

Zuivering van grondwater

1. Water op aarde

Water is onmisbaar voor mens, dier en plant en in dit verband is het maar gelukkig dat er zoveel water op aarde aanwezig is, niet minder dan 1370 miljoen km³. Wordt deze hoeveelheid uitgesmeerd over het gehele aardoppervlak van 510 miljoen km², dan ontstaat een schijf ter dikte van 2700 m en komt onweerstaanbaar de gedachte aan overvloed en onuitputtelijkheid naar voren. Deze gedachte verdwijnt echter snel wanneer de kwaliteit van het water mede in beschouwing wordt genomen. Volgens



PROF. IR. L. HUISMAN
Technische Hogeschool
Delft

onderstaande tabel omvat het vloeibare

Water op aarde

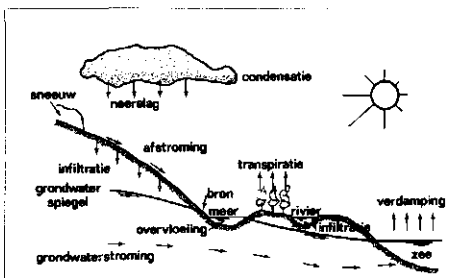
plaats	hoeveelheid in 10 ¹⁵ m ³	percen- tage
zeeën en oceanen	1330	97,25
gletschers en poolijs	29	2,12
grondwater	8,4	0,61
meren en rivieren	0,2	0,01
atmosfeer	0,013	0,00
biosfeer	0,0006	0,00
totaal	1368	100

zoete water op aarde slechts 0,62 % van het totaal, overeenkomende met 8,6 miljoen km³ en met een schijf ter dikte van 63 m wanneer het over het gehele landoppervlak der aarde ad 136 miljoen km² wordt uitgesmeerd. Van deze hoeveelheid bevindt zich nog de helft op een diepte groter dan 800 m, waar het zoutgehalte vaak te hoog is en de winning in ieder geval kostbaar met als gevolg dat met het zoete water op aarde, 's werelds grondstof no. 1 de uiterste zuinigheid moet worden betracht.

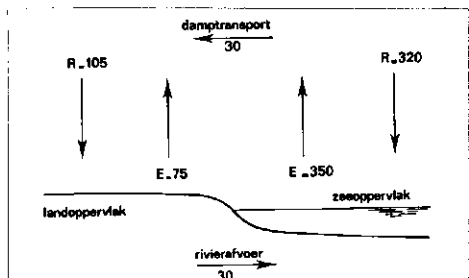
De bovengegeven beschouwing is juist, maar niet volledig. Het zoete water op aarde is immers geen delfstof zoals kolen of olie, waar gebruik gelijk is aan verbruik

($C + O_2 \rightarrow CO_2 + 406 \text{ MJ/kmol}$) en nieuw materiaal in onze tijd niet wordt gevormd, met uitputting van de voorraden als uiteindelijk resultaat. Integendeel, wanneer zoet water wordt gebruikt kan de hoedanigheid veranderen (drinkwater \rightarrow afvalwater) of het kan in een andere aggregaatsstoestand overgaan (transpiratieverliezen bij irrigatie), maar het is en blijft zoet water. Het meest belangrijke verschil echter is dat voortdurend nieuw zoet water wordt gevormd. Het water op aarde, als waterdamp in de atmosfeer, als oppervlaktewater in meren en rivieren, zeeën en oceanen en als grondwater in de poriën van de bodem is immers niet in rust, maar steeds in beweging en gaat voortdurend van de ene in de andere vorm over, de zgn. hydrologische kringloop (afb. 1). Atmosferisch water valt omlaag als regen, sneeuw en hagel en kondenseert bovengronds als mist, dauw en ijzel en ondergronds in de poriën van het bodemmateriaal. Niet al dit omlaag bewegende atmosferische water komt echter het oppervlaktewater of het grondwater ten goede, voortdurend is er een terugkeer naar de atmosfeer. Een deel van de neerslag wordt opgevangen door de begroeiing en verdampt (interceptie). Het water op de grond in plassen en moerassen staat aan verdamping bloot, evenals het water in meren en rivieren (evaporatie). Van het in de bodem infiltrerende water verdampt eveneens een deel uit de poriën, terwijl een ander deel door de plantengroei wordt teruggevoerd naar de atmosfeer (transpiratie). Het overblijvende deel van de neerslag stroomt over het terreinoppervlak af naar open waterlopen of zakt omlaag in de bodem, door de bovenste nog gedeeltelijk met lucht gevulde aardlagen heen tot het de grondwaterspiegel bereikt en aan de grondwatervoorraad ten goede komt. Dit grondwater is evenmin in rust, maar stroomt door de bodem min of meer horizontaal af naar lager gelegen plaatsen waar het zichtbaar in de vorm van bronnen of onzichtbaar door overvloeiing in meren en rivieren weer het aardoppervlak bereikt. De beken en rivieren verenigen zich tot grotere stromen die het water tenslotte naar de zee brengen. Hier verdampt het water weer en

Afb. 1 - Hydrologische kringloop.



Afb. 2 - Waterbeweging op aarde in 1000 km³/jaar.



begint de kringloop opnieuw, met de zon als motor.

De sterkte van de hydrologische kringloop, dit wil zeggen de hoeveelheid water welke jaarlijks naar zee afstroomt en omgekeerd, kan worden berekend door voor het gehele landoppervlak of voor het gehele zee-oppervlak der aarde de waterbalans op te stellen. Als gemiddelde over een lange periode zijn de daaruit voortvloeiende waterbewegingen in afb. 2 weergegeven. Voor het landoppervlak der aarde heeft de nuttige neerslag een sterkte van 30.000 km³/jaar, hetgeen bij een zoetwatervoorraad van 8,6 miljoen km³ overeenkomt met een gemiddelde verblijftijd van 290 jaar. Wordt er voorts nog rekening mede gehouden dat slechts een deel van dit water via de bodem afstroomt, dan zal de gemiddelde verblijftijd van het water in de poriën en spleten van de ondergrond gemakkelijk tot boven 5 eeuwen stijgen.

Voor de kwaliteit van het grondwater heeft de lange verblijftijd in de bodem een enorme betekenis:

- door menging heeft het water een constante fysische en chemische samenstelling;
- door afsterven van pathogene organismen is het water hygiënisch betrouwbaar;
- het is nog niet beïnvloed door de chemisatie van onze samenleving met per jaar 20.000 nieuwe verbindingen waarvan 400 op grotere schaal worden geproduceerd. Het voordeel genoemd onder c. geldt voor alle waterleidingbedrijven, de voordelen vermeld onder a. en b. in het bijzonder voor de kleinere bedrijven waar deskundig toezicht niet steeds beschikbaar is.

2. Grondwaterkwaliteit

Voor het overgrote deel ontstaat grondwater uit omlaag sijpelend regenwater, doch dit water is beslist geen schoon water. Reeds bij de val door de lucht worden verschillende verontreinigingen opgenomen (atmosferische gassen, verbrandingsgassen, industriële afgassen, stof, roet en dergelijke), terwijl bij het contact met de bodem de verontreiniging een enorme toename ondergaat, met organische en anorganische gronddeeltjes, met afbraakprodukten van dierlijk en plantaardig leven, met overblijfselen van natuurlijke of kunstmatige meststoffen en pesticiden, met micro-organismen en dergelijke, die in gesuspendeerde of opgeloste vorm door het water worden meegevoerd. Bij de stroming door de bovenste, nog gedeeltelijk met lucht gevulde aardlagen treedt een grote kwaliteitsverbetering op. Gesuspendeerde deeltjes worden afgefilterd, organische stoffen micro-biologisch afgebroken en minerale bestanddelen door de plantenwortels opgenomen. Ondanks het contact met de atmos-

ferische lucht boven maaiveld, zal het zuurstofgehalte van het water een weinig dalen en het koolzuurgehalte een enorme toename vertonen, met een factor 10 - 100. Na het passeren van de grondwaterspiegel gaat deze zelfreiniging verder, worden colloïdale stoffen geadsorbeerd, organische stoffen en ammoniak geoxideerd tot in hoofdzaak water, koolzuur en nitraten en worden oplosbare ferro- en manganoverbindingen in onoplosbare ferri- en manganicomplexen omgezet. Bij deze bio-chemische reacties daalt de zuurgraad en zal bij aanwezigheid van bicarbonaat het koolzuurgehalte nogmaals stijgen, terwijl het zuurstofgehalte verder wordt verlaagd en nu geen aanvulling uit de atmosfeer meer mogelijk is. Na deze intrede fase zal het grondwater min of meer horizontaal door het watervoerende pakket afstromen, veelal over grote afstanden en steeds gedurende lange tijd, waardoor een nauw contact met het korrelskelet wordt verkregen, verschillende bodembestanddelen in oplossing gaan en het zoutgehalte toeneemt. Voor sommige zouten als bijv. keuzenzout is de oplosbaarheid onafhankelijk van de watersamenstelling, terwijl andere zouten als bijv. carbonaten beter oplossen als de zuurgraad lager en het koolzuurgehalte hoger is. Afhankelijk van de geo-chemische bodemgesteldheid zal het totale zoutgehalte variëren tussen enkele tientallen en enkele honderdtallen grammen per m³, kan het water zowel zacht als hard zijn en zowel op als boven de evenwichtlijn van Tillmans zijn gelegen. Welke verdere veranderingen in watersamenstelling optreden, wordt in hoge mate bepaald door de aan- of afwezigheid van zuurstof. In watervoerende pakketten opgebouwd uit schoon zand en grind kan het water aeroob blijven en zullen de verdere veranderingen in waterkwaliteit gering en steeds gunstig zijn zoals een verdere daling van het organische stofgehalte door oxidatie en een verwijdering van zware metalen, pesticiden en radionucleïden door adsorbtie.

Bevat de ondergrond grotere hoeveelheden micro-biologisch afbreekbaar materiaal, dan zal het grondwater steeds anaeroob worden en kunnen aanzienlijke en doorgaans onplezierige veranderingen in watersamenstelling optreden. Door nitraat- en sulfuraatreductie kan ammoniak en zwavelwaterstof worden gevormd, uit de bodem opgenomen ijzer- en mangaanverbindingen worden nu niet door oxydatie met zuurstof neergeslagen en blijven in oplossing, terwijl door de daling van het koolzuurgehalte en de stijging van het bicarbonaatgehalte zich kalk kan afzetten. Op zichzelf beschouwd is het laatstgenoemde verschijnsel geen nadeel, de hardheid neemt hierdoor immers af, terwijl door co-precipitatie tevens

fosfaten en fluoriden worden verwijderd. Door deze neerslagen daalt echter ook het poriëngehalte van de watervoerende laag en kunnen putfilters worden verstopt. Volgens het bovenstaande wordt de zuiveringsmethode voor het gewonnen grondwater in hoofdzaak bepaald door de aan- of afwezigheid van enerzijds zuurstof en anderzijds kalkagressiviteit. Dit geeft in totaal 4 mogelijke combinaties:

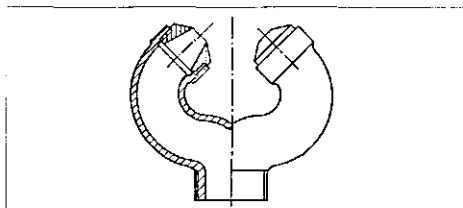
- aeroob en niet agressief, bijv. Zuid-Limburgs krijtwater, geen zuivering nodig;
 - aeroob en wel agressief, bijv. Veluwe-water, behandeling door mechanische of chemische ontzuring;
 - anaeroob en niet agressief, bijv. duinwater, zuivering door cascadebeluchting en snelfiltratie;
 - anaeroob en wel agressief, bijv. in de Drentse veenkolonien, zuivering door sproeiers en snelfiltratie.
- Al deze zuiveringen kunnen met slechts 2 technieken worden verwezenlijkt, namelijk beluchting en filtratie, al zullen van geval tot geval bij de detaillering grote verschillen optreden.

3. Klassieke zuivering van grondwater

Aeratie is het proces waarbij water in innig contact gebracht wordt met lucht teneinde het gehalte aan in het water opgeloste gassen te veranderen, steeds om het zuurstofgehalte te verhogen en veelal ook om de gehalten aan agressief koolzuur, methaan, zwavelwaterstof en vluchtige organische verbindingen te verlagen. Het vereiste innige contact tussen lucht en water kan op verschillende manieren worden verkregen, door het water in fijne druppels of dunne lagen door de lucht te laten vallen (water-valbeluchters), door de lucht in kleine belletjes door het water te laten opstijgen (bellenbeluchters) en door een combinatie van beide mogelijkheden (mechanische beluchting). Bij de drinkwaterbereiding wordt doorgaans gebruik gemaakt van

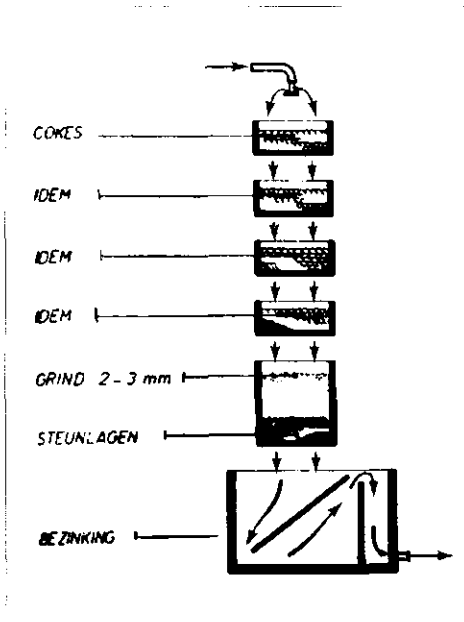
- sproeiers, zoals weergegeven in afb. 3 en 4;
- schotelbeluchters, al dan niet voorzien van een kunstmatige ventilatie (afb. 5 en 6);
- cascadeën, met of zonder ontvangbakken (afb. 7, 8 en 9);
- venturibeluchters, als toegepast in afb. 10 en 11.

Afb. 3 - Amsterdamse sproeier.





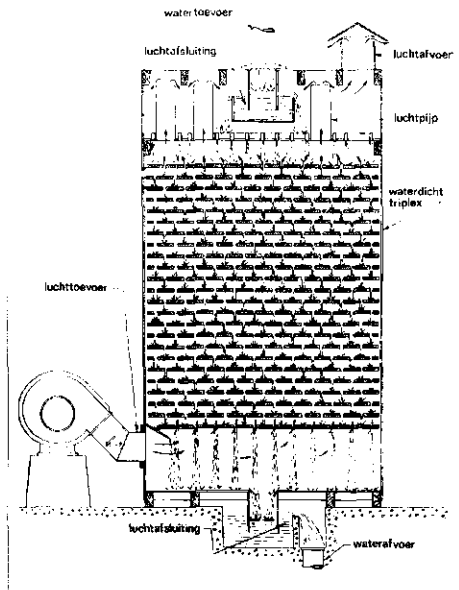
Afb. 4 - Dresdener sproeiërs.



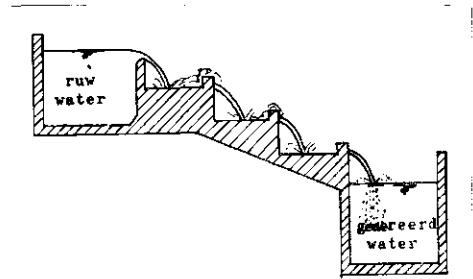
Afb. 5 - Cokesbedden.

Zowel bij de venturibeluchters als bij de cascadebeluchters met ontvangbakken is de mengverhouding lucht/water gering.

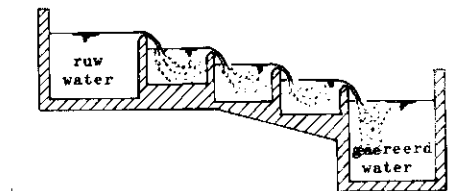
Het rendement van de zuurstofoverdracht zal hierdoor slechts weinig verminderen, terwijl de koolzuurverwijdering aanzienlijk daalt. Deze systemen moeten dan ook worden toegepast voor de beluchting van water dat reeds in kalk-koolzuren evenwicht is, terwijl de andere systemen en in het bijzonder de sproeiërs geschikt zijn om grotere hoeveelheden koolzuur af te voeren (mechanische ontzuring). De koolzuurgehalten kunnen zo worden verlaagd tot ongeveer 4 g/m^3 , waardoor voor tijdelijke hardheden groter dan $2,5 \text{ eq/m}^3$ de kalkagressiviteit geheel verdwijnt. Is de tijdelijke hardheid geringer, dan zal chemische ontzuring moeten worden toegepast, door dosering van kalkmelk of natronloog dan wel door filtratie over marmel of dolomiet.



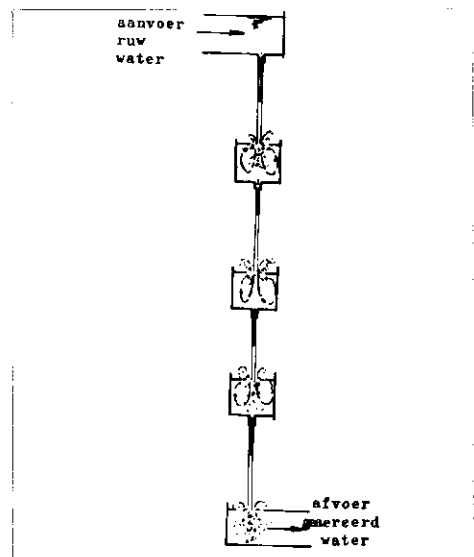
Afb. 6 - Schotelbeluchter.



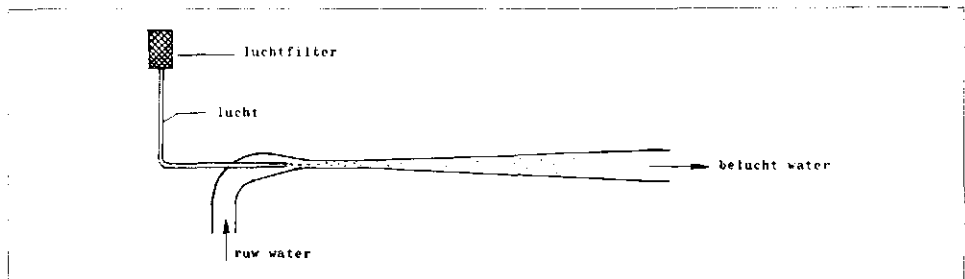
Afb. 7 - Cascadebeluchter.



Afb. 8 - Cascadebeluchter met ontvangbekken.



Afb. 9 - Verticale cascade.

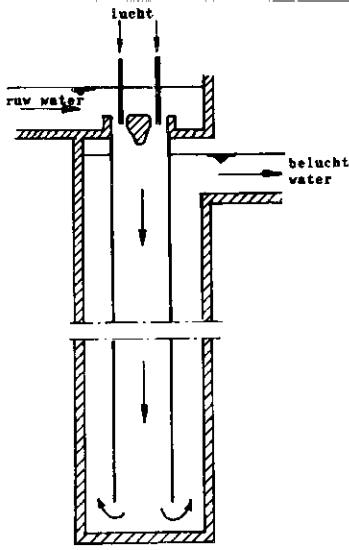


Afb. 10 - Venturibeluchter.

Het zuurstofgehalte kan in alle gevallen tot 90 % van de verzadigingswaarde worden verhoogd, overeenkomende met $10 \text{ gram O}_2/\text{m}^3$ bij 10°C .

Anaeroob water zal doorgaans opgeloste ijzer- en mangaanverbindingen bevatten, die bij beluchting in onoplosbare ferri- en mangani oxyde hydraten worden omgezet. De voor deze oxydatie benodigde hoeveel-

heid zuurstof is gering, slechts 0,14 gram per gram ijzer en hoogstens 0,29 gram per gram mangaan. Door het grote watergehalte is de dichtheid van de vlok intussen laag en kunnen zij moeilijk geheel door bezinking worden verwijderd. Daarvoor is filtratie nodig, waarvoor tot in het begin van deze eeuw met succes langzame zandfilters zijn toegepast. Thans zijn zij geheel door snel-



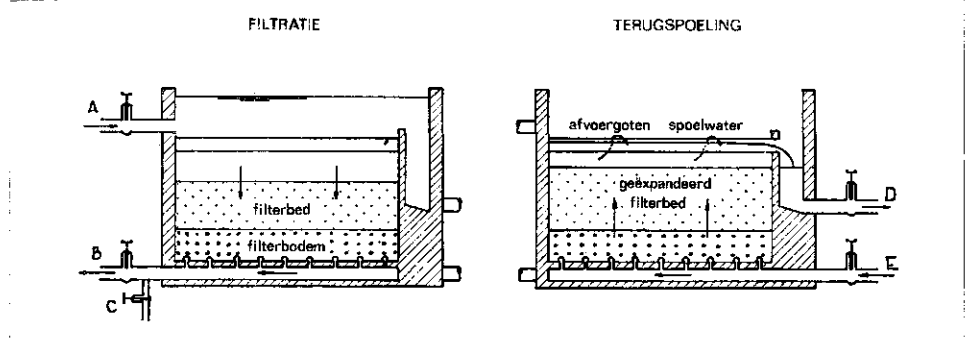
Afb. 11 - Beluchtingsput.

filters verdrongen, die soms open (afb. 12) en bij voorkeur gesloten worden uitgevoerd (afb. 13). Vergeleken met snelfiltratie voor de behandeling van oppervlaktewater worden nu doorgaans dickere bedden, grovere korrels en hogere tot veel hogere filtratiesnelheden toegepast. Schoonmaak geschiedt weer door terugspoelen met lucht en water, met alleen dit verschil dat bij grove korrels geen expansie is te verkrijgen en lange spoeltijden moeten worden toegepast. Theoretisch is dit bezwaar te ondervangen door een lichter filtermateriaal, bijv. anthraciet in plaats van zand te gebruiken, doch de extra aanlegkosten zullen niet opwegen tegen de besparing op spoelwater.

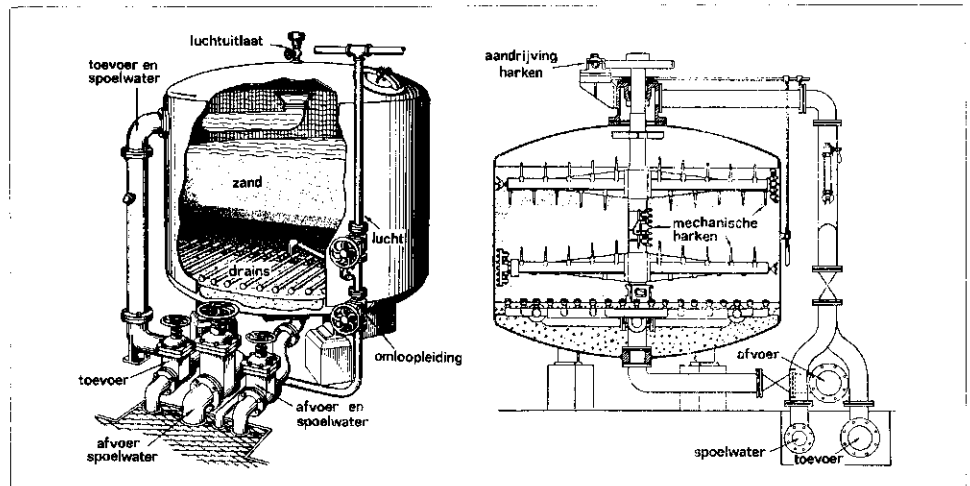
Het bovengeschetste systeem van beluchting gevolgd door snelfiltratie voor de zuivering van anaeroob ijzer- en mangaanhoudend grondwater voldoet voortreffelijk en wordt over de gehele wereld met succes toegepast. Met het oog op een snelle verstopping van het filterbed mag het ijzer- en mangaangehalte van het ruwe water echter niet te hoog zijn, bijv. niet meer dan 5 gram/m³, terwijl met het oog op de daling van het zuurstofgehalte het ruwe water niet te veel ammoniak mag bevatten. Met een theoretisch zuurstofverbruik van 3,8 gram per gram ammoniak kan 1 gram ammoniak per m³ zonder meer worden geaccepteerd (zuurstofgehalte effluent 5 à 6 gram/m³), is daarboven nabeluchting noodzakelijk en kan niet meer dan rond 2,5 gram/m³ worden toegelaten.

4. Recente ontwikkelingen

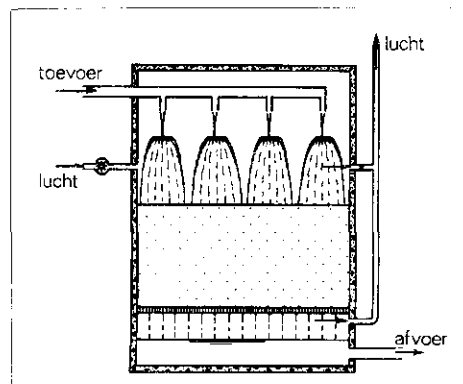
De grote stijging van het waterverbruik door bevolking en industrie na de tweede wereldoorlog, heeft er toe geleid dat ook minder geschikte soorten grondwater voor



Afb. 12 - Open snelfilter.



Afb. 13 - Gesloten snelfilter.



Afb. 14 - Droogfiltratie.

de bereiding tot drinkwater in beschouwing moesten worden genomen. Het aan het einde van de vorige paragraaf gesignaleerde probleem van een hoog ammoniakgehalte kan ook met de klassieke zuiveringsmethode worden opgelost door een aantal combinaties van beluchting en filtratie achter elkaar te schakelen. Voor een ammoniakgehalte van bijv. 10 gram/m³ zijn dan 5 beluchters en 4 snelfilters noodzakelijk. De resultaten zullen voortreffelijk zijn, doch de kosten zijn excessief. In wezen zijn hiervoor 3 factoren aansprakelijk:

- a. de oplosbaarheid van zuurstof in water is onder atmosferische omstandigheden

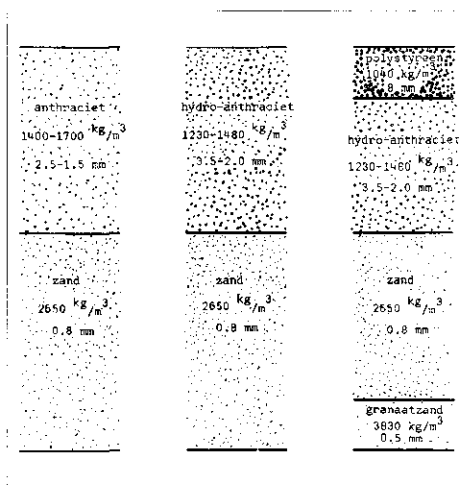
- gering, maximaal 11,3 gram/m³ bij 10 °C en in de praktijk slechts 10 gram/m³;
- b. voor de oxidatie van ammoniak is veel zuurstof nodig, niet minder dan 3,8 gram per gram ammoniak;
- c. wanneer het ruwe water het filterbed binnendringt, gaat het contact met de atmosfeer verloren en kan geen re-aeratie meer optreden.

Door aanvullende maatregelen kunnen deze beperkende factoren stuk voor stuk worden ondervangen. Door aeratie en filtratie onder druk, dan wel door aeratie met zuivere zuurstof, kan het zuurstofgehalte van het water gemakkelijk tot 50 gram/m³ worden opgevoerd, ruim voldoende voor het bovengenoemde ammoniakgehalte van 10 gram/m³. Ammoniak kan ook met chloor worden geoxydeerd, in het gegeven voorbeeld met rond 65 gram/m³. De kosten hiervan zijn niet hoog, maar de stijging van het chloridegehalte met 65 gram/m³ is onplezierig, al moet hiertegenover wel worden gesteld dat nu geen nitraat wordt gevormd. De meest aantrekkelijke oplossing kan echter worden gevonden door tijdens de filtratie het contact lucht-water te behouden, waardoor de voor ammoniak-oxydatie verbruikte zuurstof direct uit de atmosfeer

kan worden aangevuld. Deze werkwijze staat bekend als droogfiltratie (afb. 14), kan een ammoniakgehalte van 10 gram/m³ in één stap verwerken en heeft trouwens nog tal van andere voordelen. Voor de ontwikkeling van dit proces heeft drs. H. J. Boorsma baanbrekend werk verricht. In zijn voordracht zal hij op deze zuiveringsmethode uitvoerig ingaan.

Zoals reeds in de vorige paragraaf vermeld, is het klassieke systeem van beluchting en snelfiltratie voor de zuivering van grondwater niet in staat om grotere hoeveelheden ijzer te verwerken. De door oxidatie gevormde neerslag is namelijk erg luchtig, dat wil zeggen neemt een groot volume in, waardoor een snelle verstopping van het filterbed zal optreden. Dit kan worden ondervangen door het overgrote deel van de bij de beluchting gevormde ijzervlok vóór de filtratie te verwijderen. Bezinking alleen is hiervoor onvoldoende, maar met het proces van chemische coagulatie, flocculatie en bezinking kunnen uitstekende resultaten worden verkregen, zelfs met ijzergehalten in het ruwe water van 20 - 30 gram/m³.

Uiteraard werkt de extra zuiveringstrap nogal kostenverhogend. Deze trap zou kunnen worden weggelaten door de flocculatie en bezinking in het filterbed zelve te doen plaatsvinden, maar hiervoor moet dit bed wel een grote vuilberging hebben. Met het klassieke snelfilter is dit helaas niet het geval. Door de hydraulische gradering bij terugspoelen treedt immers een classificatie op met de fijne zandkorrels in de bovenlaag van het filterbed en de grovere korrels onderin. De fijne korrels aan de bovenkant van het bed hebben een hoog filtratierendement, dit wil zeggen dat de doordringingsdiepte van de ijzervlok gering zal zijn en een snelle verstopping onvermijdelijk is. Dit bezwaar kan op verschillende manieren worden ondervangen, maar het meest aantrekkelijk is een filterbed opgebouwd uit meerdere lagen met de grofste korrels bovenin en de fijnste korrels aan de onderzijde. De grove bovenlaag houdt nu een belangrijk deel van de ijzervlok tegen zonder snel te verstopten, voor de fijne onderlaag blijft weinig te doen over waardoor enerzijds de verstopping langzaam gaat en anderzijds een uitstekende kwaliteit filtraat wordt verkregen. Ten einde omkering van het filterbed bij terugspoelen te verhinderen, moeten de grovere korrels bovenin echter wel een lagere dichtheid hebben dan de fijne korrels aan de onderzijde. Verschillende oplossingen zijn hiervoor denkbaar, afb. 15 geeft enkele willekeurig gekozen voorbeelden. Uitgaande van bepaalde materialen, dit wil zeggen van bepaalde verhoudingen in soortelijke massa, kunnen de korrelgrootten nog binnen zekere grenzen vrij worden gekozen. Dit maakt het



Afb. 15 - Meerlagenfiltratie.

mogelijk de mengverhoudingen op het grensvlak te beïnvloeden en daarmede het filtratieproces in de ene of andere richting te verschuiven. Uitgaande van eigen onderzoek en van onderzoek dat door derden is verricht, heeft ir. A. de Lathouder zich intensief met de studie van de grensvlak zand-hydro-anthraciet beziggehouden. In zijn voordracht zal hij over de resultaten daarvan berichten.

In de inleiding is er reeds op gewezen, dat door laboratoria over de gehele wereld elk jaar 20.000 nieuwe verbindingen worden gesynthetiseerd, waarvan een 400-tal tot massafabricage geraken en dan ons milieu kunnen verontreinigen. De acute toxiciteit is doorgaans wel bekend, doch de vraag of zij op de lange duur wellicht cancerogeen, mutageen of teratogeen zijn blijft veelal onbeantwoord. Om aan de veilige kant te blijven, wordt aan uit oppervlaktewater bereid drinkwater de eis gesteld dat het organische stofgehalte niet te hoog mag zijn en worden hiervoor extra zuiveringen in de vorm van oxydatie met ozon en adsorptie aan actieve kool toegevoegd. Op den duur zou dit ook voor grondwater nodig kunnen blijken, maar hier geldt zeer zeker dat voorkomen beter is dan genezen en dat door het instellen van beschermingszones verontreiniging van het grondwater moet worden verhinderd. In de laatste voordracht zal ir. K. D. Venhuizen ons hierover inlichten.

