

2000-03\_biologische-luchtzuiveringssystemen

**stowa**

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

**Biologische luchtzuiveringssystemen op rwzi's**  
*Systeemkeuze en dimensionering gebaseerd op  
literatuur- en praktijkonderzoek*



**2000**

**03**

**Biologische luchtzuiveringssystemen op rwzi's**  
*Systeemkeuze en dimensionering gebaseerd op  
literatuur- en praktijkonderzoek*

**2000** 03

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Fax 030 232 17 66  
E-mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:  
*Hageman Fulfilment*  
Postbus 1110  
3300 CC Zwijndrecht  
tel. 078 - 629 33 32  
fax 078 - 610 42 87  
e-mail: [hff@wxs.nl](mailto:hff@wxs.nl)  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.5773.083.9

# Inhoudsopgave

## Samenvatting

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Opzet en doelstellingen van het onderzoek.....	1
1.2	Leeswijzer .....	2
<b>2</b>	<b>Achtergronden van biologische luchtzuivering</b>	<b>3</b>
2.1	Typen biologische luchtzuiveringssystemen.....	3
2.2	Vulmaterialen .....	4
2.3	Principe van de H <sub>2</sub> S-verwijdering in biofilters .....	5
<b>3</b>	<b>Literatuurstudie biologische luchtzuivering</b>	<b>7</b>
3.1	Overzicht van de dimensioneringsgrondslagen.....	7
3.1.1	Biofilters .....	7
3.1.2	Lavafilters.....	8
3.1.3	Biotricklingfilters.....	14
3.1.4	Biowassers.....	15
3.1.5	Inblazing in aëratietanks.....	15
3.2	Modellen.....	15
3.3	Nieuwe ontwikkelingen bij biologische luchtreinigingstechnieken.....	16
3.4	Leemten in kennis uit de literatuur.....	17
3.5	Conclusies van de literatuurstudie.....	17
<b>4</b>	<b>Praktijkervaring in Nederland</b>	<b>18</b>
4.1	Overzicht van in gebruik zijnde filtertypen en praktijkervaring .....	18
4.1.1	Filtertypen .....	18
4.1.2	Praktijkervaring met biologische luchtzuiveringssystemen.....	19
4.2	Gehanteerde systeemkeuze en dimensioneringsgrondslagen.....	20
4.3	Praktijkervaringen met vulmaterialen .....	20
4.4	Praktijkervaringen met directe inblazing in aëratietanks .....	21
4.5	Onderhoudsaspecten van de filters.....	22

4.6	Conclusies uit de Nederlandse praktijkervaringen.....	23
<b>5</b>	<b>Onderzoek naar H<sub>2</sub>S-afbraak in biologische luchtreinigingsystemen op de rwzi 's-Hertogenbosch</b>	<b>25</b>
5.1	De proefopstelling.....	25
5.2	Onderzoeksmethode.....	27
5.3	Bewerking van de resultaten.....	28
5.4	Onderzoeksresultaten.....	29
5.4.1	Boomschors/turffilter.....	29
5.4.2	Kokosfilter.....	32
5.5	Vergelijking van boomschors/turf- en kokosfilter.....	34
5.6	Lavafilter.....	34
5.7	Filter met kunststofvulling.....	37
5.8	Vergelijking van het lavafilter en het filter met kunststofvulling.....	39
5.9	Vergelijking van de geteste filters.....	39
5.10	Conclusies uit het praktijkonderzoek op rwzi 's-Hertogenbosch.....	39
<b>6</b>	<b>Ontwerprichtlijnen voor biologische luchtzuiveringstechnieken</b>	<b>42</b>
6.1	Zijn H <sub>2</sub> S-belasting en oppervlaktebelasting valide ontwerpparameters?.....	42
6.2	Richtwaarden voor de dimensionering.....	42
6.2.1	Systeemkeuze.....	44
6.2.2	Filterkeuze.....	45
6.3	Kostenfactoren bij de keuzes voor biologische luchtzuivering.....	46
<b>7</b>	<b>Literatuurreferenties</b>	<b>48</b>

**Bijlage I: Beschrijving van de proefinstallatie**

**Bijlage II: Samenvatting meetgegevens praktijkonderzoek**

**Bijlage III: Verloop elektrische geleidbaarheid en pH in het percolaat  
van de onderzochte filters**

## Ten geleide

Ontwikkelingen op het gebied van biologische geurbestrijding in afgassen van rwzi's hebben vaak geleid tot toepassingen zonder dat ontwerpcriteria en gebruiksmogelijkheden duidelijk waren. Deze geurfilters presteren in een aanmerkelijk aantal gevallen onvoldoende met geuroverlast voor de omgeving tot gevolg. Inzicht in de relaties tussen belasting, bedrijfsvoering en prestaties zijn derhalve nodig.

Om de dimensioneringsgrondslagen van biologische zuiveringssystemen verder te specificeren en te onderbouwen zijn een literatuuronderzoek, een inventarisatie van de Nederlandse praktijkervaringen op rwzi's en een praktijkonderzoek aan een viertal biologische luchtzuiveringssystemen op de rwzi 's-Hertogenbosch uitgevoerd.

Het thans voorliggende rapport geeft informatie over de opname van H<sub>2</sub>S in de filters en de eigenschappen van biofilters en de daarin gebruikte materialen.

Het onderzoek werd uitgevoerd door de Gemeenschappelijke Technologische dienst Oost-Brabant (projectteam ir. P.I.M. Walet, J. den Burger, drs. J.L.P.M. van der Pluijm en ing. R. Moerman). Voor de begeleiding van het project zorgde een commissie bestaande uit ing. R. van Dalen (voorzitter), ing. L.A. van Efferen, mevr. ing. C.D. Meijer, ing. H.A.P. Mollen, ir. P.J. Roeleveld, ir. P.C. Stamperius en mevr. ing. J. van der Wijk.

Utrecht, februari 2000

De directeur van de STOWA

ir. J.M.J. Leenen

## Samenvatting

Op Nederlandse rwzi's wordt behandeling van geurrijke lucht steeds belangrijker om de geuremissie naar de omgeving te beperken. Met name rwzi's die door oprukkende woonbebouwing op steeds kleinere afstand van woonwijken komen te liggen zijn genoodzaakt tot vergaande luchtbehandeling. In Nederland worden hiertoe voornamelijk biologische systemen toegepast en gedimensioneerd op H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting, waarvan de waarden op basis van ruwe praktijkgegevens worden ingeschat.

In de vorm van een STOWA-project heeft de Gemeenschappelijke Technologische Dienst van Oost-Brabant (GTD) onderzoek verricht om de dimensioneringsgrondslagen van biologische luchtzuiveringssystemen verder te specificeren en te onderbouwen. Hiertoe zijn een literatuuronderzoek, een inventarisatie van de Nederlandse praktijkervaringen op rwzi's en een praktijkonderzoek aan een viertal biologische luchtzuiveringssystemen op rwzi 's-Hertogenbosch uitgevoerd.

In Nederland worden vooral biofilters met een bedhoogte van ca. 1 m, gevuld met boomschors/turf en kokosvezel, en lavafilters met bedhoogten tot 3 m toegepast. Ook in de literatuur is hierover de meeste informatie te vinden. Lavafilters worden vaak ontworpen op 100-330 m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> filteroppervlak en H<sub>2</sub>S-concentraties tot 200 ppm. Voor biofilters gelden oppervlaktebelastingen tot 100 m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> filteroppervlak en 80 ppm H<sub>2</sub>S. Andere dimensioneringsgrondslagen worden zelden of nooit toegepast. Biowassers worden in Nederland nog niet toegepast. Een nieuwe ontwikkeling is de toepassing van poreuze kunststofmaterialen als filtermateriaal. Er is geen bruikbaar dynamisch model voor de dimensionering voorhanden, waarin belangrijke variabelen als variaties in aanvoerconcentraties, combinaties van stoffen en invloed van het filtermateriaal zijn verwerkt. Ook is er nog te weinig bekend over het gedrag van biologische zuiveringssystemen bij piekbelastingen.

In Nederland is goede praktijkervaring opgedaan met biofilters gevuld met kokos- en boomschors/turfvullingen. Het gaat hierbij met name om ervaringen met standtijd, kortsluitstromen, biologische effectiviteit en inklinking. Een goed systeem voor beheer en onderhoud van biofilters blijft essentieel. Op basis van de Nederlandse praktijk voor onderhoud en controle van biologische luchtzuiveringssystemen is in dit project een protocol ontwikkeld dat kan dienen als standaard.

Lavafilters worden in toenemende mate op rwzi's toegepast wegens het robuuste karakter van het vulmateriaal, goede werking en daardoor lage totale kosten

Met directe inblazing van geurrijke lucht in de aëratietanks via de bestaande bellenbeluchting is in de Nederlandse praktijk positieve ervaring opgedaan. Geurproblemen traden niet op en corrosie van leidingen en compressoren of blowers bleek niet in verhoogde mate op te treden mits deze continu werken. Er is echter nog geen onderzoek gedaan naar de afbraak van geurcomponenten bij directe inblazing. Het te behandelen luchtdebiet moet kleiner of gelijk zijn aan de minimale luchtbehoefte voor bellenbeluchting.

Op de rwzi 's-Hertogenbosch is in de periode april 1997 - augustus 1998 onderzoek uitgevoerd aan vier biologische luchtzuiveringssystemen: twee biofilters gevuld met respectievelijk kokos en boomschors/turf, een lavafilter en een filter met kunststofvulling. Hieruit blijkt dat de adaptatiegraad van de systemen aan de oppervlaktebelasting en H<sub>2</sub>S-belasting zeer groot is. Het is daarom de vraag of deze grootheden kunnen dienen als dimensioneringsgrondslagen. De adaptatiegraad van de systemen aan de actuele belasting en de variaties daarin lijkt belangrijker. Op basis van dit onderzoek kunnen dimensioneringsgrondslagen hiertoe echter niet verder worden

gespecificeerd. Tevens kan op basis van dit onderzoek geen uitspraak worden gedaan over de relatie tussen  $H_2S$  en geur omdat alleen  $H_2S$  en geen geurmetingen uitgevoerd zijn

Zowel de Nederlandse praktijkervaring als het onderzoek op de rwzi 's-Hertogenbosch tonen aan dat  $H_2S$  grotendeels in de (eerste) onderste 50 cm van het bed wordt verwijderd. De daarna doorstroomde, bovenliggende lagen zorgen voor restverwijdering van  $H_2S$ .

De geadapteerde biologische systemen in het onderzoek waren in staat pieken grotendeels op te vangen, gepaard gaande met een restemissie van  $H_2S$ . In de systeemkeuze is het daarom van belang om het  $H_2S$ -belastingpatroon van het filter te kennen. Bij grote schommelingen zijn (aanvullende) chemische luchtzuivering of directe inblazing in de aëratietank mogelijke opties.

In het onderzoek blijken kokos en boomschors/turf als vulling van biofilters vergelijkbaar te presteren; een lichte voorkeur bestaat voor kokos. Kokos gaf ten opzichte van boomschors/turf een hogere activiteit in de onderste lagen te zien en een lagere emissie bij piekbelasting. Het verschil tussen lava en kunststof als pakkingmateriaal is evenmin groot.

Naast de investeringskosten spelen de kosten gepaard gaande met de vulling een belangrijke rol in de systeemkeuze. Een lange standtijd van de vulling leidt tot lagere kosten voor vernieuwing en verwerking van het materiaal. Bij nieuw in te richten rwzi's kunnen op basis van capaciteit de kostenvoordelen voor centrale luchtzuivering en kostenverhoging door extra leidingwerk tegen elkaar worden afgewogen.

# 1 Inleiding

Sinds de Nederlandse Emissierichtlijnen (NeR) voor rioolwaterzuiveringinrichtingen (rwzi's) van kracht zijn, waarbij rwzi's vallen onder de categorie-1-bedrijven, wordt het afdekken van geurgevoelige procesonderdelen in combinatie met afzuigen en behandelen van lucht steeds belangrijker. Met name de rwzi's die door oprukkende woonbebouwing op steeds kleinere afstand van woonwijken komen te liggen, zijn genoodzaakt om vergaande geurbestrijdingsmaatregelen te nemen.

In praktijk betekent dit vaak het (gedeeltelijk) afdekken van influentgedeelten, zandvanginstallaties, voorbezinktanks en anaërobe tanks in de waterlijn en het afdekken van indickers en slibopslagvoorzieningen in de sliblijn. De lucht onder deze afgedekte onderdelen moet worden afgezogen en behandeld. Dit heeft er toe geleid dat nu 80-90% van de Nederlandse rwzi's is voorzien van een of meer luchtbehandelingssystemen. Op vrijwel alle in de jaren '90 aangepaste rwzi's vindt luchtbehandeling plaats.

In Nederland blijken vooral biologische luchtzuiveringssystemen toegepast te worden bestaande uit bevochtigde filterbedden gevuld met een scala van media zoals compost/turf/boomschorsmengsels, kokosvezel, lavastenen en poreuze kunststofmaterialen. De dimensionering van de luchtbehandelingssystemen geschiedt aan de hand van vuistregels voor oppervlaktebelasting ( $m^3 \text{ lucht} / (m^2 \text{ filteroppervlak} \cdot h)$ ) en  $H_2S$ -belasting.  $H_2S$  vormt in veel gevallen de geurbepalende component, en is met sensoren beter meetbaar dan overige geurcomponenten. Beschikbare informatie over biologische luchtbehandelingssystemen is daarom vaak geënt op  $H_2S$ . Er bestaat daarom behoefte aan meetgegevens en praktijkervaring om een deugdelijke dimensionering en keuzesystematiek om deze biologische luchtzuiveringssystemen op te baseren.

## 1.1 Opzet en doelstellingen van het onderzoek

Doelstelling van het onderzoek is de gehanteerde dimensioneringsgrondslagen voor biologische luchtbehandelingssystemen te valideren en eventueel aan te scherpen en de voorwaarden aan te geven voor het goed functioneren van de systemen. Hiertoe zijn een literatuurstudie, een enquête onder de Nederlandse waterschappen en een praktijkonderzoek op rwzi 's-Hertogenbosch uitgevoerd; dit laatste met een viertal biologische luchtzuiveringssystemen voor de verwijdering van  $H_2S$ .

In de *literatuurstudie* is nagegaan welke dimensioneringsgrondslagen, variabelen en kritische parameters bij het ontwerp een rol spelen. Verder is gezocht op ontwikkelingen in het procesmatig en/of modelmatig dimensioneren van biologische luchtzuiveringssystemen en naar hiaten in kennis van deze aspecten. De *enquête onder de Nederlandse waterschappen* richtte zich vooral op de werking en het bedrijven van biologische luchtzuiveringssystemen, de beheersaspecten en uitgevoerd onderzoek aan biologische luchtzuiveringssystemen.

*Het praktijkonderzoek* werd uitgevoerd op de rwzi s'-Hertogenbosch aan vier biologische luchtsystemen (lavafilter, filter met kunststofvulling, biofilter met boomschors/turf en biofilter met kokos/turf). De filterkeuze in het onderzoek is gebaseerd op de toepassing van systemen in Nederland die bestaan uit ondiepe filters gevuld met biologisch actief materiaal (biofilters). In toenemende mate worden lavafilters met grotere bedhoogten dan biofilters toegepast waarbij lavasteen als drager dient voor bacteriën en waarin afvalstoffen met sproeiwater (effluent van de rwzi) worden afgevoerd. Het filter met kunststofvulling geldt



als een recente ontwikkeling en is in het onderzoek betrokken voor een vergelijking met het lavafilter.

Het praktijkonderzoek had een drietal doelstellingen.

- vast te stellen of oppervlaktebelasting en  $H_2S$  -belasting valide ontwerpparameters zijn en of richtwaarden voor deze grootheden op basis van het onderzoek verder gespecificeerd kunnen worden
- de invloed vast te stellen van de keuze van het vulmateriaal op de  $H_2S$ -verwijdering: de vergelijking tussen boomschors/turf in biofilters en lava en kunststofvulling in filters met grotere bedhoogten.
- vast te stellen van de invloed van piekbelastingen op de werking van de systemen.

## 1.2 Leeswijzer

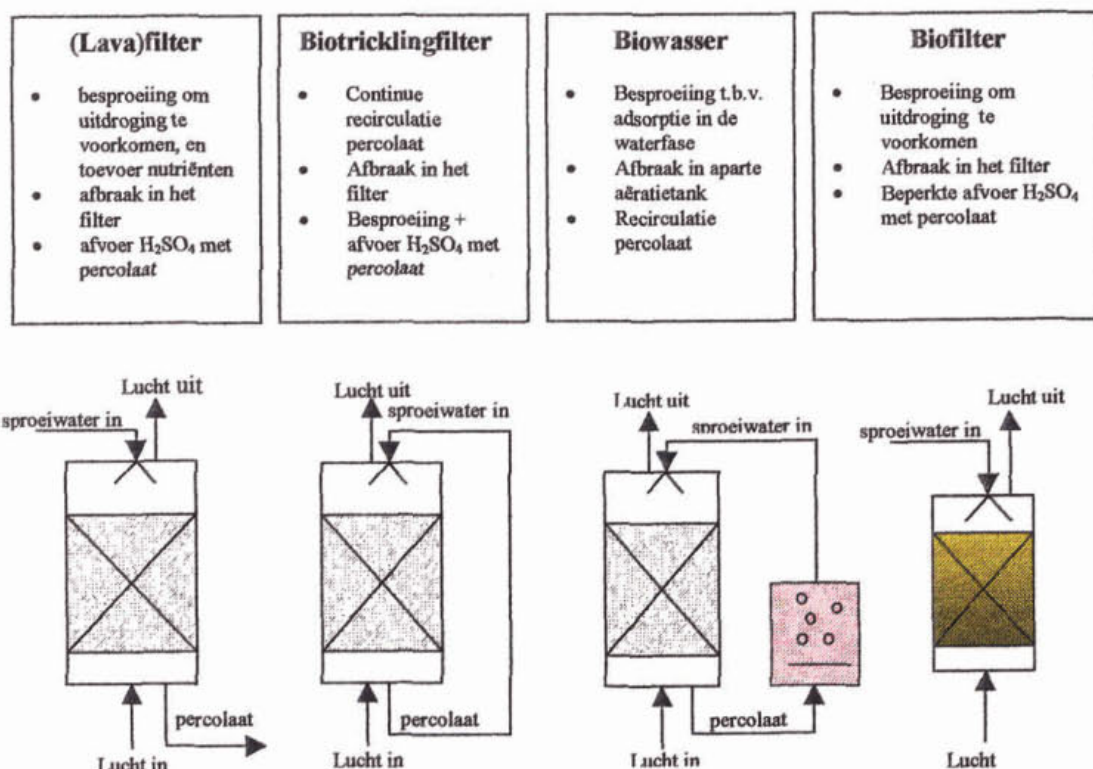
Allereerst behandelt hoofdstuk 2 de toegepaste systemen in Nederland en de principes van de  $H_2S$ - afbraak. In hoofdstuk 3 komt de literatuurstudie aan de orde, gericht op werking van de systemen, de toepassing van modellen en nieuwe ontwikkelingen. Hoofdstuk 4 bevat de Nederlandse praktijkervaringen met de biologische luchtzuiveringssystemen, vooral wat betreft ervaring, en beheer en onderhoud. Hoofdstuk 5 gaat in op het uitgevoerde praktijkonderzoek op rwzi s'-Hertogenbosch met een viertal filtertypen. Op basis van deze hoofdstukken zal in hoofdstuk 6 worden ingegaan op de ontwerprichtlijnen, systeemkeuze en kostenaspecten van biologische luchtreiniging. Afsluitend bevat hoofdstuk 7 de literatuurreferenties.

## 2 Achtergronden van biologische luchtzuivering

In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van de werkingsprincipes van de diverse filters, de aard van de toegepaste vulmaterialen en de principes van  $H_2S$ -afbraak in biologische luchtzuiveringssystemen.

### 2.1 Typen biologische luchtzuiveringssystemen

De verschillende biologische luchtzuiveringssystemen onderscheiden zich met name in filtermateriaal, filterhoogte en procesvoering. Alle filtersystemen stroomt de lucht van beneden naar boven en het water van boven naar beneden (tegenstroom). Figuur 1 geeft een overzicht van de mogelijke processchema's.



Figuur 1: Overzicht van typen van biologische luchtreinigingstechnieken

#### Lavafilter

Een lavafilter is gevuld met lavasteen die in tegenstelling tot andere gangbare filtermaterialen bij biofilters vrijwel volledig stabiel blijft en derhalve een lange standtijd heeft. De bacteriën in de biofilm op de lavastenen breken de geurcomponenten af. Periodiek wordt het filter gespoeld met water waardoor de pH relatief goed op peil kan worden gehouden en nutriënten worden aangevoerd voor de biomassa.

#### Biotricklingfilter

In een biotricklingfilter circuleert een waterfase over een gepakt bed van een inert dragermateriaal. De actieve biomassa is aan het dragermateriaal gehecht. De te verwijderen componenten worden door de waterfase geadsorbeerd en vervolgens door de biomassa omgezet. De gevormde producten worden opgenomen in de waterfase. Door pH, nutriënten

en zoutgehalte automatisch te sturen kan het proces bij zuurvormende componenten goed worden geregeld.

### **Biowasser**

Evenals bij het biotricklingfilter worden bij een biowasser de te verwijderen componenten in een striptoren in de continu gerecirculeerde waterfase met actiefslib geadsorbeerd. De biomassa is gesuspendeerd in een aparte beluchte tank waarin de biologische afbraakprocessen plaatsvinden. De pH en nutriënten kunnen geregeld worden

### **Biofilter**

Een biofilter bestaat uit een bed met filtermateriaal in een al of niet gesloten container. Het filtermateriaal kan bestaan uit bijvoorbeeld compost, kokosvezel, turf, grond of heidemateriaal. Het dragermateriaal heeft een poreus karakter en is geschikt voor fixatie van biomassa. Daarnaast bevat de drager poriën die met water zijn gevuld. De werking berust op een combinatie van absorptie en biologische afbraak. Ter bevochtiging wordt gesproeid met percolaat.

### **Inblazing in de aëratietank**

Inblazing van geurrijke lucht via fijne bellenbeluchting in de aëratietank is een variant op de biowasser, waarbij het actief slib in de aëratietank als adsorbens fungeert en de geurcomponenten afbreekt.

## **2.2 Vulmaterialen**

Vulmaterialen in biologische luchtzuiveringssystemen kunnen worden onderverdeeld in inerte en natuurlijke materialen die in de loop van de tijd van samenstelling kunnen veranderen.

**Tabel 1: Overzicht van vulmaterialen in biologische luchtzuiveringssystemen**

<b>Inerte materialen</b>	<b>Natuurlijke materialen</b>
Lavastenen	Kokos
Kunststofmaterialen	Boomschors
	Turf
	Champignonmest
	Heidemateriaal
	Compost

De natuurlijke materialen worden vaak onderling gemengd om een goede porositeit te verkrijgen. Soms wordt ook kalk meegemengd om verzuring tegen te gaan. Verondersteld wordt dat deze materialen nutriënten terugleveren die nodig zijn voor de microbiële groei. Deze vulmaterialen worden vochtig gehouden door besproeiing met effluent dat tevens een nutriëntenbron vormt voor de bacteriën in het filter. Omdat deze mengsels vaak veel vocht vasthouden is afvoer van stoffen met het percolaat beperkt mogelijk. De bedhoogte beperkt zich tot 1-1,5 meter in verband met oplopende bedweerstand en de verhoogde inklinking door het eigen gewicht bij grotere bedhoogte.

### **Lavastenen**

Lavastenen zijn toepasbaar in filters met bedhoogten hoger dan 1 meter omdat het materiaal niet kan inklinken en een beperkte drukval heeft. Bij de keuze van lava is een aantal kwaliteitseisen belangrijk. Zo moet het materiaal hoekig zijn ten behoeve van een goede porositeit en een laag basaltstofgehalte bezitten zodat de poriën niet verstopt raken. De toegepaste materiaalgrootte ligt tussen de 8 mm en 64 mm, waarbij het filterbed in

verschillende lagen wordt opgebouwd. Bijvoorbeeld: onder: 32-64 mm; midden: 16-32 mm; boven: 8-16 mm. Er is een trend om in de eerste onderlaag grotere stenen toe te passen om verstopping door opgehoopt gruis te voorkomen. Deze opbouw leidt bij een filterhoogte van 3,4 m tot een bedweerstand van ca. 20 mm waterkolom bij een oppervlaktebelasting van  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . De standtijd van het lava in het filter wordt geschat op minimaal 15 jaar.

### **Kunststofvulling**

De kunststofvulling bestaat uit materiaal op basis van bijvoorbeeld polyurethaan met een hoge porositeit (hoog specifiek oppervlak). Deze vulling kan in de vorm van pakketten of gewonden matten in het filter verwerkt worden. De ontwikkeling van de structuur van deze vulmaterialen is momenteel in beweging en is gericht op de weerstandsreductie ( $< 20 \text{ mm H}_2\text{O}$ ) een verlaging van lange termijn verstoppingrisico. Hoewel langdurige praktijkervaring met dit vulmateriaal ontbreekt, is de standtijd volgens leveranciers langer dan 10 jaar.

### **Kokosvezel**

Kokosvezel is afkomstig van kokosnoten die door een rottingsproces van de noten wordt verwijderd. Na zeving blijven de lange vezels over welke gesponnen worden tot luchtige strengen. Vervolgens worden de lange vezels bewerkt zodat deze een hoog ligninegehalte bevatten, waardoor de vezels meer rotbestendig worden. Belangrijke kwaliteitseisen zijn een laag gehalte aan vezelstof, gruis en fijnere vezels (de fijnere delen hopen zich anders op in de onderste lagen van het filter) en een goede rotbestendigheid door een hoog ligninegehalte.

Kokosmateriaal wordt in filters toegepast met een bedhoogte van ca. 1 m. Bij grotere bedhoogten klinkt het onderste gedeelte te sterk in. De drukval (ook wel bedweerstand genoemd) bij een oppervlaktebelasting van ca.  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  bedraagt ca. 4-10 mm waterkolom, afhankelijk van het vochtgehalte. Het materiaal is in staat om een vochtgehalte van ongeveer 65% te behalen. Het filtermateriaal kan extra worden afgedekt met een kokosmat van geweven kokosvezel met een dikte van zo'n 2 cm waarmee uitdroging van het filter bij zonnig weer wordt beperkt. Het materiaal wordt vaak opgemengd met turf (tot 50%). De turf zou nodig zijn voor de levering van nutriënten en sporenelementen voor de bacteriële groei. Of dit daadwerkelijk het geval is, is niet vastgesteld. De standtijd van het materiaal wordt geschat op 5-7 jaar.

### **Champost**

Champost bestaat uit een mengsel van champignoncompost (vaak paardenmest gemengd met kalk) en houtsnippers. De mengverhouding kan variëren: een veel toegepaste verhouding is 60% houtsnippers en 40% champignoncompost. De houtsnippers zorgen voor een luchtige structuur. De standtijd van deze materialen wordt op grond van praktijkervaringen geschat op maximaal 3 jaar.

### **Boomschors/turf**

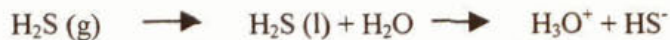
Boomschors in boomschors/turfmengsels bestaat uit boomschorssnippers en is gedurende een aantal jaren opgeslagen en als zodanig gestabiliseerd. Dit materiaal geeft een luchtige structuur. Boomschors kan eventueel puur worden toegepast. De standtijd wordt geschat op 3-5 jaar.

## **2.3 Principe van de $\text{H}_2\text{S}$ -verwijdering in biofilters**

De uiteindelijke verwijdering van  $\text{H}_2\text{S}$  in biologische luchtzuiveringssystemen verloopt via een microbiologisch proces. De volledige route van de  $\text{H}_2\text{S}$ -verwijdering verloopt via de volgende stappen (uit: Schlegel Allgemeine Microbiologie 6<sup>e</sup> Auflage, Thieme, 1985):

- $\text{H}_2\text{S}$ -overdracht van de gasfase naar de waterfase

### Vergelijking 1:



- Opname van  $\text{HS}^-$  uit de waterfase naar de biomassa
- Microbiologische afbraak van  $\text{S}^{2-}$  naar sulfaat (onder niet-zuurstofgelimiteerde omstandigheden)

In het algemeen kan verondersteld worden dat de microbiologische afbraak van de bovengenoemde processen de snelheidsbepalende stap is, mits het filter voldoende bevochtigd wordt en er geen waterfilm over de biofilm aanwezig is door overbevochtiging. De snelheidsbepalende stap is de microbiologische afbraak van  $\text{H}_2\text{S}$  door bacteriën van het type *Thiobacillus sp.* Deze bacteriën zijn in staat om verschillende vormen van zwavel te benutten voor hun energiehuishouding.

Onder zuurstofrijke omstandigheden wordt het sulfide via de vorming van elementair zwavel door oxidatie omgezet in sulfaat:

### Vergelijking 2:



Als resultante van vergelijkingen 1 en 2 blijft per mol  $\text{H}_2\text{S}$  twee mol  $\text{H}_3\text{O}^+$  achter in de waterfase. Dit heeft tot gevolg dat het waterige medium zuurder wordt.

Komen er zuurstoflimiterende zones voor in het filter, dan zal de bacterie daar niet verder kunnen komen dan oxidatie tot zwavel:

### Vergelijking 3:



In dat geval zal elementair zwavel ontstaan dat neerslaat in kristallijne vorm (lichtgeel tot bruine zwavelbolletjes).

De *Thiobacillus* bacteriën produceren onder zuurstofrijke condities netto zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en creëren daardoor voor zichzelf een zuur milieu. Van *Thiobacilli* is bekend dat zij ook bij lage pH kunnen groeien (tot  $\text{pH} = 1$ ). Bij te sterke ophoping van  $\text{H}_2\text{SO}_4$  zal het milieu in het biofilter te zuur worden en zal de biomassa afsterven. Dit kan voorkomen worden door sproeien en afvoer van percolaat uit het filter.

Naast de afbraak van  $\text{H}_2\text{S}$  zijn in het biofilter ook andere bacteriën aanwezig voor de afbraak van de overige geurcomponenten, waaronder lagere vetzuren, aromaten, al dan niet gehalogeneerd. In het algemeen zijn dit bacteriën die een pH-groeioptimum hebben van 6-8, maar ook bij lager pH's actief zijn. In praktijk is aangetoond dat deze processen simultaan kunnen optreden in het filter (zie hoofdstuk 3).

### 3 Literatuurstudie biologische luchtzuivering

Bij het literatuuronderzoek is met een geselecteerd aantal trefwoorden en combinaties daarvan een aantal zoeksystemen en databanken geraadpleegd. Hieronder zijn de trefwoorden en de zoeksystemen en databanken weergegeven.

Tabel 2: Gebruikte trefwoorden, databanken en selectiecriteria voor de literatuurstudie

Gebruikte trefwoorden	Zoeksystemen/databanken	Combinatie van trefwoorden voor verdere selectie
- odo(u)rcontrol (systems/techniques);	- Aqualine;	- Wastewater treatment (plant);
- odo(u)r abatement (systems/techniques);	- ATV-datenbank;	- Sewage treatment (plant);
- odo(u)rous air (treatment);	- Enviroline;	- POTW (Public Owned Treatment Work);
- biological air treatment;	- Chemical Abstracts;	- Design practice.
- bioscrubber;	- Met zoeksystemen Alta vista en Webferret op het Internet;	
- biofilter(s)/biofiltration;	- DHV-documentatiesysteem.	
- biotricklingfilter;		
- biotower;		
- soil filter;		
- bulk media filter;		
- off(-)gas treatment;		
- waste gas treatment;		
- foul air treatment.		

Indien het zoekresultaat een te groot aantal bestanden opleverde, is het zoekgebied verkleind met een combinatie van trefwoorden (zie derde kolom). De literatuurrecherche leverde enige honderden artikelen op waarvan de samenvattingen zijn gescreend. Op basis hiervan zijn 68 artikelen aangevraagd, waarvan uiteindelijk 47 artikelen en handboeken zijn binnengekomen. Uiteindelijk zijn achttien van deze artikelen als relevant beoordeeld en samen met de reeds beschikbare relevante handboeken, artikelen, rapporten en leveranciersinformatie in deze rapportage verwerkt. De genoemde literatuurreferenties zijn in hoofdstuk 7 opgenomen.

#### 3.1 Overzicht van de dimensioneringsgrondslagen

##### 3.1.1 Biofilters

Er zijn relatief veel publicaties gevonden over luchtbehandeling in biofilters waarvan één de Duitse richtlijn VDI 3477 is [20]. De meeste publicaties zijn vrijwel uitsluitend gericht op de verwijdering van H<sub>2</sub>S. In slechts enkele gevallen is ook gekeken naar geurverwijdering en componenten als mercaptanen, terpenen en andere koolwaterstofverbindingen. Tabel 3 geeft een samenvattend overzicht van de resultaten.

Tabel 3: Resultaten uit onderzoeken met biofilters

Literatuurreferentie (zie hoofdstuk 7)	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Volumetrische belasting ( $m^3/(m^3 \cdot h)$ )	25	100	30-120	36-44	60	100
Oppervlaktebelasting ( $m^3/(m^2 \cdot h)$ )	39	100	-	47-57	67	100
H <sub>2</sub> S-concentratie (ppm)	40-140	20	-	-	16-80	5-200
H <sub>2</sub> S-belasting ( $g/(m^3 \cdot h)$ )	1,5-5,3	3,0	-	-	1,0-5,0	3,5-20
H <sub>2</sub> S-verwijdering (%)	> 99%	> 95%	-	> 99,8%	> 95%	> 95%
Geurverwijdering (%)	-	-	-	-	> 99,8%	-
Methylmercaptaanbelasting ( $g/(m^3 \cdot h)$ )	-	2,25	-	-	-	-
Methylmercaptaanverwijdering (%)	-	> 80	-	-	-	-
Temperatuur (°C)	-	9-12	2-35	15-30	-	5-35
Filterbedhoogte (m)	1,5	1,0	0,15-1,2	1,3	0,9	1,0
PH	-	2-7	6-8	1,6-8,1	2,5-7,5	-

In het hiernavolgende wordt de essentie van deze onderzoeken per rwzi beschreven. Aan het eind van deze paragraaf worden de voornaamste gegevens en resultaten van deze zeven praktijkonderzoeken nog eens kort samengevat in Tabel 9. Door sommige waterbeheerders is in de praktijk onderzoek verricht aan lavafilters en aan vulmateriaal voor biofilters. Deze onderzoeken vonden plaats op:

- de rwzi Bath;
- de rwzi Nieuwgraaf;
- de slibontwateringsinstallatie Mierlo;
- de rwzi Eindhoven;
- de rwzi Tilburg-Noord;
- de rwzi Olburgen;
- de rwzi Beemster;
- de rwzi Tollebeek.

### 3.1.2 Lavafilters

Het literatuuronderzoek heeft geen buitenlandse publicaties over lavafilters opgeleverd, hetgeen erop wijst dat deze methode vrijwel uitsluitend in Nederland wordt toegepast. De gevonden informatie betreft naast enkele Nederlandse publicaties tevens gegevens van leveranciers en zuiveringsbeheerders. Het betreft hoofdzakelijk de verwijdering van H<sub>2</sub>S en in één geval de verwijdering van geur. Tabel 4 geeft een samenvattend overzicht van de resultaten.

Tabel 4: Resultaat uit onderzoeken met lavafilters

Literatuurreferentie	Volumetrische belasting ( $m^3/(m^2 \cdot h)$ )	Oppervlaktbelasting ( $m^3/(m^2 \cdot h)$ )	H <sub>2</sub> S-concentratie (ppm)	H <sub>2</sub> S-belasting ( $g/(m^3 \cdot h)$ )	H <sub>2</sub> S-verwijdering (%)	Gewverwijdering (%)	Sproei-intensiteit ( $l/(m^2 \cdot h)$ )
[7]	30	100	100-500	3,7	99	> 99	400
[7]	-	100	5-15	-	Hoog	> 98	30
[8]	-	100	< 1	-	n.v.t.	> 97	30
[8]	33-100	100-300	Onbekend	-	-	> 90	30
[9]	100	330	50-200	14-40	> 99	-	30

### Lavafilters rwzi Bath

Op rwzi Bath is in de periode juli 1997-juli 1998 onderzoek uitgevoerd met een lavafilter om vast te stellen of lavafilters een technologisch en financieel goed alternatief vormen voor de vervanging van de bestaande biofilters met compost vulling op de rwzi. Het onderzoek was gericht op zowel H<sub>2</sub>S-verwijdering als de verwijdering van geurcomponenten. Met behulp van gasdetectiebuisjes kan alleen ethylbenzeen als aanvullende geurcomponent aangetoond worden (350 ppm). Eén maal is ethylacrylaat aangetoond. Op de rwzi wordt veel afvalwater vanuit de chemie gezuiverd

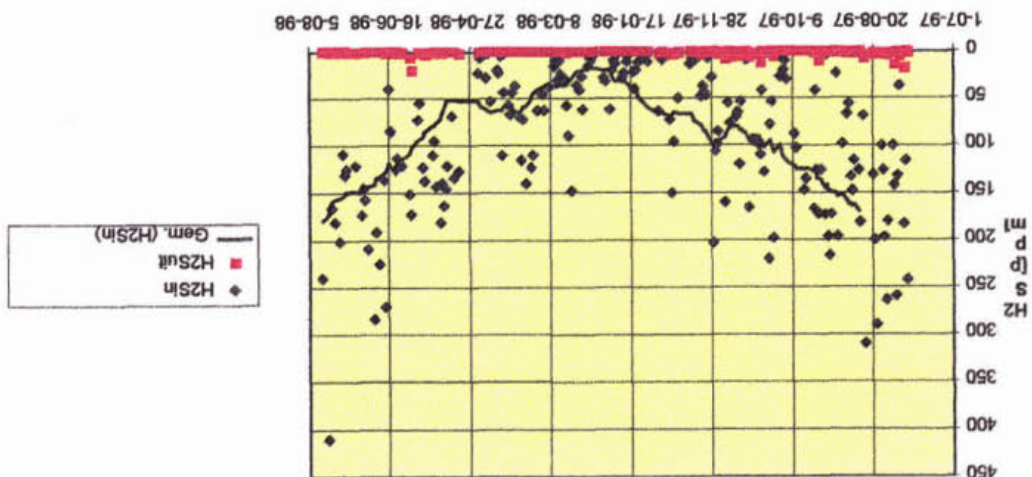
Enkele belangrijke uitvoeringsaspecten waren als volgt:

- Diameter filter: 1,5 m
- Bedhoogte lava: 3,5 m
- Oppervlaktbelasting: 100-125  $m^3/(m^2 \cdot h)$
- Intermitterend sproeien met effluent: 1730  $l/(m^2 \cdot h)$

### H<sub>2</sub>S-verwijdering en verwijdering van andere componenten

Gedurende het onderzoeksjaar gaf de concentratie H<sub>2</sub>S een seizoensfluctuatie te zien, met een piek in de zomer (tot ca. 180 ppm) en een geleidelijke daling tot 20 ppm in februari. Tijdens de gehele onderzoeksperiode was het H<sub>2</sub>S-rendement 96-100%

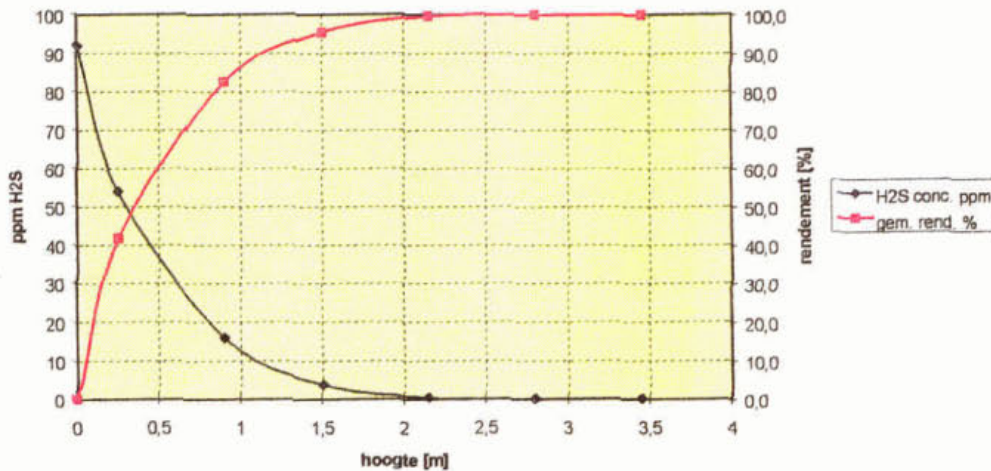
Figuur 2 geeft een overzicht van de in- en uitgaande H<sub>2</sub>S-concentraties in het filter.



Figuur 2: Uitzetende en ingaande H<sub>2</sub>S-concentratie bij het lavafilter rwzi Bath



Uit tweewekelijks uitgevoerde H<sub>2</sub>S- metingen op diverse bedhoogtes blijkt H<sub>2</sub>S reeds voor 90 % in de eerste meter en de resterende 10% in de daaropvolgende meters van het filterbed verwijderd te worden. In figuur 3 wordt dit weergegeven.



**Figuur 3: H<sub>2</sub>S -rendement bij verschillende bedhoogten in het lavafilter rwzi Bath**

Het aangetoonde ethylbenzeen (350 ppm) en ethylacrylaat worden volledig in het filter verwijderd.

#### Geurverwijdering

In het lavafilter zijn op een drietal tijdstippen geurmetingen uitgevoerd bij de in- en uitgang en op de hoogte waar de H<sub>2</sub>S-concentratie tot nul naderde. Voorts zijn simultaan geurmetingen uitgevoerd aan een compostbed, gevoed met dezelfde luchtstroom. Tabel 5 geeft een samenvatting van de resultaten.

**Tabel 5: Samenvatting van de resultaten van H<sub>2</sub>S- en geurverwijdering in lava- en biofilter met compost vulling rwzi Bath**

Lavafilter						
Datum	5-11-97		24-06-98		28-07-98	
Meting	H <sub>2</sub> S	Geur	H <sub>2</sub> S	Geur	H <sub>2</sub> S	Geur
Eenheid	Ppm	GE/m <sup>3</sup>	Ppm	GE/m <sup>3</sup>	Ppm	GE/m <sup>3</sup>
Ingang	110		330	3.100.000	240	2.600.000
0,25 m	34		210		158	
0,90 m	2,6		79		70	
1,50 m	0,1	32.000	2	44.000	16	
2,15 m	0,1		0,2		0,2	37.000
2,80 m	0,1		0		0	
3,45 m	0,1		0		0	
Uitgang	4	3.300	0	30.000	0	1.700
Rend (%)			100%	99%	100%	99,9%
Biofilter met compost vulling						
Datum	5-11-97		24-06-98		28-07-98	
Meting	H <sub>2</sub> S	Geur	H <sub>2</sub> S	Geur	H <sub>2</sub> S	Geur
Eenheid	Ppm	GE/m <sup>3</sup>	Ppm	GE/m <sup>3</sup>	Ppm	GE/m <sup>3</sup>
Ingang	n.b.	n.b.	310	3.100.000	310	2.600.000
Uitgang	n.b.	n.b.	0	17.000	0	290
Rend (%)			100%	99,45%	100%	99,99%

n.b. = niet bepaald

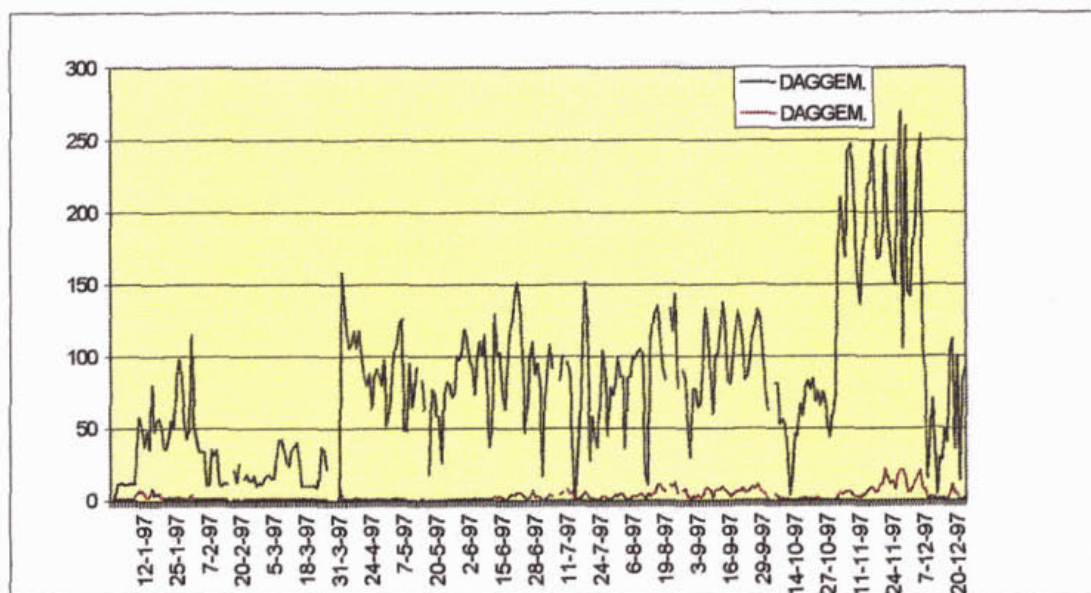
De geurverwijderingsrendementen zijn voor beide systemen hoger dan 99%. De restgeur bij het compostfilter is lager. Voorts blijkt dat, indien 0,01 ppm H<sub>2</sub>S 1 GE/m<sup>3</sup> representeert, de ingangsgreurconcentratie voor 1% veroorzaakt wordt door H<sub>2</sub>S, en dat het overgrote deel van de overige geur simultaan met H<sub>2</sub>S verwijderd kan worden.

Over de negen maanden van het onderzoek is een zwavelbalans gemaakt door meting van H<sub>2</sub>S in de in- en uitgaande luchtstroom en het SO<sub>4</sub>-S in het percolaat. Uit deze sluitende balans blijkt dat er zich geen zwavel in het lavafilter ophoopte. Een sproeidebiet van 17-30 l/(m<sup>2</sup>.h) leek voldoende voor de sulfaatafvoer.

#### Onderzoek naar de langetermijnwerking van het lavafilter rwzi Nieuwgraaf

Een lavafilter op rwzi Nieuwgraaf is gedurende twee jaar semi-continu geanalyseerd op H<sub>2</sub>S. Het geeft dus inzicht in de langetermijnwerking van een lavafilter. Belangrijke vraag was of het lavafilter, getoetst op langdurige werking, een goede remedie tegen stank vormt, of dat er perioden zijn aan te wijzen waarin het lavafilter substantiële hoeveelheden H<sub>2</sub>S bevat. Dit filter is belast met 300 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) vanuit de voorbeluchting van influent. De bedhoogte bedroeg 3,4 m bestaande uit drie lagen lava: 0-0,1 m: 32-64 mm; 0,1-1,6 m: 16-32 mm en 1,6-3,4 m: 8-16 mm.

Figuur 4 geeft het daggemiddelde van de ingaande en uitgaande H<sub>2</sub>S-concentraties. Het H<sub>2</sub>S-verwijderingsrendement is in de meetperiode in het algemeen boven 90% geweest. In de tweede helft van 1997 zijn echter H<sub>2</sub>S-emissies gemeten, met name bij ingaande H<sub>2</sub>S-concentraties hoger dan 100-150 ppm.



Figuur 4: H<sub>2</sub>S-verwijdering in het lavafilter van rwzi Nieuwgraaf (H<sub>2</sub>S ingaande stroom = zwarte lijn, H<sub>2</sub>S uit = rode lijn)

#### Onderzoek slibontwateringsinstallatie Mierlo

In 1993/1994 is bij de slibontwatering te Mierlo een onderzoek uitgevoerd aan een lavafilter voor de behandeling van lucht uit de slibbuffers. Deze lucht bevatte 5-15 ppm H<sub>2</sub>S dat geheel in het filter verwijderd werd. De hoge geurbelasting werd met rendement na de opstartfase 98-99% verwijderd.

### Combinatie lavafilter met een biofilter met compost vulling rwzi Eindhoven

In 1993 is op rwzi Eindhoven een geurverwijderingsonderzoek uitgevoerd met in een serie geschakelde lavafilter (bedhoogte 1 m) en een compostfilter. Tabel 6 geeft de voornaamste resultaten.

Tabel 6: Resultaten van geurrendementmetingen voor luchtbehandelingsysteem bij de voorbezinktank rwzi Eindhoven. (belasting  $100 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )

Onbehandelde lucht ( $\text{GE}/\text{m}^3$ )	Na lavafilter ( $\text{GE}/\text{m}^3$ )	Rendement (%)	Na biofilter met compost vulling ( $\text{GE}/\text{m}^3$ )	Rendement
33.900	470	99	107	>99
16.600	430	97	137	>99
23.300	450	98	120	>99

Het lavafilter verwijderde de geur tot een basisniveau van globaal  $430 \text{ GE}/\text{m}^3$ . Het compostfilter gaf nog een verdere daling in de geuremissie te zien.

### Onderzoek lavafilter rwzi Tilburg-Noord

Op rwzi Tilburg-Noord is in 1994 een geurrendementsonderzoek uitgevoerd met een lavafilter met een bedhoogte van 3 m en een belasting van 100 en  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  met lucht uit de aanvoervijzels. De resultaten worden vermeld in Tabel 7.

Tabel 7: Resultaten van het geuronderzoek op rwzi Tilburg-Noord

Geuraanvoer ( $\text{GE}/\text{m}^3$ )	Belasting lavafilter ( $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ )	Geuremissie ( $\text{GE}/\text{m}^3$ )	Rendement (%)
110.000	300	11.000	90
120.000	300	11.000	91
115.000	300	11.000	90
12.000	100	1.400	88
10.000	100	690	93
11.000	100	980	91

Het filter gaf een rendement rond de 90% te zien. De kortstondige fluctuaties in de geurbelasting varieerden met een factor 10, waarbij tijdens pieken toluen en xyleen in de geëmitteerde lucht zijn waargenomen.

### Geurrendementsmetingen aan het lavafilter van de rwzi Olburgen

Op de rwzi Olburgen zijn in 1994 geurrendementsmetingen uitgevoerd aan lavafilters, gevoed met lucht uit de voorbeluchting. Hierbij zijn een olfactometer en een geurpaneel gebruikt; tevens is  $\text{H}_2\text{S}$  gemeten. Het lavafilter werd belast met  $530 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . De resultaten staan vermeld in tabel 8.

Tabel 8: Geurmetingen lavafilter rwzi Olburgen

	Filterinvoer	Filterafvoer	Rendement
Geur ( $\text{GE}/\text{m}^3$ )	48.500	450	>99%
$\text{H}_2\text{S}$ (ppm)	1,5	0,001	>99%

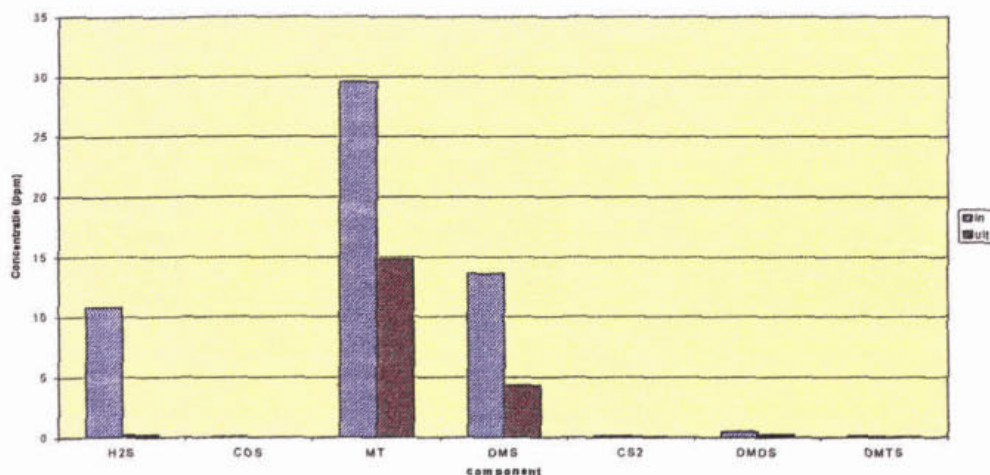
De metingen wijzen uit dat het lavafilter bij relatief hoge luchtbelasting en lage geur en  $\text{H}_2\text{S}$ -vrachten hoge rendementen te zien geeft.

### Onderzoek aan het lavafilter van de rwzi Beemster

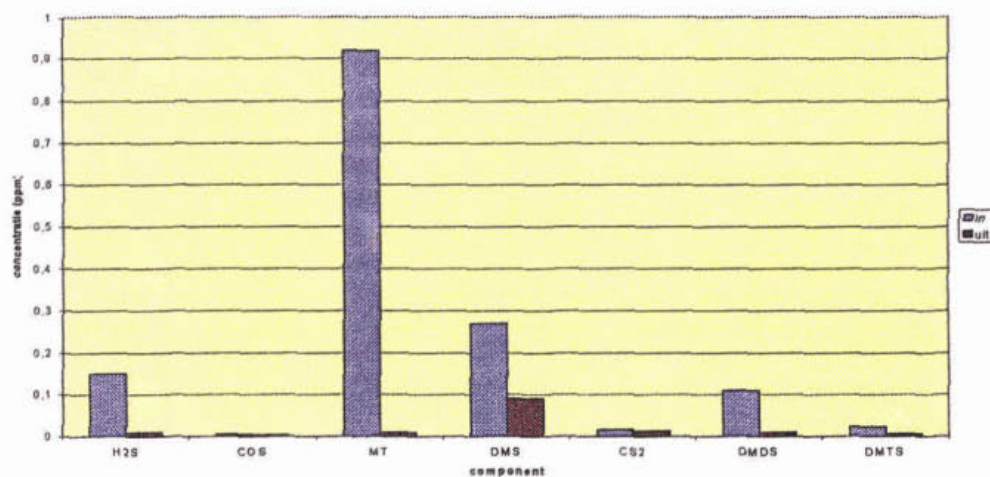
Bij de rwzi Beemster wordt lucht van de silo voor ontwaterd slib afgezogen en naar een compostfilter geleid. Dit compostfilter blijkt in de praktijk regelmatig door te slaan. De

geschiktheid van een lavafilter als alternatief is onderzocht. Het onderzoek is gericht op de afbraak van meerdere vluchtige zwavelverbindingen, met name  $H_2S$ , carbonylsulfide (COS), methaantiol (MT), dimethylsulfide (DMS), koolstofdissulfide ( $CS_2$ ) en dimethyltrisulfide (DMTS).

De normale bedrijfssituatie en die tijdens het lossen van slib zijn daarbij onderzocht. De resultaten van de metingen worden weergegeven in de figuren 5 en 6.



**Figuur 5: Verwijdering van zwavelcomponenten uit silosilolucht in lavafilter rwzi Beemster (lossen van de silo)**



**Figuur 6: Verwijdering van zwavelcomponenten uit silosilolucht in lavafilter rwzi Beemster (normaal)**

Deze figuren geven aan dat naast  $H_2S$  ook methaantiol en dimethylsulfide belangrijke zwavelhoudende componenten in de afgezogen lucht uit de silosilo zijn. Bij het lossen van de silo kunnen aanzienlijke concentraties vrijkomen, tot 100 maal de concentratie bij normaal bedrijf, en treedt enige doorslag van het filter op. De belasting onder normale omstandigheden lijkt onvoldoende om voldoende biomassa te genereren om de pieksituaties aan te kunnen.

#### Onderzoek lavafilters van de rwzi Tollebeek

Op de rwzi Tollebeek is in 1995 een proef uitgevoerd naar geurverwijdering uit afgezogen lucht uit afgedekte aëratietanks. In het lavafilter werden bij een oppervlaktebelasting van  $500 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  de geurvrachten gereduceerd van gemiddeld  $4.200.000 \text{ GE/h}$  tot  $270.000 \text{ GE/h}$

met een rendement van 94%. In onderstaande tabel 9 worden de gegevens en resultaten van de hiervoor beschreven acht praktijkonderzoeken op Nederlandse rwzi's kort samengevat.

Tabel 9: Gegevens en resultaten van de praktijkonderzoeken aan lavafilters

Onderzoek	Belasting (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h))	H <sub>2</sub> S concentratie geurconcentratie	Conclusie
Rwzi Bath	100-125	20-180 ppm pieken tot 410 ppm 3.100.000 GE	H <sub>2</sub> S rendement 96-100% H <sub>2</sub> S afbraak in onderste 2 meter van het bed Andere geurcomponenten worden simultaan verwijderd Iets hogere restgeur dan bij biofilter met compost vulling Simultane afbraak H <sub>2</sub> S en geur
Rwzi Nieuwgraaf	300	Tot 100-150 ppm	H <sub>2</sub> S-rendement hoger dan 90% Bij hoge H <sub>2</sub> S vrachten H <sub>2</sub> S emissie
Slibontwatering Mierlo		25.10 <sup>6</sup> GE	Rendement >98%
Rwzi Eindhoven	100 <sup>1</sup>	23.000-33.900 GE/m <sup>3</sup>	Verwijdering tot 430 GE, aanvullend met biofilter met compost vulling tot ca. 120 GE
Rwzi Tilburg-Noord	300	11.000-110.000 GE/m <sup>3</sup>	Rendement 88-93% Pieken toluen benzeen in uitgaande lucht
Rwzi Olburgen	450	48.500 GE/m <sup>3</sup>	>90%
Rwzi Beemster			Bij concentratieverschillen met een factor 100 treedt enige H <sub>2</sub> S doorslag op
Rwzi Tollebeek	500	4.200.000 GE/h	Geurverwijdering van ca. 94%

<sup>1</sup> bij bedhoogte van 1 m

### 3.1.3 Biotricklingfilters

Het literatuuronderzoek leverde relatief weinig resultaten op over biotricklingfilters: twee onderzoeken uit de VS en Nederland, en de Duitse richtlijn VDI 3478 [21]. De genoemde onderzoeken gaan specifiek in op de verwijdering van H<sub>2</sub>S, terwijl de VDI-richtlijn algemene dimensioneringsgrondslagen voor biotricklingfilters geeft. Tabel 10 geeft een samenvattend overzicht van de resultaten van de onderzoeken.

Tabel 10: Resultaten uit onderzoeken aan biotricklingfilters

Referentie	[10]		[11 <sup>1)</sup>
	Filter A	Filter B	
Filtermateriaal	Lavastenen	Plastic	Synthetisch
Volumetrische belasting (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h))	125-300	125-300	90-350
H <sub>2</sub> S-concentratie (ppm)	43-380	7-220	33-200
Gemiddelde H <sub>2</sub> S-concentratie (ppm)	88	50	
H <sub>2</sub> S-belasting (g/(m <sup>3</sup> .h))	10-120 <sup>2)</sup>	10-120 <sup>2)</sup>	
H <sub>2</sub> S-verwijdering (%)	70-100 <sup>2)</sup>	60-100 <sup>2)</sup>	> 95
H <sub>2</sub> S-verwijdering eerste trap (g/(m <sup>3</sup> .h))	n.v.t.	n.v.t.	25-175
H <sub>2</sub> S-verwijdering eerste trap (%)	n.v.t.	n.v.t.	> 90
Geurverwijdering (%)	99 <sup>3)</sup>	89 <sup>3)</sup>	98

1. 2-traps systeem
2. range van metingen over een periode van 12 maanden
3. gemiddelde van 4 metingen

### 3.1.4 Biowassers

Het onderzoek verschafte weinig resultaten van biowassers; slechts een onderzoek uit Denemarken en de Duitse richtlijn VDI 3478. Het onderzoek behandelt de toepassing van een biowasser bij een visverwerkend bedrijf terwijl de VDI-richtlijn algemene dimensioneringsgrondslagen voor biowassers geeft. Tabel 11 vat de resultaten van het onderzoek samen.

Tabel 11: Resultaten van Deens onderzoek aan biowassers

Referentie	[12]
Gassnelheid striptoren (m/s)	1,1
Vloeistof-luchtverhouding striptoren (l/m <sup>3</sup> )	10
Slibaangroei (kgSS/kgCZV)	0,07
Geurverwijdering (%)	95
Ingaande TOC-concentratie (ppm C)	25-30
Uitgaande TOC-concentratie (ppm C)	5-6
Ingaande NH <sub>3</sub> -concentratie (ppm)	5
Uitgaande NH <sub>3</sub> -concentratie (ppm)	0,5
Ingaande trimethylamine (ppm)	5
Uitgaande trimethylamine (ppm)	0,5

### 3.1.5 Inblazing in aëratietanks

Op een aantal rwzi's wordt ventilatielucht van procesonderdelen ingeblazen in aëratietanks door middel van bellenbeluchting. In een artikel worden 14 installaties in de Verenigde Staten genoemd [19]. Ook is in de enquête gevraagd naar praktijkervaring met directe inblazing op Nederlandse rwzi's.

## 3.2 Modellen

Er zijn door verschillende onderzoekers modellen opgesteld voor de beschrijving van de biologische afbraak van vluchtige organische koolwaterstoffen (VOC's) en stankstoffen, zoals H<sub>2</sub>S en NH<sub>3</sub> in luchtstromen. De meeste modellen zijn echter ontwikkeld voor de afbraak van één specifieke component ([13], [14], [15], [16], [17], [18]). Voor het onderhavige STOWA-onderzoek is het belangrijk te weten of de bestaande modellen als hulpmiddel kunnen worden gebruikt voor het opstellen van dimensioneringsgrondslagen voor biologische luchtfilters bij rwzi's.

De genoemde modellen zijn gebaseerd op onderzoeken waarin gedurende de gehele onderzoeksperiode een constante, nominale belasting werd aangehouden. De relatie tussen de belasting en de verwijderingscapaciteit is vastgesteld gedurende kortstondige proeven, waaruit blijkt dat de maximale verwijderingscapaciteit van een biofilter min of meer constant is onder de voorwaarde dat de nominale belasting van het filter constant is. Er bestaat derhalve een sterke relatie tussen de nominale en de maximale verwijderingscapaciteit.

In de praktijk zal de belasting van een biologisch luchtfilter op een rwzi onderhevig zijn aan grote schommelingen waardoor de maximale verwijderingscapaciteit in de tijd zal variëren.

Op grond hiervan moet worden gesteld dat de verschillende modellen niet goed toepasbaar zijn voor het ontwerp van biologische luchtfilters op rwzi's.

Naast bovengenoemde oorzaken spelen de volgende aspecten een rol die toepassing van de modellen bemoeilijken. De modellen die zijn gebaseerd op één component kunnen niet worden gebruikt voor mengsels. Voor makkelijk afbreekbare componenten geldt dat deze van invloed kunnen zijn op de afbraak van moeilijk afbreekbare componenten, doordat de bacteriën die de makkelijk afbreekbare component afbreken in de bacteriepopulatie gaat overheersen. De omzettingnelheden per component zijn afhankelijk van een groot aantal factoren als gas-vloeistof- overdrachtsprocessen, beschikbare actieve biomassa, inhibitie.

Ook het type vulmateriaal is een extra vrijheidsgraad en kan van invloed zijn. Met name gedurende de opstartfase van een biologisch luchtfilter voor de afbraak van (een) moeilijk afbreekbare component(en) kan een vulmateriaal met gunstige eigenschappen (specifiek oppervlak, hechting) de groei van een biofilm bevorderen. Als de biofilmoppervlak eenmaal is begroeid spelen de eigenschappen van het vulmateriaal een veel minder belangrijke rol. *Het type vulmateriaal voor biologische luchtfilters bij rwzi's is gezien het bovenstaande niet van doorslaggevend belang omdat het in het algemeen makkelijk afbreekbare componenten betreft die na een korte opstartperiode volledig worden verwijderd.*

Ook de toevoeging van adsorbentia kan van invloed zijn. Adsorbentia worden toegepast om de eliminatiecapaciteit van slecht oplosbare componenten te verhogen.

### **3.3 Nieuwe ontwikkelingen bij biologische luchtreinigingstechnieken**

#### **Meertraps-systemen**

Op het gebied van biologische luchtbehandelingsmethoden heeft zich sedert de negentiger jaren een aantal ontwikkelingen voorgedaan waarvan de belangrijkste de meertraps-systemen zijn. Hierbij worden meestal verschillende luchtbehandelingstechnieken in serie geschakeld. Op de rwzi Nieuwe Waterweg bestaat de luchtbehandeling uit een chemische gaswasser gevolgd door een biofilter [24]. Andere voorbeelden zijn combinaties van biotricklingfilters gevolgd door biofilters, en lavafilters gevolgd door biofilters. Het voordeel van meertraps-systemen is dat de component met de hoogste concentratie in de eerste stap met een hoog rendement wordt verwijderd en de overige componenten in het tweede filter worden verwijderd.

Ook het opsplitsen van filters in meerdere secties is een nieuwe ontwikkeling. Een leverancier van biotricklingfilters past dit toe [11]. Voordelen zijn het beter kunnen voorkomen van kortsluitstroming van zowel lucht als water en de mogelijkheid tot de afstemming van specifieke deelgebieden per sectie op de actuele behoefte in het betreffende filterdeel.

#### **Systemen met verhoogde biologische activiteit**

De biologische activiteit van een luchtbehandelingssysteem zou kunnen worden vergroot door enting van biomassa of toepassing van enzymen, bijvoorbeeld in de vorm van geïmmobiliseerd poreus materiaal. Ontwikkelingen op het gebied van systemen met verhoogde biologische activiteit door het enten met speciaal gekweekte micro-organismen doen zich niet voor op het gebied van luchtbehandeling bij rwzi's, maar vinden doorgaans plaats voor de verwijdering van specifieke componenten uit industriële afgassen. Voorbeelden van en/of onderzoeken naar de toepassing van enzymen (biologische katalysatoren) zijn in het literatuuronderzoek niet gevonden.

### 3.4 Leemten in kennis uit de literatuur

Tot nu toe worden biologische luchtfilters bij rwzi's ontworpen op basis van empirische ontwerpregels in plaats van theoretisch onderbouwde modellen. Hier ligt nog een duidelijke leemte in kennis. Daarnaast zal in de praktijk altijd sprake zijn van variaties in belasting. Over de invloed hiervan op de verwijderingscapaciteit en daarmee op het ontwerp is weinig bekend. Voor een optimaal filterontwerp is meer kennis hierover noodzakelijk.

Het literatuuronderzoek heeft geen informatie opgeleverd om biologische luchtbehandelingssystemen op basis van de geurbelasting te kunnen dimensioneren, terwijl geurverwijdering het primaire doel is. Dimensionering op basis van de geurbelasting alleen is ook niet voldoende omdat geur geen informatie geeft over de samenstelling van de verontreinigde luchtstroom. Tabel 12 bevat de punten waarin belangrijke leemten in kennis aanwezig zijn

Tabel 12: Overzicht van de leemten in kennis op basis van het literatuuronderzoek

Biofilters	<ul style="list-style-type: none"><li>• De invloed van de filterbedhoogte op H<sub>2</sub>S- en geurverwijderingscapaciteit is niet bekend</li><li>• Er is geen eenduidige relatie bekend tussen de belasting en het verwijderingsrendement</li></ul>
Lavafilters	<ul style="list-style-type: none"><li>• Er is weinig inzicht in de snelheidsbepalende stap bij de biologische afbraakprocessen.</li></ul>
Biotricklingfilters	<ul style="list-style-type: none"><li>• Weinig praktijkervaring. Met name (praktijk)gegevens over het (voorkomen) van dichtgroeien van biotricklingfilters zijn hierbij belangrijk.</li></ul>
Biowassers	<ul style="list-style-type: none"><li>• Net als voor biotricklingfilters zijn geen praktijkvoorbeelden van biowassers bij rwzi's bekend,</li><li>• Er is geen informatie gevonden over onderzoeken voor de behandeling van luchtstromen met hoge H<sub>2</sub>S- concentraties.</li></ul>

In het praktijkonderzoek op de rwzi 's-Hertogenbosch is met name ingegaan op de invloed van de H<sub>2</sub>S- en oppervlaktebelasting op de H<sub>2</sub>S-verwijderingscapaciteit van bio- en lavafilters en een filter met kunststofvulling.

### 3.5 Conclusies van de literatuurstudie

#### *Literatuurstudie algemeen*

De internationaal gerichte literatuurstudie heeft slechts een beperkt aantal bruikbare literatuurreferenties opgeleverd. Dit is een signaal dat biologische luchtzuivering op dit moment nog slechts een summiere wetenschappelijke onderbouwing heeft en vooral berust op praktijkervaringen. De meeste publicaties zijn gericht op verwijdering van H<sub>2</sub>S en in veel mindere mate op andere geurstoffen.

#### *Modellen*

Op grond van de literatuurstudie kan geconcludeerd worden dat toepassing van (dynamische) modellen momenteel nog geen bruikbaar middel is voor ontwerp en systeemkeuze van biologische luchtzuiveringssystemen, met name omdat de modellen gericht zijn op een specifieke component en er in de praktijk een groot aantal invoergegevens nodig is om het model te kunnen gebruiken en/of te valideren.

#### *Leemten in kennis*

De leemten in kennis zijn met name te vinden in het inzicht in het microbiologische gedrag van de biologische luchtzuiveringssystemen. Er kan op dit moment nog geen praktische relatie worden gelegd tussen de geurverwijdering en dimensioneringsmodellen. Ook is er nog weinig bekend over het gedrag van biologische luchtzuiveringssystemen bij piekbelastingen en welke randvoorwaarden daaruit voortvloeien voor de dimensionering.



## 4 Praktijkervaring in Nederland

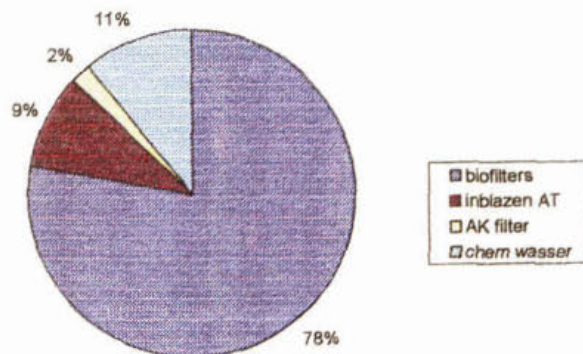
Door het grootschalige gebruik bij de waterschappen is er veel praktijkervaring met biologische luchtzuiveringssystemen. Bovendien worden door waterschappen korte onderzoeken uitgevoerd voor de beoordeling en systeemkeuze van filters op rwzi's. In dit hoofdstuk wordt deze informatie verzameld en geëvalueerd. De respons was ca. 90%

Er is een inventarisatie uitgevoerd naar aantal, typen en ervaringen met de in werking zijnde systemen en de gehanteerde dimensioneringsgrondslagen. Bovendien zijn de zuiveringsprestaties geïnterpreteerd alsmede de wijze van beoordeling van de werking en onderhoud van de filters.

### 4.1 Overzicht van in gebruik zijnde filtertypen en praktijkervaring

#### 4.1.1 Filtertypen

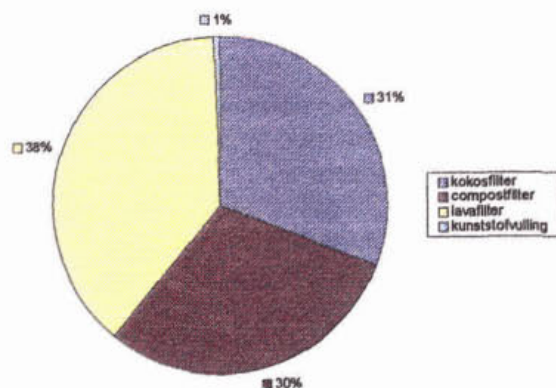
Om een indruk te krijgen van de luchtzuiveringstechnieken die momenteel op de Nederlandse rwzi's toegepast worden, is gevraagd naar de aantallen en totaalcapaciteiten per luchtzuiveringstechniek. Daar waar het gaat om capaciteiten ontbreken vaak de gegevens. De beschouwing van de gebruikte luchtzuiveringstechniek in relatie tot de capaciteiten is daarom slechts indicatief en geeft een grof beeld van de huidige situatie in Nederland. Gerelateerd aan de capaciteit gezuiverde lucht per techniek leveren volgens figuur 7 biologische zuiveringssystemen ruim 78% van de luchtzuiveringscapaciteit op de Nederlandse rwzi's. Chemische wassing vormt met 11% een geringer aandeel dat wordt geleverd door een in verhouding klein aantal installaties met een grote capaciteit.



Figuur 7: Verdeling van de luchtzuiveringstechnieken in Nederland (naar capaciteit)

#### Biologische luchtzuiveringstechnieken.

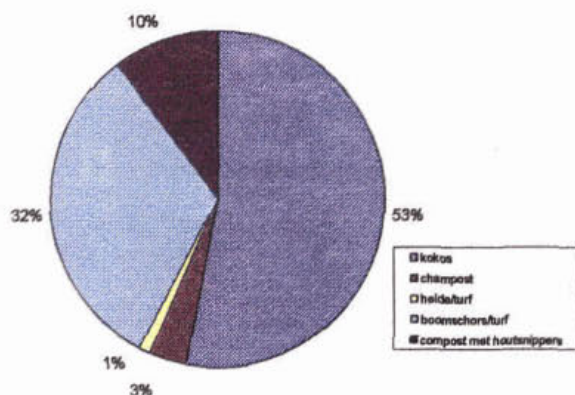
Als biologische luchtzuiveringstechnieken blijken vooral lavafilters en biofilters toegepast te worden. Het marktaandeel van filters met kunststofvulling is zeer gering. De verdeling in figuur 8 is gebaseerd op de behandelde hoeveelheid lucht per techniek (c.q. filtermateriaal).



Figuur 8: Behandelde hoeveelheden lucht (%) per filtertype

#### Vulmaterialen

Figuur 9 toont een ruwe onderverdeling naar toegepast filtermateriaal gebaseerd op aantallen in werking zijnde filters. Met name in biofilters (circa 1 meter bedhoogte) wordt een breder scala aan vulmaterialen toegepast. Het blijkt dat met name kokos en boomschors/turf in verhouding het meest toegepast worden. Uit de inventarisatie blijkt tevens dat de trend aanwezig is compost (champost, boomschors/turf) te vervangen door kokosvezels.



Figuur 9: Overzicht van toegepaste vulmaterialen in biofilters in Nederland

#### 4.1.2 Praktijkervaring met biologische luchtzuiveringssystemen

De beheerders is gevraagd naar de praktijkervaring met het beheer en onderhoud, rendement, en vervangingsfrequentie van de vulling. Tabel 13 geeft van deze aspecten een overzicht van de opmerkingen die hierover in de enquêtes zijn gemaakt. Omdat in Nederland vooral biofilters en lavafilters toegepast worden, wordt de vergelijking daartoe beperkt.

Tabel 13: Praktijkervaringen met biofilters en lavafilters .

	Biofilter	Lavafilter
Rendement	In 60% van de gevallen goed In 30% van de gevallen redelijk In 10% van de gevallen slecht	97% van de gevallen goed 3% doorslag H <sub>2</sub> S bij pieken, restgeuremissie
Beheer en onderhoud	Bij compost verzuring Bijstelling sproeidebiet vaak nodig Tweewekelijkse controle onderhoud nodig	Voor alle waterschappen: zeer weinig onderhoud.
Vervangingsfrequentie vulling	Compost 2-3 jaar Kokos, boomschors/turf 5-7 jaar	Nog nooit vervangen

## 4.2 Gehanteerde systeemkeuze en dimensioneringsgrondslagen.

### *Systeemkeuze.*

De in de praktijk gehanteerde systeemkeuze heeft betrekking op de keuze van het filtertype bij nieuwbouw en de keuze van het filtermateriaal bij bestaande filters. Een aantal waterbeheerders hanteert hiervoor specifieke richtlijnen:

- Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden beschikt vooral over biofilters met kokos vulling (37 stuks) en biofilters met champost vulling (6 stuks). Op rwzi Rhenen zijn twee lavafilters gebouwd. Op gemalen worden tevens filters met kunststofvulling toegepast. De bestaande champostvullingen worden geleidelijk vervangen door kokos. Voor nieuw te bouwen filters gaat de voorkeur uit naar lavafilters.
- Waterschap Veluwe geeft op grond van een onderzoek op rwzi Harderwijk, gericht op de vergelijking van vulmaterialen in biofilters, de voorkeur aan kokosvezel wegens de langere standtijd ten opzichte van compost, champost en heidemateriaal.
- Het Hoogheemraadschap van West-Brabant heeft voorkeur voor lavafilters vanwege de robuustheid en onderhoudsvriendelijkheid; op termijn zullen biofilters met compost vulling vervangen worden door lavafilters.
- Waterschap Regge en Dinkel gaat om dezelfde redenen als voorgenoemde waterschappen uit van lavafilters bij nieuw te installeren biofilters, waarbij de mogelijkheid wordt opgehouden om een biofilter na te schakelen ter verwijdering van de overige componenten.

Bij recent uitgevoerde uitbreidings/nieuwbouwprojecten van rwzi's is ook bij de overige waterschappen de keuze voor lavafilters de trend.

### *Dimensioneringsgrondslagen*

De gehanteerde dimensioneringsgrondslagen bij de waterschappen hebben vooral betrekking op de oppervlaktebelasting van de filters en de H<sub>2</sub>S-belasting. Een samenvatting van de genoemde dimensioneringsgrondslagen ziet er als volgt uit:

**Tabel 14: Dimensionering van biofilters in de praktijk op rwzi's**

Oppervlaktebelasting	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gemiddeld 50 en piekbelasting maximaal 100 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h)</li><li>• 50-80 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) bij eentraps filters, 80-100 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) bij tweetraps filters</li></ul>
H <sub>2</sub> S belasting (1ppm = 1,33 mg S/m <sup>3</sup> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• &lt;5 g/(m<sup>2</sup>.h)</li><li>• tot 200 ppm bij hogere waarden verdunnen</li></ul>
Standtijd	<ul style="list-style-type: none"><li>• compost 2-3 jaar, kokos 5-7 jaar</li></ul>

**Tabel 15: Dimensionering van lavafilters in de praktijk op rwzi's**

Oppervlaktebelasting	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gemiddeld 300 en piekbelasting maximaal 500m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h)</li><li>• 150-200 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) bij continue belasting</li></ul>
H <sub>2</sub> S belasting	<ul style="list-style-type: none"><li>• &lt;90 g/m<sup>2</sup>.h</li></ul>
Bevochtiging	<ul style="list-style-type: none"><li>• 10-50 l/(m<sup>2</sup>.h)</li></ul>

## 4.3 Praktijkervaringen met vulmaterialen

Gevraagd is naar de praktijkervaringen met de biologische luchtzuiveringssystemen. Dit heeft ten opzichte van de literatuurstudie extra informatie opgeleverd over ervaringen met verschillende vulmaterialen, onderhoudsaspecten en ervaring met directe inblazing in de aëratietanks met fijne- bellenbeluchting.

### Het vulmateriaal van de biofilters

In de periode 1993-1996 is op rwzi Harderwijk door het Waterschap Veluwe onderzoek gedaan aan een viertal filtermaterialen. Tabel 16 geeft een overzicht van de belangrijkste waarnemingen en conclusies van dit onderzoek.

Tabel 16: Praktijkervaringen met vulmaterialen in het biofilter op rwzi Harderwijk.

	Champost	Compost	Heidemateriaal	Kokosvezel
Kortsluitstromen waarneembaar (droge plekken)	Zeer vaak	Wel	Wel	Niet
Bedweerstand (Hpa)	3-10	<2,5	4-12	1
Biologische effectiviteit	Minder goed dan compost/kokos	Goed, maar wisselend met korte standtijd	Minder goed dan compost/kokos	Het hoogst t.o.v. andere filtertypen
Inklinking	In een jaar halve meter (50%)	Langzaam maar gestaag, na half jaar versneld	Tragere inklinking	Betrekkelijk weinig ca. 30% in 6 jaar
Standtijd	Ca. 0,5 jaar	Ca. 2,5 jaar	Ca. 9 maanden	Meer dan 3 jaar, mogelijk 10 jaar

Uit de bovenstaande praktijkervaringen blijkt een duidelijke voorkeur voor boomschors/turf of kokosvezel als vulling van biofilters.

#### 4.4 Praktijkervaringen met directe inblazing in aëratietanks

Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden heeft op een vijftal locaties jarenlange ervaring met directe inblazing van lucht in aëratietanks (o.a. rwzi's Meerkerk en Krimpen aan de Lek). Met name lucht uit de sliblijn en ontvangwerken wordt ingeblazen ( $H_2S$ -concentraties gemiddeld 10-20 ppm  $H_2S$ ). De ervaringen daarmee zijn zonder uitzondering goed. De lucht wordt ingeblazen met continue blowers om condensatieproblemen te voorkomen. Technisch ondervonden leidingwerk en blowers in de 15 jaar dat directe inblazing bij het zuiveringsschap is toegepast geen problemen. Deze opzet heeft als consequentie dat via deze route geen lucht gezuiverd kan worden als onderhoud gepleegd moet worden aan de aëratietanks en de beluchting niet in bedrijf is.

Op rwzi Hoensbroek wordt sinds begin jaren '90 lucht uit de overdekte zandvanger afgezogen en via membraanbeluchters ingebracht in de aëratietank met fijnebellenbeluchting (brandol buizen). Ook hier wordt geen restgeuremissie geconstateerd. Op deze locatie speelt wel het probleem van schuimvorming in de zandvanger, waardoor vocht met de luchtstroom wordt meegevoerd. Voor de geurverwijdering heeft dit niet tot problemen geleid. Op rwzi Venlo wordt lucht uit het ontvangwerk en de sliblijn ingebracht in de aëratietank zonder dat restgeuremissies zijn waargenomen.

Op de rwzi's Ommen, Dedemsvaart en Brummen is momenteel directe inblazing van afgezogen lucht in voorbereiding. Als aanvullende bestekseisen wordt opgenomen dat de blower voorzien moet zijn van een  $H_2S$ -beschermende coating. Voor de leidingen wordt gebruik gemaakt van temperatuurbestendige kunststofleidingen.

Uit deze praktijkervaringen kan worden opgemaakt dat directe inblazing in de aëratietank goede geurverwijdering geeft en niet leidt tot extra onderhoud. Hieraan liggen echter geen geurmetingen ten grondslag en is de bijdrage aan de totale geuremissie niet meer vast te stellen. Voor de toepassing van deze wijze van geurbestrijding is het belangrijk dat het debiet van de te zuiveren lucht afgestemd is op de minimale luchtbehoefte in de aëratietank, zodat de blower continu in bedrijf kan zijn. Voorts is gebruik van corrosiebestendige materialen

nodig (kunststofleidingen, blowers met H<sub>2</sub>S-werende coating). Metingen van de daadwerkelijke verwijdering ontbreken echter.

#### 4.5 Onderhoudsaspecten van de filters

Gevraagd is naar de onderhoudsaspecten van de biologische luchtzuiveringssystemen. Met name Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Friesland, Waterschap Regge en Dinkel en de GTD hebben uitgebreide protocollen voor onderhoud en beheer ontwikkeld. De procedure is tevens afgestemd op verplichtingen in het kader van de Wm-vergunning. De wijze van beheer van de filters bij de overige waterschappen kwam in grote lijnen overeen met die van HDSR en WS Friesland. Op basis van de geïnventariseerde protocollen en regels voor het onderhoud en het beheer wordt een voorstel gedaan voor een standaard protocol voor onderhoud en beheer. Dit onderhoudsprotocol is verdeeld in: metingen, onderverdeeld in reguliere metingen (wekelijks) en periodieke metingen (b.v. halfjaarlijks), in beoordelingscriteria en mogelijke diagnose en handelingen. (Tabel 17)

Tabel 17: Standaard protocol voor onderhoud en beheer.

Laagfrequente metingen (2 maal per jaar)				
Parameter	Biofilter met kokos vulling	Lavafilter	Biofilter met compost vulling	kunststof filter
H <sub>2</sub> S e/o NH <sub>3</sub> ingaand	O	O	O	O
H <sub>2</sub> S e/o NH <sub>3</sub> uitgaand	O	O	O	O
Drukval filter	O	O	O	O
Percolaat pH	O	O	O	O
Filtermateriaal pH <sup>1)</sup>	O	O	O	O
Vochtgehalte materiaal 30 cm diepte			O	
Sulfaatgehalte percolaat	F	F	F	F
Bicarbonaatgehalte percolaat	F	F	F	F
Gloeirest			O	
Luchtsnelheid toevoerleiding	O	O	O	O

O= verplicht, F = facultatief

1) op hoogte van ca. 30 cm van oppervlak midden in het filter. 1 deel materiaal mengen met 1 deel water

Criteria en grenswaarden voor de meetgegevens				
Parameter	Biofilter met kokos vulling	Lavafilter	Biofilter met compost vulling	Kunststof filter
Drukval filter (m H <sub>2</sub> O)	<0,05	<0,03	<0,3	?
pH percolaat	2 < pH < 3	2 < pH < 3	2 < pH < 3	2 < pH < 3
Vochtgehalte	40-65%		40-60%	
Bicarbonaatgehalte percolaat	>1,5%	>1,5%	>1,5%	>1,5%
Gloeirest op basis van d.s.			<75%	
Rendement (H <sub>2</sub> S-metingen)	Eigen keuze	Eigen keuze	Eigen keuze	Eigen keuze

#### Te ondernemen acties en handelingen, indicaties (als niet aan criteria voldaan wordt)

Drukval te hoog:	Verstopping: filtermateriaal omwerken of vervangen (niet bij kokosvulling)
pH filtermateriaal of percolaat te hoog of te laag	Remming biologische activiteit: sproeidebiet verhogen
Vochtgehalte te laag:	Uitdroging: sproeidebiet verhogen
Vochtgehalte te hoog	Vernatting: sproeidebiet verlagen
Bicarbonaatgehalte te laag	Weinig pH buffercapaciteit
Te hoge gloeirest	Indicatie voor te weinig biomassa

## Hoogfrequente beoordelingen en waarnemingen

	Biofilter kokos vulling	met Lavafilter	Biofilter compost vulling	met Kunststof filter
Groei onkruid	0		0	
Inzakken vulling	0		0	
Verdeling filtermateriaal	0		0	
Geur met de neus	0	0	0	0
Vochtgehalte visueel	0		0	
Aanwezigheid droge plekken	0		0	
Instelling sproeiregime	0	0	0	0
Drukval	0	0	0	0

Criteria	Acties
Onkruid aanwezig:	Onkruid verwijderen
Vulling ingezakt	Gelijkmatig bijvullen tot aan rand
Ongelijke verdeling	Vulling bijvullen herverdelen tot aan de rand
Geur met neus	Rapporteren
Visuele uitdrogingsverschijnselen	Sproeiregime verhogen (kokos is brandbaar)
Droge plekken	Materiaal omwerken
Instelling sproeiregime is verlopen	Weer instellen op gewenste waarden

## 4.6 Conclusies uit de Nederlandse praktijkervaringen

### *Toepassing van biologische luchtzuiveringssystemen op Nederlandse rwzi's*

In Nederland wordt het overgrote deel van de afgezogen lucht behandeld in biofilters en lavafilters. Biotricklingfilters worden nog nauwelijks toegepast.

### *Dimensioneringsgrondslagen en systeemkeuze*

Op de Nederlandse rwzi's zijn veel biofilters aanwezig met bedhoogten van ca. 1 m. In nieuwe en uitbreidingsprojecten is een sterke voorkeur voor toepassing van lavafilters met als genoemde argumenten lagere kosten, de lange standtijd van de vulling en de goede beheersbaarheid van het systeem. Kunststof vulmaterialen (biotricklingfilter) worden (nog) niet op grote schaal toegepast omdat kostenvoordelen, zuiveringsprestatie en eenvoudiger bedrijfsvoering ten opzichte van lavafilters nog niet bewezen zijn. Bij biofilters geeft een kokosvulling goede resultaten bij een lange standtijd van het materiaal.

### *Praktijkervaringen met de werking van biologische zuiveringssystemen*

In het algemeen blijkt de werking van de biofilters sterk af te hangen van de staat van het vulmateriaal en de wijze van onderhoud. Hierdoor kunnen bij filters wisselende zuiveringsprestaties ontstaan, met name bij onderhoudsgevoelige filtervullingen als compost en heidemateriaal. In het algemeen zijn de bedrijfservaringen redelijk tot goed met name in de gevallen dat kokos en boomschors/turf als vulling worden gebruikt.

De bedrijfsvoering van lavafilters wordt in vergelijking met biofilters als eenvoudiger ervaren en behoeft ook minder frequent aanpassing. De zuiveringsprestaties van lavafilters zijn goed. Zowel lavafilters als biofilters blijken gevoelig voor piekbelastingen waarbij doorslag van geur optreedt. Onderhoud speelt een belangrijke rol bij de werking van de biologische luchtzuiveringssystemen.

### *Beheer en onderhoud*

Goed beheer en onderhoud zijn belangrijke succesfactoren voor een goede werking van biologische luchtzuiveringssystemen. Met name voor biofilters is dit het geval. Uit de beheerservaringen en aangeleverde protocollen van de waterschappen is een standaardprotocol voor beheer en onderhoud ontwikkeld dat als Nederlandse standaard gehanteerd kan worden.

### *Kritische ontwerpfactoren en dimensioneringsgrondslagen*

De kritische factoren bij het ontwerp zijn met name de volumetrische belasting en de H<sub>2</sub>S-belasting. Belangrijke randvoorwaarden zijn pH, temperatuur, besproeiing.

### *Directe inblazing*

Met de toepassing van directe inblazing van lucht in de aëratietanks is op een zevental locaties positieve ervaring opgedaan. Belangrijke randvoorwaarden zijn dat het debiet van de afgezogen lucht overeen moet komen met de minimale luchtbehoefte van de aëratietank, zodat de lucht met een continu werkende blower aangezogen kan worden en dat de materiaalkeuze van de compressor of blower en leidingen corrosiebestendig zijn voor H<sub>2</sub>S.

## 5 Onderzoek naar H<sub>2</sub>S-afbraak in biologische luchtreinigingssystemen op de rwzi 's-Hertogenbosch

Het onderzoek op rwzi 's-Hertogenbosch in de periode april 1997 tot augustus 1998 had tot doel de relaties vast te leggen tussen oppervlaktebelasting, H<sub>2</sub>S-belasting en het H<sub>2</sub>S-rendement voor een viertal filtertypen, om de dimensioneringsgrondslagen te kunnen specificeren. Ook is de flexibiliteit van de systemen getest door de filters piekbelastingen aan H<sub>2</sub>S te geven. Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op de H<sub>2</sub>S-verwijdering.

### 5.1 De proefopstelling

Het onderzoek is uitgevoerd met een viertal biologische luchtbehandelingfilters, namelijk:

Tabel 18: Onderzochte filtertypen en gehanteerde naamgeving

Filter	Vulmateriaal	Bedhoogte (m)	Bedoppervlak (m <sup>2</sup> )
1 Biofilter met compostvulling	40% gecomposteerde boomschors 60% vezelturf	1	1,12
2 Biofilter met kokosvulling	50% kokosvezel 50% turf	1	1,12
3 Lavafilter	Lava 0 – 0,2m 16-32 mm korrel 0,2 – 3m 8-16 mm korrel	3	0,5
4 Filter met kunststofvulling	Polyurethaan	2 x 1,23	0,5

Voor de biofilters worden dus twee filtermaterialen uitgetest, namelijk kokos/turf en boomschors/turf. Voor deze materialen is gekozen omdat hiermee in Nederland reeds goede ervaring is opgedaan en deze een brede toepassing hebben. Door naast het lavafilter onder gelijke procescondities een filter met kunststofvulling te bedrijven, konden de H<sub>2</sub>S-verwijderingseigenschappen van beide filtermaterialen met elkaar worden vergeleken.

Een gedetailleerde beschrijving van de vier filters en de toegepaste onderdelen is opgenomen in bijlage II. Schematisch geeft figuur 11 de proefopstelling weer.

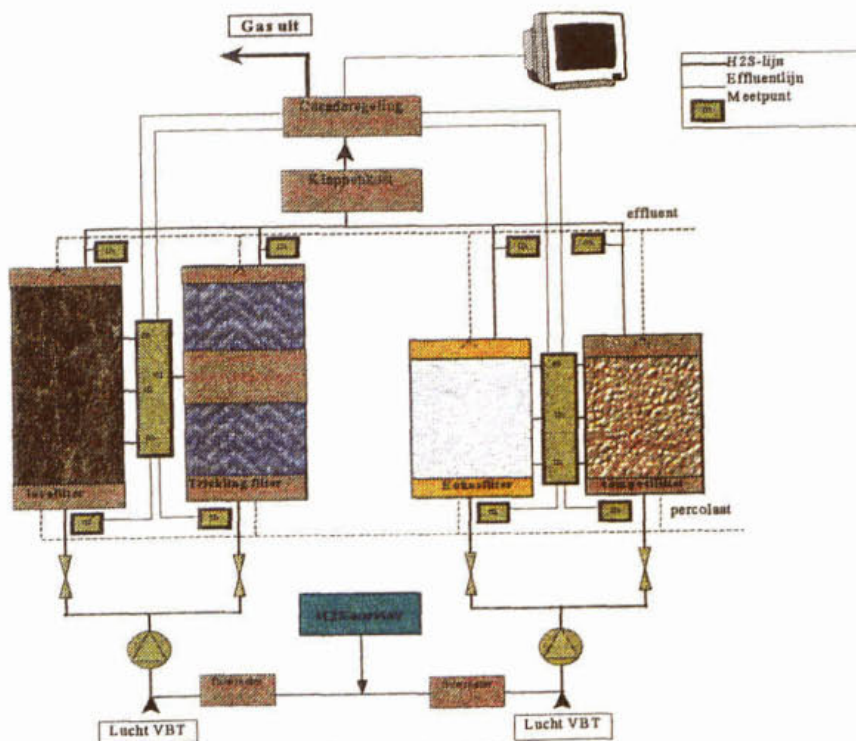
#### *Luchtoevoer en H<sub>2</sub>S dosering*

De filters zijn belast met lucht afkomstig van de afgedekte voorbezinktank. Hiervoor is gekozen omdat deze lucht een hoge en vooral constante relatieve luchtvochtigheid had (>80%) en dus representatief was voor de praktijk. Gebruik van buitenlucht zou sterke variaties geven in luchtvochtigheid en de mate van uitdroging van het filter. De H<sub>2</sub>S-concentratie was relatief laag (< 2 ppm), zodat de mogelijkheid bestond door H<sub>2</sub>S te doseren de belasting van de filters nauwkeurig te beïnvloeden. De temperatuur van de lucht nam gedurende de winterperiode niet verder af dan tot 10 °C. Om de H<sub>2</sub>S-concentratie naar wens te kunnen regelen, werd in de toevoer naar de filters zuiver H<sub>2</sub>S-gas (99,8 %) gedoseerd aan de zuigzijde van de ventilatoren, zodat de twee gasstromen volledig konden mengen.





Figuur 10: Impressie van de proefopstelling op de rwzi 's-Hertogenbosch



Figuur 11: Schema van de proefopstelling.

Omrekeningsfactor van ppm naar  $mg\ S/m^3$

Als omrekeningsfactor van ppm naar  $mg\ S/m^3$  is 1,33 gebruikt:  $1\ ppm = 1,33\ mg/m^3$ .

### Meetbereik van de sensoren

Als meetsensor is gebruikt de sensor van Interscan. Deze heeft een onnauwkeurigheid van 2% op de volle schaal. De te kiezen schaal was tot 100 ppm of tot 500 ppm. Dit houdt in dat, indien in de schaal tot 100 ppm gemeten werd, de fout plus of minus 2 ppm was. In praktijk hield dit in dat de onnauwkeurigheid bij metingen van 2 ppm of lager meer dan 100% was.

### Besproeiing van de filters

Voor de besproeiing van de filters is in eerste instantie gebruik gemaakt van effluent van de rwzi. Gedurende bepaalde perioden zijn de filters besproeid met oppervlaktewater uit de Dieze, omdat het in deze gevallen niet mogelijk was effluent te gebruiken vanwege hoge gehalten aan zwevende stof. Het sproeidebiet van de twee biofilters was zo ingesteld om in eerste instantie het filterbed voldoende vochtig te houden. Daarnaast is het debiet tijdens de proefperiode verhoogd om de gevormde zouten en zuren uit te spoelen. De biofilters zijn besproeid met een oppervlaktebelasting van 0,2 tot 12 l/m<sup>2</sup>.h. De relatief hoge debieten van 12 l/m<sup>2</sup>.h was bij de hoge H<sub>2</sub>S-vrachten nodig voor de afvoer van zuur.

Het filter met kunststofvulling is niet met recirculatie bedreven, zodat de bedrijfsvoering in feite conform het lavafilter is geweest. Het sproeidebiet van het lavafilter en filter met kunststofvulling was ingesteld op 50 l/m<sup>2</sup>.h om een vergaande verwijdering van gevormde zouten te verkrijgen.

### Monitoren en bemonstering

Voor de H<sub>2</sub>S-monitoring zijn de filterhuizen voorzien van bemonsteringspunten. Naast de ingaande en de uitgaande luchtstromen kon de lucht in de filters op verschillende hoogtes worden bemonsterd. Hiervoor zijn bemonsteringsslangen aangebracht, waarmee een luchtmonster van het gehele oppervlak genomen kon worden. Door middel van een monsterpuntomschakelaar en twee H<sub>2</sub>S-analysers (type Envico 1000) kon de H<sub>2</sub>S-concentraties op acht verschillende punten semi-continu gevolgd worden. De duur van een meetcyclus bedroeg 1 tot 2 uur.

## 5.2 Onderzoeksmethode

### Relatie tussen de H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting

Voor de bepaling van de relatie tussen H<sub>2</sub>S-belasting en H<sub>2</sub>S-verwijderingrendement zijn de vier filters bij drie verschillende oppervlaktebelastingen bedreven (Tabel 19). Per oppervlaktebelasting is de H<sub>2</sub>S-concentratie in drie stappen gevarieerd. Dit geeft totaal negen situaties die per filter onderzocht zijn met een duur van 1 tot 4 weken elk. Tabel 19 bevat een overzicht van de oppervlaktebelastingen met bijbehorende H<sub>2</sub>S-concentraties per filtertype.

Tabel 19: Overzicht van de gehanteerde H<sub>2</sub>S concentraties en oppervlaktebelastingen

Periode	Boomschors/turf		kokos		Lava		Kunststofvulling	
	Belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-conc. (mg S/m <sup>3</sup> )	Belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-conc. (mg S/m <sup>3</sup> )	Belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-conc. (mg S/m <sup>3</sup> )	Belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-conc. (mg S/m <sup>3</sup> )
1	48	45	48	45	228	78	300	78
2	48	118	48	118	246	120	246	120
3	49	184	47	184	231	336	236	336
4	102	72	102	72	360	72	342	72
5	101	140	96	140	381	134	381	134
6	93	179	81	179	348	231	374	231
7	141	74	169	74	513	77	544	77
8	155	120	169	120	528	150	566	150
9	161	219	161	219	531	376	531	376

#### *Tijdsduur van de meetsessies*

De tijdsduur van elke periode hing af van de adaptatietijd van de filters aan de nieuwe oppervlaktebelasting en/of de H<sub>2</sub>S-concentratie en varieerde van een tot vier weken. Bij meting van lage, constante H<sub>2</sub>S concentraties in de uitgaande lucht rond de onnauwkeurigheid van de meetapparatuur (2 ppm), zijn de H<sub>2</sub>S-concentraties van de in- en uitgaande luchtstromen continu gemeten gedurende één week. Daarnaast is tevens het verloop van de H<sub>2</sub>S-concentratie in de filters gevolgd.

#### *Eliminatiecapaciteit*

De eliminatiecapaciteit (EC) is gedefinieerd als de hoeveelheid zwavel die per kubieke meter vulmateriaal uit de lucht verwijderd wordt met als eenheid g S/(m<sup>3</sup>.h). In dit onderzoek is naast de ingang en uitgang op drie hoogten in het filter gemeten. Dit geeft een EC gebaseerd op een bedvolume kleiner dan 1 m<sup>3</sup>. Om de EC in de goede eenheid te krijgen is de waarde voor het bedvolume gecorrigeerd.

#### *Piekbelasting*

Per onderzoeksperiode zijn de filters bij een vaste H<sub>2</sub>S-concentratie bedreven. Om na te gaan hoe de filters reageren op tijdelijke verhogingen van de H<sub>2</sub>S-concentratie, is na elke periode het H<sub>2</sub>S-verwijderingsrendement bepaald bij een verhoging van de concentratie naar ca. 500 mg S/m<sup>3</sup>. Direct na de verhoging van de concentratie en na 45 minuten zijn de begin- en eindconcentraties en het verloop van de H<sub>2</sub>S-concentratie in de filters gemeten.

#### *Analyses en parameters*

Een overzicht van de analyses en parameters is opgenomen in bijlage I.

### **5.3 Bewerking van de resultaten**

Doordat voor een viertal filtertypen de H<sub>2</sub>S-verwijdering op verschillende filterbedhoogten is vastgesteld met als variabelen de belasting (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h) en de H<sub>2</sub>S-concentratie, is een groot aantal relaties te leggen. Per filtertype komen de volgende relaties aan de orde:

- de oppervlaktebelasting (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h) en het H<sub>2</sub>S-rendement, met tevens de relatie met de H<sub>2</sub>S-concentratie. De horizontale as van de figuren waarin deze relaties zijn aangegeven, is conform de volgorde van uitvoering van de proeven;
- de H<sub>2</sub>S-vracht (g H<sub>2</sub>S/(m<sup>2</sup><sub>filter</sub>.h)) en het H<sub>2</sub>S-rendement, waarbij onderscheid gemaakt is in deelfilters;
- de eliminatiecapaciteit (EC) en de H<sub>2</sub>S-vracht;
- de piekbelastingen en de H<sub>2</sub>S-eindconcentratie.

Zowel de oppervlaktebelasting als de H<sub>2</sub>S-concentratie is in de praktijk een belangrijke grondslag voor de dimensionering van biologische luchtzuiveringssystemen. Samenhangend hiermee geeft de EC, afhankelijk van de ingevoerde H<sub>2</sub>S-vracht, een indicatie of de filtercapaciteit beperkt wordt door de aangevoerde H<sub>2</sub>S-vracht.

#### *Beschouwing van deelfilters*

Uit de ervaringen tot nu toe blijkt dat H<sub>2</sub>S met name in de onderste lagen van het filter wordt omgezet. Het is daarom belangrijk het filter te zien als een serie opeengestapelde biofilters, in dit geval vier stuks, omdat naast de ingangstroom het filter op vier hoogtes bemonsterd is. Hierdoor ontstaat een duidelijk beeld waar de H<sub>2</sub>S-afbraak in het filter zich afspeelt, en wat de eliminatiecapaciteit is als functie van de H<sub>2</sub>S-vracht. De filterdelen tussen de meetpunten zijn te beschouwen als "deelfilters" waarvan de ingaande en uitgaande H<sub>2</sub>S-concentratie gemeten wordt. Hierbij zijn alleen die deelfilters relevant die een meetbare H<sub>2</sub>S-concentratie in het effluent te zien geven. Is de uitgangconcentratie nul, dan kan dit inhouden dat de H<sub>2</sub>S-concentratie in dit deelfilter limiterend is voor de H<sub>2</sub>S-afbraak. Voor dat deelfilter heeft het geen zin om eliminatiecapaciteiten (EC) te beschouwen.

De EC is ook per deelfilter beschouwd. Hierbij is de waarde gecorrigeerd voor het bedvolume.

#### *Piekbelasting*

De robuustheid van de filters voor piekbelasting in H<sub>2</sub>S wordt vervolgens besproken. Tenslotte worden de bedrijfservaringen met de filters besproken.

#### *Vergelijking van de filtertypen*

Het boomschors/turffilter is vergeleken met het kokosfilter om een uitspraak te kunnen doen over de invloed van het vulmateriaal op de werking van het filter. Deze filters zijn behoudens het vulmateriaal identiek. Ook wordt het lavafilter vergeleken met het filter met kunststofvulling. Deze filters kenmerken zich door een grotere bedhoogte en oppervlaktebelasting dan het kokos- en boomschors/turffilter.

## **5.4 Onderzoekresultaten**

### **5.4.1 Boomschors/turffilter**

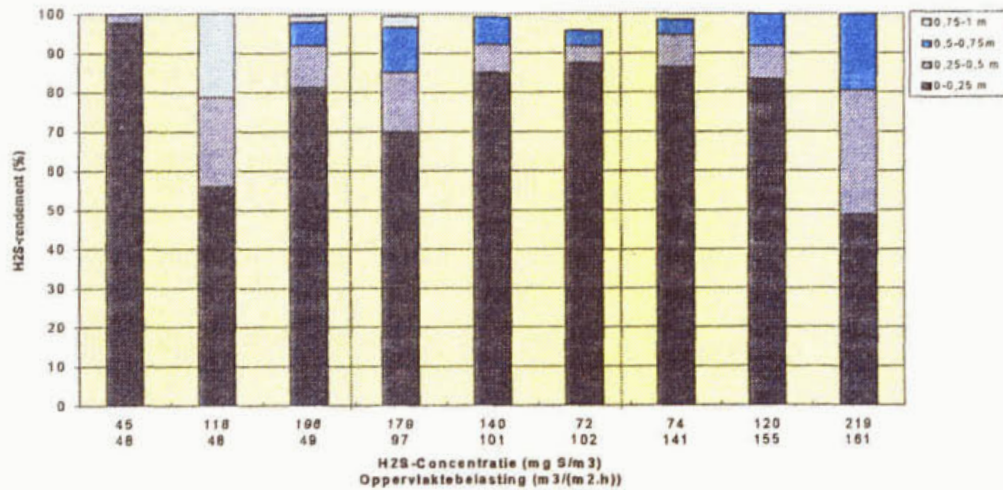
#### **Relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement van het boomschors/turf filter**

De oppervlaktebelasting is bij verschillende H<sub>2</sub>S concentraties gevarieerd tussen 48 en 161 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h). Een normale ontwerpwaarde voor biofilters met compost vulling in de praktijk is 50 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h).

Figuur 12 geeft de relatie weer tussen oppervlaktebelasting en H<sub>2</sub>S-rendement. Voorts maakt de figuur duidelijk in welk 'deelfilter' de rendementen behaald zijn. Uit de figuur blijkt dat met het boomschors/turffilter rendementen van meer dan 99% gehaald zijn en in twee gevallen een lage restconcentratie H<sub>2</sub>S meetbaar was. De H<sub>2</sub>S-verwijdering blijkt zich vooral in de onderste laag van het filterbed af te spelen, echter in de meeste gevallen was de bovenste helft van het filterbed ook nog actief in H<sub>2</sub>S-verwijdering. Vooral de eerste 25 cm onder in het filterbed was actief en gaf rendementen van 49 tot 98 % H<sub>2</sub>S-verwijdering.

De H<sub>2</sub>S-rendementen waren in het gehele bereik van de oppervlaktebelasting hoger dan 97%, ook bij belastingen van 161 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h. De stapsgewijze verhoging van de H<sub>2</sub>S-concentratie leidde niet tot een daling van het totaalrendement. De lagere filterdelen namen een steeds groter aandeel van de H<sub>2</sub>S-verwijdering voor hun rekening. Een reden hiervan kan zijn dat zich daar gedurende het experiment biomassa heeft kunnen opbouwen. Het biofilter met boomschors/turf was in twee van de negen situaties niet in staat om H<sub>2</sub>S-concentraties te verwijderen lager dan de onnauwkeurigheid van de meetapparatuur (2 ppm). In die gevallen is H<sub>2</sub>S als geur duidelijk waarneembaar.

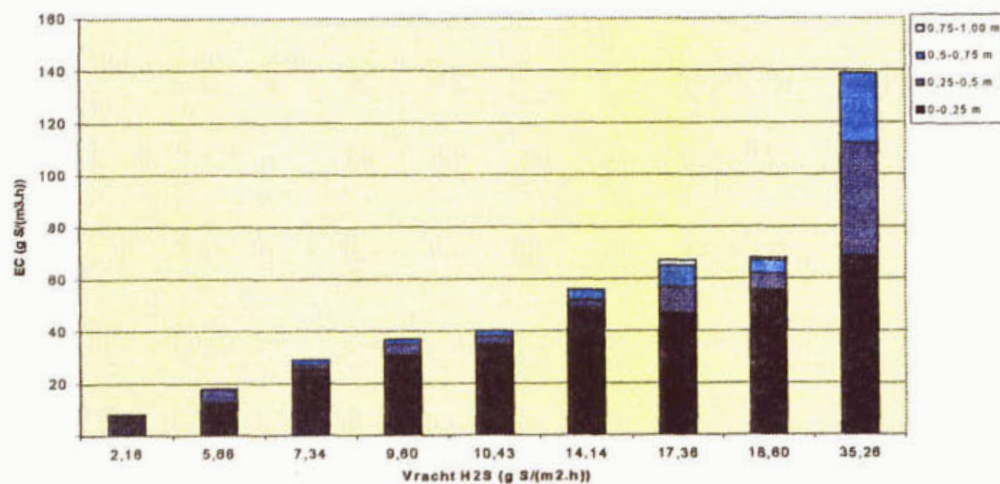
Eindconc. Ppm	0	0	1	4	1	3	2	0	0
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Figuur 12: De relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement van het boomschors/turffilter (waarden horizontale as conform volgorde van uitvoering)

#### Relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de eliminatiecapaciteit van het boomschors/turffilter

De relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de eliminatiecapaciteit (EC) in Figuur 13 laat een duidelijke stijging zien van de EC bij hogere vrachten. Dit heeft ertoe geleid dat in de gehele onderzochte range van H<sub>2</sub>S-vrachten het totaal rendement hoger dan 97% was. Bij hogere H<sub>2</sub>S-vrachten (>18 g S/(m<sup>2</sup>.h)) nam het aandeel in de EC van het tweede en derde deelfilter toe. Met name bij de maximale H<sub>2</sub>S-vracht van 35 g S/(m<sup>2</sup>.h) verzorgden het tweede en derde 'deelfilter' ca. 50% van de totale EC. Kennelijk is bij 35 g S/(m<sup>2</sup>.h) de maximale eliminatiecapaciteit in het eerste deelfilter bereikt. De concentratie in de uitgaande stroom leek wel af te nemen bij toenemende belasting. Dit kan het gevolg zijn geweest van de ontwikkeling van meer biomassa (adaptatie).



Figuur 13: Relatie tussen H<sub>2</sub>S-vracht en EC voor het boomschors/turffilter (EC gecorrigeerd voor bedvolume van het deelfilter)

#### Piekbelasting van het boomschors/turffilter

**Adaptatie**  
 Gedurende de opstart werd het H<sub>2</sub>S direct en volledig geoxideerd. Eenmalig heeft bij een verhoging van de H<sub>2</sub>S-concentratie van 130 mg S/m<sup>3</sup> naar 180 mg S/m<sup>3</sup> bij een oppervlaktebelasting van 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h uitstoot van H<sub>2</sub>S plaatsgevonden gedurende 7 dagen. Dit is waarschijnlijk omdat het filter voorafgaand aan deze belasting gedurende vier weken nagenoeg niet werd belast met H<sub>2</sub>S. Bij de overige verhogingen van het H<sub>2</sub>S-concentratie, hetzij de oppervlaktebelasting werd direct een volledige verwijdering van H<sub>2</sub>S waargenomen.

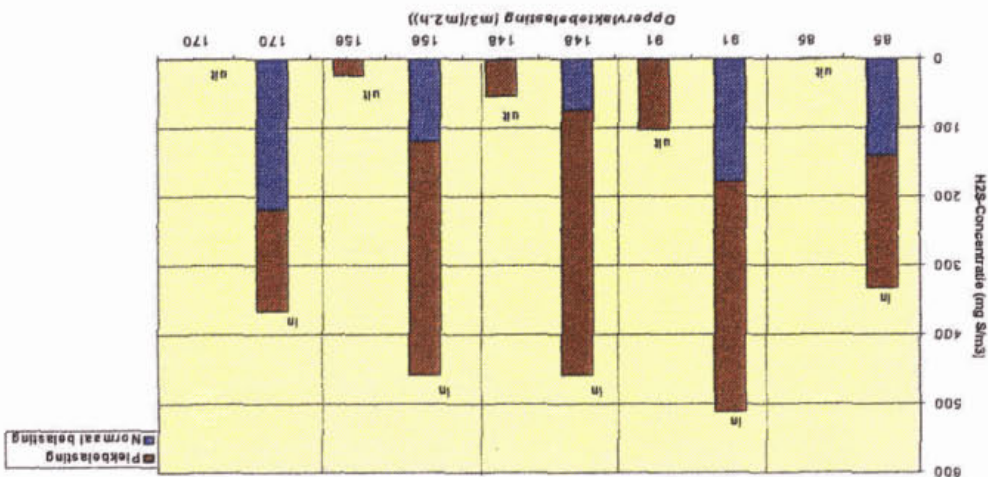
**Filtermateriaal**  
 In de beginfase van het onderzoek verzuurde het filtermateriaal redelijk snel. Op een hoogte van ca. 75 cm nam de pH af tot 3,3. Door verhoging van het sproeidebiet is de pH van het bovenste gedeelte van het filtermateriaal weer toegenomen tot een waarde van 7,8. Het vochtgehalte van het filtermateriaal bleef gedurende het onderzoek gelijk (74-78%).

**pH, geleidbaarheid**  
 Het percolaat bevatte aanzienlijke hoeveelheden zouten, zoals blijkt uit de hoge geleidbaarheid van het percolaat (tot 60.000 µS/cm). Een negatieve invloed van een pH van <2,5 en een elektrische geleidbaarheid van 60.000 µS/cm op de biologische activiteit van het filter is niet waargenomen.

**Sproeidebiet**  
 In eerste instantie is het biofilter met boomschors/turf vulling in de beginfase gedurende korte perioden besproeid (30 seconden per 12 uur). Gedurende het experiment zijn de sproeitiïden en -frequenties geleidelijk verhoogd om een percolaatstroom te creëren. Hiermee werden de zouten, die door de H<sub>2</sub>S-omzetting ontstaan, afgevoerd. Deze verhoging leidde niet tot inklinking van het filtermateriaal en/of ophoping van het water in het filter. Tabel 20 geeft een overzicht van de voornaamste procesfactoren van het boomschors/turf-filter tijdens het onderzoek. Bijlage III bevat de grafieken van pH en elektrische geleidbaarheid.

**Proceservaringen met het boomschors/turf-filter**

**Figuur 14: Piekbelasting van het boomschors/turf-filter**  
 filter continu met hogere H<sub>2</sub>S-vrachten werd belast.



Figuur 14 geeft de invloed aan van piekbelasting op de H<sub>2</sub>S-concentratie in de uitgaande lucht. Uit deze figuur blijkt dat in alle gevallen een groot deel van de H<sub>2</sub>S-piek in het filter verwijderd werd. Dit betekent dat bij de normale belastingen de H<sub>2</sub>S-concentraties voor het gehele filter niet limiterend geweest zijn. De pieksituaties geven een overal rendement van meer dan 80% en de pieken werden beter opgevangen naarmate de basisbelasting toenam. Mogelijk is dit te verklaren door de aanwezigheid van meer biomassa in de gevallen dat het

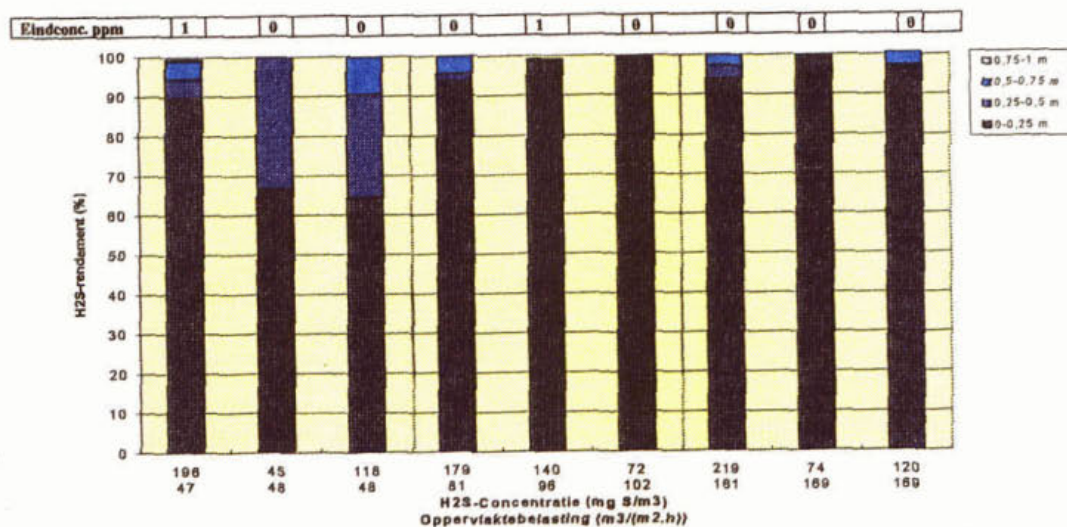
Tabel 20: Overzicht van de procescondities in het boomschors/turffilter

Procesparameter	Eenheid	Biofilter met kokosvulling
Sproeifrequentie		30 seconden per 12 uur tot 60 seconden per ½ uur
Sproeidebiet	l/m <sup>2</sup> .d	0,2 tot 16
Percolaat		
-pH	-	<2,5
-geleidbaarheid	µS/cm	3.000 tot 60.000
Filtermateriaal (op 75 cm)		
-pH	-	7,8
-vochtgehalte	%	74-78
-drukval	Hpa	5 bij 200 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)

### 5.4.2 Kokosfilter

#### Relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement van het kokosfilter

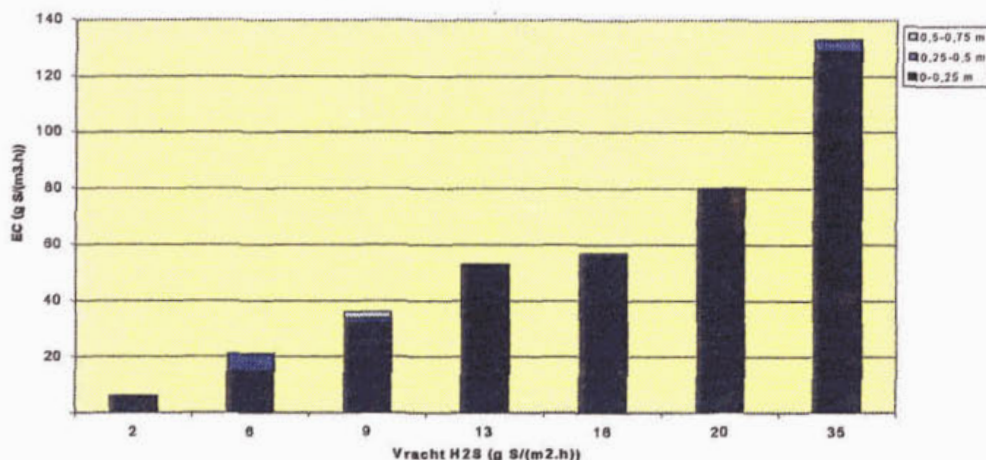
De relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement bij kokosfilter (Figuur 15) geeft aan dat in alle onderzochte situaties rendementen hoger dan 99% gehaald zijn. Ook bij hogere oppervlaktebelastingen en H<sub>2</sub>S-concentraties was vooral de eerste 25 cm van het filtermateriaal verantwoordelijk voor de verwijdering. Het is opmerkelijk dat bij de lage oppervlaktebelasting de deelfilters twee en drie meededen in de H<sub>2</sub>S-verwijdering, terwijl bij de hoge oppervlaktebelastingen (169 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h) H<sub>2</sub>S alleen in het eerste deelfilter werd verwijderd. Oorzaak hiervan kan zijn dat de oppervlaktebelasting stapsgewijs is opgevoerd tijdens de onderzoeksperiode. Hierdoor kan het zijn dat in de periode met lage oppervlaktebelastingen de biomassa nog niet volledig was opgebouwd in het eerste deelfilter. De restconcentraties H<sub>2</sub>S waren in alle negen gevallen lager dan de onnauwkeurigheid van de meting (2 ppm). In twee gevallen is H<sub>2</sub>S in de uitgangsstroom gemeten, echter het H<sub>2</sub>S-rendement was in die gevallen ook hoog.



Figuur 15: De relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement van het kokosfilter

### Relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de eliminatiecapaciteit van het kokosfilter

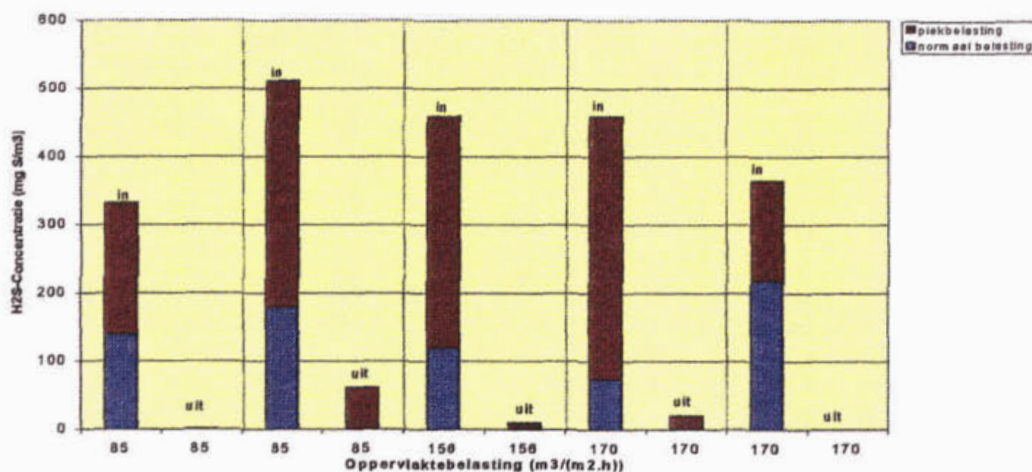
Figuur 16 geeft de relatie tussen de EC en de H<sub>2</sub>S-vracht. Bij de beschouwing van de rendementen in de vorige paragrafen was reeds geconstateerd dat het rendement in alle onderzochte situaties hoger was dan 99% en dat de eliminatie vooral in het onderste (eerste) deelfilter plaatsvond. De EC in de bovenliggende lagen is niet aangesproken of ontwikkeld. Het filter adapteerde zich dus aan de aangeboden vracht, ofwel de EC neemt in gelijke mate toe met de H<sub>2</sub>S-belasting.



Figuur 16: Relatie tussen H<sub>2</sub>S-vracht en de EC van het kokosfilter (gecorrigeerd voor bedvolume van het deelfilter)

### Piekbelastingen van het kokosfilter

De invloed van de piekbelastingen op de uitgaande H<sub>2</sub>S-concentraties in de onderzochte situaties is in Figuur 17 weergegeven.



Figuur 17: Invloed van de H<sub>2</sub>S-piekbelasting op de H<sub>2</sub>S-eindconcentratie van het kokosfilter

Deze figuur geeft aan dat de H<sub>2</sub>S-piek grotendeels door het filter werd verwijderd. Tijdens de piekbelasting was het verwijderingsrendement 89-99%, zodat wel doorslag van H<sub>2</sub>S optrad. Ook lijkt het er op dat de pieken beter opgevangen worden naarmate de basisbelasting toeneemt. Mogelijk is dit te verklaren door de aanwezigheid van meer biomassa (adaptatie) in de gevallen dat het filter continu met hogere H<sub>2</sub>S-vrachten werd belast.

### Proceservaringen met het kokosfilter

De proceservaringen met het kokosfilter waren nagenoeg gelijk aan die van het boomschors/turffilter, met uitzondering van het filtermateriaal. Het filtermateriaal vertoonde



kleine verschillen in de pH en de weerstand. De pH van het filtermateriaal op een hoogte van 75 cm in de doorstroomrichting is in de beginfase van het onderzoek afgenomen tot 2,8. Bij een verhoging van het sproeidebiet is de pH van het bovenste (laatste) gedeelte van het filter toegenomen tot 7,8. De weerstand van het filtermateriaal is gedurende het onderzoek licht toegenomen: van 4 hPa tot 7 hPa bij een luchtbelasting van  $169 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ .

Tabel 21: Samenvatting van de procesparameters van het kokosfilter

Procesparameter	Eenheid	Biofilter met kokos vulling
Sproeifrequentie		30 seconden per 12 uur tot 60 seconden per ½ uur
Sproeidebiet	$\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	0,2 tot 16
Percolaat		
-pH	-	<2,5
-geleidbaarheid	$\mu\text{S}/\text{cm}$	3.000 tot 60.000
Filtermateriaal (op 75 cm)		
-pH	-	7,8
-vochtgehalte	%	78-86
-drukval	Hpa	7 bij $169 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

## 5.5 Vergelijking van boomschors/turf- en kokosfilter

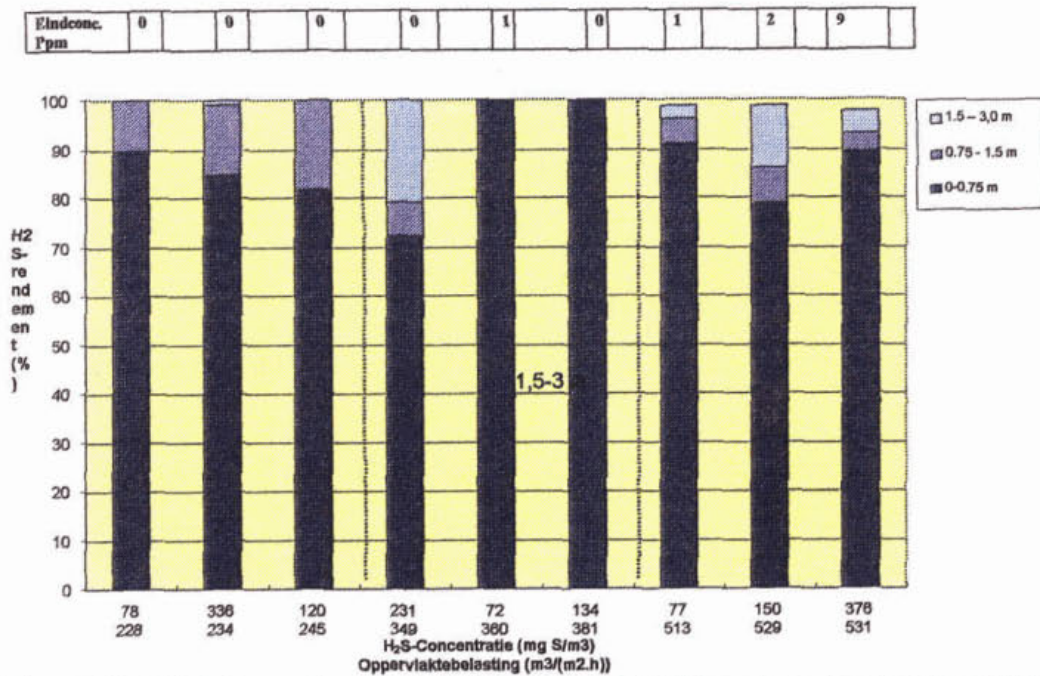
De filters onderscheidden zich qua vulmateriaal. Beide filters gaven hoge  $\text{H}_2\text{S}$ -rendementen in het onderzochte bereik van de oppervlaktebelasting,  $\text{H}_2\text{S}$ -concentratie en  $\text{H}_2\text{S}$ -vracht. Het kokosfilter gaf echter een lagere  $\text{H}_2\text{S}$ -emissie dan het boomschors/turffilter. Het kokosfilter gaf hogere rendementen en een grotere eliminatiecapaciteit in het eerste deelfilter (eerste 25 cm van het filter) en dus minder doorslag naar de bovenliggende filterlagen. Dit duidt op een betere processtabiliteit ten opzichte van een boomschors/turffilter. Het kokosfilter gaf stabielere hoge rendementen bij toenemende  $\text{H}_2\text{S}$ -vracht (in het gebied tot  $35 \text{ g H}_2\text{S}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ). De piekbelastingen werden door het kokosfilter ook beter opgevangen: de  $\text{H}_2\text{S}$ -gehalten in de uitgaande stroom zijn doorgaans een factor twee lager.

Bij de afweging tussen boomschors/turf en kokosvezel als vulling van het biofilter voor  $\text{H}_2\text{S}$ -verwijdering gaat op basis van dit onderzoek een voorkeur uit naar kokos. Uit het onderzoek blijkt dat ook bij oppervlaktebelastingen tot  $169 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  en  $\text{H}_2\text{S}$ -concentraties tot  $219 \text{ mg S}/\text{m}^3$  rendementen hoger dan 99% haalbaar zijn.

## 5.6 Lavafilter

### Relatie tussen de oppervlaktebelasting en het $\text{H}_2\text{S}$ -rendement van het lavafilter

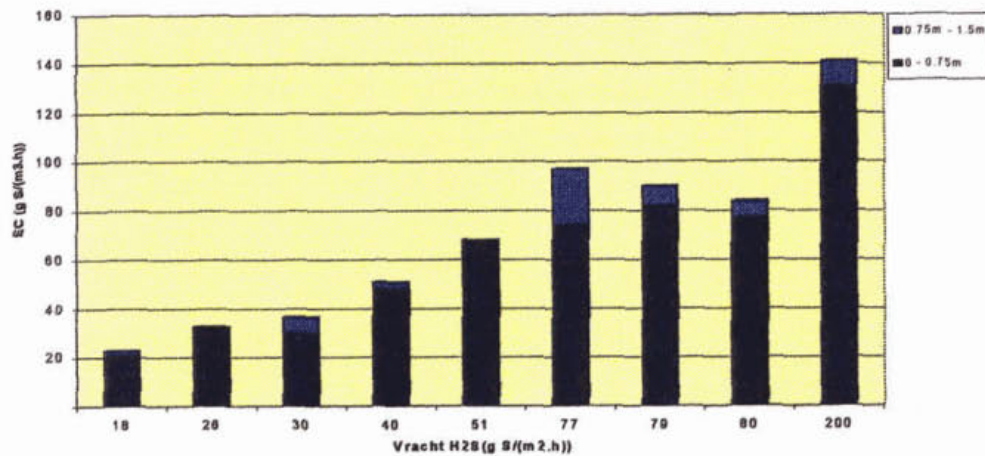
De relatie tussen de oppervlaktebelasting en het  $\text{H}_2\text{S}$ -rendement, zoals in Figuur 18 is aangegeven, geeft tussen  $228$  en  $531 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  een rendement van meer dan 97%, waarvan het rendement het grootst is in het eerste compartiment. In de rendementen is geen direct verband met de oppervlaktebelasting te zien. De ontwerpbelasting van lavafilters is ca.  $330 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . De  $\text{H}_2\text{S}$ -verwijdering blijkt ook bij hogere belasting van het filter meer dan 97%.



**Figuur 18: Relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement van het lavafilter**

#### Relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de eliminatiecapaciteit van het lavafilter

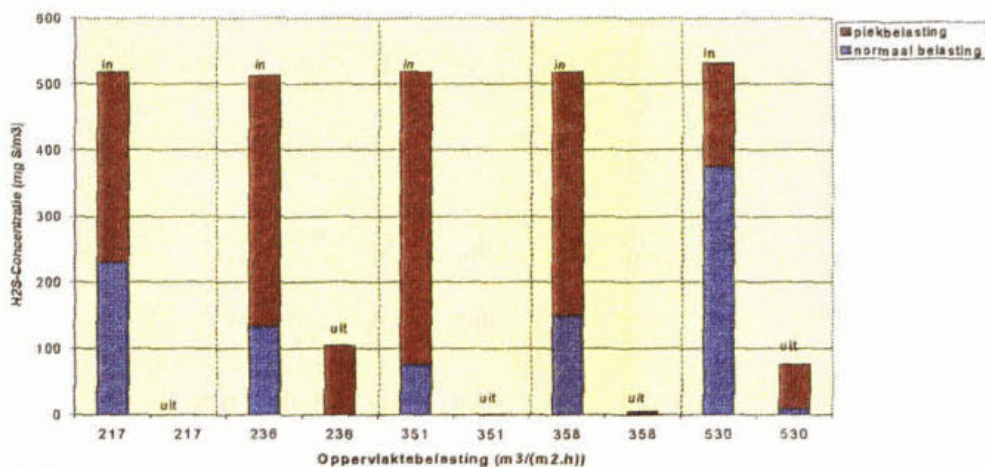
Figuur 19 geeft de relatie tussen de EC en de ingevoerde H<sub>2</sub>S-vracht. Conform het beeld dat uit de rendementen volgt, is de EC van de onderste (eerste) helft van het filter het grootst. In het toegepaste bereik van de H<sub>2</sub>S-vracht, is geen afvlakking van de EC af te leiden. In het gekozen gebied lijken geen H<sub>2</sub>S-limitaties op te treden. De EC's tot en met 1,5 meter bedhoogte is in de figuur meegenomen, omdat de EC's van de bovenliggende lagen niet te bepalen waren omdat de uitgaande concentratie in de meeste nul waren of de EC zeer klein was ten opzichte van de EC in de eerste twee lagen.



**Figuur 19: De relatie tussen H<sub>2</sub>S-vracht en de EC van het lavafilter**

#### Piekbelasting van het lavafilter

Bij de piekbelasting is de H<sub>2</sub>S-concentratie verhoogd tot 532 mg S/m<sup>3</sup>. Deze pieken werden in alle gevallen grotendeels door het filter verwijderd (Figuur 20). Bij de hoogste belasting was de H<sub>2</sub>S-emissie substantieel (80 mg S/m<sup>3</sup>). Bij de oppervlaktebelasting van 236 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h trad doorslag op bij de piekbelasting. Dit was de eerste periode dat het filter belast wordt met een piek, en is de adaptatie nog niet voldoende gebleken.



**Figuur 20: Invloed van de piekbelasting op het H<sub>2</sub>S-gehalte in de uitgaande luchtstroom van het lavafilter**

### Proceservaring met het lavafilter

#### *Besproeiing, percolaat*

De sproeifrequentie is gedurende het onderzoek eenmalig verhoogd, om de relatief hoge vrachten aan zouten te kunnen verwijderen.

#### *pH en geleidbaarheid*

Gedurende de opstartperioden is een sterke afname van de pH waarneembaar tot een pH < 2.

#### *Filtermateriaal*

De weerstand van het filtermateriaal is gedurende het onderzoek gelijk gebleven op ongeveer 3 hPa bij een luchtbelasting van 531 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h. Ondanks de toenemende biomassa in het filter, als gevolg van de hogere H<sub>2</sub>S-belastingen, is de weerstand van het filter gelijk gebleven. Ten opzichte van het "schone" lavafilter (start onderzoek) is de weerstand toegenomen met ca. 2 hPa.

#### *Aanpassingsperioden*

Bij een verhoging van de oppervlaktebelasting met een factor 1,5 werd de H<sub>2</sub>S-concentratie verlaagd van 400 naar 65 mg S/m<sup>3</sup>. In deze situaties werd het H<sub>2</sub>S direct volledig verwijderd als gevolg van een verlaging van de H<sub>2</sub>S-vracht. Bij een verhoging van de H<sub>2</sub>S-concentratie met een factor twee tot drie waren de aanpassingsperioden 20 à 30 dagen, met uitzondering van de twee opstartperioden. De opstartperiode, waarbij het filter met 230 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h en een H<sub>2</sub>S-concentratie van 65 mg S/m<sup>3</sup>, duurde ongeveer 30 dagen, waarbij na 20 dagen het verwijderingsrendement ruim 90% was. Na de winterperiode, waarin de H<sub>2</sub>S-belasting van het filter zeer gering was, was de biologische activiteit van het filter drastisch afgenomen. Het filter werd opnieuw opgestart, waarbij de H<sub>2</sub>S-concentratie geleidelijk werd verhoogd naar 400 mg S/m<sup>3</sup> bij een luchtbelasting van 350 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h. Deze periode duurde ca. 70 dagen.

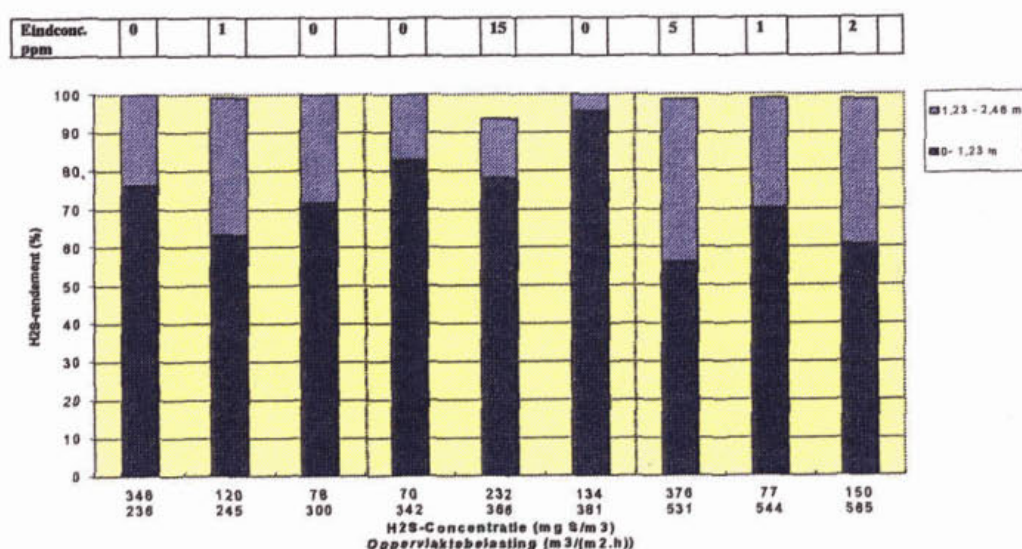
Tabel 22: De procesparameters van het lavafilter

Procesparameter	Eenheid	Lavafilter
Sproeifrequentie		2 minuten per 30 minuten 2 minuten per 15 minuten
Sproeidebiet	L/m <sup>2</sup> .h	35-50
Percolaat		
-pH	-	<2
-geleidbaarheid	µS/cm	1.000-33.000
Drukval filterkolom	HPa	3 bij 531 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h

## 5.7 Filter met kunststofvulling

### Relatie tussen oppervlaktebelasting en H<sub>2</sub>S-rendement van het filter met kunststofvulling

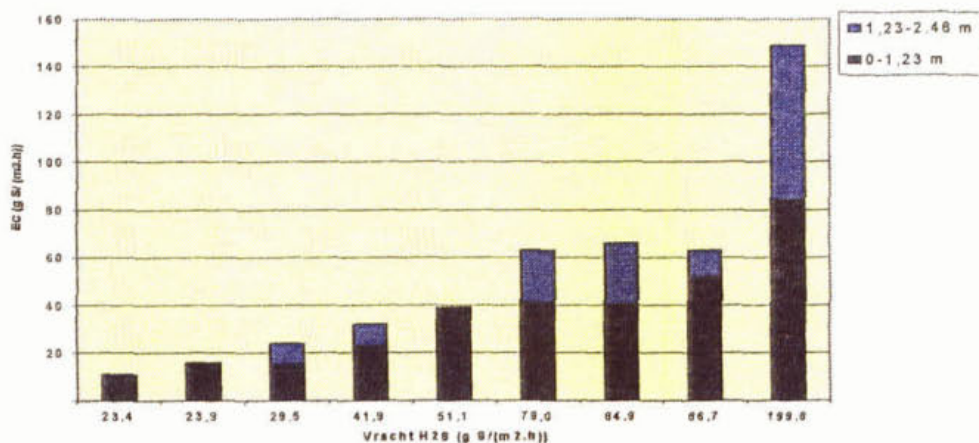
Figuur 21 geeft de relatie weer tussen het H<sub>2</sub>S-rendement en de oppervlaktebelasting. Ook dit filter was in staat om H<sub>2</sub>S voor meer dan 94% te verwijderen. In alle gevallen had het tweede deel van het filter ook een reinigende werking. Een direct verband tussen de oppervlaktebelasting en het rendement blijkt hier niet uit. Ook bij de hoge H<sub>2</sub>S-concentraties gaf het filter een rendement van meer dan 95%.



Figuur 21: Relatie tussen de oppervlaktebelasting en het H<sub>2</sub>S-rendement van het filter met kunststofvulling

### Relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de EC van het filter met kunststofvulling

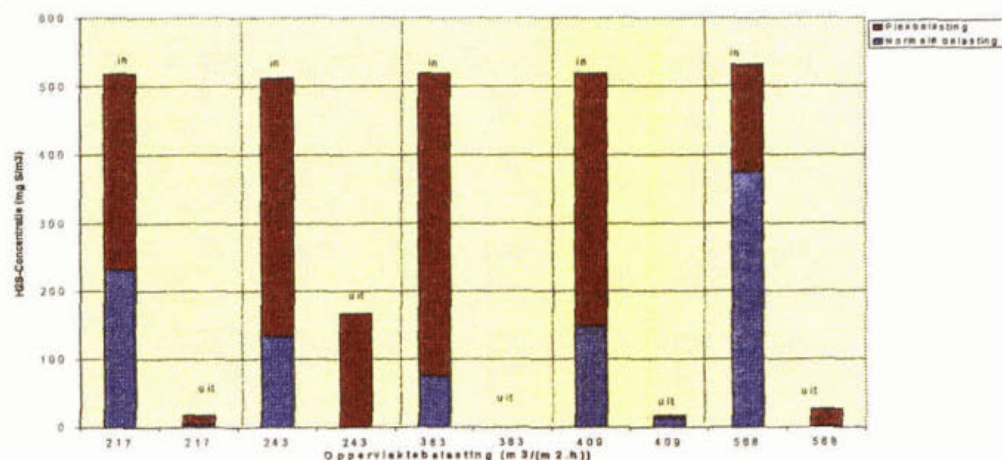
Uit Figuur 22, waarin de relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de EC is weergegeven, blijkt dat de EC progressief toenam met de H<sub>2</sub>S-vracht. Hierbij valt op dat de EC van het eerste deelfilter niet lineair toenam met de vracht, maar dat de EC in het tweede deelfilter dit compenseerde. Bij een belasting hoger dan 50 g S/(m<sup>2</sup>.h) vlakte de EC reeds aanzienlijk af en speelde de EC in het tweede deelfilter een belangrijker rol. Met name bij de hoogste vracht (199,8 g S/(m<sup>2</sup>.h)) speelde de EC in het tweede deelfilter een belangrijke rol.



**Figuur 22: Relatie tussen de H<sub>2</sub>S-vracht en de EC in het filter met kunststofvulling**

### Piekelasting van het filter met kunststofvulling

In Figuur 23 is de invloed van de piekelasting op de uitgaande H<sub>2</sub>S concentratie afgebeeld. Het filter verwijderde de piek voor meer dan 95% met uitzondering van de eerst onderzochte situatie met de laagste belasting (243 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h), hetgeen mogelijk aan onvoldoende adaptatie geweten kan worden.



**Figuur 23: De invloed van de H<sub>2</sub>S-piekelasting op de H<sub>2</sub>S-concentratie uit het filter met kunststofvulling**

### Proceservaring met het filter met kunststofvulling

De proceservaringen van het filter met kunststofvulling waren nagenoeg gelijk aan die met het lavafilter, met uitzondering van de samenstelling van het percolaat en de weerstand van de filterkolom. De pH was gedurende het onderzoek een fractie lager (enkele tienden bij een pH van 1-2) en de geleidbaarheid een factor twee hoger. De weerstand van de kunststofvulling was zeer laag en nam gedurende het onderzoek nagenoeg niet toe. De opstart- en aanpassingsperioden bij hogere H<sub>2</sub>S-concentraties/oppervlaktebelastingen waren gelijk aan die van het lavafilter. De daarbij vrijkomende H<sub>2</sub>S-concentraties in de uittredende luchtstroom waren echter een fractie hoger.

**Tabel 23: Procesparameters van het filter met kunststofvulling**

Procesparameter	Eenheid	
Sproeifrequentie		2 minuten per 30 minuten 2 minuten per 15 minuten
Sproeidebiet	l/m <sup>2</sup> .h	35-50
Percolaat		
- pH	-	<2
-geleidbaarheid	µS/cm	1.000-66.000
Drukval filterkolom	Hpa	0,5 bij 565 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h

## 5.8 Vergelijking van het lavafilter en het filter met kunststofvulling

Beide filters gaven een vergelijkbare en goede H<sub>2</sub>S-verwijdering. Deze vond in het lavafilter met name in de onderste (eerste) lagen plaats. In het filter met kunststofvulling speelde bij hogere belastingen de bovenste helft van het filter tevens een belangrijke rol. De piekbelastingen werden door beide filters vergelijkbaar goed opgevangen. Ook qua adaptatietijd en proceservaring waren de systemen vergelijkbaar.

## 5.9 Vergelijking van de geteste filters

Tabel 24 geeft de vergelijking van de EC's van de onderste filterlagen

**Tabel 24: Vergelijking EC in onderste filterdeel van de onderzochte filters**

Type	Hoogte deelfilter (m)	EC 1 <sup>e</sup> deelfilter (g S/(m <sup>3</sup> .h))
Boomschors-turf	0,25	67
Kokosfilter	0,25	130
Lavafilter	0,75	130
Filter met kunststof vulling	0,75	85

Hierbij zijn de onderste filterlagen van het kokos- en lavafilter in verhouding tot de andere filters actiever. Het de EC van lavafilter heeft betrekking op een grotere bedhoogte en de H<sub>2</sub>S-belasting was ook hoger dan het kokosfilter.

De EC van de daar bovenliggende laag is bij het lavafilter en filter met kunststofvulling echter veel hoger. Deze vergelijking is echter niet zuiver, omdat de biofilters veel lager zijn belast dan het lavafilter en filter met kunststofvulling.

De maximum eliminatiecapaciteit betrokken op het onderste filterdeel geeft het volgende beeld

## 5.10 Conclusies uit het praktijkonderzoek op rwzi 's-Hertogenbosch

### De ontwerpparameters voor de H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting

In het onderzoek zijn de oppervlaktebelasting en de H<sub>2</sub>S-belasting gevarieerd. Op grond van deze variaties kan geen verband tussen deze twee grootheden worden vastgesteld en het H<sub>2</sub>S-rendement of de eliminatiecapaciteit van de onderzochte filtertypen. Dit wijst er op dat qua H<sub>2</sub>S-vracht, H<sub>2</sub>S-concentratie en oppervlaktebelasting in de filters geen limitaties zijn opgetreden in de volgende bereiken:

Tabel 25: Gebied van de gehanteerde ontwerpparameters tijdens het praktijkonderzoek

	Biofilters		Lavafilter /filter met kunststofvulling	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
H <sub>2</sub> S-vracht (g S/m <sup>2</sup> .h)	2	45	18	200
H <sub>2</sub> S-concentratie (ppm)	45	219	70	376
Oppervlaktebelasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	169	457	228	565

Het onderzoek was zo opgezet dat de H<sub>2</sub>S-belasting van de filters stapsgewijs kon worden verhoogd en gedurende een tijd constant gehouden kon worden. Hierdoor kan zich biomassa opbouwen voor de H<sub>2</sub>S-afbraak waardoor de eliminatiecapaciteit van de filters vergroot wordt. Dit heeft ertoe geleid dat de H<sub>2</sub>S-verwijdering voor de onderzochte filtertypen in de gehanteerde bereiken in H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting meer dan 98% is geweest. De maximumcombinatie leidt echter tot aanzienlijke H<sub>2</sub>S -doorslag.

In de praktijk is de H<sub>2</sub>S-belasting van biologische zuiveringssystemen sterk wisselend, waardoor per situatie kan verschillen hoeveel biomassa zich in het filter heeft kunnen opbouwen en in stand gehouden kan worden over langere perioden. Als deze belasting zeer sterk wisselt en over langere perioden zelfs zeer laag is, kan deze biomassa-opbouw wellicht onvoldoende zijn. In die gevallen zal alleen toepassing van een biologisch luchtzuiveringssysteem minder voldoen en is mogelijk een aanvullende zuiveringstechniek nodig.

Op grond van het onderzoek kan gesteld worden dat H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting slechts een beperkte waarde voor de dimensionering bezitten en geen limiterende factoren behoeven te zijn bij voldoende geadapteerde biomassa. Bij een meer continu belastingsprofiel lijken hogere oppervlakte- en H<sub>2</sub>S-belastingen gehanteerd te kunnen worden dan bij meer fluctuerende belastingsprofielen.

### H<sub>2</sub>S en geur

De vraag of H<sub>2</sub>S een goede voorbeeldparameter is voor de geurbestrijding is op grond van dit onderzoek niet te beantwoorden. Er zijn in het onderzoek naast H<sub>2</sub>S geen geurmetingen of metingen aan andere geurcomponenten uitgevoerd, waardoor de relatie tussen H<sub>2</sub>S-verwijdering en geurverwijdering niet gelegd kan worden. Bovendien was de onnauwkeurigheid van de gebruikte H<sub>2</sub>S-analysers 2 ppm. Deze H<sub>2</sub>S-concentratie geeft wel aanleiding tot geurhinder. H<sub>2</sub>S geeft reeds op bbp-niveau aanleiding tot geur.

### Piekbelastingen

De flexibiliteit van de systemen voor piekbelastingen is getest door in de onderzoekssituaties de concentratie H<sub>2</sub>S te verhogen tot 400-500 ppm. De piekbelastingen varieerden met een factor 2 tot 5 van de basisbelasting. Deze verhoging leidde in alle gevallen tot emissie van H<sub>2</sub>S, waarbij wel een groot deel van de piek verwijderd wordt (verhoogde EC). Dit onderzoek geeft aan dat de biologische zuiveringssystemen gevoelig zijn voor piekbelastingen. Een vertaling van piekbelasting naar een dimensionering is op grond van dit onderzoek niet uit te voeren. Lavafilters lijken beter bestand tegen piekbelastingen omdat de EC in de onderste lagen het grootst lijkt.

### Filtertype/filtermateriaal

De biofilters zijn in een lager belastingstraject getest dan het lavafilter en het filter met kunststofvulling. Hierdoor valt een directe vergelijking voor de toepassingsgebieden voor beide systemen niet direct te maken. Geconcludeerd kan slechts worden dat het lavafilter en het filter met kunststofvulling in het bereik tot 410 ppm H<sub>2</sub>S en 510 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) goed kunnen functioneren, en dat dit voor biofilters in dit onderzoek niet bewezen is. De biofilters hebben in het lagere concentratiegebied (tot 200 ppm) beide goed gefunctioneerd. Het kokosfilter

gaf een stabiel(er) zuiveringsresultaat en stabiel(er) processtabiliteit dan het biofilter gevuld met boomschors/turf.

De prestaties van het lavafilter en het filter met kunststofvulling waren in vrijwel alle opzichten vergelijkbaar in de onderzochte situaties. Dit kan erop duiden dat mits het dragermateriaal aan eisen van o.a. porositeit, lage drukval voldoet de keuze van het inerte filtermedium van ondergeschikt belang is.

#### **Filterbedhoogte**

Bij biofilters lijkt een filterbedhoogte van 1 meter voldoende. De  $H_2S$ -verwijdering speelt zich vooral in de onderste (eerste) lagen van het filter af. Bij een goed onderhouden filter of een filter met vers filtermateriaal hebben grotere bedhoogten geen toegevoegde waarde.

Voor het lavafilter en het filter met kunststofvulling wordt het meeste  $H_2S$  in de onderste (eerste) helft van het filter verwijderd; maar in de bovenste helft vindt de restverwijdering plaats.



## 6 Ontwerprichtlijnen voor biologische luchtzuiveringstechnieken

### 6.1 Zijn H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting valide ontwerpparameters?

Het vaststellen of de oppervlaktebelasting en de H<sub>2</sub>S-belasting valide ontwerpparameters konden voor de dimensionering van geurfilters op rwzi's was een belangrijke doelstelling van het onderzoek. Zowel uit de literatuurstudie als uit de Nederlandse praktijkervaringen blijken dat oppervlaktebelasting en H<sub>2</sub>S-belasting als belangrijke dimensioneringsgrootheden te worden gehanteerd voor biologische luchtzuiveringssystemen. Uit het praktijkonderzoek blijkt voorts dat de biologische luchtzuiveringssystemen hogere H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelastingen aan kunnen, *mits de filters geadapteerd kunnen raken aan deze omstandigheden*. Omstandigheden als aangegeven in Tabel 19 blijken daarbij in biologische zin geen limiterende factoren.

De goede werking van de filters hangt dus meer af van de microbiologische adaptatie, dus van het belastingspatroon van H<sub>2</sub>S. Een ontwerp-H<sub>2</sub>S-belasting zegt in wezen niet zo veel hierover. Inzicht in het H<sub>2</sub>S-belastingpatroon, bijvoorbeeld een zomer-winterpatroon, geeft wel belangrijke aanvullende informatie. Een oppervlaktebelasting is meer relevant voor het al of niet optreden van kortsluitstromen dan voor de microbiologie van het filter voor H<sub>2</sub>S-verwijdering.

Ook de vraag of H<sub>2</sub>S-verwijdering een goede maat is voor de geurverwijdering is moeilijk te beantwoorden. Onderzoek op onder andere de rwzi's Bath en Beemster heeft weliswaar aangetoond dat H<sub>2</sub>S en overige geurcomponenten simultaan verwijderd kunnen worden, echter, een eenduidige relatie hiertussen is niet te geven, temeer daar het gaat om een scala van componenten.

*Conclusie is dan ook dat H<sub>2</sub>S-belasting en oppervlaktebelasting als ontwerpparameters voor biologische filters slechts van gering nut zijn voor de dimensionering voor de H<sub>2</sub>S-verwijdering omdat deze factoren in de onderzochte gebieden niet limiterend blijken. De adaptatiegraad van de systemen is van groot belang.*

### 6.2 Richtwaarden voor de dimensionering

Hoewel oppervlaktebelasting en H<sub>2</sub>S-belasting geen harde dimensioneringscriteria blijken, kan op basis van de literatuurstudie en de Nederlandse praktijkervaring wel enige richting gegeven worden aan de dimensionering van de filters. In de Tabel 26 en Tabel 26 worden voor de filters de gegevens uit de literatuurstudie, de Nederlandse praktijkervaring en het onderzoek in 's-Hertogenbosch samengevat, en op grond daarvan een advieswaarde gegeven.

#### *Biofilters*

##### **Keuze van het filtermateriaal**

Bij biofilters speelt de keuze van de vulling een belangrijke rol. Op grond van de Nederlandse praktijkervaring blijken kokosvulling en boomschors/turf vullingen momenteel de meest werkbaar qua onderhoud, levensduur en zuiveringsprestatie. Uit het onderzoek op rwzi's-Hertogenbosch blijkt de kokosvulling stabiel te zijn ten opzichte van boomschors/turf. Afgezien van kostenaspecten heeft toepassing van kokosmaterialen op dit moment de voorkeur. De levensduur van kokos wordt geschat op 5-7 jaar.

### Hoogte van het filterbed en drukval

De meest voorkomende bedhoogte bedraagt 1,0 m met een variatie tussen 0,5 m en 1,5 m. De keuze voor de ondergrens wordt ontraden vanwege het risico van kortsluitstroming en onvoldoende buffercapaciteit bij piekbelastingen. Bij filterbedhoogtes boven 1,5 m loopt de luchtweerstand te hoog op.

### Oppervlaktebelasting

De oppervlaktebelasting heeft ook invloed op de mate van kortsluitstroming. Deze neemt toe bij hogere debieten en is daarnaast afhankelijk van de soort en staat van de vulling. Uit praktijkervaring kan worden opgemaakt dat bij belastingen hoger dan  $150 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  het risico van kanaalvorming in de biofilters toeneemt.

### Temperatuur

De biologische activiteit is afhankelijk van de temperatuur en is hoger naarmate de temperatuur toeneemt. In de literatuur worden behalve in referentie 2 geen temperatuurafhankelijke effecten beschreven; en de voorgestelde dimensioneringsgrondslagen zijn in Nederland algemeen toepasbaar. Bovendien is het gunstig dat de hoogste  $\text{H}_2\text{S}$ -emissies in het warmste deel van het jaar voorkomen.

Tabel 26: Voorstel voor de dimensioneringsgrondslagen van biofilters

	Parameter	Waarde literatuur	Waarde Nederlandse praktijk	Waarde onderzoek	Advies
$\text{H}_2\text{S}$ -belasting	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	< 5	< 5	2-50	Tot 50, afhankelijk van verloop in $\text{H}_2\text{S}$ -concentratie
Hoogte filterbed	M	0,5-1,5	1		1
Drukval	cm waterkolom	< 15		5-7	< 15
Oppervlaktebelasting	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	< 150	50-100	170-450	
Methylmercaptaan-belasting	$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	< 2,25			
Temperatuur	$^\circ\text{C}$	5-35		> 10	
Vochtigheid	%	40-70		75-86	Afhankelijk van materiaal gemiddeld ca. 75%
- pH	-	6-8		7,8	6-8

### Lavafilters

#### Keuze vulmateriaal

Voor lavafilters is de kwaliteit van het materiaal belangrijk (voor specificaties zie par.2.2.), waarbij gebruik wordt gemaakt van lagen materiaal van verschillende korrelgroottes.

### Hoogte van het filterbed en drukval

Om constructietechnische redenen worden filterbedhoogtes tot 5 meter toegepast. Een filterbedhoogte van meer dan 2 meter blijkt voldoende voor een goede werking op langere termijn.

### Oppervlaktebelasting

De meest gangbare ontwerpwaarde voor de oppervlaktebelasting is  $330 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . In praktijk blijken lavafilters met belastingen tot  $500 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  tevens goed te functioneren.

Tabel 27: Voorstel voor de dimensioneringsgrondslagen en kenmerken van lavafilters

Parameter	Eenheid	Waarde Literatuur	Waarde Nederlandse praktijk	Waarde Onderzoek 's- Hertogenbosch	Advies
H <sub>2</sub> S-belasting	g/(m <sup>2</sup> .h)	15	<90	<210	90-210, afhankelijk van patroon: bij vlakker patroon keuze hogere H <sub>2</sub> S-belasting
Specifieke H <sub>2</sub> S-verwijdering	% H <sub>2</sub> S-verwijderd/0,5 Mfilterhoogte	65		80-98	Afhankelijk van adaptatiegraad
Hoogte filterbed	M	0,5-5,0	2,5-3	2,7	Tot 3m
Drukval	cm waterkolom	< 5		3	<5
Oppervlaktebelasting	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)	< 500	Tot 500	Tot 565	<500
Temperatuur	°C	5-35		>10	In praktijk geen beperkende factor
Spoeldebiet	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h)	30		35-50	35-50
pH spoelwater	-	3-4		<2	>1 voor H <sub>2</sub> S-verwijdering

### *Biotricklingfilter*

Met biotricklingfilters is nog niet zo veel ervaring. In dit onderzoek is het biotricklingfilter niet als zodanig bedreven. Vooralsnog gelden vergelijkbare waarden als bij lavafilters. De drukval is bij biotricklingfilters lager. Als water/luchtverhouding kan op basis van een literatuurervaring 1:10 worden aangehouden.

### *Biowasser*

Biowassers zijn in de Nederlandse praktijk nog niet toegepast en zijn in het onderzoek in 's-Hertogenbosch evenmin onderzocht. Er is een Duitse richtlijn (VDI 3478) beschikbaar voor het ontwerp van biowassers in het algemeen; het literatuuronderzoek heeft echter geen referenties opgeleverd voor toepassingen bij rwzi's. Daarom kunnen voor biowassers geen ontwerprichtlijnen voor de toepassing bij rwzi's worden opgesteld. Om de toepasbaarheid bij rwzi's te kunnen beoordelen, zal aanvullend proefonderzoek moeten worden uitgevoerd.

### *Directe inblazing in de aëratietank*

Directe inblazing van geurrijke lucht in de aëratietank met bellenbeluchting lijkt een veelbelovende techniek. De praktijkervaringen daarmee zijn gunstig, hoewel meetgegevens over de afbraak en adsorptie van geurcomponenten ontbreken. Corrosie aan leidingen en blowers/compressoren blijkt in praktijk hanteerbaar. Belangrijke criteria zijn dat de minimum luchtbehoefte van de aëratietank overeen moet komen met de hoeveelheid te reinigen lucht en dat de blower/compressor die de geurrijke lucht verwerkt continu aan moet staan om condensatie van H<sub>2</sub>S-rijke damp te voorkomen.

## 6.2.1 *Systeemkeuze*

De resultaten van het praktijkonderzoek geven aan dat inzicht in de basis H<sub>2</sub>S-belasting en de pieken die daarin kunnen optreden belangrijke uitgangspunten vormen voor de

stelsysteemkeuze en dimensionering. Op grond van het onderzoek en gegevens uit literatuur zijn geen dimensioneringsgrondslagen te geven voor geurverwijdering. Onderstaand schema bevat een eerste aanzet voor een systeemkeuze. Tussen 'laag' en 'hoog' ligt uiteraard een grijs gebied waarin gekozen kan worden voor tussen minimum en maximum richtwaarden.

**Tabel 28: Systeemkeuze voor luchtbehandeling**

	Lage pieken	Hoge pieken
Lage basisbelasting Tot 50 ppm	Dimensionering op maximum uitgangswaarden  Toepassing biofilters of lava- filter met kunststofvulling	Toepassing niet-biologische luchtzuivering, of tweetraps systeem, inblazing in aëratietank
Hoge basisbelasting 100-200 ppm	Dimensionering op maximum uitgangswaarden  Voorkeur lavafilter/filter met kunststofvulling	Dimensionering op minimum uitgangswaarden  Voorkeur lavafilter/filter met kunststofvulling eventueel in combinatie met nageschakelde niet biologische techniek, inblazing in aëratietank

### 6.2.2 Filterkeuze

Tabel 29 bevat een afweging van de systemen onderling, op andere aspecten dan de zuiveringsprestatie.

**Tabel 29: Afweging van de verschillende filters onderling**

	Biofilters	Lavafilter	Filter met kunststofvulling
Bedrijfszekerheid	Risico op inklinking, verzuring	Hoog door robuuste vulling	Naar verwachting groot, nog weinig ervaring met mogelijk dichtgroeien materiaal
Onderhoud	Vergt regelmatige inspectie, beoordeling en aanvulling materiaal	Vergt nauwelijks onderhoud	Naar verwachting conform lavafilters
Keuze vulmateriaal	Bij voorkeur kokos	Volgens specificaties par. 2.2	Te weinig informatie
Standtijd materiaal	5-7 jaar	Minimaal 15 jaar	Nog onbekend maar naar verwachting minimaal 15 jaar
Kosten	Iets lagere investeringskosten t.o.v. andere filtertypen, maar hogere energiekosten en kosten voor storten en vervangen materiaal.  Keuze voor materiaal met lange standtijd werkt kostenverlagend	Lage jaarlijkse kosten door lange standtijd materiaal en lage onderhoudskosten	Momenteel nog hogere investeringskosten door hogere kosten vulmateriaal t.o.v. lava, echter sterk onderhevig aan marktontwikkelingen

Vooralsnog is in technische zin geen goed onderbouwde voorkeur uit te spreken voor lavafilters of filters met kunststof vulmateriaal. Hierin zal met name de kostenafweging doorslaggevend zijn.

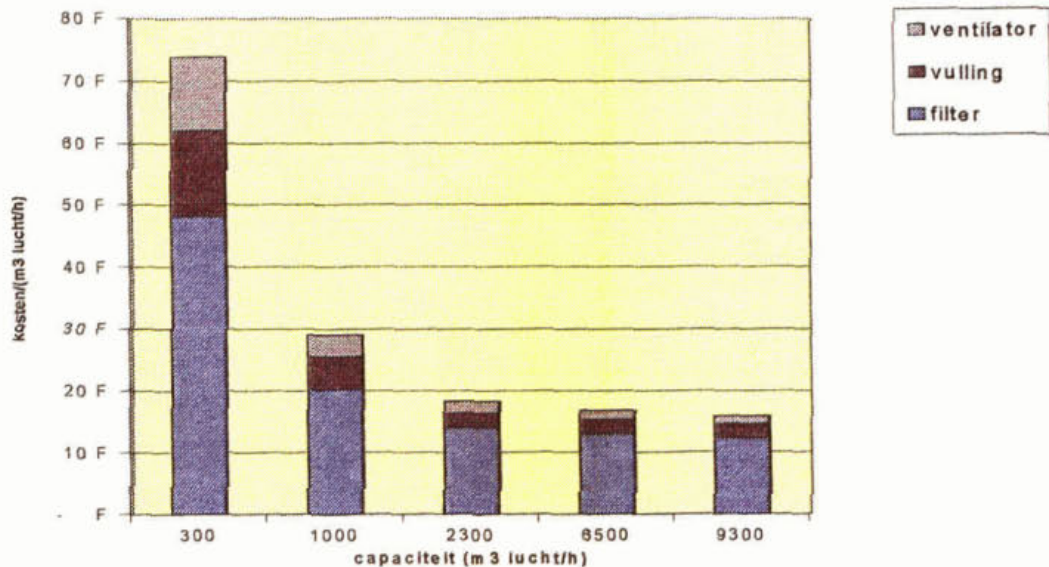
Ook de mogelijkheid van directe inblazing in de aëratietank eventueel na voorbehandeling in een lavafilter kan leiden tot een tweetraps systeem dat goed in staat is pieken in belasting op te vangen.

### 6.3 Kostenfactoren bij de keuzes voor biologische luchtzuivering

Naast een technologische afweging spelen in de systeemkeuze de kosten uiteraard een belangrijke rol. Hierin zijn de belangrijkste overwegingen de keuze voor centrale luchtzuivering (grotere eenheden, langere leidingen luchtaanvoer) of decentrale luchtzuivering (kleinere eenheden, kortere leidingen) en de jaarlijkse kosten voor het filtertype (afschrijving, vulmateriaal en eindverwerking ervan, onderhoud en energie)

#### Centrale of decentrale luchtzuivering

Bij centrale zuivering kan een kostenvoordeel behaald worden omdat de luchtzuiveringseenheden groter en dus goedkoper gerealiseerd kunnen worden. Daarbij speelt een rol dat onderhoud en beheer minder tijd vragen. Als voorbeeld is in figuur 29, op basis van leveranciersinformatie de relatie tussen capaciteit en prijs weergegeven. De figuur geeft aan dat voor lavafiltratie in het traject tot 2000 m<sup>3</sup>/h een significante kostenverlaging kan optreden bij keuze van grotere eenheden. Bij capaciteiten groter dan 2000 m<sup>3</sup>/h wordt het voordeel marginaal.



Figuur 24: Voorbeeld van de relatie tussen capaciteit en de investeringskosten per m<sup>3</sup> gezuiverde lucht/h voor lavafilters

Deze mogelijke kostenvoordelen bij meer gecentraliseerde luchtzuivering kunnen teniet worden gedaan door extra kosten voor leidingwerk. De lengte van het benodigde leidingwerk is sterk afhankelijk van de situatie. De diameter van de leidingen wordt vaak berekend uitgaande van een lichtsnelheid van 10 m/s. Voor de kosten voor leidingwerk kan als vuistregel worden aangenomen f 300,- /m<sup>2</sup> voor bovengrondse leidingen en f600,-/m<sup>2</sup> voor ondergrondse leidingen. De eenheid per m<sup>2</sup> is gebaseerd op omtrek (te berekenen uit de diameter) maal de lengte.

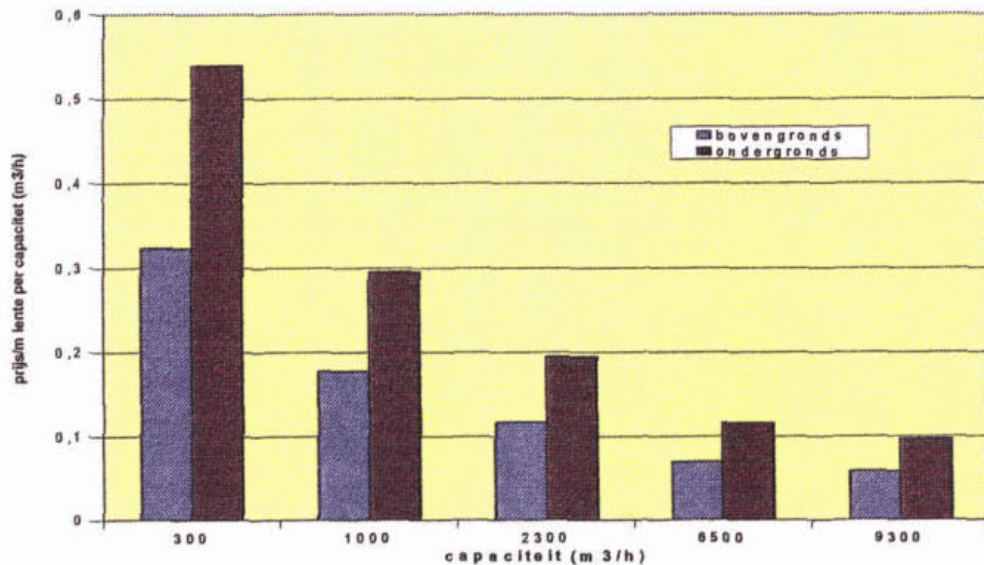
Figuur 25 geeft de kosten per m leidinglengte per eenheid capaciteit (m<sup>3</sup>/h) weer voor leidingen (y-as) ten opzichte van de totale luchttransportcapaciteit (x-as). Op deze wijze kunnen beide figuren aan elkaar gekoppeld worden.

Voorbeeld: er kan gekozen worden tussen vier decentrale luchtzuiveringseenheden van 250 m<sup>3</sup>/h (situatie A) of een centrale eenheid van 1000 m<sup>3</sup>/h (situatie B); de vraag is bij welke leidinglengte (bovengronds) komen de kosten voor beide situaties overeen.

**Tabel 30: Voorbeeld kostenafweging centraal/decentraal luchtzuiveren**

	Situatie A (4 decentrale eenheden)	Situatie B (1 centrale eenheid)
Kosten filter, ventilator, vulling per m <sup>3</sup> /h geïnstalleerde capaciteit (Figuur 24)	75	20
Kosten leidingwerk per lengte per m <sup>3</sup> /h benodigde capaciteit (Figuur 25)	0,35	
Leidinglengte bij gelijke kosten		$(75-20)/0,35 = 150$ m

Als de capaciteiten van de eenheden bij decentrale luchtzuivering groter zijn dan 2.000 m<sup>3</sup>/h dan vallen de te behalen kostenvoordelen bij centrale luchtzuivering in grotere eenheden weg. Op basis van deze methodiek kan een globale inschatting gemaakt worden van de voordelen van al dan niet centraliseren van de luchtzuivering.



**Figuur 25: Indicatie van de leidingwerkkosten (investeringen) als functie van de capaciteit**

#### Filtertype

De jaarlijkse kosten spelen een belangrijke rol bij de keuze van het filtertype. In de jaarlijkse kosten worden de in Tabel 31 genoemde posten onderscheiden:

**Tabel 31: Jaarlijkse kosten voor biologische luchtbehandeling**

Kostensoort	Onderverdeling	Opmerkingen
Afschrijvingen van de investeringen Excl. Vulling	Eventueel naar verschillende afschrijvingstermijnen	Investerings omrekenen vanuit de bouwkosten, bijvoorbeeld door vermenigvuldiging met een factor 1,6. Keuze afschrijvingssysteem (annuïteit, lineair)
Jaarlijkse kosten vulling	Aanschafkosten Stortkosten	Afschrijven met de standtijd als periode, waarbij bij de afschrijving er rekening mee houdt dat aanschafkosten aan het begin van de periode gelden en stortkosten aan het einde
Onderhoudskosten		Bijvoorbeeld op basis van aantal uren per jaar en kosten voor controle (analyses, tijdsbesteding technische dienst)
Energiekosten		o.b.v. draanuren en capaciteit ventilator, of meting ampèrage.

## 7 Literatuurreferenties

- [1] Vaith, K. e.a.  
Comparing scrubbing technologies. Packed towers, mist scrubbers and biofilters.  
Water Environment & Technology, june 1996
- [2] Brennan, B.M. e.a.  
Peat biofiltration as an odour control technology for sulphur based odours.  
J. CIWEM, 1996, 10, june
- [3] Frchetti, R.W. e.a.  
Biofilters for odor control  
Operations forum, april 1994
- [4] Allen, E.R. e.a.  
Biofiltration: an air pollution control technology for hydrogen sulfide emissions.  
Industrial Environmental Chemistry, Plenum Press, New York, 1992
- [5] Jager, R.A. e.a.  
Biofilter design and performance evaluation.  
Proceedings of the water environment federation 66<sup>th</sup> annual conference &  
exposition, Anaheim California USA, october 1993
- [6] Ontwerpgrondslagen van de Bioton van Clairtech
- [7] Hoogheemraadschap van West-Brabant/Plasticon  
Lavafilter-onderzoek rwzi Bath  
Onderzoeksrapportage, december 1998
- [8] Den Burger, J. e.a.  
Beperking van geurhinder door inzet van lavafilters  
H<sub>2</sub>O, 29, 1996, nr. 9
- [9] Ontwerpgegevens lavafilter rwzi Holten
- [10] Morton, R. and Caballero, R  
The biotrickling story  
Water Environment & Technology, june 1996
- [11] Kraakman, B., Oosting, B., Koers, B. and Tessel, P.  
H<sub>2</sub>S-removal using a new type of biotrickling filter  
Biological waste gas cleaning. Proceedings of an international symposium  
Maastricht, the Netherlands, 28-29 april 1997

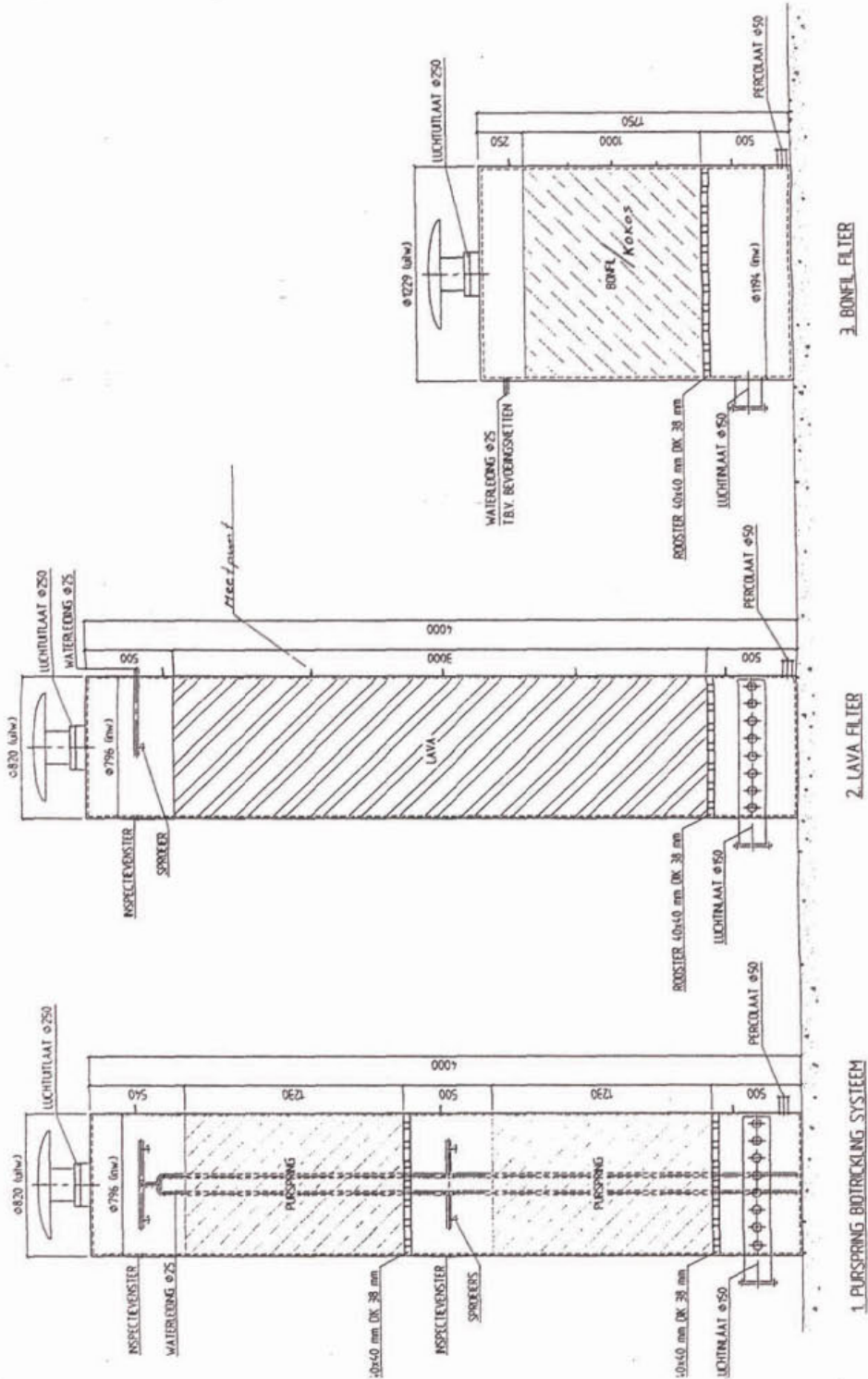
- [12] Hansen, N.G. and Rindel, K.  
Recent experience with biological scrubbers for air pollution control in Denmark  
Biotechniques for air pollution abatement and odour control policies, 1992 Elsevier  
Science Publishers BV
- [13] Ottengraf, S.P.P. and Oever, A.H.C. van den  
Kinetics of organic compound removal from waste gases with a biological filter  
Biotechnology and Bioengineering, vol XXV, 1983
- [14] Devinny, J.S., Medina, V.F., Hodge, D.S.  
Bench testing of fuel vapor treatment by biofiltration  
Proceeding van presentatie bij National Research and Development Conference on the  
control of hazardous materials
- [15] Devinny, J.S., Medina, V.F., Hodge, D.S.  
Behavior of biofilters for waste biotreatment. 1. Dynamic Model Development  
Environmental science & technology, vol. 29 no.4, 1995
- [16] Kirchner, K., Gossen, C.A., Rehm H.J.  
Purification of exhaust air containing organic pollutants in a trickle-bed bioreactor  
Appl. Microbiol. Biotechnol., 35, 1991
- [17] Diks, R.M.M.  
The removal of dichloromethane from waste gases in a filter met kunststofvulling  
Proefschrift TU Eindhoven, 1992
- [18] Ockeloen, H.F., Overcamp, T.J., Grady jr, C.P.L.  
Engineering model for fixed-film bioscrubbers  
Journal of environmental engineering, march 1996
- [19] Bowker, R.P.G.  
Activated sludge. Clearing the air on an overlooked odor control technique.  
Water Environment & Technology, february 1999
- [20] Verein Deutscher Ingenieure  
VDI 3477: Biologische Abgas-/Abluftreinigung. Biofilter  
December 1991
- [21] Verein Deutscher Ingenieure  
VDI 3478: Biologische Abgasreinigung. Biowäscher und Rieselbettreaktoren.  
July 1996
- [22] Speet, F.P.  
Geurfilters HDSR, een terugblik en nieuwe ontwikkelingen  
Neerslag 98/III
- [23] Valk, J.A.  
Evaluatie van biofiltermateriaal bij luchtbehandeling  
De Klaarmeester, 97-5-26
- [24] Bentvelsen, M.  
Stankbestrijding rwzi Nieuwe Waterweg  
De Klaarmeester, 94-4-3





# Bijlage I: beschrijving van de proefinstallatie

Figuur: Globale opzet van de filters



## Filtermaterialen

<b>vulmateriaal</b>	<b>Leverancier/samenstelling</b>
kokos	leverancier CVT Bioway 50 % v/v turf 50% kokosvezel, 15 tot 20 cm lang dichtheid 150 kg/m <sup>3</sup>
Boomschors/turf	leverancier Thiele te Deurne 10% gecomposteerd boomschors (tot 1 cm) 30 % gecomposteerd boomschors (tot 7 cm) 60 % vezelturf
Lavastenen	Leverancier fa. Rooks te Krimpen aan de IJssel type Porodur 0 – 200 mm filterbedhoogte, diameter 16 tot 32 mm 200 – 3.000 mm filterbedhoogte diameter 8 tot 16 mm
Kunststof vulling	leverancier CVT-Bioway dichtheid: 125 kg/m <sup>3</sup> spec. Oppervlak:: ca. 500 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

## luchttoevoer

Twee ventilatoren:

- Colasit CMV 200 RS (lavafilters + filter met kunststofvulling)
- Colasit CMV 160 RS (boomschors/turf + biofilter met kokos vulling)

Het debiet van de ventilatoren werd geregeld d.m.v. twee frequentieregelaars

- Siemens Micromaster MM37
- Siemens Micromaster MM25

Het luchtdebiet naar de afzonderlijke filters werd geregeld d.m.v. vlinderkleppen

- Colasit diameter 110 mm

## H<sub>2</sub>S-dosering

H<sub>2</sub>S-gas

2 maal 50 liter gascilinders H<sub>2</sub>S (99,8%), waarvan 1 reserve

leidingwerk

rvs 316 leidingen met een diameter van 6 x 1 mm

reducer

rvs reduceerventiel met spoelinrichting ConCoa type 422

flowmeters:

Elsag Bailey Hartman & Braun

glazen purgemeters

type 10A6132 M RVS 316 (0,74-7,4 N l/h)

type 10A6131 M RVS 316 (3 – 30 N l/h)

type 10A6131 M RVS 316 (29 – 290 N l/h)

beveiliging

twee magneetkleppen Asco, type A17 SCB 262 C86 ASC 302 020 T  
Sluiten de H<sub>2</sub>S toevoer bij een stroomstoring of bij oververhitting van de ventilatoren af.

inbreng

Het H<sub>2</sub>S werd aan de zuigzijde van de twee ventilatoren ingebracht. De ventilatoren zorgden voor een optimale menging van de twee luchtstromen.

sproeiwater  
 sproeiwater effluent van de rwzi, of oppervlaktewater uit de Dieze  
 sproeidebiet het sproeidebiet werd geregeld door middel van de sproeitijden;  
 tijdschakelaar Siemens, LOGO  
 debietmeting elk filter was voorzien van een waterstandmeter

percolatieafvoer

Het percolaat werd afgevoerd via een percolatievat (waterslot) en pvc-buizen (diameter 50 mm) naar het bedrijfsriool van de zuivering.

H<sub>2</sub>S-monitoring

bemonsteringslangen teflon 6,5 • 1 mm, PTFE  
 kleppenkast Envico, MPO S/N 181  
 sturingsprogramma Envico, EdasGTD  
 H<sub>2</sub>S-analysers Interscan, 1170 sp  
 pc IBM 386

D.m.v. een monsterpuntomschakelaar kan op 8 verschillende punten de H<sub>2</sub>S-concentratie gevolgd worden. De MPO leidt, afhankelijk van de ingestelde parameters, 1 van de 8 aangesloten bemonsteringspunten naar de H<sub>2</sub>S-analyser. Indien de concentratie lager is dan 100 ppm wordt de waarde opgeslagen in de pc. Bij een concentratie van 100 – 500 ppm wordt het monster doorgeschakeld naar de tweede H<sub>2</sub>S-analyser, waarna de waarde wordt opgeslagen in de pc.

De MPO wordt aangestuurd door het programma "EdasGTD"(ENVICO). Met dit programma kan ondermeer de meetvolgorde, de spoeltijden en de meettijden aangegeven worden. Het programma zorgt tevens voor de registratie en verwerking van de H<sub>2</sub>S-concentraties.

**Analyses en parameters**

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de frequentie en metingen (frequentie per week tenzij anders aangegeven: p.p. is per meetperiode)

Parameter	Ingaande lucht	Uitgaande lucht	Sproeiwater	Percolaat	Filtermateriaal biofilters	Filtermateriaal filter met kunststofvulling
H <sub>2</sub> S-concentratie Semi continu	5	5				
Luchtsnelheid	5					
Relatieve luchtvochtigheid (RV)	2-5					
Temperatuur	2-5					
Vochtgehalte					1 p.p	
- pH			2-5	2-5	1 p.p	
Geleidbaarheid			2-5	2-5		
[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]			1 p.p	1 p.p		
[H <sup>+</sup> ] (M-getal)			1 p.p.	1 p.p		
Statische druk					1 p.p.	1 p.p
Sproeivolume				5		

De H<sub>2</sub>S-concentraties zijn gemeten met twee H<sub>2</sub>S-analysers voorzien van een elektrochemische sensor. Voor de semi-continue metingen is gebruik gemaakt van een schakelkast, waarmee maximaal 8 meetpunten achtereenvolgens bemonsterd en gemeten kunnen worden. De sturing van de kast, waarbij spoeltijden en meettijden afzonderlijk ingesteld konden worden, vond plaats via een programma *edasgtd*. De duur van één meetcyclus was afhankelijk van de beginconcentratie en varieerde van 1 tot 2 uur. De oppervlaktebelastingen van de vier filters zijn bepaald aan de hand van luchtsnelheidsmetingen in de toevoerleidingen. Het luchtdebiet werd bepaald uit het product van de luchtsnelheid en het oppervlak van het leidingwerk.

De zuurgraad (pH) en het vochtgehalte van het filtermateriaal van de twee biofilters is iedere periode een maal bepaald op een diepte van ca. 25 cm.

Het percolaat is met twee methoden bemonsterd

- Steekmonsters van 1 liter (tot en met periode 2 van de twee biofilters en tot en met periode 3 van het lavafilter en filter met kunststofvulling)
- Daarna is het percolaat gedurende één sproeiperiode opgevangen, waaruit een mengmonster is genomen. Eén sproeiperiode is de sproeitijd plus de daarop volgende pauzetijd.

#### Oppervlaktebelasting

snelheidsmeting (v) Testo 452 met hittedraadsonde  
 Berekening Oppervlaktebelasting. =  $v \cdot A_{\text{leiding}} \cdot 3.600 / A_{\text{filter}} (\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$

#### H<sub>2</sub>S-concentratie

H<sub>2</sub>S-concentratie Interscan 1170 sp, sensor 117 PA (elektrochemisch)  
 meetfout ± 2% van de volle schaal  
 ± 2 ppm bij concentraties tot 100 ppm  
 ± 10 ppm bij concentraties tot 500 ppm  
 ijken De analysers zijn na iedere periode geijkt a.h.v. een ijkgas met 73

ppm H<sub>2</sub>S.

omrekening 1 ppm  $\equiv$  1,33 mg S/m<sup>3</sup> bij T=20°C en p=1.10<sup>5</sup> Pa

#### Relatieve luchtvochtigheid (RV) en temperatuur gas

RV + temperatuur Testo 452 met vochtigheid- en temperatuursonde (0636.9760)  
 meetpunt leidingwerk na de ventilatoren

#### Vochtgehalte en zuurgraad filtermateriaal

monstername op ca. 25 cm onder het oppervlak  
 analyse Centraal laboratorium GTD Oost-Brabant  
 pH; NEN 6411, 6616, 5750  
 d.s-gehalte; A100a

#### Drukval filtermateriaal

statische druk Testo 452 met druksonde  
 meetpunt luchttoevoerleiding voor het filter

#### Sproeidebiet (l.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>)

Volume waterstandmeters  
 berekening  $\frac{V_{t=1} - V_{t=0}}{t_1 \cdot A_{\text{filter}}}$

Samenstelling percolatie- en sproeiwater (pH, EC, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>], M-getal)

bemonstering 1 gedurende periode 1 en 2 van de twee biofilters en periode 1 t/m 3 van het lavafilter en filter met kunststofvulling: steekmonster van ca. 1 liter op willekeurig tijdstip

bemonstering 2 overige perioden: mengmonster van het percolaat van één sproeiperiode (gedurende sproeitijd plus pauzetijd)

Geleidbaarheid WTW, LF 95/SET  
veldmeting

pH Schott Geräte, pH meter CG 817  
veldmeting

M-getal Centraal laboratorium GTD, NPR 6546  
[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] Centraal laboratorium GTD, NEN6580

Omgevingstemperatuur

minimale en maximale temperatuur van de buitenlucht in de schaduw op 1 meter hoogte.

## **Bijlage II: Samenvatting meetgegevens praktijkonderzoek**

Tabel 1: Gemiddelde H2S-concentraties met bijbehorende oppervlaktebelasting en eliminatie aangevuld met handmetingen

**Compostfilter**

periode	belasting	meet periode		aantal metingen	H2S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )					Opp.-belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	Eliminatie (g S/m <sup>3</sup> filter . uur)				
					hoogte, h, in bed (m):						filtergedeelte (m):				
					h=0	h=0,25	h=0,5	h=0,75	h=1		0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	
1	6-jun-97	11-jun-97	gem	21	45 <sup>a</sup>	1	0	0	1	48	8	0			
	t/m	t/m	stds		3	1	0	0	1		1	0			
	14-jun-97	14-jun-97	max		51 <sup>b</sup>	3	1	0	3		10	1			
2	26-jun-97	1-jul-97	gem	37	118	52	24	25	0	48	13	5			
	t/m	t/m	stds		8	18	7	7	0		3	4	3		
	3-jul-97	3-jul-97	max		138	77	47	43	3		51	24	8		
3	16-feb-98	16-feb-98	gem	12	196	37	16	4	1	49	31	4	2	1	
	t/m	t/m	stds		24	27	17	10	1		6	7	4	2	2
	16-mrt-98	16-mrt-98	max		239	94	53	365	4		56	46	9	6	7
4	18-mrt-98	30-mrt-98	gem	87	72	9	6	2	4	102	26	1	2	-1	
	t/m	t/m	stds		11	2	1	1	2		2	5	1	1	1
	4-apr-98	4-apr-98	max		93	13	9	4	7		107	35	3	3	1
5	8-apr-98	20-apr-98	gem	7	140	21	11	1	1	101	49	3	4	0	
	t/m	t/m	stds		31	8	4	0	1		11	1	1	0	
	29-apr-98	29-apr-98	max		184	25	15	1	1		64	4	5	1	
6	25-mei-98	4-jun-98	gem	88	179	54	27	6	1	96, 90	47	10	8	2	
	t/m	t/m	stds		35	22	11	4	3		10	6	3	1	
	10-jun-98	10-jun-98	max		220	85	47	15	11		66	25	12	4	
7	12-jun-98	23-jun-98	gem	69	74	10	4	1	2	141	35	3	2	0	
	t/m	t/m	stds		7	1	0	1	1		20	2	1	1	0
	27-jun-98	27-jun-98	max		83	11	5	5	3		155	37	3	3	1
8	29-jun-98	17-jul-98	gem	36	120	20	10	0	0	155	56	6	5	0	
	t/m	t/m	stds		9	8	3	0	0		20	5	3	2	0
	22-jul-98	22-jul-98	max		140	29	15	0	0		169	67	9	8	0
9	22-jul-98	27-jul-98	gem	11	219	112	43	0	0	161	69	43	27	0	
	t/m	t/m	stds		12	31	17	0	0		8	16	8	10	0
	4-aug-98	4-aug-98	max		234	142	65	0	0		169	111	49	40	0



Tabel 2: Gemiddelde H2S-concentraties met bijbehorende oppervlaktebelasting en eliminatie aangevuld met handmetingen

**Kokosfilter**

periode	belasting		meet periode	aantal metingen	H2S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )					Opp.-belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	Eliminatie (g S/m <sup>3</sup> filter . uur)				
					hoogte, h, in bed (m):						filtergedeelte (m):				
					h=0	h=0,25	h=0,5	h=0,75	h=1		0-0,25	0,25-0,5	0,5-0,75	0,75-1	
1	6-jun-97	11-jun-97	gem	21	45	15	0	0	0	48	6	3			
	t/m	t/m	stds		3	1	1	0	0		0	0	0		
	14-jun-97	14-jun-97	max		51	17	1	0	0		6	3			
2	26-jun-97	1-jul-97	gem	37	118	42	11	0	0	48	15	6			
	t/m	t/m	stds		8	6	2	1	0		3	2	1		
	3-jul-97	3-jul-97	max		138	51	15	3	0		51	18	8		
3	16-feb-98	16-feb-98	gem	12	196	20	11	2	1	47	32	2	2	0	
	t/m	t/m	stds		24	27	14	3	1		5	7	3	2	1
	16-mrt-98	16-mrt-98	max		239	93	53	12	3		53	43	9	9	2
4	18-mrt-98	30-mrt-98	gem	87	72	0	0		0	102	29	0		0	
	t/m	t/m	stds		11	1	0		0		5	4	0,2		0,1
	4-apr-98	4-apr-98	max		93	3	1		1		107	39	1		0
5	8-apr-98	20-apr-98	gem	7	140	1	1		1	96	53	0		0	
	t/m	t/m	stds		31	1	1		1		12	0		0	
	29-apr-98	29-apr-98	max		184	1	1		1		70	0		0	
6	25-mei-98	4-jun-98	gem	88	179	11	8		0*	87,76	56	1		1	
	t/m	t/m	stds		35	5	5				10	1		0,8	
	10-jun-98	10-jun-98	max		219,5	21	17				71	4		3	
7	12-jun-98	23-jun-98	gem	69	74	0	0		0*	169	50	0,3		0	
	t/m	t/m	stds		7	1	1				5	0,4		0	
	27-jun-98	27-jun-98	max		82	1	1				56	0,9		0	
8	29-jun-98	17-jul-98	gem	36	120	2	4		0*	169	80	-1		0	
	t/m	t/m	stds		6	1	1				6,12	0,8		0,3	
	22-jul-98	22-jul-98	max		140	5	5				93	1		1	
9	22-jul-98	27-jul-98	gem	11	219	13	6		0*	161	129	4		0	
	t/m	t/m	stds		12	7	4				8	5	2	1	
	4-aug-98	7-aug-98	max		234	21	9				169	139	7	1	

\* op basis van handmetingen

Tabel 3: Gemiddelde H2S-concentraties met bijbehorende oppervlaktebelasting en eliminatie aangevuld met handmetingen

Lava-filter

periode	belasting	meet periode		aantal metingen	H2S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )					Opp.-belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	EC (g S/m <sup>3</sup> filter . uur)				
					hoogte, h, in bed (m):						filtergedeelte (m):	0-0,75	0,75-1,5	1,5-2,25	2,25-3
					h=0,0	h=0,75	h=1,5	h=2,25	h=3,0						
1	17-apr-97	21-mei-97	gem	31	78	8	0	0	0	228	21	2	0	0	
	t/m	t/m	stds		18	5	0	0	0		6	4	1	0	0
	23-mei-97	23-mei-97	max		104	16	0	0	0		234	27	5	0	0
2	23-mei-97	20-jun-97	gem	37	120	22	0	0	0	245	30	7	0	0	
	t/m	t/m	stds		10	11	0	0	0		14	5	4	0	0
	25-jun-97	25-jun-97	max		138	51	0	0	0		264	41	15	0	0
3	27-jun-97	18-jul-97	gem	15	336	51	3	0	0	228/234	84	14	1	0	
	t/m	t/m	stds		40	16	6	0	0		14	5	2	0	
	23-jul-97	23-jul-97	max		391	84	23	0	0		100	25	7	0	
4	23-jul-97	30-jul-97	gem	80	72	0	0	0	0	360	33	0	0	0	
	t/m	t/m	stds		6	0	0	0	0		3	0	0	0	
	3-aug-97	3-aug-97	max		80	0	0	0	0		37	0	0	0	
5	10-jul-98	13-jul-98	gem	24	134	0	0	0	1	381	68	0	0	-1	
	t/m	t/m	stds		15	2	1	1	1		8	0,6	0,4	0,5	
	17-jul-98	17-jul-98	max		152	8	3	1	3		77	3	1	0	
6	26-feb-98	5-mei-98	gem	22	231	64	48	0	0	349	77	7	23	0	
	t/m	t/m	stds		37	50	39	0	0		7	24	19	18	0
	7-mei-98	7-mei-98	max		366	137	138	0	0		357	113	64	66	0
7	7-mei-98	7-mei-98	gem	27	77	7	3	1	1	513	48	3	1	0	
	t/m	t/m	max		12	5	2	1	1		6	6	3	0,9	0,9
	11-mei-98	11-mei-98	stds		92	15	5	3	3		522	55	8	3	0
8	12-mei-98	14-mei-98	gem	72	150	32	21	1	2	529	82	8	13	0	
	t/m	t/m	stds		30	17	16	2	2		39	15	7	11	1
	25-mei-98	25-mei-98	max		246	89	81	12	8		630	139	24	49	8
9	4-jun-98	3-jul-98	gem		376	40	26	3	9	531	131	10	16	-4	
	t/m	t/m	stds		20	33	19	2	6		36	33	24	13	4
	9-jul-98	9-jul-98	max		410	100	82	9	17		573	272	50	54	5

Tabel 4: Gemiddelde H2S-concentraties met bijbehorende oppervlaktebelasting en eliminatie aangevuld met handmetingen

Purspring-filter

periode	belasting	meetperiode		aantal metingen	H2S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )			Opp-belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	EC (g S/m <sup>3</sup> filter . uur)	
					hoogte, h, in bed (m):				filtergedeelte (m):	
				n	h=0,0	h=1,23	h=2,46	0-1,23	1,3-2,46	
1	17-apr-97	21-mei-97	gem	30	78	22	0	300	11	4
	t/m	t/m	stds		19	9	0	4	2	2
	23-mei-97	23-mei-97	max		104	47	1	305	17	9
2	23-mei-97	20-jun-97	gem	37	120	44	1	245	15	9
	t/m	t/m	stds		10	19	1	19	5	4
	25-jun-97	25-jun-97	max		138	76	5	273	27	15
3	27-jun-97	21-jul-97	gem	10	346	82	0	236	51	16
	t/m	t/m	stds		32	12	0		5	2
	23-jul-97	23-jul-97	max		391	109	0		57	21
4	23-jul-97	30-jul-97	gem	82	70	12	0	342	16	3
	t/m	t/m	stds		7	3	0		2	1
	3-aug-97	03-aug-97	max		80	17	0		18	5
5	10-jul-98	13-jul-98	gem		134	6	0	381	39	2
	t/m	t/m	stds		15	5	1		4	1
	17-jul-98	17-jul-98	max		152	19	1		45	5
6	26-feb-98	05-mei-98	gem	21	232	51	15	366	52	11
	t/m	t/m	stds		37	38	15	37	13	10
	7-mei-98	07-mei-98	max		366	138	41	408	95	33
7	7-mei-98	07-mei-98	gem	27	77	23	1	544	23	9
	t/m	t/m	stds		12	9	1	6	4	4
	11-mei-98	11-mei-98	max		92	37	3	554	29	15
8	12-mei-98	14-mei-98	gem	72	150	59	2	565	40	26
	t/m	t/m	stds		19	22	2	52	9	11
	25-mei-98	25-mei-98	max		200	121	9	654	65	58
9	4-jun-98	03-jul-98	gem	41	376	165	5	531	89	65
	t/m	t/m	stds		20	29	2	37	11	19
	9-jul-98	09-jul-98	max		410	190	8	573	132	77

Piekbelastingen

Compostfilter

Kokosfilter

periode	datum		Opp.- belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )					Opp.- belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )				
				hoogte, h, in bed (m):						hoogte, h, in bed (m):				
				h=0	h=0,25	h=0,5	h=0,75	h=1		h=0	h=0,25	h=0,5	h=0,75	h=1
5	29-apr	begin	85	372	49	37	4	1	85	372	1	0	0	0
		eind		333	47	0	0	0		333	0	0	0	0
6	10-jun	begin	91	519	299	219	146	129	85	519	166	213	59	84
		eind		512	180	166	133	101		512	153	93	57	61
7	29-jun	begin	148	492	166	112	40	53	170	492	90	109	9	24
		eind		459	160	100	33	52		459	77	106	23	20
8	22-jul	begin	156	419	200	106	16	8	156	419	31	21	1	7
		eind		459	239	126	40	24		459	47	27	3	9
9	4-aug	begin	170	359	120	53	0	0	170	359	0	0	0	0
		eind		366	153	64	0	0		366	1	1	0	0

Lava-filter

Purspring-filter

periode	datum		Opp.- belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )					Opp.- belasting (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)	H <sub>2</sub> S-concentratie (mg S/m <sup>3</sup> )		
				hoogte, h, in bed (m):						hoogte, h, in bed (m):		
				h=0	h=0,75	h=1,5	h=2,25	h=3		h=0	h=1,23	h=2,46
2	27-jun-97	begin	236	505	293	140	114	84	243	505	306	146
		eind		512	299	153	120	104		512	319	166
3	23-jul-97	begin	217	519	133	13	5	0	217	519	200	13
		eind		0	0	0	0	0		0	0	0
5	17-jul-98	begin	351	519	0	0	0	0	383	519	44	0
		eind		519	1	0	0	0		519	52	0
6	6-mei-98	begin	358	532	100	166	13	11	409	532	306	9
		eind		519	104	233	3	3		519	259	3
8	20-mei-98	begin	530	512	193	180	120	126	568	512	233	37
		eind		532	166	140	69	68		532	259	25

### Bijlage III: Verloop elektrische geleidbaarheid en pH in het percolaat van de onderzochte filters

