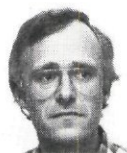


Het grondwater van het drinkwater-pompstation aan de Nieuwe Marktstraat te Nijmegen is verontreinigd met sporen tri, tetra, per, chloroform en methylchloroform. Onderzoek met een proefinstallatie heeft het mogelijk gemaakt een installatie te bouwen die deze vijf stoffen met behulp van lucht uit het water stript.

Principe van het strippen

Strippen is het verwijderen van stoffen uit water met behulp van lucht. Lucht wordt



I.R. G. K. REIJNEN
Vakgroep Procestechnologie
KIWA NV

hiertoe met het water in contact gebracht. De te verwijderen stof of stoffen gaan voor een deel over van het water in de lucht. Lost een stof op naar verhouding minder goed op in water dan in lucht, dan is voor een bepaalde gewenste verwijdering minder lucht nodig dan wanneer de stof naar verhouding beter oplost in water dan in lucht. Eenzelfde volume lucht neemt in het tweede geval namelijk een kleiner deel van de stof uit het water op [1]. (Zie de tekst over de verdelingscoëfficiënt.)

Belangrijk voor het snel strippen van een stof uit het water is een groot uitwisselingsoppervlak tussen lucht en water. Een goede methode hiervoor is het gebruik van een pakking waarover het water in een dunne laag naar beneden stroomt. In de praktijk wordt hiertoe een beluchtingstoren gevuld met bijvoorbeeld een los gestorte pakking. Het water moet bovenin de beluchtingstoren goed worden verdeeld over de doorsnede, om voorkeursstromen te beperken. Wil men een zeer hoog percentage verwijdering van een stof bereiken, dan verdient in veel gevallen tegenstroombeluchting de voorkeur boven meestroombeluchting [1]. Lucht wordt in dit geval van onder naar boven door de beluchtingstoren geblazen. Het voordeel hiervan is dat het water onder in de beluchtingstoren in contact komt met verse lucht. De te verwijderen stof is in die lucht nog niet opgelost. Er kan dus nog stofoverdracht plaatsvinden van het water naar de lucht. Bij meestroombeluchting wordt de stofoverdracht onderin de beluchtingstoren beperkt door de aanwezigheid van de stof die bovenin de beluchtingstoren al in de lucht is opgenomen. Een zeer laag restgehalte in het water is daardoor meestal moeilijk of niet te bereiken.

Verwijderen van trichlooretheen

Voor onderzoek naar het strippen van



Afb. 1 - Met deze beluchtingstoren, die is gevuld met los gestorte pakking, is het strippen van vluchtige koolwaterstoffen onderzocht op grondwaterpompstations te Soestduinen (1982), Nijmegen (1982/1983) en Zeist (1983/1984).

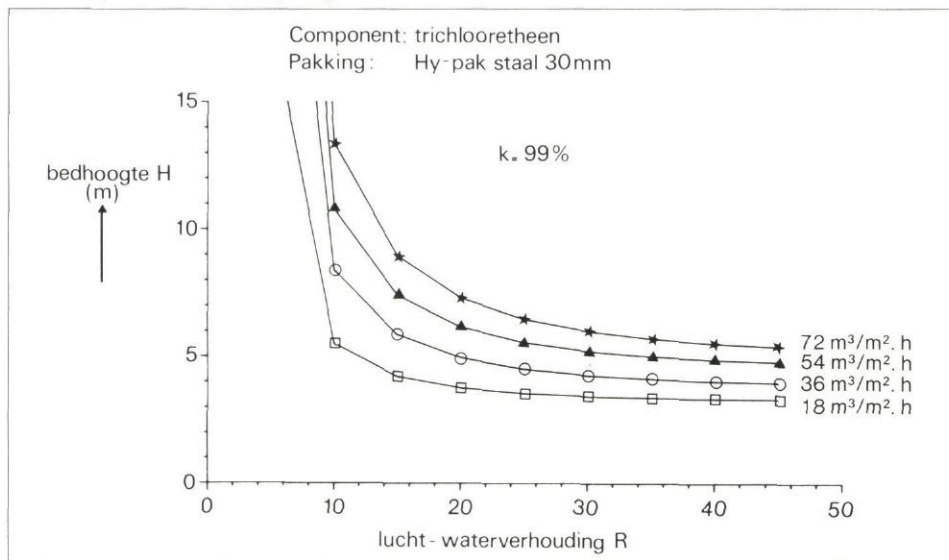
trichlooretheen uit verontreinigd grondwater heeft het KIWA in 1981 een experimentele beluchtingstoren gebouwd (afb. 1). In samenwerking met het Waterleidingbedrijf Midden Nederland is uitgebreid onderzoek met de beluchtingstoren uit-

gevoerd te Soestduinen [2]. Dit onderzoek heeft veel informatie verschaft over de factoren die het strippen beïnvloeden. Een zeer hoog verwijderingspercentage bleek haalbaar ($>99,8\%$) evenals een laag restgehalte ($<0,1 \mu\text{g/l}$). Tevens werd vastgesteld dat de invloed van de verschillende procesvariabelen op het strippen van trichlooretheen goed met formules is te beschrijven. Afb. 2. geeft grafisch weer welke informatie het onderzoek ondermeer heeft opgeleverd. Dergelijke grafieken kunnen in principe voor elk gewenst percentage verwijdering worden gemaakt.

Een zeer belangrijk gegeven is dat bij verdubbeling van de volumestroom van het water de hoogte van de pakking niet hoeft te worden verdubbeld om eenzelfde percentage verwijdering te bereiken. In feite kan dus met een kortere contacttijd worden volstaan. De oorzaak is een snellere stofoverdracht door de intensievere menging van het water bij verhogen van de watersnelheid. In de praktijk wordt de toelaatbare volumestroom water echter beperkt door technische factoren. Doch daarover straks meer.

Nog een belangrijk gegeven is dat er een 'optimale lucht-water-verhouding' bestaat. Het verhogen van de lucht-water-verhouding heeft tot een bepaalde waarde een betere verwijdering tot gevolg. Boven die waarde treedt geen verbetering van de verwijdering meer op. Deze zogenaamde 'optimale lucht-water-verhouding' wordt bepaald door de verdelingscoëfficiënt. (Zie de aparte tekst over de verdelingscoëfficiënt.) In Soestduinen, en later ook in Zeist, is het functioneren van zes verschillende pakkingen onderzocht (zie afb. 3). Afb. 4. illustreert dat de benodigde pakking-

Afb. 2 - De lucht-water-verhouding en de oppervlaktebelasting van het water bepalen de hoogte van de pakking die nodig is voor een bepaalde mate van verwijdering.



De verdelingscoëfficiënt

Wanneer water en lucht met elkaar in contact worden gebracht ontwijkt een deel van een stof die in het water is opgelost naar de lucht. Na enige tijd ontstaat er evenwicht en vindt er geen netto transport van de stof naar de lucht meer plaats. Fysische eigenschappen van de stof bepalen de concentratie in het water en de lucht.

De verdelingscoëfficiënt is het quotiënt van de concentratie van de stof in het water en de lucht wanneer het evenwicht is ingesteld. De verdelingscoëfficiënt is afhankelijk van de temperatuur.

De waarde verschilt sterk per stof. Enige waarden (10 °C) zijn:

Methaan	0,04
Koolstofdioxide	1,2
Trichlooretheen	4,1
Chloroform	9,6

Methaan is met relatief weinig lucht in tegenstroom vergaand te verwijderen. Ook met meestroombeluchting is een vergaande verwijdering van methaan te bereiken (99%). Koolstofdioxide is met meestroombeluchting minder vergaand te verwijderen (ca. 80%). Voor een vergaande verwijdering van trichlooretheen is tegenstroombeluchting noodzakelijk. Een hoger lucht-water-verhouding dan 50 levert geen betere verwijdering op. We noemen dit de 'optimale lucht-water-verhouding'.

Chloroform heeft een hogere verdelingscoëfficiënt dan trichlooretheen. De 'optimale lucht-water-verhouding' voor het verwijderen van chloroform is daardoor ook hoger en is naar verwachting >100. Lees voor verdere informatie [1] en [2].

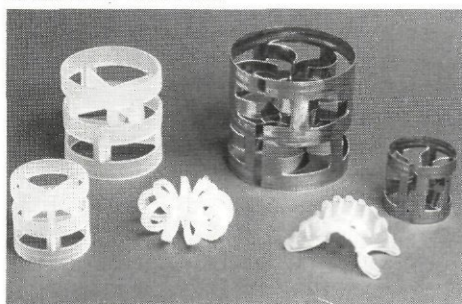
hoogte voor eenzelfde mate van verwijdering vrij sterk kan verschillen. Een belangrijk gegeven voor een goed ontwerp!

Vijf gechloreerde koolwaterstoffen

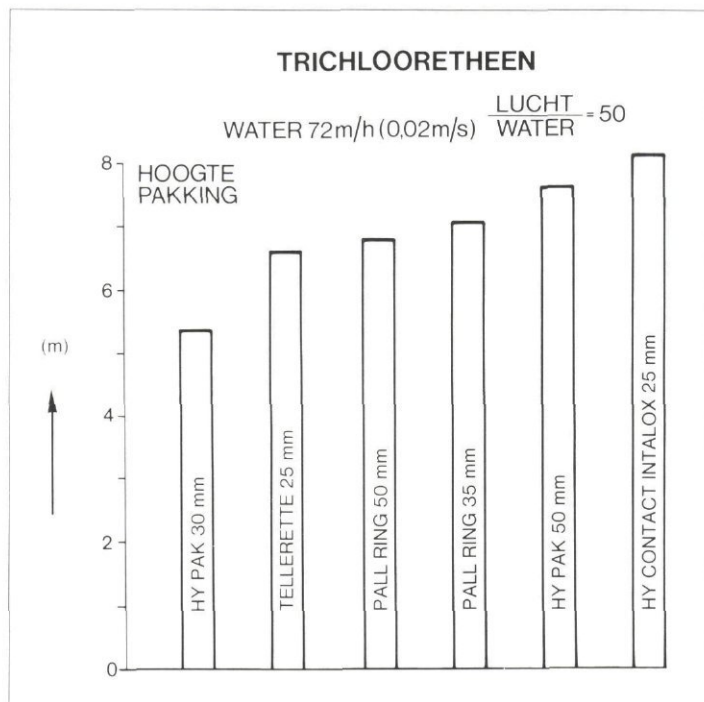
Een deel van het grondwater van het pompstation aan de Nieuwe Markstraat te Nijmegen is verontreinigd met trichlooretheen (tri), tetrachlooretheen (per), trichloormethaan (chloroform), tetrachloormethaan (tetra) en 1,1,1, trichloorethaan (methylchloroform). In tabel 1 zijn de gehalten en de verdelingscoëfficiënten vermeld. Methylchloroform is pas na 1982 aangetoond en daarom niet opgenomen in de tabel.

In de winter van 1982-1983 is de beluchtingstoren van het KIWA opgesteld in het oude gebouw van het pompstation

Afb. 3 - Deze soorten pakking zijn getest in de proefinstallatie. Van links naar rechts: Pall-Ring 35 en 50 mm, Tellerette 25 mm, Hy-Pak 60 mm, Hy-Contact-Intalox 25 mm en Hy-Pak 30 mm.



Afb. 4 - De benodigde hoogte van verschillende typen en maten pakking, voor een trichlooretheen-verwijdering van 99%, verschilt vrij sterk.



TABEL 1 - Gehalten en verdelingscoëfficiënten van vier vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen in het water van het pompstation aan de Nieuwe Markstraat in 1982.

	Gehalte meest verontreinigde put (µg/l)	Gehalte gemiddeld* (berekend) (µg/l)	Verdelingscoëfficiënt (12 °C)
tri	5	2,5	3,9
per	2,5	1,2	3,2
chloroform	0,5	0,6	9
tetra	4	1,2	3

* Berekend voor de bestaande putten. Naderhand zijn nieuwe putten bijgeboord.

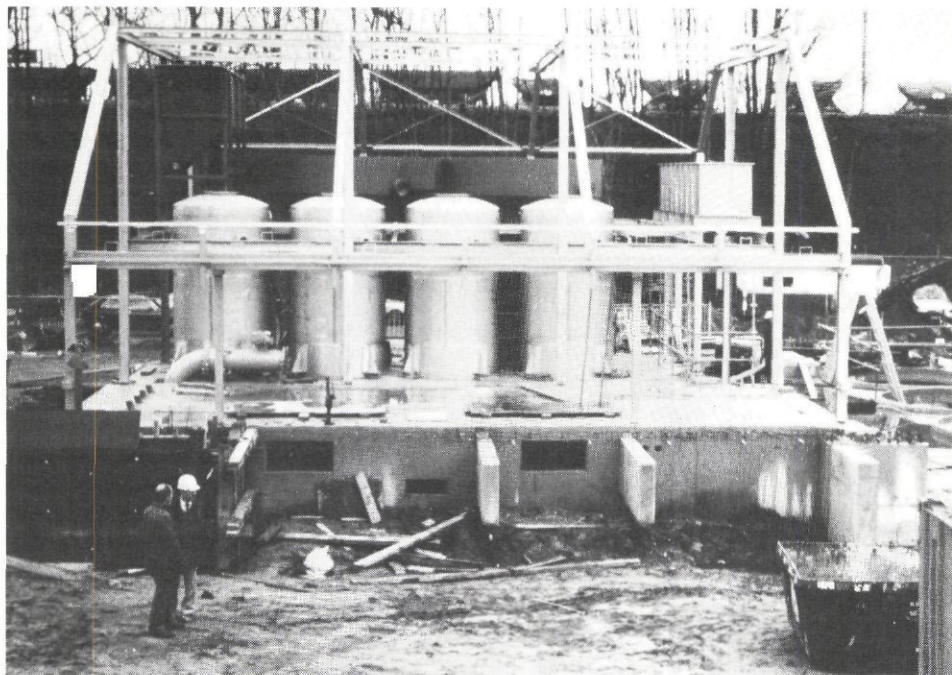
(afb. 1). Omdat er reeds veel bekend was over het verwijderen van trichlooretheen was een beperkt aantal experimenten voldoende om de noodzakelijke aanvullende gegevens over het strippen van de vier stoffen uit dit water te verkrijgen. De gebruikte pakking was de roestvast stalen Hy-Pak 30 mm. Eigenlijk behoeften slechts drie vragen te worden beantwoord:

1. Heeft het invoergehalte trichlooretheen invloed op het percentage verwijdering?
2. Zijn er onder dezelfde procescondities verschillen in de mate van verwijdering van deze vier stoffen?
3. Vervuult de pakking door het afzetten van ijzer en/of kalk?

Op de eerste vraag is het antwoord nee! Uit de experimenten te Soestduinen (60 µg/l tri), Nijmegen (5 µg/l tri) en later te Zeist (200 µg/l tri) is gebleken dat onder dezelfde procescondities het percentage verwijdering niet wordt beïnvloed door de invoerconcentratie [3]. Voor het dimensioneren van de beluchtingstoren voor het verwijderen van trichlooretheen zijn dus ook de resultaten van de experimenten te Soestduinen en Zeist te gebruiken.

Van drie stoffen, te weten tri, tetra en per is de mate van verwijdering nagenoeg gelijk onder dezelfde procescondities. Zeker bij deze relatief lage invoergehalten is het verschil nauwelijks te bepalen. De optimale lucht-water-verhouding voor het verwijderen van chloroform ligt boven de 100 en is dus duidelijk hoger dan die van tri welke 50 bedraagt [2]. En dat werd ook verwacht. De verdelingscoëfficiënt van chloroform is immers 2 à 3 maal zo hoog als die van tri. De experimentele omstandigheden hebben een nauwkeurige bepaling van de optimale lucht-water-verhouding voor het verwijderen van chloroform onmogelijk gemaakt. Reeds bij een verwijdering van 90% was het invoergehalte chloroform van 0,5 µg/l al onder de detectiegrens van 0,05 µg/l.

Gedurende twee maanden is de beluchtingstoren continu in bedrijf geweest. In deze periode vervuilde de pakking niet. Het ijzergehalte van het grondwater is laag (0,1 mg/l) en veroorzaakt kennelijk in korte tijd geen vervuiling van de pakking. Met zeer frequent reinigen van de pakking hoeft dus geen rekening te worden gehouden.



Afb. 5 - Vier beluchtingstorens te Nijmegen, net voor het dak ze voor de buitenwereld onzichtbaar heeft gemaakt.

Uitgangspunten voor het ontwerp

Voor het ontwerp van de stripinstallatie is uitgegaan van de volgende uitgangspunten en gegevens:

- De produktie bedraagt 500 m³/h continu.
 - De invoergehalten van de vier stoffen zullen aanvankelijk niet hoger zijn dan de gemiddelde gehalten van alle putten (zie tabel I).
 - Het restgehalte van de vier stoffen dient beneden 0,1 µg/l te komen.
- N.B. Toen het ontwerp werd gemaakt was nog niet bekend dat het restgehalte van de vier individuele stoffen beneden 1 µg/l moest komen volgens het Herziene Waterleidingbesluit van 1984. Daarom is <0,1 µg/l als streefwaarde aangehouden.
- Rekening moet worden gehouden met een toename van de verontreiniging van het water. Het percentage verwijdering moet, wanneer dat nodig blijkt, op eenvoudige wijze verhoogd kunnen worden.
 - Het aantal beluchtingstorens dient zo te worden gekozen dat bij uitschakelen van één beluchtingstoren de overige torens de volle produktie van 500 m³/h kunnen behandelen.

Ontwerp

Vier beluchtingstorens met een diameter van 1,8 m (2,5 m²) zijn geïnstalleerd. De oppervlaktebelasting van het water bedraagt nominaal 50 m³/m².h (0,014 m/s) en maximaal, wanneer één toren buiten werking is, 67 m³/m².h (0,019 m/s). De lucht-water-verhouding bedraagt, afhankelijk van de oppervlaktebelasting van het water, 67 respectievelijk 50. De volumestroom lucht is namelijk nagenoeg constant. Rekening is gehouden met het gebruik van

TABEL II— De weerstand welke de lucht in de pakking ondervindt bij de toegepaste procescondities. De weerstand is bepaald met de proefinstallatie.

Oppervlakte bel. water (m/h)	Lucht-water- verhouding	Lucht- snelheid (m/s)	ΔP (mmWk/m pakking)*		% 'flooding rate'	
			Hy-pak 30 mm	Pall-ring 50 mm	Hy-pak 30 mm	Pall-ring 50 mm
50	67	0,93	20	14	50	35
67	50	0,93	30	19	60	40

* 1 mmWk komt overeen met 9,8 Pa.

twee soorten pakking. Aanvankelijk zijn de torens gevuld met een 4,5 meter hoog bed van polypropreen Pall-ringen van 50 mm. Wanneer in de toekomst de verontreiniging toeneemt kunnen de Pall-ringen vervangen worden door de iets effectievere maar ook duurdere stalen pakking Hy-Pak 30 mm.

Toelichting op het ontwerp

De maximale oppervlaktebelasting van het water is zo gekozen dat bij de lucht-water-verhouding van 50 geen te hoge lucht-

weerstanden in de pakking optreedt.

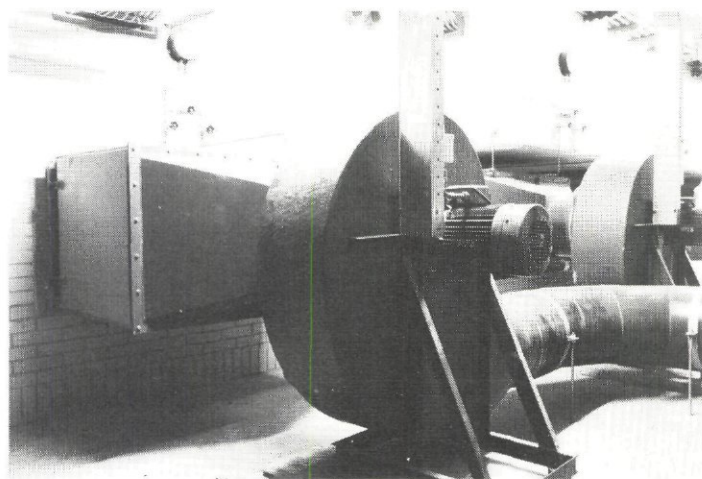
In tabel 2 is de luchtweerstand bij verschillende procescondities vermeld.

Een zekere luchtweerstand in de pakking is gewenst om een goede luchtverdeling over de gehele diameter van de toren te bereiken. In de proefinstallatie (ø 600 mm) gaf een extreem lage luchtweerstand (niet meetbaar) echter geen problemen. Bij een grotere diameter kan de luchtverdeling mogelijk wel problemen opleveren.

Naar boven toe is de lichtsnelheid beperkt. Boven een bepaalde snelheid wordt de weerstand zo groot dat het water niet meer naar beneden stroomt. De toren kan dan vol met water lopen. Dit verschijnsel heet 'flooding'. De lichtsnelheid waarbij dit gebeurt wordt 'flooding rate' genoemd [1]. Een vuistregel zegt dat de lichtsnelheid tussen 40 en 70% van deze 'flooding rate' moet liggen.

De mate van verontreiniging kan flink toenemen voor er problemen ontstaan met het restgehalte. Er is immers gerekend met een

restgehalte van <0,1 µg/l per component, terwijl volgens het Herziene Waterleidingbesluit het restgehalte per component <1 µg/l moet zijn. Het invoergehalte heeft geen invloed op het percentage verwijdering. Dus kan het invoergehalte van de individuele componenten tienmaal zo hoog worden zonder dat het restgehalte 1 µg/l wordt. Bovendien kunnen de torens zo nodig met de iets effectievere pakking Hy-Pak 30 mm worden gevuld om het restgehalte te verlagen.



Afb. 6 - De vier ventilatoren staan opgesteld in een aparte ruimte met geluïddempende muren. De lucht wordt aangezogen door stoffilters die op het luchttoevoerkanaal zijn aangesloten.

De lucht

Lucht bevat ondermeer bacteriën, roet en stof. Het is, zeker gezien de hoge lucht-water-verhouding en de situering van het pompstation in de stad, noodzakelijk de lucht te filtreren. De vier beluchtingstorens zijn voorzien van een eigen ventilator die de lucht aanzuigt door een stoffilter. De stoffilters zijn gemonteerd op een gezamenlijk luchttoevoerkanaal dat uitmondt aan de zijkant van het gebouw. De luchttoevoer is voorzien van geluiddempend materiaal. De beluchtingstorens hebben een eigen luchtafvoer door het dak, voorzien van een regenvanger (vogel-poep, insecten) en een geluiddempende bekleding. Luchttoe- en -afvoer zijn dus ver van elkaar gebracht om recirculatie te voorkomen.

Koolstofdioxide

Een bijkomend voordeel is dat door het strippen ook koolstofdioxide (CO_2) wordt verwijderd. De pH van het water neemt toe van 7,4 tot 8,1. Het gehalte koolstofdioxide neemt af van ca. 12 tot ca. 2-3 mg/l. Na het strippen volgt een ontharding met natronloog. Omdat reeds ongeveer 10 mg/l koolstofdioxide wordt verwijderd, is voor het ontharden minder natronloog nodig. Dat levert per jaar een besparing op van 40.000 kg natronloog.

De praktijk

Het is al even genoemd. Er worden nieuwe putten bijgeboord die niet-verontreinigd water leveren. Het invoergehalte van de vier componenten zal daardoor lager worden dan waarmee is gerekend. De volgende invoergehalten zijn tijdens het proefdraaien in augustus 1985 bepaald. Tri 2,1 $\mu\text{g/l}$, tetra 0,4 $\mu\text{g/l}$, per 1,1 $\mu\text{g/l}$, chloroform 0,2 $\mu\text{g/l}$ en methylechloroform 0,5 $\mu\text{g/l}$. De nieuwe putten waren nog niet in bedrijf. Het restgehalte na het strippen ligt van alle componenten beneden de detectiegrens ($<0,05 \mu\text{g/l}$). Voor informatie over de kosten van het strippen wordt verwezen naar het artikel van ing. A. L. Fleurkens en ir. H. J. Meima in dit nummer van H_2O .

Verantwoording

De experimenten in Nijmegen zijn door het KIWA uitgevoerd als onderdeel van het door de VEWIN opgedragen speurwerkproject 'Intensieve beluchting'. Het onderzoek is begeleid door de Openbare Nuts-bedrijven Nijmegen en de Stichting Waterlaboratorium Oost. Dit laboratorium heeft ook de chemische bepalingen verricht.

Literatuur

1. Reijnen, G. K. *De verwijdering van vluchtige koolwaterstoffen door beluchting*. H_2O 14 (1981) nr. 12, p. 258-263.
2. Reijnen, G. K., J. van der Laan, J. A. M. van Paassen en H. J. M. Korfage. *Verwijdering van trichlooretheen door beluchting*. H_2O 16 (1983) nr. 14, p. 314-317.
3. Reijnen, G. K., J. van der Laan en J. A. M. van Paassen. *Removal of volatile chlorinated hydrocarbons by air stripping*. Water Supply (1985) Vol. 3, p. 219-226.

VROM-studie 'Verbranden van Zuiveringsslib' verschenen

In de afvalstoffenpublikatiereeks van het ministerie van VROM is verschenen de studie: Verbranden van zuiveringsslib, een onderzoek naar kostenminimalisatie. Deze studie behandelt de technologische en financieel-economische aspecten van de verbranding van zuiveringsslib. Naast de beschrijvingen van de meer conventionele verbrandingsinstallaties zoals etage-oven en wervelbedoven, is vooral aandacht besteed aan de moderne hoog-rendement-verbrandingssystemen. Kenmerkend voor de hoog-rendement-slibverbranding is de scheiding in de functies drogen en verbranden en de warmteterugwinning ten behoeve van de slibdroging. Ten aanzien van de financieel-economische aspecten is de slib-verwerking integraal beschouwd, dat wil zeggen, dat er rekening is gehouden met het type slib, de methode van ontwatering, de capaciteit, het systeem van drogen en verbranden en de afvoer van de verbrandingsresten alsmede de resulterende luchtverontreiniging. Enkele belangrijke conclusies uit deze studie zijn:

- Indien hoog-rendement-verbranding wordt toegepast is het additioneel energie-verbruik zeer laag of zelfs afwezig. Daarmee vervalt deze grootte als belangrijk beoordelingscriterium. Tevens wordt hiermee de aantrekkelijkheid om slibverbranding te bedrijven in combinatie met een externe warmtebron (bijvoorbeeld afvalverbranding) sterk gereduceerd.
- Hoog-rendement-verbrandingssystemen zijn voor grote rwzi's (> 200.000 i.e.): qua investeringen concurrerend met traditionele verbranding, qua bedrijfskosten vergelijkbaar met de traditionele verwerkingsmethoden zoals zwarte grond, compost, vuilstort, qua exploitatiekosten vergelijkbaar met de traditionele kosten voor slibverwijdering uitgezonderd de natte afzet in de landbouw. Exemplaren van deze studie die in opdracht van VROM is uitgevoerd door Witteveen + Bos te Deventer, zijn uitsluitend te bestellen door vooruitbetaling van f 15,- op giro 751 ten name van Distributiecentrum Overheidspublicaties, Postbus 20014, 2500 EA Den Haag, onder vermelding van ISBN 9034605108.

KOMO-certificaten voor PVC-rioleringsmaterialen

Op basis van zogenaamde 'garantiemerk'-regelingen wordt al sinds vele jaren een zeer belangrijk deel van de PVC-rioleringsmaterialen met het KOMO-merk geleverd.

Deze merendeels langlopende regelingen zijn de afgelopen maanden omgezet in moderne certificaten-regelingen, conform het Reglement Kwaliteitsverklaringen. De produkten worden voortaan, zoals dat officieel heet, onder KOMO-certificaat met KOMO-keurmerk geleverd.

In overleg met de betrokken binnen- en buitenlandse producenten is gekozen voor aparte certificaten per toepassingsgebied en per produktsoort.

Dit heeft geresulteerd in certificaten voor:

- PVC-buizen voor binnen- en buitenriolering onder vrij verval (NEN 7045);
- PVC-hulpstukken voor binnen- en buitenriolering onder vrij verval (NEN 7046);
- PVC-expansiestukken voor binnenriolering (NEN 7013);
- PVC-buizen voor rioolpersleidingen (NEN 7029);
- PVC dubbele moffen voor rioolpersleidingen (NEN 7029);
- PVC-buizen voor hemelwaterafvoer (NEN 7016);
- PVC-hulpstukken voor hemelwaterafvoerbuizen (NEN 7017).

Naast informatie over de toepassing en de toepassingsvoorwaarden, is in elk certificaat een uitgebreide specificatie opgenomen waarbij de betreffende produkten in tabelvorm zijn weergegeven.

In het eind dit jaar verschijnende deel 2 van de KOMO-gids zullen alle nieuwe certificaten voor PVC-rioleringsonderdelen worden verwerkt.

Milieubelasting omhoog door te dure zuiveringsinstallaties

Provinciale Staten van Groningen hebben besloten de verontreinigingsheffing geleidelijk te verhogen van 60 gulden per inwoner nu, naar 85 gulden in 1989. De verhoging is noodzakelijk omdat er in het verleden teveel is geïnvesteerd in zuiveringsinstallaties. Deze zijn groter dan nu nog nodig blijkt. Dit is gebeurd, aldus de Groninger gedeputeerde van financiën dr. J. van Helden (PvdA), omdat werd uitgegaan van een grotere groei van de bevolking. Ook was gerekend op meer bedrijvigheid in de provincie. Voor gezinnen betekent het dat zij in plaats van 180 gulden, 225 gulden gaan betalen in 1989. Het College van GS was met het voorstel gekomen om de verontreinigingsheffing te verhogen van 60 gulden nu, naar 79 gulden volgend jaar. Dat tarief zou dan vier jaar gelijk blijven. Provinciale Staten hebben besloten, op initiatief van PvdA, VVD en D '66, de verhoging geleidelijk in te voeren. Dit houdt in dat de heffing in '86 70 gulden bedraagt en in de volgende jaren 75, 80 en 85 gulden. (ANP)