Optimalisatie van de gistingsgasproduktie

1. Inleiding

Het slibgistingsproces wordt reeds vele tientallen jaren toegepast voor de stabilisatie van zuiveringsslib. De laatste jaren geniet het proces verhoogde belangstelling door de toenemende toepassing van systemen voor eigen energie-opwekking op de rwzi's. Deze systemen kunnen met gistingsgas als brandstof voorzien in een groot deel van de kracht- en warmtebehoefte van de rwzi. Als vervolg op eerdere STORA-onderzoeken naar de haalbaarheid van eigen energie-opwekking op rwzi's [STORA 1981, 1982],



IR. P. DE JONG
Witteveen + Bos
raadgevend ingenieursbureau

is door Witteveen + Bos in opdracht van de STORA een studie verricht naar de mogelijkheden tot optimalisatie van de gistingsgasproduktie. Aanleiding hiertoe vormde de conclusie in genoemde onderzoeken dat de beschikbare hoeveelheid gistingsgas grote invloed heeft op de economische aantrekkelijkheid van eigen energie-opwekking. Bovendien bestond de indruk dat de gasproduktie in Nederland sterk achterbleef bij het buitenland, mogelijk als gevolg van niet-optimale procesvoering.
Dit artikel geeft een overzicht van de belangrijkste bevindingen van het onderzoek. Het eindrapport is verschenen in de STORA-publikatiereeks [STORA, 1985]. Voor gedetailleerde gegevens en literatuurverwijzingen wordt verwezen naar het STORA-rapport.

2. Het slibgistingsproces

Vers zuiveringsslib bevat een grote hoeveelheid rotbaar organisch materiaal. Om stankverspreiding door rotting van het slib tegen te gaan, moet het gestabiliseerd worden. Deze stabilisatie bestaat uit het verwijderen van de biologisch afbreekbare slibbestanddelen. In de anaërobe stabilisatie of slibgisting gebeurt dit door biologische afbraak onder zuurstofloze omstandigheden.

De slibgisting bestaat uit een netwerk van processtappen, die door verschillende bacteriesoorten worden uitgevoerd. In grote lijnen kan het afbraakproces worden verdeeld in drie opeenvolgende stappen: hydrolyse, verzuring en methaanvorming.

	hydrolyse	verzuring	methaanvorming
biopolymeren	→ vetzuren, suikers, aminozuren	→ azijnzuur, $H_2 + CO_2$	→ CH_4, CO_2

De grote slibmoleculen worden buiten de bacteriecellen door hydrolyse-enzymen in kleinere bouwstenen gesplitst, die vervolgens door de bacteriecellen kunnen worden opgenomen. De benodigde enzymen worden door de zogenaamde verzuringsbacteriën uitgescheiden. Omdat zuiveringsslib veel complexe, moeilijk afbreekbare componenten bevat, verloopt de hydrolyse relatief langzaam en onvolledig.
De omzetting van de hydrolyseprodukten vindt plaats binnen de cellen van de verzuringsbacteriën en verloopt relatief snel. Via diverse afbraakstappen, waarbij de tussenprodukten van de ene naar de andere bacteriesoort kunnen worden doorgegeven, worden azijnzuur, CO_2 en H_2 gevormd.
De eindprodukten van de verzuring worden door de methaanbacteriën omgezet in een mengsel van methaan en CO_2. De methaanbacteriën hebben een geheel andere stofwisseling dan de verzuurders. Ze groeien zeer langzaam en zijn gevoelig voor bepaalde toxische stoffen.
In slibgistingssystemen is in het algemeen de hydrolyse van moeilijk afbreekbare macromoleculen beperkend voor de slibafbraak. Voor het bereiken van een hogere gasproduktie is dus een hoger rendement nodig van de eerste stap van de afbraakreeks (de hydrolyse), en niet van de eigenlijke methaanvorming.
De gevoeligheid en de lage delingssnelheid van de methaanbacteriën daarentegen zijn bepalend voor de vereiste procesomstandigheden. Dit geldt met name voor de temperatuur, de pH, de minimale verblijftijd en de afwezigheid van toxische stoffen. Wanneer deze factoren ongunstig zijn, kan de gasproduktie tot stilstand komen. De verzuringsprodukten hopen zich op en de gevreesde 'zure gisting' treedt op.

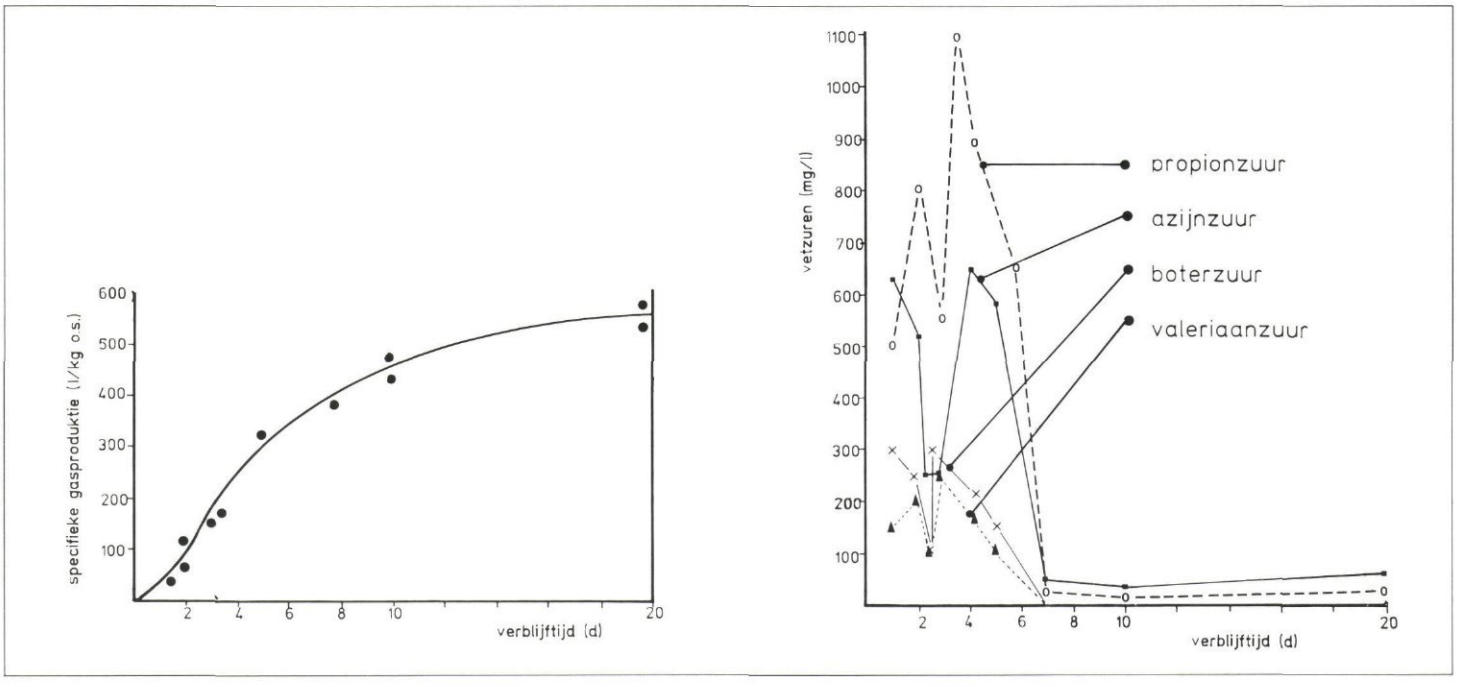
3. De procesparameters

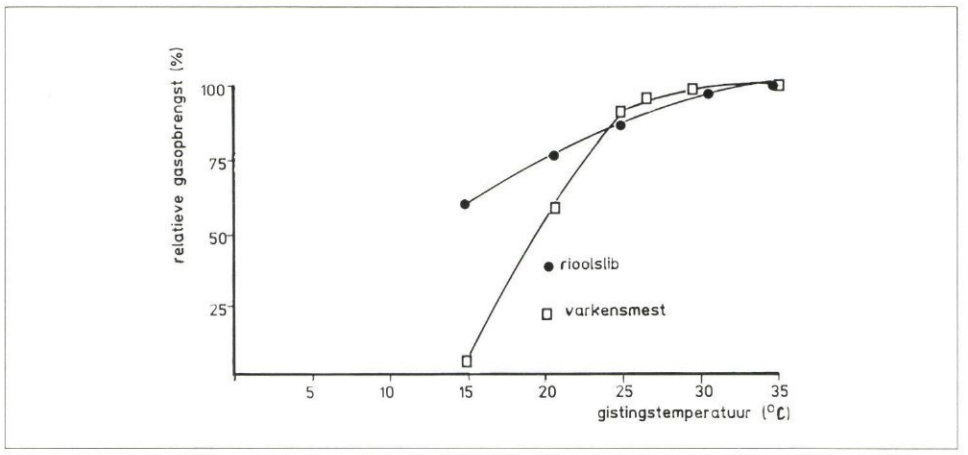
Aan de hand van literatuurgegevens en praktijkervaringen is nagegaan welke invloed de verschillende procesfactoren hebben op de gasproduktie.

Verblijftijd

De invloed van de verblijftijd op de gasproduktie in slibgistingssystemen is vooral op laboratoriumschaal onderzocht, met de

Afb. 1 - Gasproduktie en vetzuurgehalte als functie van de verblijftijd [naar Wechs, 1984].





Afb. 2 - Relatieve gasopbrengst als functie van de temperatuur bij mesofiele vergisting van rioolslib [naar Hawkes, 1982] en varkensmest [naar Van Velsen, 1982].

nadruk op verkorting van de verblijftijd.
De minimale verblijftijd voor de groei van methaanbacteriën in een continu gevoede, volledig gemengde gistingsreactor is circa 5 dagen (zie afb. 1). Bij toenemende verblijftijd stijgt de gasproduktie en neemt het vetzuurgehalte af. Bij 10 dagen is stabiele gisting mogelijk, met meer dan de helft van de maximaal haalbare gasproduktie.
Bij langere verblijftijden vlakt de curve af. Naar verblijftijden langer dan 20 dagen is relatief weinig onderzoek verricht.

Temperatuur
De invloed van de gistingstemperatuur wordt gekenmerkt door twee gebieden, waarin verschillende bacteriesoorten werkzaam zijn. De gasproduktie heeft optima bij 33 °C (mesofiel) en 55 °C (thermofiel).
Binnen het mesofiele gebied neemt de helling van de opbrengstcurve af met de temperatuur: tot 25 °C vertoont de gasproduktie een duidelijke toename, gevolgd door een vrijwel vlak verloop boven de 30 °C (afb. 2).
Een kleine wijziging van de temperatuur in het gebied rond 33 °C heeft slechts geringe invloed op de gasproduktie.
De thermofiele gisting geeft per kilogram slib iets meer gas dan de mesofiele gisting.
De thermofiele gisting verloopt bovendien aanzienlijk sneller.

Menging
Menging van de reactorinhoud bevordert de homogeniteit en zorgt dat het gehele volume effectief wordt benut. De menging stimuleert bovendien het contact tussen de gistingsbacteriën en het slib en voorkomt plaatselijke ophoping van afbraakprodukten. In de slibgistingspraktijk zijn verschillende reactorvormen en mengsystemen ontstaan, die veelal per land uiteenlopen. In de literatuur beschreven experimenten geven geen gelijk beeld van het meest effectieve mengsysteem en de benodigde mengintensiteit. De ervaring in de meeste rwzi's wijst uit dat zure gisting in de moderne systemen met gasinblazing veel minder vaak voorkomt dan in oude gistingstanks, die slechts door rondpompen werden gemengd. In experimenten, waarin het aantal malen gasinblazen per dag werd gevarieerd, werd echter geen duidelijke invloed op de gasproduktie waargenomen.
De homogeniteit van de reactorinhoud kan in praktijksituaties worden vastgesteld door op verschillende diepten de temperatuur, het droge-stofgehalte en de gloeirest te meten. Dit kan belangrijke informatie leveren over de werking van de menginrichting en over eventuele ontmenging van de reactorinhoud in de niet-gemengde intervallen.

Indikking
Bij een gegeven slibproduktie en reactorinhoud is de indikkingsgraad van het slib bepalend voor de verblijftijd in de gistingsreactor. Door verbetering van de indikking kan dus de gistingstijd worden verlengd.
Deze verhoging van de indikkingsgraad, zelfs tot boven 10% droge stof, blijkt geen nadelige invloed te hebben op het gistingsproces [Kapp, 1984]. Het afbraakrendement van het dikke slib is (bij gelijke verblijftijd) gelijk aan dat van minder ver ingedikt slib.

Bedrijfsvoering
Gelijkmatige voeding met kleine hoeveelheden slib en bewaking van het droge-stofgehalte, kan een hogere indikkingsgraad, dus langere verblijftijd geven dan voeding met enkele grote ladingen per dag. Bovendien fluctueert de gasproduktie minder sterk en is de kans op onvolledige opmenging van het ingebrachte koude slib minder groot.
Kleine temperatuurvariaties of een tijdelijke verlaging van de gistingstemperatuur zijn niet schadelijk voor het gistingsproces.

Tweetrapsgisting
Vooral in oudere rwzi's is na de gemengde en verwarmde gistingsreactor een tweede, niet gemengde en onverwarmde tank opgesteld. Deze heeft tot doel het slib te laten nagisten en indikken. Dit systeem voldoet matig, omdat de beoogde gelijktijdige nagisting en ontwatering tegengestelde eisen stellen ten aanzien van temperatuur en mengintensiteit. Tegenwoordig vindt de indikking in de regel plaats in een na-indikker, dikwijls voorafgegaan door koeling van het slib, om het gistingsproces te stoppen.
In tegenstelling tot de 'klassieke' tweetrapsgisting, met de relatief dure en weinig effectieve tweede tank, is een tweetrapsvariant denkbaar waarbij het volume van de warme gisting is opgedeeld in twee reactoren achter elkaar, die beide gemengd worden. Een systeem met twee in serie geschakelde, gemengde reactoren heeft in vergelijking met een eentrapssysteem meer een propstroomkarakter. Hierdoor wordt de spreiding in de gistingstijden van de individuele slibdeeltjes beperkt, zodat de stabilisatiegraad van het afgevoerde slib en de gasproduktie toenemen. Op grond van de relatie tussen verblijftijd en gasproduktie die bij de Nederlandse rwzi's is waargenomen (zie hoofdstuk 4), is hierdoor theoretisch 10% meer gas te verkrijgen.
De verblijftijd in de eerste reactor mag niet korter worden dan 10 dagen, omdat dan overbelasting kan optreden.
Deze variant komt vooral in aanmerking voor grotere installaties, als alternatief voor meerdere parallel geschakelde gistingstanks. Of de berekende meeropbrengst ook in de praktijk haalbaar is, moet nog worden onderzocht.

4. Slibgisting in Nederland

De bedrijfsgegevens van de ruim 100 Nederlandse slibgistingsinstallaties zijn onderzocht om een beeld te krijgen van de Nederlandse praktijksituatie en om relaties tussen bedrijfsvoering en gasproduktie aan te kunnen geven.
Het onderzoek heeft slechts bij een deel van de installaties bruikbare gegevens opgeleverd, omdat niet altijd alle relevante stromen van het gistingsproces worden geanalyseerd. Bovendien is representatieve bemonstering, met name van het verse slib, moeilijk uitvoerbaar.
De gemiddelden, standaarddeviaties en aantallen bruikbare gegevens van de belangrijkste parameters zijn samengevat in tabel I.
De gegevens zijn statistisch bewerkt, om de invloed van het zuiveringstype en de verschillende procesparameters op de gasproduktie na te gaan.

De belangrijkste conclusies:
– Door onderbelasting van de rwzi's is de verblijftijd in de verwarmde gistingstank gemiddeld 39 dagen, ongeveer het dubbele van de gebruikelijke ontwerpwaarde.
– De berekening van het afbraakrendement op basis van de vrachten vers en uitgegist slib

TABEL I – *Gemiddelden, standaarddeviaties en aantallen gegevens van de onderzochte parameters.*

		Gemiddelde	Standaard-deviatie	Aantal rwzi's
procesvoering waterbedrijf				
ontwerpcapaciteit	(i.e.)	90.700	111.000	99
influent i.e.	(54 g BZV/d)	61.000	63.100	79
aandeel huishoudens	(%)	73	19	38
produktie primair slib	(g/i.e. d)	36	13	17
produktie secundair slib	(g/i.e. d)	24	9	17
totaal vers slib	(g/i.e. d)	60	21	58
procesvoering slibgisting				
verblijftijd warme tank	(d)	39	15	59
temperatuur	(°C)	32,5	1,7	30
droge stof vers slib	(%)	4,1	0,8	66
gloeiverlies vers slib	(% van d.s.)	71	6	60
gloeiverlies na gisting	(% van d.s.)	59	6	61
rendement gisting				
org. stofafbraak volgens:				
– massabalans	(%)	53	13	41
– gloeiverlies formule	(%)	43	6	52
gasproduktie per:				
– influent i.e.	(l/i.e. d)	17	6	77
– toegevoerde droge stof	(m^3/kg d.s.)	0,31	0,08	62
– toegevoerde org. stof	(m^3/kg o.s.)	0,44	0,11	51
gas/afbraak org. stof:				
– volgens massabalans	(m^3/kg o.s.)	0,89	0,35	46
– volgens gloeiverlies	(m^3/kg o.s.)	1,04	0,26	48

levert vaak een te hoge waarde, door onnauwkeurige meting van het droge-stofgehalte en verwaarlozing van de hoeveelheid droge stof die met het slibwater naar de rwzi wordt teruggevoerd.
De berekening van de organische stofafbraak uit de toename van de gloeirest (van Kleeck- of gloeiverliesformule) is ongevoelig voor deze fouten en geeft daarom vaak een beter beeld.
– De specifieke gasproduktie is gemiddeld 0,44 m^3 per kg aangevoerde organische stof; de organische-stofafbraak is gemiddeld 43%. Ter vergelijking: in een onderzoek naar 93 Westduitse rwzi's werd als gemiddelde 0,48 m^3/kg o.s. gevonden [Meyer e.a., 1983].
– Actief-slibinstallaties leveren door hun grotere slibproduktie gemiddeld meer gas (20 l/i.e./d) dan rwzi's met oxydatiebedden (14 l/i.e./d).
– De verhouding tussen de gasproduktie en de afbraak van organische stof bedraagt circa 1,05 m^3/kg o.s. Waarden die te sterk hiervan afwijken moeten als onbetrouwbaar worden beschouwd.
– Aannemend dat de afbraaksnelheid van het slib evenredig is met de heersende concentratie afbreekbaar materiaal (= eerste orde afbraakkinetiek) is een significante relatie tussen de verblijftijd en de specifieke gasproduktie in de Nederlandse installaties berekend. De berekende maximale gasproduktie (bij oneindig lange verblijftijd) bedraagt 0,53 m^3/kg o.s. en de afbraakconstante 0,10 d^{-1}. Dit betekent dat circa 20% meer gas wordt verkregen door verlenging van de verblijftijd van 20 tot 40 dagen (zie afb. 3).
– Geen significante verschillen zijn waarneembaar ten aanzien van:
• wel/niet onverwarmde trap na de warme gistingstank;
• grote/kleine installaties;
• aard gerioleerd gebied (geografische ligging, stad/platteland, aandeel huishoudens/bedrijven);
• bedrijfsvoering (temperatuur, menging, en dergelijke).

5. **Alternatieve gistingstechnieken**

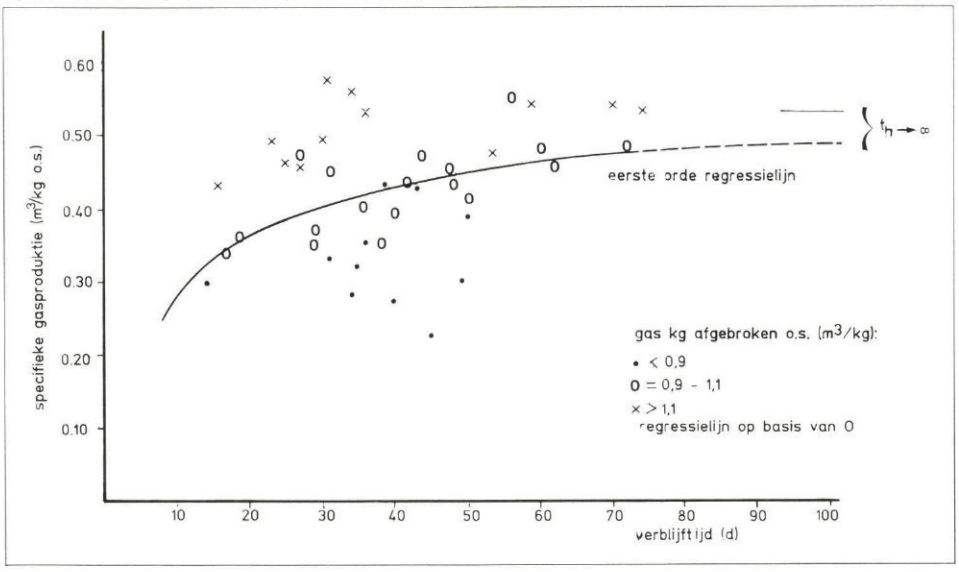
Nagegaan is welke varianten van het gistingsproces een grotere gasopbrengst kunnen geven dan de conventionele slibgisting.
De meeste van de onderzochte technieken zijn ontwikkeld met een ander doel dan een hogere gasproduktie (bijvoorbeeld desinfectie of slibconditionering) en hebben daarnaast een invloed op de gasproduktie. Wanneer met deze technieken geen werkelijke energiebesparing wordt bereikt, betekent dit dus niet dat ze ongeschikt zijn voor hun eigenlijke taak.

Enzymdosering
Toevoeging van de juiste afbraakenzymen zou in principe de relatief langzame hydrolysestap kunnen versnellen. Enzympreparaten die in de handel verkrijgbaar zijn, blijken echter geen effect te hebben op de gasproduktie in goed geadapteerde gistingssystemen [persoonlijke mededelingen Universiteit van Gent en Water Research Centre Stevenage]. Om het slib verder af te breken, zijn blijkbaar specifieke enzymen nodig die in de commerciële preparaten onvoldoende aanwezig zijn.

Voorbehandeling van het slib
Slibpasteurisatie gedurende 30 minuten bij 70 °C, zoals onder andere wordt toegepast in Zwitserland, levert geen extra gas op [Keller, 1982].
Verhitting onder druk tot 175 °C geeft maximaal 70% meer gas uit surplusslib [Haug, 1978]. De kosten en het energieverbruik zijn echter hoog.
Aërobe voorbehandeling van het slib leidt in het algemeen tot een lagere gasproduktie. Voor de beluchting van het slib is bovendien veel energie nodig.

UASB en verwante systemen
In de anaërobe afvalwatertechniek zijn systemen ontwikkeld die een grote massa actieve afbraakbacteriën in de reactor vasthouden en zodoende een hoge volumebelasting mogelijk maken. Deze systemen,

Afb. 3 - Specifieke gasproduktie tegen verblijftijd in Nederlandse gistingsinstallaties en berekende eerste orde relatie.



Methaan verwijderen met een plaatbeluchter

Het grondwater uit een nieuwe put in een dieper watervoerend pakket te Culemborg bevat 6-7 mg/l methaan. Dit verstoort de gebruikelijke grondwaterzuivering zodanig, dat het methaan – grotendeels – vóór de filtratie moet worden verwijderd. Het KIWA en de NV Waterleiding Maatschappij Gelderland hebben door middel van onderzoek aangetoond dat met een plaatbeluchter een zodanig laag restgehalte methaan is te bereiken, dat de enkelvoudige filtratie weer goed functioneert.



IR. G. K. REIJNEN
KIWA NV



IR. J. SMILDE
voormalig hoofd Produktie/Exploitatie van de NV Waterleiding Maatschappij Gelderland

Pompstation Culemborg

Het pompstation Culemborg zuivert grondwater uit het eerste watervoerende pakket op een diepte van 15-45 meter. Een enkele versproeiing met dresdener sproeiers, gevolgd door filtratie, is genoeg om goed drinkwater te maken. Om een aantal redenen is in 1983 een diepe put geboord in een watervoerend pakket op een diepte van 100-150 meter. Dit water werd apart gefiltreerd met één van de drie betonnen snelfilters. Al heel snel ontstonden echter problemen. Het beluchte water werd zuurstofloos in het filter door een hoog zuurstofverbruik. De ontmanganing en nitrificatie verliepen onvolledig.
De oorzaak was spoedig bekend. Het 'diepe' grondwater bevat 6-7 mg/l methaan.
Wat kon men het beste doen om dit probleem op te lossen? Gelukkig bleek er al vrij veel bekend te zijn over de oorzaak en de oplossing van de problemen die door methaan worden veroorzaakt.

Methaan in grondwater

Methaan (CH_4) ontstaat wanneer bacteriën organisch materiaal 'afbreken' of 'verteren' bij afwezigheid van zuurstof. Er wordt dan ook zwavelwaterstof (H_2S) gevormd. Ruikt het bij de beluchting op uw bedrijf naar zwavelwaterstof, dan kan er ook methaan in het water zitten. Dat hoeft echter niet, want methaan ontwijkt 'zo gauw als mogelijk' uit het water. Is het watervoerend pakket afgesloten door een te slecht doorlatende laag, dan kan het methaan niet weg uit het water. Vandaar dat in Culemborg het methaan nog in het diepe grondwater is opgelost.

Methaan in het snelfilter

Op 26 oktober 1976 vertelde dr. M. van Ammers, van de NV Waterleiding Friesland, de Contactgroep Wateronderzoek en Waterzuivering dat methaan in een snelfilter door bacteriën wordt omgezet in koolstofdioxyde [1]. Deze zogenaamde 'methaan-oxyderende bacteriën' gebruiken hiervoor veel zuurstof, bijna 4 mg per milligram methaan. Al langer was bekend dat snelfilters soms meer zuurstof verbruiken dan nodig is voor het ontijzeren, ontmanganen en nitrificeren.
In 1956 schreef dr. W. Kaufmann, een voorganger van de heer Van Ammers, er al over in het tijdschrift 'Water' [2].

Van der Kooij, microbiolooog bij het KIWA, toonde in de slijmerige aangroei op het filtergrind van pompstation Spannenburg bacteriën aan van het geslacht '*Pseudomonas*[1] *Methanica*'. De oorzaak van het hoge zuurstofverbruik en het snel vervuilen van de snelfilters was opgespoord. Ongeveer tegelijkertijd publiceerden Mevius [3] en Schweisfurth en Ruf [4] over de relatie tussen methaan en zuiveringsproblemen in West-Duitsland.

Het probleem komt meer voor dan we verwachtten

De Contactgroep Ontijzering[2] heeft geïnventariseerd op welke pompstations meer dan 1 mg/l methaan in het ruwe grondwater is opgelost. Het zijn er minstens dertig! En ze zijn nog niet allemaal onderzocht. De Contactgroep verwacht dat een aantal zuiveringsproblemen, waarvan de oorzaak nog niet was gevonden, is te wijten aan het methaan.
Omdat het methaan-probleem bij veel bedrijven speelt, heeft het KIWA in het kader van het door de VEWIN opgedragen speurwerkproject 'Intensieve Beluchting' samen met de WMG een case study naar de verwijdering van methaan uitgevoerd.

Methaan verwijderen door beluchten

Methaan laat zich gemakkelijk uit water verwijderen door het te beluchten.
Een aantal beluchtingssystemen hebben wij voor Culemborg in beschouwing genomen. We hebben ze beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:
– Een verwijdering van 6 à 7 mg/l tot circa 0,5 mg/l of minder moet worden gehaald. Procentueel is dit een verwijdering van circa 93%.
– De benodigde apparatuur moet goed passen in, bij of op het bestaande filtergebouw.
– De beluchtingsapparatuur moet goed kunnen worden schoongemaakt. Want ruw water met ijzer en methaan geeft aanleiding tot vervuiling door ijzeroxyden en bacterieslib.
– De kosten moeten zo laag mogelijk zijn.
– De beluchting moet op korte termijn functioneren, want er moet voldoende water worden geleverd.

Sproeiers

De bestaande dresdener sproeiers verwijderen circa 60-70% van het methaan. De valhoogte vergroten tot 2 meter (is circa 1 meter) zal iets verbetering opleveren, maar onvoldoende.
Hoge-druksproeiers vernevelen het water beter. Ze vergen echter een hoge voordruk, te weten circa 50-100 kPa (0,5-1 bar of 5-10 mWk). Een waterleidingbedrijf realiseerde hiermee (experimenteel) een verwijdering van 74-86%.

Vacuüm-ontgasser

Een briefwisseling met het waterleidingbedrijf

Pompstation Culemborg

Pompstation Culemborg is gebouwd in 1910. In 1983 is het gerenoveerd en de bedrijfsvoering geautomatiseerd. De zuivering bestaat uit drie open betonnen filters, elk met een oppervlak van 20 m².
Het water wordt boven de filters versproeid met dresdener sproeiers.
De filterbedden zijn 1,85 m hoog en bestaan uit grind met een korrelgrootte van 1,25-1,75 mm.
De filtratiesnelheid bedraagt 5-6 m/h, het aantal bedrijfsuren tussen twee spoelbeurten is 30.

Het spoelproces verloopt als volgt:

1 min.	lucht	35 m/h.		
4 min.	lucht	35 m/h.	+ water	5 m/h.
5 min.			water	20 m/h.

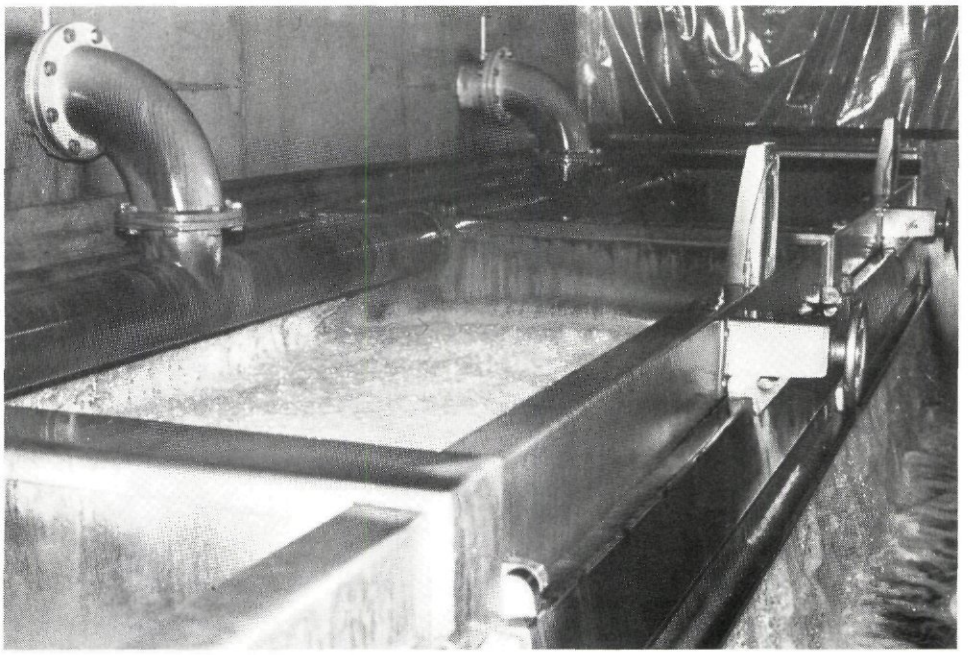
Het niveau van het water boven de filters wordt – nagenoeg – constant gehouden door een niveauregeling, bestaande uit een vlotter welke mechanisch is verbonden met een regelklep in de filtraatafvoer.



Een briefwisseling met het waterleidingbedrijf

[1] In de nieuwe classificering wordt deze bacterie *Methylomonas* genoemd.
[2] De Contactgroep Ontijzering is een forum van medewerkers van waterleidingbedrijven die zich bezighouden met onderzoek naar de ontijzering. Het doel is 'Uitwisselen van informatie en coördineren van onderzoek'.
De Contactgroep is opgericht door de Commissie Grondwaterzuivering van het KIWA.

van Kopenhagen leerde ons dat men daar al sinds ± 1960 circa 90% van het methaan uit grondwater verwijdert met een vacuüm-ontgasser.
Het water valt met een snelheid van 40 m/h door een toren met een bouwhoogte van 14 meter. Het wordt verspreid over een 8 meter hoge stapeling van houten latten. Een vacuümpomp zorgt voor een zeer lage luchtdruk in de toren (96% vacuüm).
De energiekosten zijn hoog. Ze bedragen 0,123 kWh per m^3 water. Bovendien vergt zo'n vacuüm-ontgasser een relatief hoge investering. Groot voordeel van het systeem is dat het niet vervuilt. Er lost namelijk geen zuurstof in het water op. Want in een vacuüm-ontgasser wordt geen lucht, en dus geen zuurstof, toegevoerd. Alleen de uit het water vrijgekomen gassen, zoals methaan, stikstof- en koolstofdioxyde, worden afgevoerd door de vacuüm-pomp.
We vonden het systeem te duur, het verwijderingspercentage te laag en de installatie te omvangrijk. Bovendien was er eind 1983 nog geen Nederlandse ervaring met deze toepassing. Een snelle realisering was dus niet mogelijk.

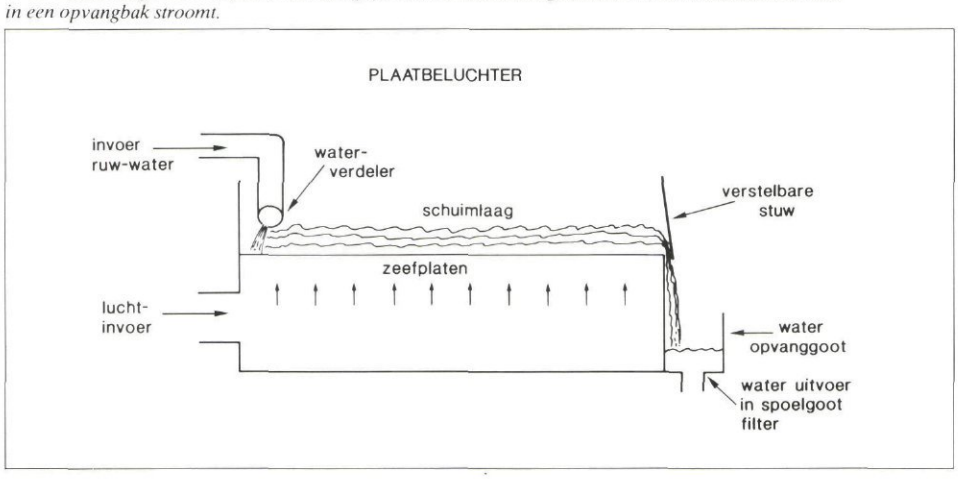


Afb. 2 - Op de geperforeerde plaat ontstaat een schuimlaag. Het water wordt daardoor zeer intensief in contact gebracht met de lucht, waardoor methaan of andere gassen effectief worden verwijderd.

Beluchtingstoren
Een beluchtingstoren, gevuld met een los gestorte pakking, kan een zeer laag restgehalte methaan opleveren. Het KIWA heeft in Veghel, samen met de NV Waterleiding Maatschappij Oost-Brabant en de Stichting Waterleidinglaboratorium Zuid, onderzoek verricht met een experimentele beluchtingstoren van het KIWA. Daaruit bleek dat 6-7 mg/l methaan is te verwijderen tot beneden de detectiegrens (0,01 mg/l).
Dit resultaat is bereikt met een hoogte van een stalen pakking (Hy-pak 30 mm) van 3 m, een watersnelheid van circa 90 m/h en een lucht-waterverhouding van 2 (in tegenstroom). De lucht-waterverhouding kan zo laag zijn omdat methaan veel beter oplost in lucht dan in water. De verdelingscoëfficiënt tussen water en lucht is 0,04 bij 10 °C. Meestroom-beluchting kan daarom, wanneer geen extreme mate van verwijdering nodig is, ook worden toegepast. Hetzelfde experiment te Veghel bevestigde dat, toen we de ventilator stopten en de natuurlijke-meestroom-ventilatie lieten plaatsvinden.

Een probleem vormt echter de vervuiling van de pakking met ijzer en bacterieslib. Dat is één van de redenen waarom we dit systeem in Culemborg niet hebben toegepast. Er was tevens te weinig ruimte boven het filter – in het gebouw – voor het plaatsen van een beluchtingstoren.
Plaatsen naast het gebouw zou een extra pompfase vergen. Plaatsen op het gebouw leek 'voor het oog' minder gewenst.

Afb. 1 - In een plaatbeluchter wordt lucht door een geperforeerde plaat geblazen. Het te beluchten water stroomt in een dunne laag over deze plaat. De verblijftijd van het water is te regelen met een stuw, waardoor het water in een opvangbak stroomt.



Plaatbeluchter
De plaatbeluchter is in Nederland door de NV Waterleiding Friesland (WLF) geïntroduceerd en is ook wel bekend onder de naam 'Inka intensieve beluchter'. Zie afb. 1 en 2.
Men bezichtigde dit beluchtingssysteem in Sjaelsoe (Denemarken) waar men het al sinds 1964 toepast voor het verwijderen van methaan. Uit metingen die het KIWA in 1982 mocht uitvoeren te Spannenburg bleek dat een methaan-verwijdering van 91-97% werd bereikt. De procescondities: Oppervlaktebelasting circa 25-30 $m^3/m^2 \cdot h$; lucht-waterverhouding circa 40-50.
Het beste resultaat werd destijds bereikt met een plaatbeluchter in het provisorium (water 25 $m^3/m^2 \cdot h$; lucht-waterverhouding 50).
Het leek ons goed om in Culemborg een experiment uit te voeren met zo'n plaatbeluchter. Hij past in het gebouw boven het betonnen filter. Het energieverbruik is niet zo hoog (circa 0,035 kWh/m^3) en de platen zijn goed te reinigen.

Experiment met de plaatbeluchter
De bovengenoemde plaatbeluchter, uit het provisorium te Spannenburg, is in januari 1984 door de WMG gekocht voor een experiment op praktijkschaal te Culemborg. In de aparte tekst is beschreven hoe de plaatbeluchter is geïnstalleerd. Het diepe water werd op één van de drie filters gebracht, hetgeen een uitstekende gelegenheid bood de 'oude en de nieuwe' situatie te vergelijken. We hebben gekeken naar de mate van methaanverwijdering, de invloed van deze 'intensieve beluchting' op de ontijzering, ontmanganing en nitrificatie' en het aantal bacteriën in het filterbed en het filtraat.

Het instellen van de procescondities
Voor de resultaten worden gegeven moet nog worden vermeld wat er te regelen is aan deze plaatbeluchter. De volumestroom van het toegevoerde water is te variëren van 120 tot 150 m³/h. Ook de volumestroom lucht is regelbaar en te meten met een Pitot buis. Deze bedraagt maximaal circa 7.800 Nm³/h, wanneer geen water over de plaat stroomt (△p 700 Pa = 70 mm Wk).
Aan het eind van de plaat valt het water niet zomaar naar beneden, maar wordt het tegengehouden door een verstelbare stuw die lijkt op de losklep van een zandvrachtwagen (afb. 1 en 2). De spleet waardoor het water naar beneden valt is dus instelbaar. Is de opening nauwer, dan blijft het water langer op de plaat. Daardoor wordt de luchtweerstand over de plaat hoger *en* de schuimlaag dikker. Deze luchtweerstand is instelbaar tussen 1 en 1,7 kPa (100-170 mm Wk); een hogere weerstand kan de toegepaste ventilator niet hebben.
Wordt de klep te veel geknepen dan 'stort de schuimlaag in' en loopt het water plaatselijk door de plaat naar beneden. De meest gebruikelijke luchtweerstand voor de toegepaste plaatbeluchter is 1,4 kPa (140 mm Wk).

De verwijdering van methaan
In de tabellen I en II is de mate van verwijdering van methaan vermeld bij verschillende procescondities. Opvalt dat de lucht-waterverhouding, binnen de in te stellen range, weinig invloed heeft op de mate van verwijdering. Duidelijk meer invloed heeft – indirect – de luchtweerstand.
De werkelijke oorzaak is de verblijftijd van het water op de plaat, wanneer de schuimlaag dikker is door het vernauwen van de stuw. En dat is een belangrijk gegeven.
Bij een volumestroom van 150 m³/h is het percentage methaanverwijdering wel wat lager dan bij 120 m³/h. De gewenste verwijdering van circa 93% is gemiddeld nog wel te realiseren. Er zit echter wat meer variatie in het resultaat. De oorzaak is wellicht dat deze plaatbeluchter voor een lagere volumestroom is ontwikkeld.
Het hoogste verwijderingspercentage (97%) is gerealiseerd bij een oppervlaktebelasting van 30 m³/m² · h, een lucht-waterverhouding van 30-40 en een luchtweerstand van 1,7 kPa. Het energieverbruik van de ventilator is onder deze omstandigheden 0,025 kWh/m³. De energiekosten vallen dus mee! Ter vergelijking: Met dezelfde hoeveelheid energie kan een kubieke meter water 5 meter omhoog worden gepompt, bijvoorbeeld in een beluchtingstoren.

TABEL I – *Invloed van de procescondities op de verwijdering van methaan met de plaatbeluchter.*

Volumestroom water 120 m³/h (30 m³/m² · h)
Temperatuur water 12,5 °C
Temperatuur lucht 7 °C
Methaangehalte invoer 6,3 mg/l*

Lucht/water verh.	△P lucht (kPa)	% verw. methaan
57	1	93,8
52	1	94,3
39	1	93,7
33	1	93,3
43	1,4	95,4
42	1,4	95,2
33	1,4	96,2
27	1,4	95,6
38	1,7	97,9
32	1,7	97,5
29	1,7	96,8

* Het restgehalte methaan is bepaald in water uit de opvangbak van de plaatbeluchter, zie afb. 1.

Invloed van de beluchting op de zuivering
De ontijzering, ontmanganing en nitrificatie van het ondiepe water verloopt – nagenoeg – volledig. Zie tabel III. Het diepe methaanhoudende water bevat minder ijzer, mangaan en ammonium-ionen. De ontijzering is desondanks minder volledig geworden. Dat is naar verwachting te wijten aan de hogere pH. Bij een hogere pH wordt ijzer weliswaar sneller geoxydeerd, maar zijn de ontstane vlokken soms minder goed te filtreren [5].
De troebelheid van het filtraat heeft in de praktijk vaak een nagenoeg lineaire relatie met het ijzergehalte [5]. Uit continue registratie van de troebelheid van 'het proeffilter' en een 'referentiefilter' blijkt dat de ontijzering in het proeffilter gevoeliger is voor de bedrijfsvoering.
De troebelheid bedraagt minimaal 0,15 FTU. Na het spoelen vertoont de troebelheid een piek van 0,6 FTU. Het vergt circa 10 bedrijfsuren voor de troebelheid de minimale waarde heeft bereikt. Het filter moet kennelijk weer 'inwerken' na het spoelen. Vooral na een wat langere – echte – looptijd van 30-40 uren vertoont de troebelheid een piek (verdub-

Conclusie

- Een plaatbeluchter is bruikbaar voor het verwijderen van methaan uit grondwater. Een verwijdering van 95% is goed te bereiken.
- De benodigde bouwhoogte is betrekkelijk gering, zodat de plaatbeluchter in een bestaand gebouw in veel gevallen geplaatst kan worden boven de filters.
- De geperforeerde platen zijn goed te reinigen wanneer ze zijn vervuild met ijzer en bacterieslib.
- De energiekosten zijn laag (0,025-0,035 kWh/m³).
- Wanneer de, na de beluchting resterende, 0,2 mg/l methaan door bacteriën in het filter wordt afgebroken, is de toename van het aantal bacteriën in het filtraat gering.

TABEL II – *Invloed van de procescondities op de verwijdering van methaan met de plaatbeluchter bij een hogere oppervlaktebelasting.*

Volumestroom water 150 m³/h (37,5 m³/m² · h)
Temperatuur water 10 °C
Temperatuur lucht 15 °C
Methaangehalte invoer 6,6 mg/l*

Lucht/water verh.	△P lucht (kPa)	% verw. methaan
23	1,0	92,3
29	1,0	93,6
21	1,2	92,3
26	1,2	94,1
36	1,2	91,7
19	1,4	91,8
25	1,4	94,8
35	1,4	92,9
21	1,6	95,6
27	1,7	96,4

* Het restgehalte methaan is bepaald in water uit de opvangbak van de plaatbeluchter, zie afb. 1.

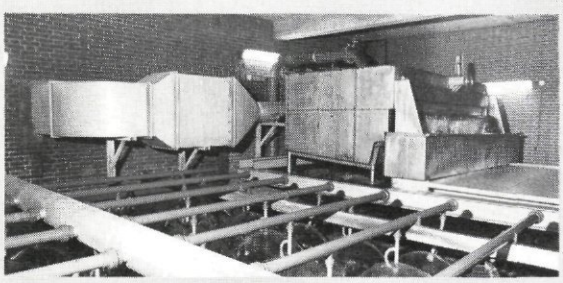
TABEL III – *Watersamenstelling ruwe en reine water uit twee watervoerende pakketten.*

	Ruw water		Belucht en gefiltreerd	
	ondiep	diep	ondiep met dresdener sproeiers	diep met plaat-beluchter
Fe (mg/l)	4	2	≦ 0,02	0,03-0,05
Mn (mg/l)	0,75	0,1	< 0,02	< 0,02-0,06*
NH_4^+ (mg/l)	0,9	0,45	< 0,02	< 0,02
O_2 (mg/l)	0	0	2-3	7-8
CH_4 (mg/l)	0,2	6,5	0,02	0,02
pH	7,3	7,4	7-5-7,6	7,9
troebelh. (FTU)	–	–	0,06	0,15-1

* Enkele 'uitschieters'.

Installatie plaatbeluchter

Het methaan wordt uit diep grondwater verwijderd met een plaatbeluchter welke boven één filter is geplaatst. De sproeiers boven dit filter zijn daartoe verwijderd. De bodem bestaat uit drie geperforeerde roestvaststalen platen van elk circa 1,3 m², welke uitneembaar zijn om ze te kunnen reinigen.



De lucht wordt gefiltreerd met een luchtfilter (verbrede deel van luchtinvoer links van de plaatbeluchter).

De uitwendige afmetingen van de plaatbeluchter zijn:
Hoogte 1,4 m + 0,15 m waterinvoer
Breedte 5,1 m
Lengte 4,95 m + 1,26 m water + luchttoevoer.

De volgende procescondities worden toegepast:
Volumestroom water 120-150 m³/h.
Volumestroom lucht circa 5.000 N m³/h.
Luchtweerstand plaat + schuimlaag 140 kPa (140 mm WK).

De kosten van overname, transport en installatie bedroegen ƒ 45.000,–. Een nieuwe plaatbeluchter zal naar verwachting circa ƒ 25.000,– meer kosten.

beling) na een periode van stilstand.
Aanvankelijk is veel aan/uit geschakeld wegens de zeer kleine waterberging in de watertoren. Door het pompstation aan een groter voorzieningsgebied te laten leveren, wordt momenteel veel minder geschakeld.
Het ijzergehalte, dat aanvankelijk varieerde van 0,03-0,1 mg/l, ligt daardoor nu meestal tussen 0,03 en 0,05 mg/l.
De filters die ondiep water ontijzeren moeten worden gespoeld wanneer de toenemende filterweerstand dit noodzakelijk maakt. Het ijzergehalte is dan nog laag. Het filter onder de plaatbeluchter moet worden gespoeld wanneer het ijzergehalte in het filtraat gaat toenemen. De filterweerstand is dan nog laag. Een duidelijke verandering dus.
Door tijdig te spoelen blijft het ijzergehalte acceptabel. De werkelijke looptijd van de filters op ondiep water is circa 30 uren en van het filter op het diepe water 35 uren.
Het mangaangehalte is een enkele keer iets hoger geweest dan gebruikelijk. Is de snellere oxydatie bij een hogere pH de oorzaak? We weten dat (nog) niet.

Bacteriën in het filterbed en het gefiltreerde water

Bij het begin van het experiment hebben we aangenomen dat minstens 93% van het methaan zou worden verwijderd met de plaatbeluchter. Is dat voldoende? Levert een restgehalte van circa 0,5 mg/l problemen op met overmatige bacteriegroei in of na het snelfilter? Om dit te beoordelen heeft de Vakgroep Biologie van het KIWA een oriënterend microbiologisch onderzoek uitgevoerd. Het aantal bacteriën in het filterbed en het filtraat van het proeffilter is vergeleken met dat van één van de overige filters.
Er bestaan zeer veel soorten bacteriën die onder meer van elkaar verschillen door de soort voeding welke ze kunnen opnemen. Bepaald zijn de koloniegetallen van bacteriën op een drietal verschillende voedingsbodems. In deze publikatie wordt dit onderzoek niet gedetailleerd beschreven. Volstaan wordt met het globaal weergeven van het resultaat.
De haalbare methaanverwijdering met de plaatbeluchter is duidelijk hoger dan 93%. Het restgehalte na beluchting dat op het filter komt bedraagt circa 0,2 mg/l. Dit gehalte is mede zo laag omdat ook in de watertoevoer van de plaatbeluchter naar het filter nog methaan wordt verwijderd. Het ondiepe grondwater bevat echter ook een spoor methaan, waardoor het referentiefilter 0,07 mg/l methaan krijgt te verwerken.
De verschillen in de bepaalde koloniegetallen zijn gemiddeld gering. Tevens blijkt dat de filters het methaan niet volledig verwijderen. Het restgehalte is weliswaar erg laag (0,025 mg/l), maar voor nagroei van bacteriën in het leidingnet zijn enige tientallen microgrammen voeding voor bacteriën al van belang. En het restgehalte methaan bedraagt circa 25 μg/l. Microbiologisch onderzoek naar nagroei in het distributienet zal in de toekomst uit moeten wijzen welke consequenties dit kan hebben.

Vorming van condens

Bij het toepassen van een plaatbeluchter moet rekening worden gehouden met vochtproblemen in het gebouw. Er ontstaat veel nevel boven de plaat. Wordt deze niet of onvoldoende afgezogen, dan ontstaat, vooral als het dak 's winters koud is, veel condens op het plafond. Het is goed daar tijdig rekening mee te houden! Wellicht is een plaatbeluchter met een 'afzuigkap' een oplossing. Een goede vochtdichte coating kan ook. Die is in Culemborg toegepast.

Tenslotte

De plaatbeluchter verwijdert weliswaar een aanzienlijk deel van het methaan, doch zeer hoog is het verwijderingspercentage niet. Wanneer het restgehalte methaan te hoog is, vanwege een hoger invoergehalte, moet wellicht naar een nog intensievere beluchting worden uitgezien.
Niet bekend is nog welke invloed de hoeveelheid methaan, welke in de filters wordt afgebroken, heeft op het vervuilen van filters en de aanwezigheid van bacteriën (onder andere *Aeromonas* en hogere organismen in het distributienet.
Nader onderzoek is gewenst om deze aspecten te bestuderen. Pas dan valt misschien wat meer te zeggen over het toelaatbare methaangehalte van het te filtreren water.

Literatuur

1. Ammers, M. (1982). *Het zuurstofverbruik in filters.* H_2O (15) 1982, nr. 18, p. 487-488.
2. Kaufmann, W. (1956). *Het zuurstofverbruik in filters bij de ontijzering en ontmanganing van grondwater en de invloed van de mate van beluchting op het zuurstofverbruik.* Water nr. 25, 345-348.
3. Mevius, W. (1976). *Auftreten von Methan und methanoxidierenden Bakterien in Trinkwasseraufbereitungsanlagen.* GWF 4, 176-178.
4. Schweisfurth, R. und Ruf, A. (1976). *Untersuchungen über das Vorkommen von methanoxidierenden Bakterien in Trinkwasserversorgungsanlagen.* GWF 1, 313-318.
5. Reijnen, G. K. (1984). *Optimaliseren van de ontijzering.* H_2O (17) 1984, nr. 21, p. 478-481.

● ● ●

Optimalisatie van de gistingsgasproduktie

• *Slot van pagina 81*

9. Menging is essentieel voor een goede werking van de gisting en voor zo volledig mogelijke slibafbraak. De vereiste mengintensiteit voor optimaal verloop van de gisting is echter niet eenduidig aan te geven.
10. Door beperking van de verblijftijdspreiding is gisting in twee in serie geschakelde reactoren efficiënter dan eentrapsgisting. Theoretisch is bij het zelfde totale volume de gasproduktie circa 10% groter dan bij eentrapsgisting. Voorwaarde is dat de verblijftijd per tank minimaal 10 dagen is en dat beide tanks gemengd en verwarmd worden.
11. Thermofiele gisting kan (met voldoende warmteterugwinning) economisch zijn door de snellere omzetting en de iets hogere gasproduktie dan bij mesofiele gisting. Een nadeel is de geringere stabiliteit van het proces.
12. Alternatieve gistingstechnieken zoals enzymdosering, thermische of aërobe voorbehandeling en gescheiden verzuring/methaanvorming, leveren nog geen energetische of financiële winst op. Systemen uit de anaërobe waterzuivering, zoals het UASB-proces, zijn niet geschikt voor zuiveringsslib.

Literatuurverwijzingen

Garber, W. F. (1982). *Operating experience with thermophilic anaerobic digestion.* Journal WPCF 54: 1171-1175.
Haug, R. T. (1978). *Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges.* Journal WPCF 50: 73-85.
Hawkes, D. L. (1982). *Factors affecting net energy production from mesophilic anaerobic digestion.* Conference proceedings 'Anaerobic digestion', Travemünde.
Kapp, H. *Persoonlijke mededeling.* Onderzoeksrapport te publiceren als 'Stuttgarter Berichte der Siedlungswasserwirtschaft', nr. 86.
Keller, U. (1982). *Experiences and development of sludge pasteurization in Altenrhein.* In 'Disinfection of sewage sludge', workshop Zürich.
Meyer, H., Kaudelka, A. und Podewils, W. (1983). *Technisch wirtschaftliche Aspekte der Klärgasverwertung auf Kläranlagen im Zusammenwirken von Abwasserreinigung und Energieautarkie.* Mitteilungen der Oswald-Schultze-Stiftung, Heft 4.
STORA (1981). *Gistingsgas als energiebron op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.*
STORA (1982). *Praktijkonderzoek eigen energieopwekking.*
STORA (1985). *Optimalisatie van de gistingsgasproduktie.*
Velsen, A. F. M. van and Lettinga, G. (1982). *Effect of feed composition on digester performance.* Conference proceedings 'Anaerobic digestion', Travemünde.
Wechs, F. (1984). *Anaërobe Stabilisierung von pasteurisiertem Klärschlamm.* GWF Wasser/Abwasser 118: 1-6.

● ● ●