven model juist is zullen deze ijzeroxyden in de vorm van een weinig volumineus neerslag accumuleren. Aangezien bovendien de positie van het traject waarin deze accumulatie zal plaatsvinden is te beïnvloeden, behoeft de vrees voor verstopping van het watervoerend pakket toepassing van deze methode niet in de weg te staan. Dit geldt des te meer indien de methode wordt toegepast in situaties waar het onttrokken grondwater een lage ijzerconcentratie bezit die evenwel de door de VEWIN gestelde aanbeveling te boven gaat.

Aangezien de ingebrachte zuurstof bij aanwezigheid van andere oxydeerbare stoffen niet alleen voor de oxydatie van ijzer(II) zal worden gebruikt, zal de samenstelling van het grondwater ook nog op andere manieren kunnen veranderen.

Met behulp van het beschreven model is het mogelijk een schatting te maken van de efficiëntie van de winning. De efficiëntie van de winning is gelijk aan de verhouding van de onttrokken hoeveelheid ijzer-vrij water en de geïnjecteerde hoeveelheid zuurstofrijk water. Deze verhouding wordt bepaald door de ijzerconcentratie in het grondwater, de zuurstofconcentratie in het geïnjecteerde water en het rendement van de ontijzering. Het rendement geeft aan welk deel van de ingevoerde zuurstof voor de oxydatie van ijzer(II) tot ijzer(III) wordt verbruikt.

Binnenkort zullen bij een aantal waterleidingbedrijven experimenten uitgevoerd worden om de juistheid van het beschreven model te toetsen. Zodra deze experimenten uitgevoerd zijn zal een evaluatie van deze methode van ontijzering plaatsvinden. Wij wensen deze publikatie te besluiten met een woord van dank aan de heren ir. M. C. Brandes (RID) en dr. C. H. van der Weijden (Vening Meinesz Laboratorium voor geofysica en geochemie, Rijksuniversiteit Utrecht) voor het kritisch doornemen van het manuscript en het daarbij geleverde commentaar.

Literatuur

- Anon (1978), *Some data on the Vyredox plant in Grimsås, Tranemo kommun, Sweden*, Vyrmetoder AB, 24 p.
- Brandes, M. C., Glasbergen, P. en Hrubec, J. (1977), *Het Vyredox-systeem*, RID-rapport GHA-R-77/01, 21 p.
- Flygare, P. (1976), *Report on the vyredox trial aeration at Chalon sur Saone, France, 8-21 October 1976*, IFO, Vyredox, 14 p.
- Glensvig, L. (1978), *Trehøje vandvaerk øst, a new vyredox plant in Denmark*, IFO Vyredox, 8 p.
- Glensvig, L. (1976), *The first Vyredox water supply plant in Denmark*, Vandteknik 44(2) 3-12.
- Hallberg, R. O. and Martinell, R. (1976), *Vyredox - in situ purification of groundwater*, Groundwater 14 (2) 88-93.
- Hem, J. D. (1977), *Reactions of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide*, Geochim. Cosmochim. Acta 41, 527-538.
- Höll, K. (1975), *Ein neues Gewinnungsverfahren von eisenfreiem Trinkwasser aus eisenhaltigem Grundwasser ohne technische Aufbereitung*, GWW 29(11) 341-344.
- Jenne, E. A. (1968), *Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soils and water: the significant role of hydrous Mn and Fe oxydes*, in R. F. Gould (Ed.) Trace inorganics in water, Adv. Chem. Series 73, 337-387, Am. Chem. Soc.
- Murray, J. W. (1975), *The interaction of metal ions at the manganese dioxide-solution interface*, Geochim. Cosmochim. Acta 39, 505-519.
- Posselt, H. S., Anderson, F. J. and Weber, W. J. (1968), *Cation sorption on colloidal hydrous manganese dioxide*, Env. Sc. Techn. 2(12) 1087-1093.
- Rott, U. (1978), *Die Beeinflussung der Grundwasserqualität im Einzugsgebiet eines Horizontalfilterbrunnens*, BBR 29(4) 122-125.
- Rott, U. (1976), *Physikalische, chemische und biologische Grundlagen beim Transport von Schwermetallen im Grundwasser*, Technische Berichte, Sonderforschungsbereich 79, Technische Universität, Hannover, 48 p.
- Rott, U. (1975), *Anwendung und Grundlagen eines neuen Verfahrens zur Enteisung und Entmanganung von Grundwasser im Boden: Vyredox Methode*, BBR 26(10) 357-362.
- Sayell, K. M. and Davis, R. R. (1975), *Removal of iron and manganese from raw water supplies using manganese greensand zeolite*, Ind. Water Eng. 12(5) 20-23.
- Stumm, W. and Morgan, M. (1970), *Aquatic chemistry*, Wiley Interscience, New York.



Haagse Duinwaterleiding chloreert slechts zelden

In de antwoorden die gemeenteraadsleden op hun vragen aan B en W van 's-Gravenhage ontvingen is een ondertussen gecorrigeerde fout geslopen die in het betreffende Bericht N 89 van H₂O 23/78 werd overgenomen. Daarin staat nu vermeld dat door de Duinwaterleiding niet tot chlooring wordt overgegaan dan nadat daarover overleg is gepleegd met de Inspecteur van de Volksgezondheid in de provincie Zuid-Holland en deze zijn instemming daaraan heeft gegeven.

Deze voorstelling van zaken is uiteraard niet juist. Immers zodra uit het periodieke onderzoek blijkt dat de bacteriologische gesteldheid van het water dat het pompstation verlaat niet aan de norm voldoet, dient tot desinfectie te worden overgegaan. Voor overleg met de Inspecteur is dan geen tijd meer.

Het besluit tot chlorering over te gaan behoort trouwens tot de verantwoordelijkheid van de eigenaar (lees directie) van het bedrijf en niet tot die van de Inspecteur der Volksgezondheid. Hem wordt overeenkomstig de aanwijzingen van het Waterleidingbesluit wèl van de uitslag van het onderzoek melding gemaakt en daarbij wordt hem over het algemeen ongevraagd tevens medegedeeld dat direct tot chlooring is overgegaan.

Van het geproduceerde water wordt elke 6 uur een monster genomen, waarna de monsters in groepen van vier dagelijks bacteriologisch worden onderzocht. Teneinde een eventele doorslag van coliformen door de langzame zandfilters die de bacteriologische betrouwbaarheid moeten bewerkstelligen zo mogelijk te zien aankomen, worden niet, zoals het Waterleidingbesluit voorschrijft monsters van 100 ml ingezet doch monsters van 500 ml, die door middel van de membraanfiltermethode worden onderzocht. Zodoende kunnen aantallen van bacteriën van de coligroep die ver beneden de toegelaten grootte liggen al worden waargenomen, en een chlooring steeds tijdig worden bijgezet.

Drs. G. Drost

Texelstroom wordt PEN-Texel

Het elektriciteitsbedrijf Texelstroom heeft op 1 januari jl. zijn zelfstandige functie beëindigd. De provincie Noord-Holland — aandeelhouder van deze vennootschap — heeft besloten de bedrijfsvoering over te dragen aan het Provinciaal Elektriciteitsbedrijf van Noord-Holland (PEN). PEN-Texel blijft water engros leveren aan het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland op Texel.