

ADVIES
ONDERGRONDS BELUCHTEN

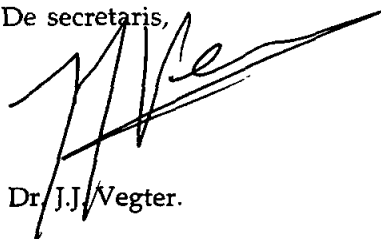
ADVIES
ONDERGRONDS BELUCHTEN

ADVIES ONDERGRONDS BELUCHTEN

Dit advies is vastgesteld op de TCB-vergadering van 12 november 1997.

Namens de commissie,

De secretaris,



Dr. J.J. Vegter.

De voorzitter,



Ir. W.C. Reij.

INHOUD

1. INLEIDING	1
2. ONDERGRONDS BELUCHTEN EN CHEMISCHE PROCESSEN	5
3. CONSEQUENTIES VAN ONDERGRONDS BELUCHTEN	15
4. ALTERNATIEVEN VOOR ONDERGRONDS BELUCHTEN	21
5. MILIEUHYGIËNISCHE AFWEGING	25
6. REFERENTIES	33

BIJLAGE: ADVIESAANVRAAG

1 INLEIDING

AANLEIDING TOT HET ADVIES

In het grondwater in Nederland zijn ijzer en mangaan vaak van nature aanwezig. Deze stoffen zijn echter ongewenst in het drinkwaterleidingennet omdat ze hier neerslagvorming en groei van biomassa veroorzaken. Dit heeft verstopping van de leidingen tot gevolg. Ook kunnen de metalen bij gebruik van het water tot ongewenste effecten leiden, zoals bruine vlekken in het wasgoed. Bij hoge concentraties in het drinkwater zijn zelfs darmstoornissen bij de mens mogelijk. Deze metalen worden daarom door intensieve beluchting en filtratie verwijderd alvorens het water verder getransporteerd wordt. Normaliter gebeurt dit bovengronds, waarbij grote hoeveelheden ijzer- en mangaanrijk slib ontstaan.

Naast ijzer en mangaan bevat het grondwater soms ook arseen tot enkele microgrammen per liter. Dit hoeft meestal niet verwijderd te worden, omdat de huidige norm voor arseen in de EG-drinkwaterrichtlijn 50 µg/l is. Arseen wordt bij beluchting ten behoeve van ontijzering, geoxideerd van arseniet tot arsenaat, dat door adsorptie aan de gevormde ijzermineralen ook neerslaat en in het drinkwaterslib terecht komt. Op basis van voornamelijk het arseengehalte moet een groot deel van het drinkwaterslib volgens de Wet chemische afvalstoffen worden aangemerkt als chemisch afval (meer dan 50 mg/kg arseen).

Het ontstaan van grote hoeveelheden drinkwaterslib, dat in veel gevallen als chemisch afval dient te worden behandeld, kan worden beperkt door het ijzer, mangaan en arseen laten neerslaan alvorens het grondwater wordt opgepompt. Dit kan gebeuren door het grondwater ondergronds te beluchten. Tot nu toe bestaat er nog geen beoordelingskader of algemeen overeengekomen standpunt over de milieuhygiënische toelaatbaarheid van ondergronds beluchten om het grondwater te ontijzeren. Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant hebben de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) verzocht de Technische commissie bodembescherming (TCB) om advies te vragen over dit onderwerp, opdat op basis daarvan tot een weloverwogen standpunt kan worden gekomen (zie bijlage). Naar aanleiding hiervan heeft de minister van VROM de problematiek per brief van 15 januari 1997, kenmerk DBO/97077247, ter advisering aan de commissie voorgelegd.

HISTORISCHE AANDACHT

In het begin van de jaren tachtig is ondergrondse ontijzering erg in de belangstelling geweest bij drinkwatermaatschappijen. Hiermee wilde men de zuivering bovengronds eenvoudiger maken en de grote hoeveelheid drinkwaterslib inperken. De techniek van beluchten in de ondergrond is toen bij enkele maatschappijen toegepast. Vanwege het ontstaan van arseenrijke afzettingen in de ondergrond is echter halverwege de jaren tachtig besloten niet verder onderzoek uit te voeren naar deze techniek. Het (niet-officiële) standpunt was dat dergelijke afzettingen ongewenst zijn. Er is er nog slechts een beperkt aantal putten waar ondergrondse ontijzering plaatsvindt. Deze situatie is tot nu toe gedoogd.

Aan het eind van de tachtiger jaren leefde de idee weer op om iets te doen aan de grote hoeveelheden (chemisch) afval die bij drinkwaterbereiding uit grondwater ontstaan. Ook toen is weer zeer globaal gekeken naar de mogelijke inzet van ondergrondse ontijzering. De VEWIN (Vereniging van Exploitanten van Waterleidingsbedrijven In Nederland) heeft in 1991 in haar Milieuplan [1] haar standpunt over dit alternatief als inzet bij het verminderen van de hoeveelheid afval, opgeschreven. Gezien de onzekerheden en de mogelijke gevolgen voor de ondergrond heeft zij geconcludeerd geen rol te zien weggelegd voor ondergrondse ontijzering. De VEWIN ziet meer in optimalisering van bestaande zuiveringstechnieken en introductie van membraanfiltratie. Deze conclusie is niet getrokken op basis van nieuw onderzoek naar de gevolgen van ondergrondse ontijzering.

De adviesaanvraag is dan ook alleen voortgekomen uit de mogelijkheid om bij particuliere grondwaterwinningen ondergrondse ontijzeringinstallaties te gebruiken. Particuliere winningen betreffen industriële winningen voor ondermeer koelwater en proceswater, winningen in de recreatieve sector, zoals ten behoeve van kampeer- en sportterreinen, en agrarische winningen voor ondermeer veedrenking en gietwater in de tuinbouw. Er komen nog sporadisch onttrekkingen bij woningen voor huishoudelijk gebruik voor [2]; in 1992 waren naar schatting nog enkele duizenden woningen niet op het openbare drinkwaterleidingnet aangesloten.

VERBREIDING VAN HET ADVIESONDERWERP

Ontijzering is de voornaamste reden om ondergronds te beluchten. In Duitsland wordt ondergronds beluchten ook ingezet om de concentraties arseen in het opgepompte water te verlagen, zodat dit water aan de WHO-advieswaarde voor drinkwater, 10 µg/l, kan voldoen.

Niet alleen voor de verwijdering van ongewenste stoffen uit het grondwater wordt ondergronds belucht. Zo is men bij de Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost (WZHO) een proefproject gestart om het positieve effect van ondergronds beluchten op de bacteriologische zuivering in filterbedden te onderzoeken. Ook bij activiteiten die nu worden genoemd in het Lozingenbesluit en het Infiltratiebesluit (beide Algemene Maatregelen van Bestuur op grond van de Wet bodembescherming) en bij diep-infiltratie ten behoeve van de drinkwaterwinning, bestaat de mogelijkheid dat zuurstofrijk water in het zuurstofarme grondwatermilieu wordt gebracht. De commissie heeft daarom besloten het advies niet alleen op ondergronds beluchten ten behoeve van ontijzering te richten, maar ook op andere toepassingen.

OPZET VAN HET ADVIES

Om te bepalen of ondergronds beluchten milieuhygiënisch aanvaardbaar is moeten een aantal aspecten in beschouwing worden genomen:

- de samenstelling en omvang van ijzerrijke afzettingen in de ondergrond;
- de schaal waarop ondergronds beluchten wordt of zal worden toegepast;
- de beheersbaarheid van de activiteit; en
- de alternatieven voor ondergronds beluchten.

Alvorens op grond van deze aspecten een afweging wordt gemaakt in hoofdstuk 5 wordt eerst in hoofdstuk 2 ingegaan op de bestaande kennis over de processen van neerslagvorming in de ondergrond. Ook is het van belang te weten wat er gebeurt als beluchting wordt gestopt. Wat hierover bekend is wordt ook in hoofdstuk 2 beschreven. Verder wordt in dit hoofdstuk aandacht besteed aan enkele natuurlijke processen en menselijke activiteiten die leiden of kunnen leiden tot de vorming van ijzerrijke afzettingen in de ondergrond.

Om een indruk te krijgen van de mate waarin door ondergronds beluchten de bodem kan worden beïnvloed, wordt in hoofdstuk 3 de samenstelling en de omvang van neerslagvorming geïllustreerd aan de hand van enkele berekeningen. In hoofdstuk 4 wor-

den alternatieven voor ondergronds beluchten besproken, zodat deze bij de afweging in hoofdstuk 5 kunnen worden meegenomen.

2 ONDERGRONDS BELUCHTEN EN CHEMISCHE PROCESSEN

BELUCHTINGSTECHNIEK

Zoals al eerder gezegd is ontijzering tot op heden een belangrijke reden geweest om belucht water in de ondergrond te brengen. Ondergrondse ontijzering bestaat eruit dat een relatief beperkt volume zuurstofrijk water in het watervoerend pakket wordt gebracht, waarna een groter volume water dat minder ijzer en mangaan bevat, kan worden onttrokken. Er zijn verschillende beluchtingssystemen op de markt. Een veel toegepaste installatie is het Vyredox-systeem. De toepassing hiervan vindt voornamelijk plaats in Zweden, Denemarken en Duitsland. In Duitsland is het bekend onder de naam Subterra. De installatie die in Noord-Brabant op de markt wordt gebracht, hetgeen uiteindelijk tot de adviesaanvraag heeft geleid, staat bekend onder de naam Fermanox.

Het te injecteren water wordt met zuurstof verzadigd in een zogenoemde *oxygenator* en vervolgens door een ontgassingstank geleid, zodat bijvoorbeeld kooldioxide, CO_2 , ontwijkt [3]. Het zuurstofrijke water kan zowel via de winput als via aparte injectieputten in het watervoerende pakket worden gebracht. De duur van injectie verschilt per installatie en situatie, maar bedraagt enkele uren tot een etmaal. Na de injectie kan aan de behandelde put gedurende een aantal dagen tot enkele weken ijzer- en mangaanarm water worden onttrokken. De hoeveelheid die wordt opgepompt is enkele tot vele malen groter dan de geïnjecteerde hoeveelheid. De verhouding tussen de hoeveelheden opgepompt en geïnjecteerd water wordt aangeduid met het begrip *efficiency-ratio*. De efficiëntie van ondergrondse ontijzering verschilt sterk per locatie; de *efficiency-ratio* varieert van ongeveer 100 tot 3 [4]. Na verloop van tijd nemen de concentraties in het opgepompte water weer toe. Daarna zal een nieuwe injectie met zuurstofrijk water moeten volgen om weer ijzer- en mangaanarm water te kunnen oppompen.

Ten gevolge van de in de ondergrond neergeslagen ijzer- en mangaanmineralen is het theoretisch mogelijk dat het watervoerende pakket verstopt raakt, waardoor toestroming naar de put afneemt. Met de huidige kennis is slechts een grove schatting te geven van de door dit proces verminderde levensduur van een put. Het is echter wel

aannemelijk dat het lang duurt (enkele tientallen jaren) voordat de gevolgen van de bodemverstopping worden opgemerkt. Dit zal in hoofdstuk 3 geïllustreerd worden.

ONDERGRONDSE OXIDATIEPROCESSEN

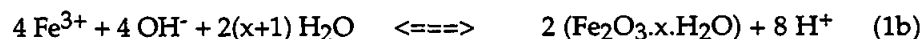
Bij afwezigheid van zuurstof komen ijzer en mangaan in tweewaardige vorm voor (Fe(II) en Mn(II)). Onder dezelfde pH- en redoxomstandigheden zal de concentratie aan Fe²⁺-ionen in grondwater veel kleiner zijn dan de concentratie aan Mn²⁺-ionen. Bij een O₂-spanning van 0,2 atm. en een pH van 7 is berekend dat er 500 maal zoveel mangaan als ijzer in vrije vorm aanwezig zal zijn [5]. Deze verhouding verandert weinig onder gereduceerde omstandigheden, zodat de ijzerconcentratie in grondwater in principe erg laag is. Toch worden in grondwater soms grote concentraties ijzer in oplossing aangetroffen. Het zijn secundaire omstandigheden zoals de CO₂-concentratie, die de hoeveelheid Fe²⁺ in oplossing doen toenemen [5]. Dit verklaart waarom onder vergelijkbare pH- en redoxomstandigheden op de ene plaats wel en op de andere nauwelijks ijzer van nature in het grondwater aanwezig is.

Als grondwater met opgelost tweewaardig ijzer en mangaan in een aëroob milieu terecht komt, worden de metalen geoxideerd tot slecht oplosbare ijzer(III)(hydr)oxides en mangaan(IV)oxides. Zuurstofhoudend grondwater is daarom altijd ijzer- en mangaanarm. In de 70-er jaren werd dit oxidatieproces nog uitgelegd als een omzetting door bacteriën [6, 7]. Momenteel wordt de ijzeromzetting echter als een zuiver fysisch-chemisch proces verklaard. In Nederland werd dit reeds beschreven door Van Beek en Vaessen in 1979 [8]. Voor mangaanomzetting speelt microbiologische omzetting waarschijnlijk wel een belangrijke rol [5].

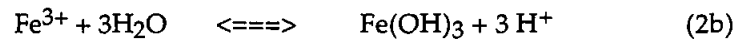
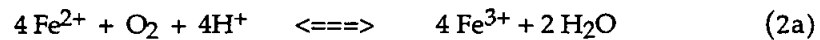
De oxidatievergelijking ziet er voor ijzer als volgt uit:



Dit wordt gevolgd door een hydrolysestap waarbij oxide neerslaat:



Deze reacties zijn sterk afhankelijk van de heersende zuurgraad. Bij lage pH (zuur milieu) zijn de vergelijkingen als volgt te schrijven:



Deze oxidatie verloopt veel minder snel. Onder zure omstandigheden zal daarom ook voor tweewaardig ijzer microbiële omzetting een rol spelen bij de oxidatie [9]¹.

Als alle geïnjecteerde zuurstof is verbruikt, stopt de oxidatie en ontstaat weer een front van mangaan- en ijzerrijk water. Aan de gevormde ijzer(III)- en mangaan(IV)-(hydr)oxiden adsorberen vervolgens de tweewaardige ijzer- en mangaan-ionen uit het grondwater. Tijdens een volgende injectie van zuurstofrijk water zal voornamelijk het geadsorbeerde ijzer(II) in ijzer(III) en mangaan(II) in mangaan(IV) worden omgezet. In geadsorbeerde toestand is de oxidatiesnelheid van de metalen vele malen groter [10]. Ontijzering verloopt dus sneller omdat de gevormde afzettingen de oxidatie van ijzer katalytisch versnellen [11]: autokatalyse. De (hydr)oxiden zullen op de reeds aanwezige afzettingen aangroeien. Hierdoor ontstaat een weinig volumineuze neerslag.

Onder gelijke omstandigheden is de oxidatiesnelheid van ijzer(II) veel groter dan van mangaan(II). Bovendien wordt ijzer sterker geadsorbeerd dan mangaan. Ontmanganing zal daarom pas optreden als bijna al het ijzer is geoxideerd. Hierdoor zullen de mangaan- en ijzermineralen niet op dezelfde plaats neerslaan. Omdat bij mangaan echter ook microbiologische omzetting een rol speelt, is het exacte gedrag moeilijker te voorspellen. In Duitsland, aan de universiteit van Stuttgart, is men nu een onderzoek begonnen naar het gedrag van mangaan bij ondergrondse beluchting [12].

Niet alleen ijzer en mangaan slaan neer als ondergronds wordt belucht. In het anaërobe grondwater komt arseen voor in driewaardige vorm (As(III)) als opgelost arseniet ($\text{As}(\text{III})\text{O}_3^{3-}$). Het arseniet wordt bij beluchting van het grondwater geoxideerd

¹ IJzeroxiderende bacteriën zoals *Tsibacillus*, *Gallionella* en *Leptothrix* zijn speciaal uitgerust voor een zuur milieu. Ze kunnen goed leven op de grens van een milieu waar Fe(II) aanwezig is en een milieu waar zuurstof aanwezig is. Deze omstandigheid bestaat in de nabijheid van putten in een verder gereduceerd milieu. De bacteriën zetten tweewaardig ijzer om en er ontstaan ijzer(hydr)oxiden. Omdat er slechts weinig energie te halen is uit de oxidatie van Fe(II) gaat het om relatief grote hoeveelheden neergeslagen materiaal. Dit en de gevormde biomassa veroorzaken verstopping van de putfilters.

tot arseenaat (As(V)O_4^{3-}). Dit arseenaat adsorbeert sterk aan de vers gevormde ijzer(hydr)oxiden en wordt daarom uit het grondwater verwijderd.

In het grondwatersysteem zijn ook andere oxideerbare verbindingen aanwezig, zoals sulfiden en organisch materiaal. De oxidatiereactie van het sulfide pyriet (FeS_2) is als volgt te beschrijven:



Bij sterk gereduceerde omstandigheden en in aanwezigheid van veel oxideerbare stoffen kan het geïnjecteerde zuurstof wel eens worden gebruikt voor bacteriologische omzetting van deze componenten. Er is dan niet voldoende zuurstof voor de oxidatie van opgelost ijzer en mangaan.

Bij oxidatieprocessen komen H^+ -ionen vrij (zie reacties 1a, 2b en 3). Bij onvoldoende buffercapaciteit in de ondergrond treedt verzuring op. Een deel van de vrijkomende H^+ -ionen wordt echter verbruikt door carbonaat (kalk gaat in oplossing):



Hierdoor zullen de CO_2 - en calciumconcentratie in het grondwater toenemen.

BEÏNVLOEDING VAN DE MICROBIOLOGIE

Er zijn geen gegevens bekend waaruit zou kunnen blijken dat het biologisch systeem in de ondergrond significant wijzigt. Van putfilters is bekend dat door de langdurige zuurstofrijke condities in de nabijheid van de put micro-organismen gaan floreren zodanig dat de put door het ontstaan van biomassa verstopt raakt. Bij ondergronds beluchten is er in het grondwaterpakket echter sprake van wisselende zuurstofconcentraties. Micro-organismen die kunnen profiteren van de aanwezige zuurstof zullen niet overleven gedurende de relatief lange periode van zuurstofloosheid tussen twee injecties van zuurstofrijk water in. Dit en de vaak geringe beschikbaarheid van organisch materiaal en voedingsstoffen maakt het niet erg aannemelijk dat door ondergronds beluchten het biologisch systeem in de ondergrond sterk zal wijzigen.

HERSTEL NA BELUCHTING

Indien de toepassing van ondergronds beluchten wordt beëindigd, treedt geen zuurstofrijk water meer in het ondergrondse milieu. Hierdoor zijn de gevormde neerslagen niet meer stabiel en kunnen zij worden gereduceerd. In het grondwatersysteem zijn verschillende stoffen aanwezig die kunnen optreden als reductiemiddel: zwavelwaterstof, methaan en eventueel organisch materiaal. Ook kunnen onder anaërobe omstandigheden Fe(III)(hydr)oxiden gereduceerd worden door een variëteit aan micro-organismen die Fe(III) gebruiken als electronenacceptor [9]. Verder zal, zoals uit reactie 4 blijkt, de CO₂ in het grondwater door ondergronds beluchten kunnen zijn toegenomen. Door de hogere CO₂-concentratie neemt de oplosbaarheid van Fe(II) toe. Theoretisch gezien is het dus mogelijk dat de gevormde neerslagen na beëindiging van de beluchting versneld in oplossing gaan.

Er is geen systematisch onderzoek bekend naar de reversibiliteit van de accumulatie van ijzer, mangaan en arseen na beëindiging van zuurstofinjectie. Hoe snel de oplossing plaatsvindt, is dus niet bekend. Bij praktijkwaarnemingen is gebleken dat na beëindiging de concentratie van ijzer zeer langzaam naar de oorspronkelijke concentratie in het opgepompte water gaat² [13]. De praktijk toont dus aan dat de ijzerverbindingen op korte en middellange termijn niet massaal worden gemobiliseerd. Of dit op lange termijn ook opgaat is niet bekend.

NATUURLIJKE ANALOGIEËN

In de ondergrond komen van nature ook ijzerrijke zones voor. De afzettingen hebben zich gevormd op de overgang van zuurstofarme naar zuurstofrijke milieus. Een voorbeeld daarvan zijn de *bog iron ores* die voorkomen aan de randen van (voormalige) moerassen. Deze accumulatie van Fe(III)afzettingen ontstaat door mobilisatie van Fe(II) in het veen, transport naar de randen van het veengebied waar zuurstofrijke omstandigheden heersen, en neerslag van ijzer(hydr)oxiden. Er kan zich hierdoor een aanzienlijke en zelfs winbare hoeveelheid ijzer ophopen. Zo is in het veengebied van Drenthe in het verleden dit ijzerrijke materiaal gedolven, waarbij het veen werd gebruikt als brandstof om het ijzer uit het materiaal te winnen. Een ander voorbeeld speelt zich af in beekdalen. Hier ontstaan zogenoemde ijzeroerbanken, doordat

² Mangaan laat eerst een piek in concentratie zien tot ongeveer 3 maal de oorspronkelijke waarde, om vervolgens tot de oorspronkelijke waarde te dalen. De verklaring hiervoor luidt als volgt. IJzer(II) in het grondwater verdringt mangaan(II) dat is geadsorbeerd. Het gedesorbeerde mangaan zorgt voor de tijdelijke concentratieverhoging. Welke concentratie mangaan maximaal wordt bereikt, is afhankelijk van de ijzerconcentratie.

anaëroob en ijzerrijk water uit de diepte omhoog kwelt en dicht bij de oppervlakte met lucht in contact komt [14].



Figuur 1. Een zeer grillig verlopend ijzerbandje in een haarpodzolgrond-profiel. Overgenomen uit Dekker *et al.* [14].

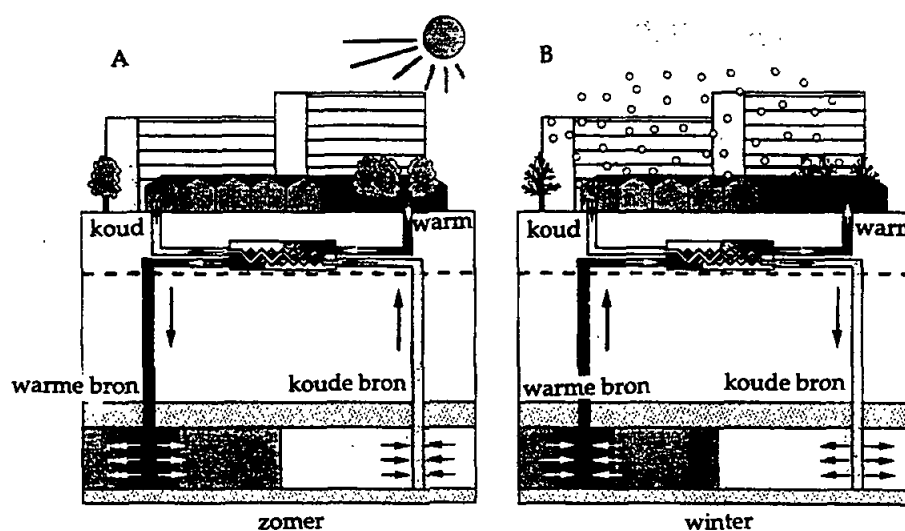
Een derde voorbeeld waarbij ijzer zich ophoopt, is de vorming van zogenoemde ijzerbandjes in podzolgrond profielen (figuur 1). Op deze grond komt heidevegetatie voor die een moeilijk afbreekbare donkere organische laag vormt. De humusdeeltjes in deze laag spoelen uit, hopen zich op in de inspoelingslaag en vormen daar een slecht doorlatende laag. Water blijft op deze laag staan waardoor een gereduceerd milieu ontstaat. In het zure milieu van de uitspoelingslaag lost het aanwezige ijzer op en spoelt uit. Dit ijzer slaat neer aan de bovenzijde van de onder de inspoelingslaag liggende aërobe zandlaag. Hierdoor ontstaat een enkele millimeters dik ijzerlaagje. Dit proces is voornamelijk opgetreden op de zandige stuwwallen van de Veluwe, Noord-Brabant, Utrechtse Heuvelrug en Drenthe [14].

BELUCHTING BIJ ANDERE ACTIVITEITEN

Zoals al eerder is aangegeven is ondergrondse ontijzering één van de voornaamste redenen om zuurstofrijk water in de ondergrond te brengen. De ondergrondse processen die daarvan het gevolg zijn kunnen echter ook plaatsvinden bij activiteiten die niet gericht zijn op ontijzering van het grondwater. De in de ondergrond ontstane neerslagen zijn bij deze activiteiten een neveneffect.

Koude- en warmteopslag

De ondergrond wordt gebruikt om tijdelijk energie in de vorm van warm of juist koud water, op te slaan. In Nederland zijn reeds meerdere koude- en warmte-opslagprojecten gerealiseerd. Het is te verwachten dat in ieder geval het aantal koude-opslagprojecten nog zal toenemen [15]. Omdat veelal het grondwater wordt opgewarmd of afgekoeld met een bovengrondse warmtewisselaar (figuur 2) wordt voorkomen dat bijvoorbeeld het zuurstofgehalte van het opnieuw geïnfiltreerde grondwater is veranderd. Toch is beluchting niet geheel uit te sluiten, zodat ook bij deze projecten zich ijzer- en mangaanneerslagen kunnen vormen [16].



Figuur 2. Principe van warmte-opslag in watervoerende pakketten. Overgenomen uit Dufour [17].

Diepinfiltratie

Grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening heeft op veel plaatsen in Nederland tot verdroging geleid of zal dit in de toekomst nog kunnen veroorzaken. Door oppervlaktewater in het watervoerende pakket te infiltreren en na verloop van tijd weer te onttrekken wordt deze verdroging voorkomen terwijl toch van de zuiverende eigenschappen van bodempassage kan worden geprofiteerd. Oppervlaktewater is aëroob, terwijl het ontvangende milieu anaëroob is. Voorzover bekend, is in studies naar de milieu-effecten van diepinfiltratie weinig aandacht besteed aan de gevolgen van deze veranderende milieuomstandigheden voor ijzer, mangaan en arseen in het grondwater [18, 19]. Bij diepinfiltratie wordt echter in principe geen extra (ijzerrijk) grondwater uit de omgeving aangetrokken, zodat het onttrokken water bijna geheel overeenkomt met het ge-

infiltreerde oppervlaktewater. De eventuele neerslagvorming zal als gevolg hiervan zeer beperkt blijven.

Lozen van (afval)water

Het in de bodem brengen van vloeistoffen met het doel deze daar te laten (lozen) is verboden. Hierop kan volgens het Lozingenbesluit in enkele gevallen een uitzondering worden gemaakt [20]. Zo kan bijvoorbeeld koelwater in de bodem geloosd worden als er geen gevaar is voor verontreiniging van de bodem. Ook geldt het loosverbod niet voor grondwater dat bij bijvoorbeeld bemalingen voor mijn- en bouwactiviteiten aan de ondergrond wordt onttrokken. Dit water mag in dezelfde watervoerende laag worden teruggebracht als waar het aan is onttrokken. Bij deze activiteiten wordt sterk gelet op mogelijke verontreinigingen in het te (her)injecteren water. Naar de zuurstofconcentratie wordt niet gekeken, terwijl deze toch sterk kan verschillen van het grondwater in de laag waarin het water wordt geïnfiltrerd. De mate waarin als gevolg van deze activiteiten neerslag in de ondergrond kan optreden is afhankelijk van veel factoren, zoals de samenstelling van het grondwater, de zuurstofconcentratie in het geïnjecteerde water en de hoeveelheid water die geïnjecteerd wordt (eenmalig of vaker).

Doordringen van de ondergrond met boorschachten en pijpen

Overal waar voor grondwaterwinning, winning van fossiele brandstoffen of om andere redenen een put in de ondergrond wordt geboord, is sprake van beïnvloeding van de redoxomstandigheden in de ondergrond. Dit uit zich in de groei van biomassa en neerslagvorming in de nabije omgeving van de putfilters. Het gaat hierbij om beïnvloeding op zeer korte afstand van de put.

Bodembeluchting bij bodemsaneringsprojecten

In het kader van het Nederlandse Onderzoeksprogramma In-situ Sanering (NOBIS) zijn de technieken *bioventing* en *biosparging* onderzocht [21]. Bij deze technieken wordt het bodemwater verrijkt met zuurstof zodat optimale omstandigheden ontstaan voor micro-organismen. Hierdoor zijn zij in staat organische verontreinigingen af te breken. Deze technieken maken dus gebruik van een intensieve beluchting van een milieu dat voorheen anaëroob was. Hierbij kan in het grondwater aanwezig opgelost ijzer oxideren en neerslaan. Indien ook het water wordt opgepompt om de afbraakproducten van de organische verontreini-

gingen te verwijderen, kan eventueel ijzerrijk grondwater uit de omgeving worden aangetrokken, waaruit het ijzer ook wordt neergeslagen.

3 CONSEQUENTIES VAN ONDERGRONDS BELUCHTEN

CONCENTRATIES IN NEDERLANDS GRONDWATER

De concentraties van ijzer, mangaan en arseen in het grondwater zullen uiteindelijk bepalen hoeveel neerslag zich zal vormen en in welke mate de elementen zich in de ondergrond zullen ophopen. Niet overal in Nederland zijn de concentraties aan metalen en arseen in het grondwater gelijk. De concentratie is afhankelijk van de samenstelling van de watervoerende lagen zelf en bijvoorbeeld van de omstandigheden in het infiltratiegebied.

Er zijn geen grondwaterkwaliteitsnormen (streef- en interventiewaarden) voor ijzer en mangaan opgesteld. Er zijn wel gegevens beschikbaar van concentraties in het Nederlandse grondwater. De analyse van deze elementen gaat echter met veel onzekerheden gepaard, zodat de resultaten met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd moeten worden (tabellen 1 en 2). Globaal kan de concentratie in het Nederlandse grondwater voor ijzer op ongeveer 10 mg/l en mangaan op 0,5 mg/l worden gesteld [22]. Over de verdeling van ijzer in grondwater over Nederland kan het volgende worden gezegd. In het oosten van de provincie Utrecht en op de Veluwe wordt vrijwel ijzervrij water gewonnen. In de Betuwe, Noord-West-Brabant, en in de noordelijke provincies van Nederland komt sterk ijzerhoudend grondwater voor.

Het gemiddelde arseengehalte van het grondwater in Nederland is ongeveer 3 µg/l (tabellen 1 en 2) [22]. De helft van het aantal waarnemingen zit tussen de 1 en 2 µg/l [23]. Dit is duidelijk lager dan de streefwaarde voor grondwater van 10 µg/l. De hoogste arseengehalten worden gevonden in rivierkleigebieden. Verder lijken de zandgronden wat hogere concentraties te hebben dan de overige bodemtypen. Overschrijding van de streefwaarde komt incidenteel voor [24, 25].

Tabel 1. Concentraties in grondwater voor het dieptetraject 0 tot 15 m -mv in meetjaar 1996 en voor 298 waarnemingspunten [22].

	Eenheid	Gemiddelde	Standaard- afwijking	Minimum	Maximum
As	[µg/l]	3,1	11	0,15	148
Fe	[mg/l]	8,7	13	0,01	117
Mn	[mg/l]	0,6	0,7	0,00	5,8

Tabel 2. Concentraties in grondwater voor het dieptetraject 15 tot 30 m -mv in meetjaar 1996, voor 295 waarnemingspunten [22].

	Eenheid	Gemiddelde	Standaard- afwijking	Minimum	Maximum
As	[µg/l]	2,7	12	0,15	185
Fe	[mg/l]	10	13	0,01	98
Mn	[mg/l]	0,5	0,5	0,00	3,4

OMVANG VAN HET BEÏNVLOEDE GEBIED

Ten gevolge van injectie van zuurstofrijk water zal het aanwezige grondwater worden verdrongen. Het opgeloste zuurstof wordt verbruikt, zodat het front van zuurstofrijk water minder ver zal reiken dan het front van geïnfiltrerd water. Hoeveel minder hangt af van de hoeveelheid oxideerbare verbindingen. Het ijzer zal alleen daar neerslaan waar het zuurstofrijke water doordringt. Tijdens de onttrekking wordt het opgeloste ijzer(II) in het aangetrokken grondwater aan de reeds gevormde neerslagen geadsorbeerd. Hierdoor blijft het front van opnieuw opgepompt ijzerrijk grondwater achter. In de volgende injectiestap wordt het geadsorbeerde ijzer omgezet. Het gevolg is dat de neerslagen ontstaan tussen de plaats van het zuurstoffront na injectie en de plaats van het gemiddelde ijzer(II)front vlak voor injectie. Het is daarom mogelijk de zone van accumulatie verder van de put te brengen door een groter volume water te injecteren.

De door ondergrondse beluchting beïnvloede zone rond de put heeft een straal van ongeveer 5 tot maximaal 10 meter [13]. Dit geldt voor putten met relatief grote hoeveelheden geïnfiltrerd zuurstofrijk water. Voor kleinere hoeveelheden is het beïnvloedingsgebied minder groot.

SAMENSTELLING VAN GEVORMDE NEERSLAGEN

Er zijn geen metingen verricht om de omvang van de chemische veranderingen in de ondergrond te bepalen. Hiervan kan dus alleen een indruk worden verkregen met berekeningen op basis van theoretische kennis over de processen. In kader 1 is een berekening opgenomen waarin een zeer grove schatting wordt gemaakt van de toename van het ijzergehalte in de ondergrond bij een fictieve waterwinning. In kader 2 is dit gedaan voor een ontarsenerings-project in Duitsland. De gegevens voor de Duitse situatie zijn uit Friedle [26] en Rott *et al.* [27] overgenomen. Ontarsenering is in Duitsland onderzocht omdat momenteel de EG-drinkwaterrichtlijn wordt herzien. De norm voor arseen zal daarbij verlaagd worden van 50 naar 10 µg/l conform de WHO-advieswaarde.

KADER 1

Voorbeeldberekening van de neerslagvorming bij een fictieve drinkwaterwinning

Bij een gemiddelde ijzerconcentratie in het grondwater van 5 mg/l en een grondwateronttrekking van 1 miljoen m³/jaar wordt 5000 kg ijzer per jaar onttrokken. Als dit ijzer door ondergronds beluchten effectief uit het water wordt verwijderd blijft deze hoeveelheid in de ondergrond achter. Van het volume bodem waarin dit neerslaat is moeilijk een schatting te maken. Indien dit een grondwaterpakket van 10 meter dik is en de neerslag zich binnen een straal van 10 meter vanaf de infiltratieput vormt dan slaat de 5000 kg ijzer in de vorm van ijzer(hydr)oxide per jaar neer in ongeveer 3000 m³ (4,5 miljoen kg) bodem. Dit leidt tot een toename van het gehalte aan ijzer in de bodem van 1,1 g/kg per jaar.

KADER 2

Voorbeeldberekening van de neerslagvorming bij een Duits ontarsenering-project [26 en 27]

Er is 2 mg/l ijzer in het ruwe grondwater aanwezig. Er wordt gedurende 12 weken ongeveer 30.000 m³ water onttrokken. Als al het ijzer wordt verwijderd dan ontstaat er ongeveer 60 kg ijzer in deze 12 weken. Er werd onttrokken in een filter van 20 meter lang. In navolging van de berekening in kader 1 is een straal van het beïnvloedingsgebied van 10 meter aangenomen. Het bodemvolume waarin neerslag optreedt is dan ongeveer 6000 m³ (9 miljoen kg). Dit leidt tot een berekende toename van het gehalte aan ijzer in de bodem van 7 mg/kg in 12 weken en dus ongeveer 0,03 g/kg per jaar.

Uit de zeer grove schatting van kader 1 komt naar voren dat de toename van het ijzergehalte in de ondergrond ten gevolge van beluchting bij een grote waterwinning in de orde grootte van 1 g/kg per jaar kan liggen. Bij een minder grote winning en vergelijkbare ijzerconcentraties in het grondwater, komt dit lager uit (zie kader 2). Een grote onzekere factor is het gebied waarover de neerslagvorming plaatsvindt. Als de straal van het gebied waarin neerslag plaatsvindt op 5 meter in plaats van 10 meter wordt gesteld, dan is het berekende ijzergehalte vier keer zo hoog.

In Van Beek *et al.* [13] is een schatting gemaakt van het gevormde neerslag door gebruik te maken van gegevens van zuiveringsstation de Put van Waterleidingsmaatschappij Zuid-Holland Oost. Hier vindt nu geen ontijzering plaats, maar in het verleden wel. In put 4 van het zuiveringsstation wordt 500.000 m³ grondwater per jaar onttrokken. Het grondwater heeft een ijzerconcentratie van 4 mg/l en het verwijderde ijzer is berekend op 2000 kg/jr. Het gaat dus ook hier om een grote hoeveelheid, maar afgezet tegen het bodemvolume waarin de neerslag zou kunnen plaatsvinden leidt dit tot een toename van het gehalte in de ondergrond van 2 g/kg per jaar. De toename ligt in dezelfde orde van grootte als het resultaat van de vergelijkbare situatie in de in kader 1 gepresenteerde berekening. Deze resultaten zijn niet te veralgemeniseren naar iedere waterwinning. Er zal voor een nieuwe situatie dus opnieuw gerekend moeten worden. Uitgaande van de berekende toename van het ijzergehalte per jaar, valt met enige voorzichtigheid te concluderen dat door ondergronds beluchten gedurende de levensduur van het materiaal en de constructie van de put (ongeveer 25 tot 50 jaar) met een winningscapaciteit van ongeveer 1 miljoen m³/jaar het ijzergehalte van de ondergrond in de omgeving van de put enkele procenten gaat bedragen.

Door Van Beek *et al.* [13] zijn ook berekeningen gemaakt voor arseen. De arseenconcentratie in het ruwe water van put 4 op zuiveringsstation De Put is 4 µg/l. Het arseengehalte van het bovengronds gevormde slib bedraagt 110 mg/kg droge stof. Als de zelfde verhouding tussen arseen en ijzer in dit slib wordt aangehouden voor de ondergrondse neerslagvorming, dan is berekend dat 1 mg As/kg bodem per jaar ontstaat. Gedurende de levensduur van een put kan het gehalte aan arseen in de bodem dus oplopen tot enkele tientallen mg/kg. De berekende toename van het arseengehalte in de ondergrond is sterk afhankelijk van het bodemvolume waarin de neerslag plaatsvindt. Het volume wordt bepaald door de reikwijdte van het geïnfilterde zuurstofrijke water. Dit betekent dat met de hoeveelheid geïnfilterd water de ophoping van arseen in de bodem sterk kan worden gestuurd.

AFNAME VAN HET PORIËNVOLUME IN DE ONDERGROND

Het neerslag kan tot gevolg hebben dat de permeabiliteit van het watervoerende pakket in de nabijheid van de put afneemt. Volgens Van Beek *et al.* [13] kan voor zuiveringsstation de Put berekend worden dat per jaar ongeveer 0,5% afname van het poriënvolume optreedt. Ervan uitgaande dat dit een goede voorspelling vormt voor de praktijk kan gesteld worden dat de toestroming naar de put door verstopping gedurende de levensduur van de put niet erg veel zal worden beïnvloed. Het poriënvolume neemt gedurende die 25 tot 50 jaar af van ongeveer 33% naar 25%. Deze constatering wordt door de praktijk bevestigd. Een ervaringsfeit is dat beluchting vele malen herhaald kan worden zonder dat de productie van ontijzerd grondwater merkbaar afneemt [28].

4 ALTERNATIEVEN VOOR ONDERGRONDS BELUCHTEN

Zoals momenteel bekend is, kan ondergronds beluchten de volgende redenen hebben:

- ijzer- en mangaanverwijdering;
- arseenverwijdering;
- beter verlopen van de denitrificatiestap in het bovengrondse zuiveringsproces;
- het ondergronds afbreken van organische verontreinigingen.

Bij andere activiteiten is beluchting een (onbedoeld) gevolg van de activiteit.

In dit hoofdstuk worden mogelijke alternatieven beschreven voor ijzer-, mangaan en arseenverwijdering, zodat deze in de milieuhygiënische beoordeling van ondergronds beluchten kunnen worden afgewogen. Het proces dat ten grondslag ligt aan de verbeterde denitrificatie na ondergronds beluchten is nog niet bekend. Het is mogelijk dat het onderzoek van WZHO naar dit fenomeen resultaten oplevert waaruit blijkt dat de verbetering ook kan optreden door een behandeling bovengronds. Op dit moment is het dus niet zinvol in te gaan op de mogelijke alternatieven voor dit doel van ondergronds beluchten. Beluchting met het oog op ondergrondse afbraak van organische verontreinigingen is juist ontwikkeld omdat de alternatieven onwenselijk of onuitvoerbaar zijn of niet tot het gewenste resultaat leiden. Daarbij valt te denken aan grote hoeveelheden grond ex-situ reinigen of 'de natuur zijn gang laten gaan'. Voor deze reden van ondergronds beluchten worden in dit hoofdstuk dus ook geen alternatieven besproken.

NUTTIGE TOEPASSING VAN HET SLIB

Het voornaamste doel van de ondergrondse ijzer- en mangaanverwijdering is het verminderen van de grote hoeveelheden drinkwaterslib die ontstaan als het grondwater bovengronds van ijzer en mangaan wordt ontdaan. Volgens een inventarisatie van Sombekke en Koppers [29] blijkt bij de zuivering van grond- en oppervlaktewater tot drink- en industriewater bij de openbare watervoorziening in 1989 ongeveer 22.000 ton droge stof aan slib te zijn geproduceerd. Hiervan is ongeveer 9300 ton afkomstig van grondwaterwinningen, de rest van oppervlaktewater. Als niet ondergronds wordt ontijzerd dan moet met de huidige bovengrondse zuiveringstechnieken dus met deze hoeveelheid slib per jaar rekening worden gehouden.

Een alternatief voor ondergronds ontijzeren is om het slib dat bij bovengrondse ontijzering ontstaat nuttig toe te passen. Mogelijkheden voor ijzerhoudend drinkwaterslib zijn volgens Feenstra *et al.* [30]:

- vlokmiddel en sulfidebinding in rioolwaterzuiveringsinstallaties;
- als ijzerbron bij de staalproductie;
- bij de productie van bakstenen.

Deze mogelijkheden worden door of in opdracht van de Reststoffenunie nader bestudeerd. Vanwege de lage ijzer- en droge stofgehalten en het hoge chloridegehalte is inzet als ijzerbron in de staalindustrie momenteel nog niet mogelijk [29]. Verdere studie naar deze optie zal worden uitgevoerd. De andere opties zijn reeds nader bestudeerd.

Vlokmiddel en sulfidebinder

Uit zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) wordt methaangas gewonnen. Door binding van het hierin aanwezige H₂S-gas wordt methaangas zuiverder. Van 1986 tot 1990 heeft de WIF (Waterleidingsmaatschappij Friesland) 70% van haar drinkwaterslib afgevoerd naar rwzi's om te dienen als zwavelwaterstofbindend materiaal. Na 1990 werd voor dit doel en voor defosfatisering van het afvalwater overgegaan op commercieel verkregen ijzerchloride. Uit onderzoek bleek dat voor sulfidebinding en defosfatisering per hoeveelheid ijzer met drinkwaterslib dezelfde resultaten worden bereikt als met het commercieel verkregen ijzerchloride [31]. De toepassing van drinkwaterslib in de rwzi's is dus zeker kansrijk, alhoewel onderkend is dat het arseen in drinkwaterslib een probleem kan vormen voor de kwaliteit van het effluent van rwzi's. In Friesland en Zeeland is al samenwerking ontstaan tussen waterleidingsmaatschappijen en rwzi's. Hier vormt arseen, door de lage gehalten in het drinkwaterslib, geen punt van discussie [32].

Toepassing in de baksteenproductie

IJzerrijk drinkwaterslib kan als roodkleurende grondstof worden ingezet bij de productie van bakstenen, en als vervanger dienen van commercieel verkregen grond. Door Feenstra *et al.* [30 en 33] is een proefproject op bedrijfschaal beschreven. De conclusies zijn dat het technisch mogelijk is, dat een technisch goed product ontstaat en een positief effect wordt gesorteerd op het drogingsproces. De verkregen bakstenen voldoen aan de uitlooeisen voor categorie-1 bouwstoffen van het Bouwstoffenbesluit. Alleen bij hoge doseringen (15%) en bij een hoog arseengehalte in het slib (150 mg/kg) werd niet aan de uitlooeis voor arseen voldaan (1,12 maal het maximaal

toelaatbare). Inmiddels hebben de waterleidingsbedrijven aangegeven de baksteenproductie als economische oplossing te zien. De hoeveelheid geproduceerd ijzerrijk drinkwaterslib kan, bij 5% dosering, 10% van de grondstoffen leveren voor de jaarlijkse baksteenproductie.

VOORKÓMEN VAN ARSEENRIJK SLIB

Ongeveer één kwart van het drinkwaterslib is aan te merken als chemisch afval (Wca) uitsluitend door het arseengehalte. Dergelijk afvalstoffen moeten afgevoerd worden naar een speciaal ingerichte stortplaats. Om deze afvalstroom en het slib dat niet als Wca hoeft te worden aangemerkt, te verminderen, is het naast ondergronds beluchten mogelijk de aandacht te richten op alternatieve verwijderingstechnieken. Te noemen zijn pellet-ontijzering en membraanfiltratie. Ook wordt onderzoek verricht naar technieken waarmee het arseen uit het drinkwaterslib kan worden verwijderd, zodat het slib niet meer als Wca wordt aangemerkt.

Pellet-ontijzering

Bij pellet-ontijzering wordt opgelost ijzer uit het grondwater verwijderd door directe kristallisatie. Hierbij ontstaan in plaats van de grote hoeveelheden waterhoudend slib, vaste korrels met een hoog ijzergehalte die nuttig kunnen worden ingezet. Deze manier van ontijzeren is in 1996 op praktijkschaal onderzocht in opdracht van Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO) [34]. De resultaten van dit onderzoek hebben ertoe geleid dat inmiddels een omvangrijk onderzoek is gestart, waarbij ook grondwater met een relatief hoog ijzergehalte wordt betrokken.

Membraanfiltratie

Membraanfiltratie is een nieuwe zuiveringstechnologie [35]. Membranen werken als een zeef waarmee deeltjes ter grootte van een ion of molecule uit het water kunnen worden verwijderd. De methode kan ook toegepast worden op kleine schaal, zodat het misschien een oplossing vormt voor kleinere particuliere winningen. Als afvalstof ontstaat een waterstroom waarin de uitgezeefde stoffen zijn geconcentreerd. Voor het behandelen van deze stroom zijn nog geen geschikte methoden voorhanden.

5 MILIEUHYGIËNISCHE AFWEGING

Uit hoofdstuk 3 valt te concluderen dat ondergronds beluchten voornamelijk tot gevolg heeft dat er lokaal in de ondergrond ijzer-, mangaan- en arseenaanrijking plaatsvindt. In dit hoofdstuk wordt bekeken hoe hier met het oog op bodem- en grondwaterbescherming tegenaan kan worden gekeken. Voor een weloverwogen standpunt over de milieuhygiënische aanvaardbaarheid van ondergronds beluchten moeten naar het oordeel van de commissie de volgende vragen gesteld worden:

- ijzerrijke afzettingen:
 - wat is de te verwachten samenstelling?
 - wat kunnen de effecten zijn?
 - wat is de reversibiliteit van neerslagvorming?
- schaalgrootte:
 - wat is de omvang van het beïnvloede gebied?
 - wat is de frequentie van toepassen?
- beheersbaarheid:
 - welke controlemogelijkheden zijn er?
 - welke mogelijkheden tot ingrijpen zijn er?
- vermijdbaarheid:
 - zijn er alternatieven?
 - wat zijn voor- en nadelen van deze alternatieven?

Hieronder zullen deze aspecten achtereenvolgens worden besproken. Daarna wordt op basis hiervan een uiteindelijk advies gegeven over de milieuhygiënische aanvaardbaarheid van ondergronds beluchten.

NEERSLAGVORMING

IJzer- en mangaangehalten

Door ondergronds beluchten kunnen gedurende de levensduur van een put ijzergehalten in de bodem worden bereikt van enkele procenten. Deze aanrijking hoeft geen reden te zijn om ondergronds beluchten als techniek af te keuren. De gehalten die kunnen worden opgebouwd liggen namelijk binnen de natuurlijke variatie van ijzergehalten in de bodem omdat op veel plaatsen in Nederland in de ondergrond ook van nature sterk aangerijkte ijzervooromens voorkomen. Het enige argument ten nadele zou zijn dat het hier gaat om een milieu waar van nature geen ijzer neerslaat. Voor mangaan is niet nagegaan welke gehalten kunnen ontstaan en of dit in verhouding is met natuurlijke gehalten. Wel is te verwachten dat, zij het in lagere gehalten dan voor ijzer, de gevormde neerslagen bij ondergronds beluchten lijken op de neerslagen die zich in natuurlijke situaties zouden vormen.

Arseenophoping

De arseenophoping vormt een apart probleem. Het uiteindelijke arseengehalte hangt enerzijds sterk af van de beginconcentratie in het grondwater en anderzijds van het bodemvolume waarin het arseen wordt geïmmobiliseerd. Berekeningen die in hoofdstuk 3 zijn besproken tonen aan dat de gehalten aan arseen in de ondergrond kunnen oplopen tot tientallen mg/kg. Het is dus niet uit te sluiten dat zich door ondergronds beluchten een afzetting vormt die voor arseen de Wca-grens van 50 mg/kg of de interventiewaarde van 55 mg/kg overschrijdt. Vanuit het oogpunt dat voorkomen moet worden dat (ernstige) bodemverontreiniging ontstaat, is het ongewenst dat ophoping tot deze gehalten plaatsvindt.

Poriënvolume

Van door natuurlijke processen ontstane ijzerlaagjes is bekend dat zij de grondwaterstroming sterk kunnen beperken. Als dit ook bij de gevormde neerslagen optreedt, is het voorstelbaar dat in de winput na verloop van tijd minder grondwater kan worden opgepompt. De praktijk heeft echter uitgewezen dat de gevormde neerslag bij ondergronds beluchten de toestroming naar de put gedurende enkele tot tientallen jaren niet negatief beïnvloedt. De in hoofdstuk 3 van dit advies berekende afname in porositeit per jaar lijkt dit ervaringsfeit te ondersteunen. Het poriënvolume neemt echter wel dermate af dat bij langdurige - en dan moet gedacht worden aan 100 jaar of langer - of herhaalde toepassing op dezelfde locatie, een duidelijke verandering van het geohydrologisch patroon zal optreden.

Reversibiliteit

De ijzerafzettingen ontstaan in een zuurstofrijk milieu. Als de beluchting wordt gestaakt, keert de continue zuurstofloosheid weer terug. Onder deze omstandigheden zijn de gevormde afzettingen niet stabiel. Bij een grote reductiecapaciteit van het grondwater gaan de mineralen versneld in oplossing. Theoretisch is het dus mogelijk dat ijzer, mangaan en arseen in hoge concentraties in het grondwater terecht komen, evenredig met de oplosbaarheid van de mineralen. Deze hoge concentraties zouden dan een negatieve invloed kunnen hebben op het grondwaterecosysteem en het ecosysteem in kwelgebieden, of bij een andere grondwaterwinning tot problemen kunnen leiden. Er is echter gebleken dat na beëindiging van de beluchting gedurende lange tijd geen hogere concentraties in het opgepompte water worden gemeten dan voordat met beluchting werd begonnen.

Blootstelling

Blootstelling van mens, plant of dier aan de ondergrondse ijzerrijke voorkomens is niet aannemelijk. Alleen het grondwaterecosysteem of het van kwellend grondwater afhankelijk terrestrisch ecosystemen kunnen eventueel beïnvloed worden door de ondergrondse afzettingen over deze effecten is nog weinig bekend.

SCHAALGROOTTE

Omvang van het beïnvloede gebied

Het is niet exact te voorspellen waar de neerslagvorming plaatsvindt. Maar door van Beek *et al.* [13] is wel een schatting gemaakt op basis van de te verwachten locaties van het zuurstoffront en het ijzerfront. Per put ter grootte van een normale drinkwaterput zal neerslag worden gevormd in een gebied van ongeveer 5 tot 10 meter vanaf de put over de dikte van het watervoerende pakket.

Frequentie van toepassen

Uit het voorgaande blijkt dat de neerslagvorming tot een relatief klein gebied rond de put beperkt blijft. Maar één project van ondergronds beluchten staat niet op zichzelf. Als beluchting als techniek wordt toegelaten, kan dit in principe op veel plaatsen in Nederland plaatsvinden. De drinkwaterproductiebedrijven onttrekken in totaal ongeveer 1 miljard m³ grondwater per jaar. Verder wordt er naar schatting bij industriële winningen 300 miljoen m³ grondwater per jaar gewonnen verdeeld over zo'n duizend winningen [18]. Tenslotte zijn er ook andere activiteiten waar zuurstofrijk water in de ondergrond wordt gebracht. In totaal kan er dus sprake zijn van veel locaties waar in de ondergrond ijzer- en arseenrijk materiaal neerslaat, en het poriënvolume van de bodem enigszins afneemt.

BEHEERSBAARHEID

Controle

De gehalten, hoeveelheden en locatie van de afzettingen kunnen worden voorspeld door middel van (model)berekeningen. Controle op deze voorspellingen is alleen mogelijk door monsters te nemen van het bodemmateriaal in de omgeving van de put. Bij winningen waarvoor het voorspelde arseengehalte enkele tientallen mg/kg bedraagt is dit aan te bevelen.

Over de reversibiliteit van de neerslagvorming is nog weinig bekend. Dit zal sterk afhankelijk zijn van de van nature aanwezige reductiecapaciteit. Voorspellingen zijn niet eenvoudig te maken. De concentratie in het grondwater na beëindiging van de winactiviteit kan wel worden gevolgd door gedurende een periode er na monsters aan de put te onttrekken en deze te analyseren.

Ingrijpen

Als bij controle blijkt dat teveel arseen zich dreigt op te hopen, dan kan de beluchting gestopt worden. De neerslagvorming houdt dan op. Als na afloop blijkt dat door het in oplossing gaan van de mineralen ongewenst hoge concentraties in het grondwater ontstaan, kan het grondwater worden onttrokken totdat de mineralen niet meer oplossen. Deze situatie is alleen te verwachten bij een grote reductiecapaciteit van het langs de genoemde mineralen stromende grondwater.

VERMIJDBAARHEID

De gevolgen van ondergronds beluchten voor het ondergrondse milieu zijn nog niet geheel bekend. Bovendien zou de activiteit in principe op zeer veel plaatsen in Nederland kunnen plaatsvinden. Het is daarom aan te bevelen om ondergronds beluchten te beperken tot die activiteiten waarvoor geen betere alternatieven bestaan. Voor ontijzering in de drinkwaterwinning zijn goede alternatieven voorhanden, zowel op het gebied van nuttige toepassing van slib als van verwijderingstechnieken. Vooral omdat het bovengronds ontstane slib nuttig toegepast kan worden in ondermeer bakstenen zijn er geen zwaarwegende argumenten meer om toch ondergronds te ontijzeren. Ook voor grote particuliere winningen zal gebruik kunnen worden gemaakt van de hergebruiksmogelijkheden van het slib. Bij kleinere particuliere winningen kan worden getracht om inzameling van het slib te faciliteren, zodat verwerking tot herbruikbaar product mogelijk is. Indien dit om logistieke of financiële redenen moeilijk te verwezenlijken is, is ondergronds beluchten een te overdenken methode om ontijzering te doen plaatsvinden.

Zoals al eerder opgemerkt, kan ondergronds beluchten ook om andere redenen ingezet worden, of kan het de onbedoelde consequentie zijn van een andere activiteit. In dat geval zijn er geen alternatieven beschikbaar of in ieder geval niet die alternatieven die in hoofdstuk 3 zijn beschreven.

CONCLUSIES

Er zijn nog onzekerheden over de gevolgen van ondergronds beluchten. Toch kan op basis van de beschikbare kennis en rekening houdend met alle aspecten die bij een afweging een rol kunnen spelen het volgende worden geconcludeerd. Ondergronds beluchten zal als milieuhygiënisch verantwoord alternatief voor bovengronds ontijzeren afgewezen moeten worden als:

- **de berekende arseengehalten te hoog zijn**
Hierbij zou de interventiewaarde of de Wca-grens als maximaal toelaatbaar gehalte kunnen worden gehanteerd.
- **het grondwater een sterk reducerend vermogen bezit**
Als er van nature sterk reducerende omstandigheden in het grondwater aanwezig zijn, is het mogelijk dat de ijzerafzetting na beëindiging van de beluchting versneld in oplossing gaat. Hierdoor kunnen de (arseen)concentraties in het grondwater gedurende enige tijd onwenselijk hoog zijn. Om dit te vermijden zal geen ondergrondse beluchting moeten plaatsvinden op locaties waar veel organisch materiaal, ammonium, zwavelwaterstof en/of methaan in het grondwater bijdragen aan een sterk reducerend vermogen.
- **er goede en aanvaardbare alternatieven zijn**
Toepassing van drinkwaterslib is een goed alternatief. In de toekomst zijn misschien andere zuiveringsmethoden beschikbaar, maar deze hebben net als bovengrondse ontijzering het nadeel dat een afvalstroom ontstaat die verwerkt moet worden.

De voorwaarden hierboven overziende kan dus niet in het algemeen worden gesteld dat ondergronds beluchten overal toelaatbaar is. Per locatie zal dit moeten worden beoordeeld en zal ondergronds beluchten afgewogen moeten worden tegen bestaande alternatieven. Door het bevoegd gezag kunnen de volgende vragen gesteld worden op grond waarvan tot een weloverwogen beslissing over de aanvaardbaarheid van ondergronds beluchten op een locatie kan worden gekomen.

- Wat is de te verwachten arseenophoping in de ondergrond gedurende de beoogde periode dat ondergronds zal worden belucht?
- Wat is de reductiecapaciteit van het niet beïnvloede grondwater?
- Welke alternatieven zijn uitvoerbaar en financieel aanvaardbaar?
- Wat zijn de effecten van de alternatieven ten aanzien van afvalproductie en bijvoorbeeld energieverbruik?

De voorwaarde dat de arseenophoping in de ondergrond beperkt moet blijven, kan een probleem vormen voor juist die winningen waar bij bovengronds beluchten het slib vanwege het arseengehalte Wca-afval is. Voor zuiveringsstation de Put werd bijvoorbeeld bepaald dat het slib ten gevolge van bovengrondse ontijzering 110 mg/kg arseen bevat en dus Wca is, terwijl de voorspelde ondergrondse ophoping 1 mg/kg per jaar bedraagt. Ook voor het inzetten van ondergronds beluchten teneinde het arseen ondergronds te verwijderen, zoals in Duitsland wordt beoogd [25], is het mogelijk dat deze voorwaarde een afkeuring van de techniek betekent. Voor ontijzering van grondwater met minder arseen zal de voorwaarde geen belemmering vormen. In welke mate de arseenophoping een beperking vormt voor de toepasbaarheid van de techniek is niet van te voren te zeggen. Per project moet dit worden beoordeeld.

AANBEVELINGEN

Er is nog veel onzeker over de processen in de ondergrond en de gevolgen daarvan. Bovenstaande conclusies hebben daarom niet meer dan een voorlopig karakter. Om meer te weten te komen en daarmee tot een meer gefundeerde afweging van de toelaatbaarheid van ondergronds beluchten te komen zijn de volgende onderzoeken aan te bevelen.

- Om de vraag te kunnen beantwoorden welke ophoping van arseen in de ondergrond is te verwachten is het nodig een standaard berekeningsmethode te ontwikkelen. De door van Beek *et al.* uitgevoerde berekening [13] vormt daarvoor een goede aanzet. Ook zou gekeken kunnen worden naar de bruikbaarheid van geochemische modellen voor dit doel. Aan de Vrije Universiteit van Amsterdam vindt momenteel een modelleringsstudie naar ondergronds beluchten plaats [36].
- Het verdient aanbeveling om de voorwaarde voor beperking van de arseenophoping ook eens toe te passen op locaties waar activiteiten plaatsvinden waarbij als neveneffect zuurstof in de ondergrond terechtkomt.
- Er zou een onderzoek op (semi-)praktijkschaal gestart moeten worden naar een ondergrondse beluchting in een gebied waar relatief veel ijzer, mangaan en arseen in het grondwater voorkomen. De analyses van het grondwater en het vaste materiaal van de ondergrond kunnen worden gebruikt om meer begrip van de processen te krijgen en om de berekeningen over de ijzer- en arseenophoping aan te toetsen. Ook is het nuttig metingen aan bodem en grondwater te verrichten als de beluchting is beëindigd. Dit kan een idee geven van de snelheid waarmee de gevormde neerslagen weer in oplossing gaan.
- De WZHO start op praktijkschaal een onderzoek naar het positieve effect van ondergronds beluchten op denitrificatie in het zuiveringsproces. De provincie

Zuid-Holland verbindt aan deze proef de voorwaarde dat er metingen worden verricht aan zowel het grondwater als het bodemmateriaal. Alhoewel de keuze van de locatie niet gericht is op de vragen die in dit advies worden gesteld kunnen de resultaten meehelpen aan de begripsvorming over de ondergrondse processen.

6 REFERENTIES

1. VEWIN-Milieuplan, 1991. Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.
2. Milieu-effectrapport Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening, 1993. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag.
3. Brandes, M.C., P. Glasbergen & J. Hrubec, 1981. De ondergrondse verwijdering van ijzer en mangaan uit grondwater met behulp van de Vyredox-methode. Hydrochemische en geohydrologische aspecten. R.I.D.-mededeling 81-5, Rijksinstituut voor drinkwatervoorziening, Leidschendam.
4. Beek, C.G.E.M. van, 1983. Ondergrondse ontijzering, Een evaluatie van uitgevoerd onderzoek. KIWA-mededelingen 78, Nieuwegein.
5. Groot, A.J. de, 1963. Mangaantoeestand van Nederlandse en Duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese. Verslagen van Landbouwkundige onderzoekingen, nr. 69.7, Wageningen.
6. Hallberg, R. & R. Martinell, 1976. Vyredox, in situ purification of groundwater. *Groundwater* 14 (2), pp. 88 - 93.
7. Rott, U., 1976. Physikalische, chemische und biologische Grundlagen beim Transport von Schwermetallen im Grundwasser. Technische Berichte, Sonderforschungsbereich 79, Technische Universität Hannover.
8. Beek, C.G.E.M. van & H. Vaessen, 1979. Ontijzering van grondwater in het watervoerend pakket, *H₂O* 12 (1), pp. 15 - 19.
9. Chapelle, F.H., 1992. Ground-water microbiology and geochemistry. John Wiley & Sons. New York.
10. Duke, F.R., 1967. Factors determining chemical oxidation and reduction in solution. In: S.D. Faust & J.V. Hunter (eds.). Principles and applications of water chemistry, pp. 370 - 379, John Wiley, New York.
11. Lerk, C.F., 1965. Enkele aspecten van de ontijzering van grondwater. Proefschrift, Technische Hogeschool Delft.
12. Friedle, M., mondelinge mededeling september 1997, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüt- und Abfallwirtschaft, Universiteit van Stuttgart, Duitsland.
13. Beek, C. van, E. Koreman, G. Reijnen & M. van Dillen, juni 1996. Ondergronds ontijzeren: de voor- en nadelen. KIWA-Rapport, in opdracht van Waterleidingsmaatschappij Zuid-Holland Oost.
14. Dekker, L.W., A.H. Booij & C.J. Ritsema, 1997. IJzerbanden en ijzerwanden in onze zanden - De samenhang ervan met de stroming van water. In: *Stromingen* 3, nr. 2.

15. Wijland, R., 1996. Rapport Diepe ondergrond en Bodembescherming. Technische commissie bodembescherming, TCB R06(1996), Den Haag.
16. IWACO, 1994. Inventarisatie bodembeschermingsaspecten koudeopslag. Eindrapport, 332.8810 9326/GW, IWACO B.V., 's-Hertogenbosch en IF Technology bv, Arnhem.
17. Dufour, F.C., 1990. The relation between aquifer thermal energy storage and hydrochemistry; an overview. In: Hydrochemistry and energy storage in aquifers, proceedings van een bijeenkomst op 23 april 1990 in Ede. Eds.: J.C. Hooghart en C.W.S. Posthumus, TNO Committee on Hydrological Research, no. 43, Den Haag.
18. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1993. Milieu-effectrapport Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening. Den Haag.
19. Waterleidingbedrijf Midden-Nederland, N.V. WMN, 1996. MER Oeverfiltraatwinning en diepinfiltratie, OEDI.
20. Lozingenbesluit, 1990. Besluit van 4 mei 1990, houdende regels met betrekking tot het in de bodem lozen van vloeistoffen (Lozingenbesluit bodembescherming), Staatsblad 1990 217, Den Haag.
21. Okx, J.P. & C.C.D.F. van Ree, 1996. Biosparging and bioventing. Expert Support System (B&B-ESS, Version 0), 95-1-13, CUR/NOBIS, Gouda.
22. Reijnders, H., schriftelijke informatie augustus 1997. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
23. Duijvenbooden, W. van (ed.), 1989. De kwaliteit van het grondwater in Nederland. Rapport nr. 728820001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
24. Drecht, G. van ; H.F.R. Reijnders; L.J.M. Boumans, W. van Duijvenbooden, april 1990. De kwaliteit van het grondwater op een diepte tussen 5 en 30 meter in Nederland in het jaar 1992 en de verandering daarvan in de periode 1984 - 1993. RIVM rapport nr. 714801005, Bilthoven.
25. Rossum, P. van, 1996. Verspreiding van arseen in de bodem en het grondwater van de provincie Noord-Holland. Onderzoeksrapport met hypothesen over de herkomst en het mobilisatiemechanisme, Provincie Noord-Holland en Vrije Universiteit Amsterdam.
26. Friedle, M., in voorbereiding. Behandlung von Grundwässern zur Elimination von Arsen und anderen Schwermetallen, Stuttgart, Duitsland.
27. Rott, U.; R. Meyerhoff & T. Bauer, 1996. In situ-Aufbereitung von Grundwasser mit Erhöhten Eisen-, Mangan- und Arsen-gehalten. In: Wasser - Abwasser, 137, nr 7. pp. 358 - 363.
28. Schuiling, R.D., 1990. Geochemical engineering: some thoughts on a new research field. In: Applied Geochemistry, vol. 5, pp. 251 - 262, Pergamon Press, Engeland.

29. Sombekke, H.D.M. & H.M.M. Koppers, 1991. Inventarisatie verwijdering slib en overige reststoffen van drinkwaterproductiebedrijven. KIWA, SWO 91.226, Nieuwegein.
30. Feenstra, L., R.K. Zijlstra en E. Mulder, 1996. Toepassing van waterijzer in baksteen, 1996. TNO-MEP - R 96/340, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
31. Bouma, S., 1994. Winning ijzerchloride uit slib profijtelijk. Eerste project in Friesland. In: Land + Water, nummer 12/1994.
32. Heijman, S.G.J.; A.J.P. Verberne & H. Braakensiek, 1996. IJzerhoudend drinkwaterslib: een tweede schakel tussen de bedrijfstakken drinkwater en afvalwater. In: H₂O, jaargang 29, nr. 12, pp. 358 - 360.
33. Feenstra, L. & R.K. Zijlstra, 1997. Aanvullende uitloogproeven aan metselstenen en straatklinkers met waterijzertoevoeging. TNO-MEP - R 96/340, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
34. Nieuwe methode voor grondwaterontijzering, 1997. Mededeling in Waterspiegel, nr. 1 van 1997, uitgave van de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN), Rijswijk.
35. Vos, G.; Y. Brekvoort; A.D. Hulsmann; W. Maaskant & N.C. Wortel, 1996. Van spoelwater naar drinkwater in één zuiveringsstap: de doorbraak van membraanfiltratie. In: H₂O, 14/96, pp. 403 - 407.
36. Appelo, T., mondeling informatie november 1997. Vrije Universiteit, Amsterdam.



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Hoofddirectie Milieukwaliteit en Emissiebeleid
Directie Bodem / C625
Postbus 30945
2500 GX Den Haag
tel. 070-3393939
fax. 070-3391290

Bijlage 1

DIRECTORAAT-GENERAAL MILIEUBEHEER
Directie Bodem
Afdeling Bodembescherming/15

De voorzitter van de Technische Commissie
Bodembescherming
t.a.v. ir. W.C. Reij
p/a TCB, IPC 685
Postbus 30945
2500 GX DEN HAAG

Uw kenmerk	Uw brief	Kenmerk	Datum
		DBO/97077247	15 januari 1997
Onderwerp	adviesaanvraag inzake ondergrondse ontijzering		

Geachte voorzitter,

./.

Bij brief van 2 oktober 1996 (waarvan een afdruk hierbij gaat) hebben Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant mij verzocht de TCB advies te vragen inzake de milieuhygiënische aanvaardbaarheid van ondergrondse ontijzering. Bij bespreking in de stuurgroep bodem en water van het DUIV bleek dit verzoek IPO-breed ondersteund te worden.

Ik stel het op prijs als u mij over deze problematiek advies wilt uitbrengen.

Hoogachtend,
de Minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,


Margaretha de Boer

Bijlagen



Provincie Noord-Brabant

VERZONDEN

- 3 OKT. 1996

Provinciehuis
Brabantlaan 1
Correspondentie-adres:
Postbus 90181
5200 MC 's-Hertogenbosch
Telefax (073) 612 38 00

Dienst: Waterstaat, Milieu en Vervoer

Telefoon (073) 681 28 12

Ons kenmerk: 406627
Uw kenmerk : -
Afdeling : B&A
Doorkiesnr.: 6812777
Bijlagen : -
Datum : 2 oktober 1996
Onderwerp : Ondergrondse ontijzering.

De minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Postbus 3094B
2500 GX 's-GRAVENHAGE

Mevrouw de minister,

Binnen de provincie Noord-Brabant speelt momenteel een discussie over het al dan niet toestaan van ondergrondse ontijzering bij particuliere grondwaterwinningen. Aanleiding hiervoor is het op de markt brengen van installaties hiervoor door de Firma Fegon.

Uit contacten met andere provincies, uw ministerie en andere deskundigen is gebleken dat de meningen sterk uiteenlopen over de milieuhygiënische toelaatbaarheid van ondergrondse ontijzering. Gebleken is hierbij dat er onvoldoende onderbouwing ligt om tot een verantwoord standpunt te komen.

Wij hechten er aan om landelijk tot een eenduidig en onderbouwd standpunt te komen over ondergrondse ontijzering, te meer omdat ook andere provincies met eenzelfde vraag zijn geconfronteerd. Naar onze mening zou de Technische Commissie Bodembescherming (TCB) hierin een belangrijke rol kunnen spelen. Wij denken dat deze commissie bij uitstek geschikt is om een oordeel over de milieuhygiënische toelaatbaarheid van ondergrondse ontijzering te geven, op basis waarvan tot een weloverwogen standpunt kan worden gekomen.

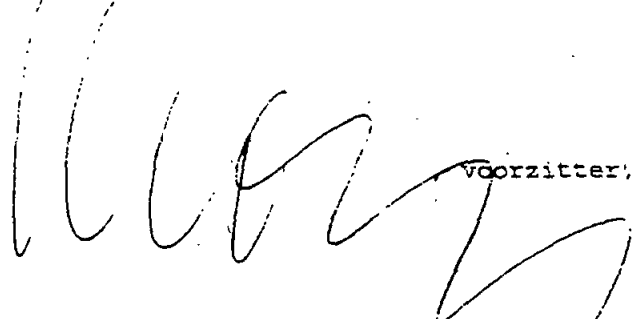
Wij verzoeken u daarom om de TCB advies te vragen over de milieuhygiënische toelaatbaarheid van ondergrondse ontijzering.



Secretariaat:
tel. (073) 681 22 00
fax (073) 612 42 95

Wij zien uw reactie graag tegemoet. Voor vragen over deze brief kan rechtstreeks contact worden opgenomen met mevrouw W. Stortelder van de afdeling Bodem en Afvalstoffen.

Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant,



voorzitter,

griffier.





Aan
de Minister van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Postbus 30945
2500 GX Den Haag

TCB S97(1997)

Den Haag, 24 december 1997

Betreft: Advisering ondergronds beluchten

Mevrouw de Minister,

In uw brief van 15 januari 1997, kenmerk DBO/97077247, verzocht u de Technische commissie bodembescherming te adviseren over de milieuhygiënische aspecten van ondergronds ontijzeren. De aanleiding van dit verzoek was een brief van GS van Noord-Brabant die een weloverwogen standpunt wenst in te nemen over deze activiteit. Het is mij een genoegen u hierbij het advies aan te bieden. Hieronder volgt een korte weergave van onze bevindingen en conclusies.

Bij ondergronds ontijzeren wordt zuurstofrijk water in de ondergrond gebracht met als doel het in het grondwater opgeloste ijzer in de ondergrond te laten neerslaan. De commissie heeft bij haar advisering ook alle andere activiteiten betrokken waarbij bedoeld of onbedoeld zuurstof in het grondwatersysteem wordt gebracht. In het advies wordt daarom verder gesproken van ondergronds beluchten.

Ondergrondse zuurstofinjectie heeft tot gevolg dat - vooralsnog - ongecontroleerd ijzer en ook andere elementen, die opgelost in het grondwater voorkomen, in de bodem worden geconcentreerd. Weliswaar ontstaat bij bovengrondse ontijzering slib met veelal hoge gehalten aan dezelfde elementen, maar dit slib wordt niet ongecontroleerd in het milieu gebracht. Het moet als een afvalstof worden behandeld en kan ondermeer bij de productie van bakstenen worden hergebruikt. Indien dergelijke mogelijkheden ontstaan verdient dit de voorkeur boven ondergronds beluchten. Voor kleine grondwaterwinningen is het denkbaar dat hergebruik van het slib niet haalbaar is. In die gevallen kan ondergronds beluchten worden overwogen. Daarbij moet men wel attent zijn op de mogelijke consequenties.

Bij een hoge concentratie aan arseen in het grondwater kunnen door ondergronds beluchten in de bodem gehalten worden bereikt die het slib, indien het als afvalstof zou worden beschouwd, op grond van de Wet milieubeheer tot gevaarlijke afvalstof zou

den bestempelen of die de interventiewaarde van 55 mg/kg te boven gaan. De afzettingen zelf vormen geen directe risico's voor de mens en voor aan het bodemoppervlak levende planten en dieren. Blootstelling zal waarschijnlijk beperkt blijven tot het grondwaterecosysteem en eventueel van grondwater afhankelijke planten en dieren.

Onafhankelijk van de mogelijk nadelige effecten van de afzettingen moet vanuit het oogpunt van bodembescherming ten minste worden voorkómen dat ernstige bodemverontreiniging ontstaat. De commissie adviseert een standaard berekening of geochemisch model te ontwikkelen voor de te verwachten arseenopbouw in de ondergrond. Deze berekening moet een uitspraak mogelijk maken over hoe groot de kans is dat de interventiewaarde wordt overschreden. Op grond daarvan kan een uitspraak worden gedaan over de toelaatbaarheid van ondergronds beluchten voor de betreffende locatie.

Vanaf het moment dat de beluchting wordt gestaakt keert in het watervoerende pakket de relatieve zuurstofloosheid weer terug, als gevolg waarvan het gevormde neerslag weer in oplossing kan gaan. De ervaring heeft geleerd dat, na beëindiging van de beluchting, de concentraties niet veel hoger worden dan de oorspronkelijke concentraties in het grondwater. Het is dan ook aannemelijk dat de mineralen slechts zeer langzaam oplossen. Bij een sterk reducerend vermogen van het van nature aanwezige grondwater is het echter wél mogelijk dat de gevormde mineralen versneld in oplossing gaan. Ondanks dat onbekend is hoe hoog de concentraties dan worden, is het aan te bevelen ondergronds beluchten te vermijden in watervoerende pakketten waar in het grondwater veel reducerende stoffen aanwezig zijn.

Alle activiteiten waarbij bedoeld of onbedoeld zuurstof in het grondwatersysteem wordt gebracht, zouden op vergelijkbare wijze als hierboven beschreven, moeten worden beoordeeld en afgewogen:

- bodembeluchting bij bodemsaneringsprojecten;
- koude- of warmteopslag;
- diepinfiltratie; en
- lozen van (afval)water.

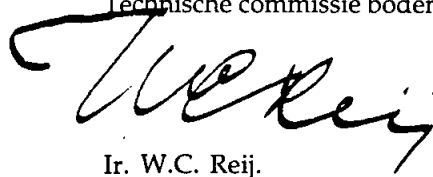
Verder is ook nog het proefproject van Waterleidingmaatschappij Zuid-Holland Oost genoemd, waar men het positieve effect van ondergronds beluchten op het bovengrondse denitrificatieproces bestudeert. Voor deze activiteiten zou dus enig inzicht moet worden verkregen in de kans dat ongewenste gehalten in de ondergrond en tijdelijk - na beëindiging van de beluchting - ongewenste concentraties in het grondwater zullen ontstaan. Goede alternatieven zullen voor de genoemde activiteiten niet altijd aanwezig zijn, maar waar deze er wel zijn zullen ze een belangrijke rol moeten spelen bij de afweging.

Een aspect dat in het advies nog niet naar voren is gekomen, maar wel een rol zou moeten spelen bij de afweging, is het bestaan van bijzondere beschermingsgebieden. In een gebied dat om redenen van bijvoorbeeld drinkwaterwinning of een kwetsbaar ecosysteem is aangewezen als bijzonder beschermingsgebied, zal beïnvloeding van het ondergrondse milieu in het geheel vermeden moeten worden. In deze gebieden is ondergronds beluchten dus geen goede optie.

Omdat er nog onzekerheid bestaat over de gevolgen van ondergronds beluchten heeft het advies een voorlopig karakter. Om meer te weten te komen en daarmee tot een

meer gefundeerde uitspraak te komen is een proef op praktijkschaal aan te bevelen. Bij deze proef zouden de gevolgen van ondergronds beluchten moeten worden onderzocht. Het WZHO-proefproject en ervaringen in het buitenland leiden misschien reeds tot nuttige informatie over de ondergrondse processen. Maar er zou ook specifiek een onderzoek moeten worden uitgevoerd in een gebied met relatief hoge ijzer-, mangaan- en arseenconcentraties in het grondwater.

Met de meeste hoogachting,
de voorzitter van de
Technische commissie bodembescherming,



Ir. W.C. Reij.