

1983-04_verwijdering-zwevende-stof-snefiltratie

stora

Verwijdering van zwevende stof uit effluent

2. Snefiltratie en microzeving
(praktijkproeven)



postbus 414, 2280 AK rijswijk
sir winston churchill-laan 273

☎ 070 - 980.287

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Verwijdering van zwevende stof uit effluent

2. Snelfiltratie en microzeving (praktijkproeven)

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht
kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

	Inhoud	I
	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1 - 2
2	INLEIDING	3
3	DOELSTELLING	4
4	LOCATIE VOOR DE EXPERIMENTEN	5 - 6
4.1	Algemeen	5
4.2	Beschrijving rioolwaterzuiveringsinrichting "Leiden Zuid-West"	5
4.3	Beschrijving van het effluent	5 - 6
5	SNELFILTRATIE	7 - 31
5.1	Proefinstallatie	7 - 9
5.1.1	<i>uitgangspunten bij het ontwerp</i>	7
5.1.2	<i>beschrijving van de proefinstallatie</i>	7 - 9
5.2	Opzet van de experimenten	9 - 10
5.3	Uitgevoerde metingen	10 - 12
5.4	Resultaten en discussie filtratie-experimenten	12 - 30
5.4.1	<i>zwevendestofverwijdering</i>	12 - 17
5.4.2	<i>de drukval over het filterbed</i>	17 - 21
5.4.3	<i>neveneffecten van de zwevendestofverwijdering</i>	21 - 28
5.4.4	<i>overige kwaliteitsparameters</i>	29
5.4.5	<i>de effectiviteit van het spoelproces</i>	29 - 30
5.5	Samenvatting en conclusies filtratie-experimenten	30 - 31
6	MICROZEVIING	32 - 38
6.1	Beschrijving van de proefinstallatie	32
6.2	Opzet van de experimenten	32 - 33
6.3	Uitgevoerde metingen	33
6.4	Resultaten microzeving	33 - 36
6.4.1	<i>zwevendestofverwijdering</i>	33 - 36
6.4.2	<i>neveneffecten van zwevendestofverwijdering</i>	36
6.5	Samenvatting en conclusies microzeving	36 - 38
7	LITERATUUR	39

Ten geleide

De restverontreiniging van gezuiverd afvalwater is gedeeltelijk gebonden aan zwevende stoffen in het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Op basis van een eerder uitgevoerde literatuurstudie zijn - als de meest in aanmerking komende technieken - snelfiltratie en microzeving op semi-technische schaal onderzocht.

De vrij hoge verwijderingspercentages (70 - 90%) die de literatuur voor beide technieken aangeeft, worden voor het onderzochte effluent lang niet gehaald. Het effect van zwevendestofverwijdering op de afname van CZV en zwaremetalengehalten van het effluent is eveneens beneden verwachting. Het laat zich aanzien dat de te bereiken resultaten in sterke mate afhangen van de deeltjesgrootteverdeling van de zwevende stof.

Het project werd door het algemeen bestuur van de STORA, op voorstel van de Onderzoekadviescommissie* opgedragen aan het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V.

Het werd namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit: ir. B.A. Heide (voorzitter), ir. A.H. Dirkzwager, ir. R.E.M. van Oers en ir. T.W.M. Wouda.

De experimenten werden met hulp van het hoogheemraadschap van Rijnland op de rwzi "Leiden Zuid-West" uitgevoerd en mede daardoor mogelijk gemaakt.

Rijswijk, maart 1983.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

* De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S. Kuyper, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. M. Tiessens, drs. A.A. Wismeijer (leden).

1. SAMENVATTING

De verwijdering van zwevende stof uit effluent door snelfiltratie en microzeving is experimenteel onderzocht met proefinstallaties, opgesteld op de rwzi "Leiden Zuid-West" (periode november 1979 - november 1980). De "klassieke" wijze van snelfiltratie werd bestudeerd in een zoveel mogelijk continu bedreven filter, gevuld met zand ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) bij een constante filtratiesnelheid van $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Daarnaast is bij filtratiesnelheden tussen 5 en $20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ het effect van dubbellaagssnelfiltratie nagegaan voor vullingen van anthrite ($d = 1,6 - 2,5 \text{ mm}$) en zand ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$); met het oog op een mogelijk hogere effectiviteit is een fijnkorreliger vulling onderzocht, bestaande uit hydroanthraciet ($d = 0,6 - 1,6 \text{ mm}$) en zand ($d = 0,5 - 0,8 \text{ mm}$).

De microzeefexperimenten zijn zoveel mogelijk in continu bedrijf uitgevoerd, voor het merendeel met gaas, maaswijdte $25 \mu\text{m}$. Om eventuele efficiencyverbetering na te gaan is in enkele proeven gaas met maaswijdte $13 \mu\text{m}$ onderzocht.

Behalve aan de effectiviteit van de zwevendestofverwijdering is aandacht geschonken aan de spoelprocedures, spoelfrequentie en het optreden van (blijvende) vervuiling. Daarnaast is nog onderzoek uitgevoerd naar de verlaging van BZV, CZV, N-Kjeldahl, P-totaal en het gehalte van de metalen Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Ag en Zn, als neveneffect van snelfiltratie en microzeving.

Als belangrijkste resultaten, die mede bepaald worden door de aard van het gebruikte effluent, heeft het onderzoek het volgende opgeleverd:

- Filtratatie over een zandfilter ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) en een anthrite/zandfilter ($d = 1,6 - 2,5 \text{ mm}/0,8 - 1,2 \text{ mm}$) leverde gemiddeld 60 respectievelijk 56% zwevendestofverwijdering bij een gemiddeld niveau van 17 mg/l . Voor hetzelfde effluent werd met een microzeef (maaswijdte $25 \mu\text{m}$) een verwijderingspercentage van gemiddeld 21% bereikt. Deze resultaten blijven duidelijk achter bij de waarden uit de literatuur, waar voor snelfiltratie 70 - 90% en voor microzeving 50 tot 80% worden genoemd. De oorzaak voor deze verschillen is waarschijnlijk de deeltjesgrootteverdeling van het betreffende zwevende stof, met relatief veel kleine deeltjes.
- Dubbellaagsfiltratie met fijner materiaal - hydroanthraciet ($d = 0,6 - 1,6 \text{ mm}$) en zand ($d = 0,5 - 0,8 \text{ mm}$) - gaf een vergelijkbaar resultaat met een gemiddeld verwijderingspercentage van 55%. Met fijner gaas ($13 \mu\text{m}$) op de microzeef werd gemiddeld 33% zwevende stof verwijderd.
- Bij de snelfiltratie is geen duidelijk verband geconstateerd tussen het zwevendestofgehalte en het verwijderingspercentage. Bij microzeving is de tendens waarneembaar van toenemende verwijderingspercentages bij hogere zwevendestofgehalten.
- Met een dubbellaagsfilter (anthrite $d = 1,6 - 2,5 \text{ mm}$; zand $d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) worden bij filtratiesnelheden van $10 - 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ dezelfde looptijden verkregen als bij filtratie met $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ over zand ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$). Er is hierbij nauwelijks verschil in verwijderingspercentage geconstateerd voor enkel- en dubbellaagsfilter.

- Snelfilters en microzeven hebben technisch zonder problemen gefunctioneerd. Filtermaterialen en gazen waren na 1 jaar gebruik nog in goede conditie, zodat de gevolgde spoelprocedures goed voldaan hebben.
- Het zuurstofverbruik tijdens de filtratie over zand en dubbellaagsfilter was doorgaans aanzienlijk als gevolg van biologische activiteit in het filter. Het resterende zuurstofgehalte in het effluent was dan ook gering (0 - 2 mg/l). Het zuurstofverbruik vindt nageenoege geheel plaats in het bovenste deel van het filter.
Bij de microzeef-experimenten is geen zuurstofverbruik gemeten, aangezien door de zeer korte verblijftijd van water en slib nauwelijks enig zuurstofverbruik kan optreden.
- De CZV-afname bedroeg zowel voor filtratie over zand ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) als voor dubbellaagsfiltratie 15%, en voor microzeving met maaswijdte $25 \text{ }\mu\text{m}$ 2%. Deze resultaten zijn duidelijk lager dan de waarde van 30% die in de literatuur wordt vermeld. De oorzaak hiervan is vermoedelijk dezelfde als die voor het betrekkelijk geringe percentage zwevendestofverwijdering.
- De verlaging van het N-Kjeldahl- en P-totaalgehalte was voor de onderzochte filtratievormen verwaarloosbaar. Dit is in overeenstemming met de aanname dat de N- en P-gehalten van zwevende stof in effluent van rwzi's gering zijn.
- De verwijderingspercentages van de beschouwde zware metalen vertonen zodanig sterke onderlinge verschillen, dat hieruit geen conclusies getrokken kunnen worden. Uit metingen van het gehalte aan metalen voor en na membraanfiltratie ($0,45 \text{ }\mu\text{m}$) blijkt dat deze metalen voornamelijk in opgeloste en/of colloïdale vorm aanwezig zijn, zodat geen belangrijk effect van snelfiltratie en microzeving te verwachten is.

Een belangrijke bijdrage aan de verontreiniging van oppervlaktewater wordt geleverd door de lozing van niet of slechts gedeeltelijk gezuiverd afvalwater van zowel huishoudelijke als industriële aard. Met name in de afgelopen tien jaar is er naar gestreefd de kwaliteit van het oppervlaktewater niet verder nadelig te beïnvloeden en te verbeteren.

Om de invloed van lozingen te verkleinen, is het aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen de laatste jaren sterk toegenomen, terwijl bovendien de totale hoeveelheid afvalwater, die gezuiverd wordt, in nog sterkere mate toenam.

Naast het bouwen van nieuwe zuiveringsinrichtingen staat ook het verbeteren van het zuiveringseffect van bestaande inrichtingen sterk in de belangstelling. Met name het onderzoek naar tertiaire zuiveringsmethoden, zoals b.v. defosfatering, is de laatste jaren sterk geïntensiveerd.

Ook de studie naar zuiveringstechnieken, gericht op het verlagen van het zwevendestofgehalte in het effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen, heeft vooral in Groot-Brittannië en West-Duitsland aandacht gekregen. De reden voor dit soort onderzoek komt voort uit het feit, dat zwevende stof voor een niet onbelangrijk deel bijdraagt aan de belangrijkste parameters, die het verontreinigend karakter van een bepaald type effluent beschrijven. In dat verband kan gedacht worden aan het Biochemisch Zuurstofverbruik (BZV), het Chemisch Zuurstofverbruik (CZV), het stikstof- en fosfaatgehalte, het gehalte aan zware metalen en de aanwezigheid van gesuspendeerde stoffen op zich. Deze laatste zijn, als troebelheid veroorzakende verontreinigingen, uit esthetisch oogpunt ongewenst. Stikstof- en fosforverbindingen leiden tot eutrofiëring, terwijl het BZV en CZV een indruk geven van het zuurstofonttrekkend vermogen van het effluent.

Indien verlaging van het zwevendestofgehalte tevens zou resulteren in een vermindering van bovengenoemde verontreinigingen en de daartoe vereiste zuiveringsprocessen op technisch/economisch verantwoorde wijze aan de bestaande of nieuw te installeren zuiveringsinrichtingen kunnen worden toegevoegd, kan dit een mogelijkheid zijn om aan (eventueel aangescherpte) kwaliteitseisen te kunnen blijven voldoen.

Eerder is reeds een literatuuroverzicht opgesteld, waarin de voor zwevendestofverwijdering in aanmerking komende processen worden toegelicht¹.

Hoewel er in principe een groot aantal processen mogelijk is voor verwijdering van zwevende stof, is uit deze literatuurstudie gebleken, dat snelfiltratie en microzeving in het algemeen de meest in aanmerking komende processen zijn.

In dit rapport worden, als vervolg op de literatuurstudie, experimenten beschreven met snelfiltratie en microzeving. De resultaten worden vergeleken met die, welke in Engeland en Duitsland op zowel semi-technische als op praktijkschaal zijn verkregen.

3 DOELSTELLING

Gebleken is¹ dat het snelfiltratie-proces en microzeving voor verwijdering van zwevende stof het meest algemeen toepasbaar zijn en het zinvol lijkt met deze technieken experimenten op semi-technische schaal uit te voeren. Deze experimenten moeten inzicht verschaffen in de volgende aspecten:

- de effectiviteit van snelfiltratie en microzeving met betrekking tot de verwijdering van zwevende stof;
- de beperkingen van deze technieken voor wat betreft het zwevendestofgehalte in het te behandelen effluent;
- de neveneffecten, die optreden bij verlaging van het zwevendestofgehalte zoals verlaging van het BZV en CZV, van het gehalte aan N- en P-verbindingen, alsmede van de concentratie aan zware metalen.

Hierdoor is een proefinstallatie ontworpen, die geplaatst is op het terrein van de rioolwaterzuiveringsinrichting "Leiden Zuid-West" van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

Om eventuele invloeden van de verschillende jaargetijden op te kunnen merken, zijn de experimenten gedurende een geheel jaar uitgevoerd. Ook uit proces-technisch oogpunt wordt een periode van tenminste één jaar wenselijk geacht.

4 LOCATIE VOOR DE EXPERIMENTEN

4.1 Algemeen

Ten aanzien van de plaats voor het uitvoeren van de experimenten is een viertal criteria opgesteld waaraan de rioolwaterzuiveringsinrichting of het effluent daarvan, moest voldoen:

- het te zuiveren afvalwater moet min of meer representatief zijn voor andere inrichtingen (b.v. geen overmatige hoeveelheid stoffen, die van één specifieke industrie afkomstig zijn);
- de zuiveringsinrichting moet niet overbelast zijn (zowel qua slib- als hydraulische belasting);
- het zwevendestofgehalte moet een redelijk constante waarde hebben: gemiddeld lager dan 50 mg/l, zoals bij een goed functionerende nabezinktank²;
- piekbelastingen, zoals bijvoorbeeld bij licht slib, moeten niet frequent voorkomen, aangezien deze door het snelfilter en de microzeef niet of moeilijk verwerkt kunnen worden.

In overleg met het Hoogheemraadschap van Rijnland is de proefinstallatie opgesteld op de rioolwaterzuiveringsinrichting "Leiden Zuid-West". In de nu volgende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van deze rioolwaterzuiveringsinrichting en van de kwaliteit van haar effluent.

4.2 Beschrijving rioolwaterzuiveringsinrichting "Leiden Zuid-West"

De rioolwaterzuiveringsinrichting "Leiden Zuid-West" is sinds 1970 in bedrijf en ontworpen voor de behandeling van 16.000 m³ afvalwater per dag overeenkomend met circa 75.000 inwonerequivalenten. Onder de huidige omstandigheden wordt de inrichting nagenoeg volledig belast.

De zuivering vindt plaats met behulp van het actief-slibproces (circa 40 i.e./m³), waarbij de zuurstofvoorziening met borstelbeluchters wordt gerealiseerd. De inrichting is uitgerust met twee cirkelvormige voorbezinktanks, die in serie worden doorstroomd met een voorbeluchting tussen beide tanks.

De nabezinking vindt plaats in zes parallel doorstroomde rechthoekige bassins (lengte 60m; breedte 12m; diepte 2m).

Fig. 1 geeft een overzicht van de rwzi en de plaats waar de proefinstallatie is gebouwd.

4.3 Beschrijving van het effluent

Om een indruk te geven van de gemiddelde kwaliteit van het effluent van de rwzi "Leiden Zuid-West" is in tabel 1 een aantal kwaliteitsparameters vermeld met de jaargemiddelden daarvan voor de jaren 1977 en 1978.

In de laatste kolom is tevens de gemiddelde kwaliteit van het effluent aangegeven gedurende de periode (1 september 1979 t/m 1 oktober 1980).

De waarden in deze tabel zijn ontleend aan gegevens, die door de afdeling Chemie en Technologie van het Hoogheemraadschap van Rijnland ter beschikking zijn gesteld.

Uit deze gegevens blijkt, dat het zwevendestofgehalte gemiddeld 17 mg/l bedroeg tijdens de onderzoeksperiode. De waarden lagen tussen 7 en 44 mg/l.

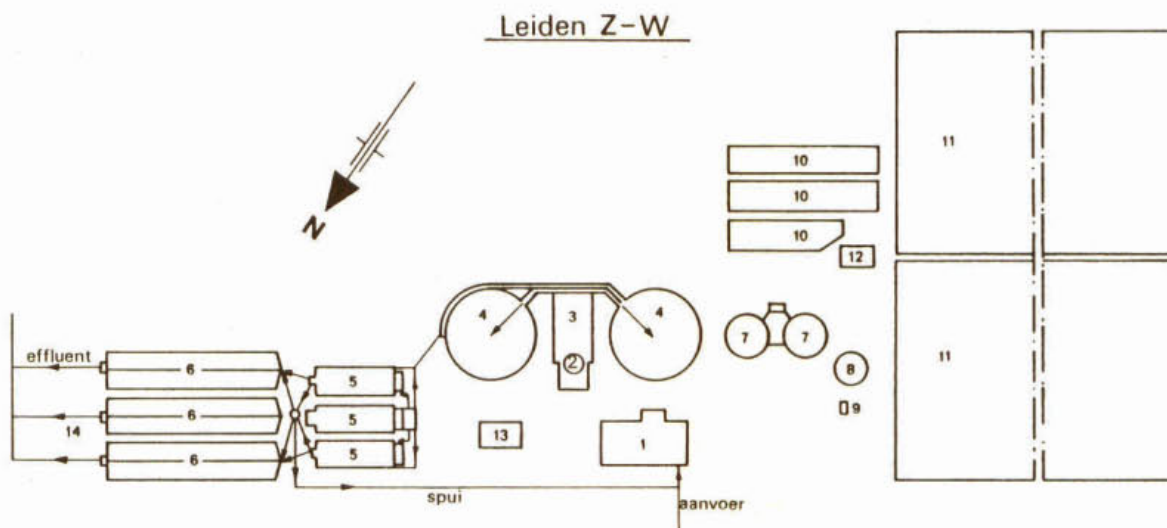


Fig. 1. Schema rioolwaterzuiveringsinrichting "Leiden Zuid-West"

- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. bedrijfsgebouw | 8. gashouder |
| 2. zandvang | 9. gaszuiveringskist |
| 3. voorbeluchtingstank | 10. slijkindikput |
| 4. voorbezinktank | 11. slijkdroogbedden |
| 5. aëratietank | 12. bergplaats |
| 6. nabezinktank | 13. laboratorium |
| 7. slijkgistingstank | 14. proefinstallatie |

kwaliteits- parameter	eenheid	1977	1978	1- 9-1979 t/m 1-10-1980
Zwevende stof	mg/l	15	15	17
BZV 20/5	" O ₂	31	43	43
CZV	" O ₂	73	82	95
N-Kjeldahl	" N	30	32	29
P-totaal	" P	7	10	9

Tabel 1. Gemiddelde kwaliteit van het effluent van de rwzi "Leiden Zuid-West"

5 SNELFILTRATIE

5.1 Proefinstallatie

5.1.1 *uitgangspunten bij het ontwerp*

Bij het ontwerpen van de proefinstallatie voor snelfiltratie dienden de volgende algemene uitgangspunten:

- de installatie moet continu in bedrijf kunnen blijven, zonder grote investeringen voor automatisering;
- om veranderingen in de kwaliteit van het effluent van de rwzi te kunnen vaststellen, die een invloed zouden kunnen hebben op de zwevendestofverwijdering, is één filter steeds onder dezelfde condities bedreven.

Verder zijn bij het ontwerp van de snelfiltratie-installatie de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de filtratie moet bij constante filtratiesnelheid verlopen, dus met toenemende drukval over het filterbed;
- de filtratiesnelheid moet kunnen worden ingesteld op waarden tussen minimaal 5 en maximaal 20 m/h;
- de korrelgrootte van het filtermateriaal moet zodanig worden gekozen, dat acceptabele filtratieperioden worden verkregen (bij voorkeur van minimaal 24 uur);
- het spoelen van het filterbed moet zowel met lucht als met water kunnen worden uitgevoerd. De maximale spoelsnelheden voor lucht en water moeten op respectievelijk circa 100 en 60 m/h ingesteld kunnen worden.

5.1.2 *beschrijving van de proefinstallatie*

Rekening houdend met voornoemde criteria en de mogelijkheden, die op de rwzi "Leiden Zuid-West" aanwezig waren, is een filtratieinstallatie gebouwd volgens het in figuur 2 gegeven stroomschema. De installatie bestaat uit twee gesloten filterkolommen (1), (diameter 0,60 m; hoogte circa 2,5 m), die aan de onderzijde zijn voorzien van een verdeelnet voor spoelwater en spoellucht (fig. 3).

Het effluent van de rwzi wordt aangevoerd door middel van een zelfaanzuigende centrifugaalpomp (2) en wordt via een regelafsluiter (4) en rotameter (3), waarmee het gewenste debiet ingesteld kan worden, naar standpijp (5) gepompt. Het water wordt in de standpijp gebracht, waardoor een constante opvoerhoogte wordt gecreëerd. Het debiet is daardoor onafhankelijk van de weerstand over het filterbed. Laatstgenoemde weerstand bepaalt namelijk de hoogte van het waterniveau in de standpijp. Bij toenemende drukval zal, ten gunste van de constante aanvoer, deze drukvaltoename gecompenseerd worden door een verhoging van het niveau in de standpijp. De maximaal bereikbare weerstand wordt zodoende bepaald door de hoogte van de overstortleiding (6), die in dit geval circa 4 m boven de grond is aangebracht. Daardoor kan een weerstand van circa 2,5 m W.K. optreden over het filterbed, dat in beide filters circa 1 m hoog is. In het ene filter is een filterbed aangebracht van zand, in het andere een bed van zand met daarboven een ander filtermateriaal namelijk anthrite. Onder het filterbed is nog een laag grind aangebracht om verstopping van de spoelnetten door zandkorrels te voorkomen.

De doorstroming van het filterbed kan zowel neerwaarts als opwaarts plaatsvinden. In het eerste geval zijn afsluiters (A), (B) en (F) gesloten, stroomt het water via de geopende afsluiters (C) en (D) naar het filter, wordt via afsluiter (E) afgevoerd naar het monsternamenvat (7) en vandaar

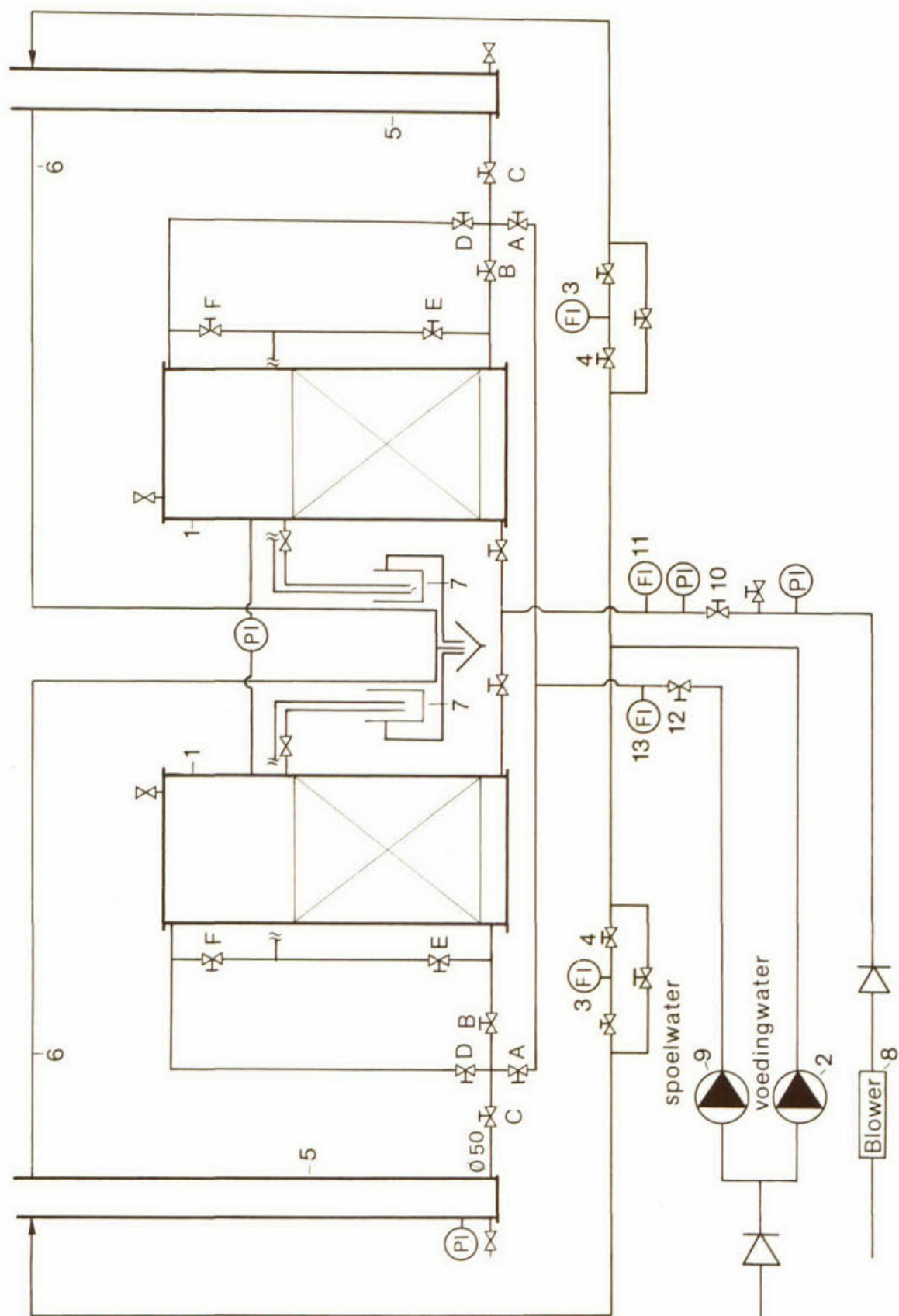


Fig. 2. Stroomschema filtratie-installatie

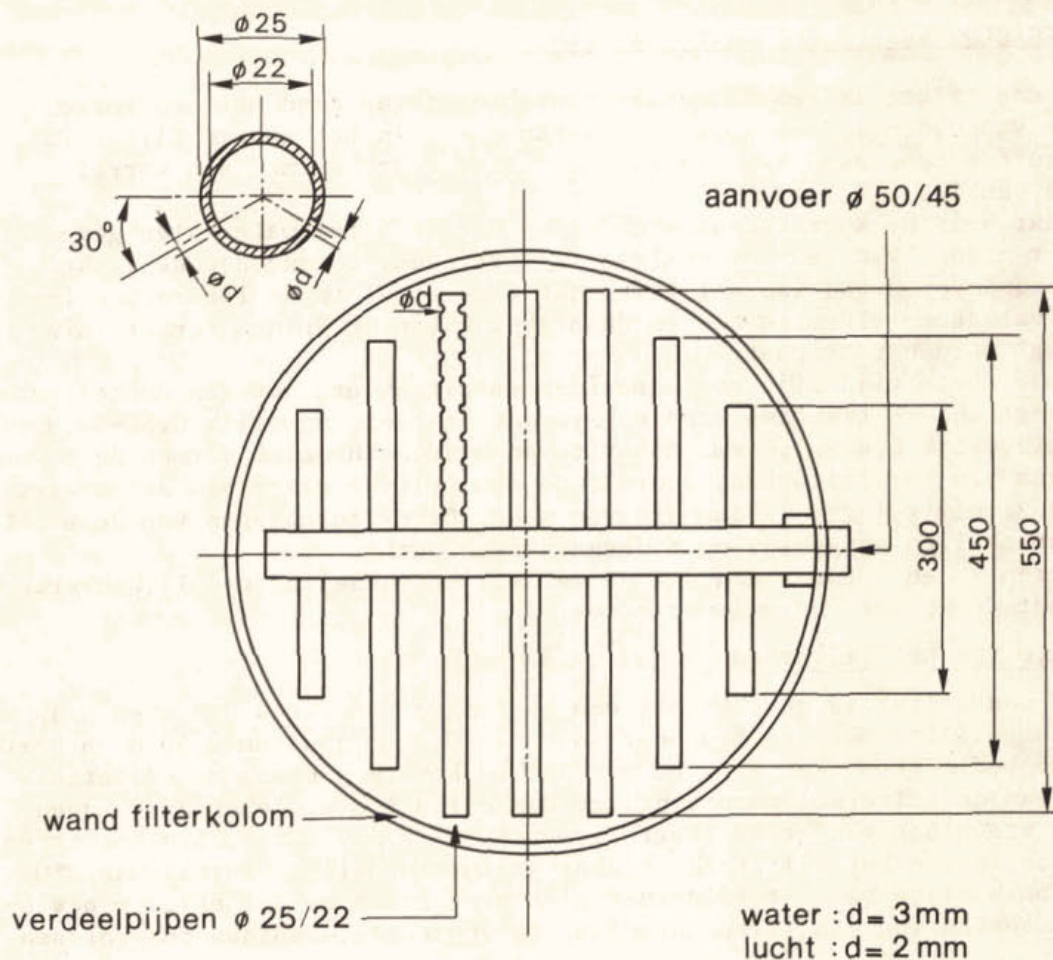


Fig. 3. Verdeelnet voor spoelwater en spoellucht

geloosd in het effluentkanaal van de rwzi. In geval van opwaartse filtratie zijn afsluiters (A), (D) en (E) gesloten en (C), (B) en (F) geopend. Voor het spoelen van de filters zijn een blower (8) en een spoelpomp (9) geïnstalleerd. Spoellucht wordt aangevoerd via regelafsluiter (10), het debiet kan worden afgelezen op rotameter (11). De lucht wordt in het filterbed verdeeld door middel van het spoelluchtverdeelnet en afgevoerd door geopende afsluiter (F).

De toevoer van spoelwater wordt geregeld door regelafsluiter (12) en afgelezen op rotameter (13). Via de geopende afsluiters (A) en (B) stroomt het water in het filter en wordt verdeeld in een spoelwaterverdeelnet. Na doorstroming van het gefluïdiseerde filterbed wordt het spoelwater afgevoerd via afsluiter (F) en het monsternamenvat (7).

5.2 Opzet van de experimenten

De invloed van de volgende procesparameters op de effectiviteit van het snel-filtratieproces zijn onderzocht:

- de filtratiesnelheid

Deze is gevarieerd tussen 5 en 20 m³/m².h. Deze grenzen zijn bepaald op grond van de volgende overwegingen. Lagere snelheden dan 5 m³/m².h zijn niet interessant gezien de grootte van het dan vereiste filteroppervlak. Hogere snelheden dan 20 m³/m².h leiden in het algemeen tot korte filtratieperioden, een hoge spoelfrequentie, een hoog spoelwaterverbruik en afname van de effectieve capaciteit.

- de korrelgrootte van het filtermateriaal

In het ene filter is een filterbed aangebracht van zand met een korrelgrootte van 0,8 - 1,2 mm (opgave leverancier). In het andere filter is op hetzelfde type zand nog een laag anthrite gebracht met een korrelgrootte van 1,6 - 2,5 mm.

In figuur 4 is de korrelgrootteverdeling van de filtermaterialen gegeven, die door middel van een zeefanalyse is verkregen. Bovengenoemde frakties zijn gekozen op grond van het feit, dat deze zowel in de literatuur inzake afvalwater-filtratie als in de praktijk van de drinkwaterbereiding het meest worden toegepast.

Gedurende korte tijd zijn nog experimenten uitgevoerd met een dubbellaagsfilter met andere frakties zand en hydroanthraciet, namelijk 0,5 - 0,8 mm/ respectievelijk 0,6 - 1,6 mm. Anthrite en hydroanthraciet vormen de bovenste lagen van het filterbed, doordat de soortelijke massa van deze materialen aanzienlijk lager is dan die van zand. De eigenschappen van deze materialen verschillen enigszins op ondergeschikte punten.

De figuren 4 en 5 tonen aan dat de werkelijke verdeling redelijk overeenstemt met de opgave van de leverancier.

- de hoogte van het filterbed

Bij het zandfilter is gewerkt met een bedhoogte van circa 0,8 m en bij het dubbellaagsfilter met een bed bestaande uit 0,40 m zand en 0,50 m anthrite. Genoemde bedhoogten zijn gekozen uit praktijkoverwegingen; de effectieve hoogte van de filterkolommen bedraagt dan circa 1,8 m. Rekening houdend met een steunlaag van grind (korrelgrootte 3 - 5 mm) van 0,25 m hoogte en een expansie van het filterbed tijdens de waterspoeling van maximaal 50%, mag de bovenzijde van het filterbed zich niet boven de 1,1 à 1,2 m bevinden om meesleuring van filtermateriaal te voorkomen, waaraan dus voldaan is.

- de spoelmethode

Belangrijk voor de mate waarin het filterbed na een filtratieperiode schoon-
gespoeld wordt, is de manier waarop deze spoeling wordt uitgevoerd. De in het bed geaccumuleerde verontreinigingen moeten uit de open ruimten tussen de korrels worden gespoeld. Om dit effectief te kunnen doen is het gewenst, dat het filtermateriaal zich in gefluïdiseerde toestand bevindt. De snelheid, waarmee gespoeld moet worden, dient dus hoger dan de minimum fluïdisatiesnelheid van de gebruikte filtermaterialen te zijn. Uit figuur 6 blijkt dat voor het zand een snelheid van circa $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ en voor het anthrite circa $65 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ minimaal vereist is³.

Om de eventueel aan korrels van het filtermateriaal vastzittende verontreinigingen los te maken, is een grotere schurende werking van de korrels onderling gewenst: dit kan bereikt worden door vóór de spoeling met water eerst een luchtspoeling toe te passen bij een luchtsnelheid van $100 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Om op langere termijn veranderingen te kunnen waarnemen in de verwijdering van zwevende stof en in het filterbed zelf (bijvoorbeeld door aangroei van de filterkorrels) is één filter gedurende de onderzoeksperiode steeds bij een bepaalde filtratiesnelheid en een vastgestelde spoelprocedure bedreven. In het andere filter zijn deze parameters wel gevarieerd. De filters werden doorgaans gespoeld zodra één van hen de maximaal haalbare weerstandstoename van 30 kPa bereikte.

5.3 Uitgevoerde metingen

Tijdens de experimenten zijn zowel proces-technische als kwaliteitsmetingen verricht.

De procestechnische grootheden, die voor de beoordeling van de werking van de filters van belang zijn, hebben betrekking op de drukval over het filterbed.

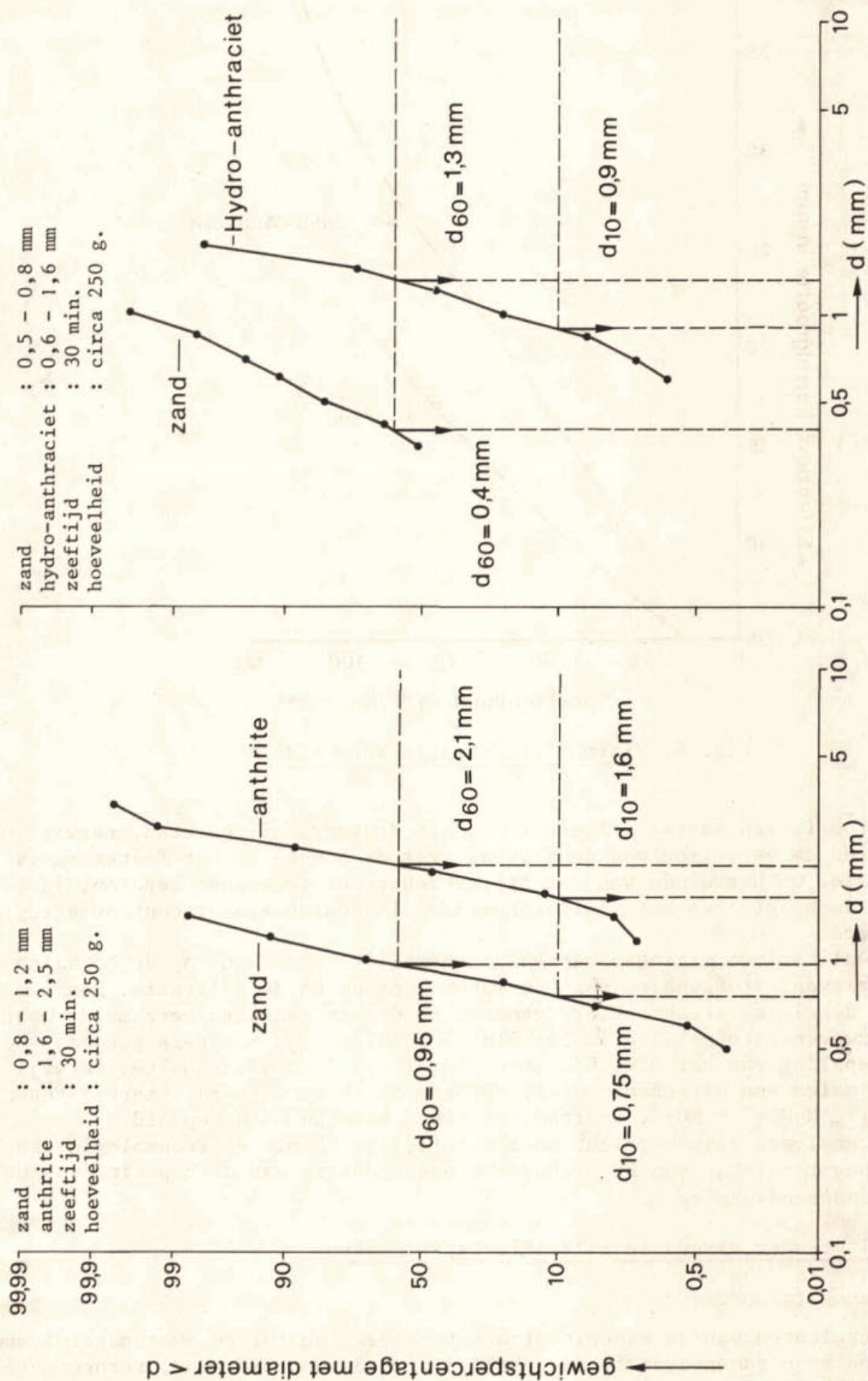


Fig. 4 en 5. Resultaten zeeanalyses filtermaterialen

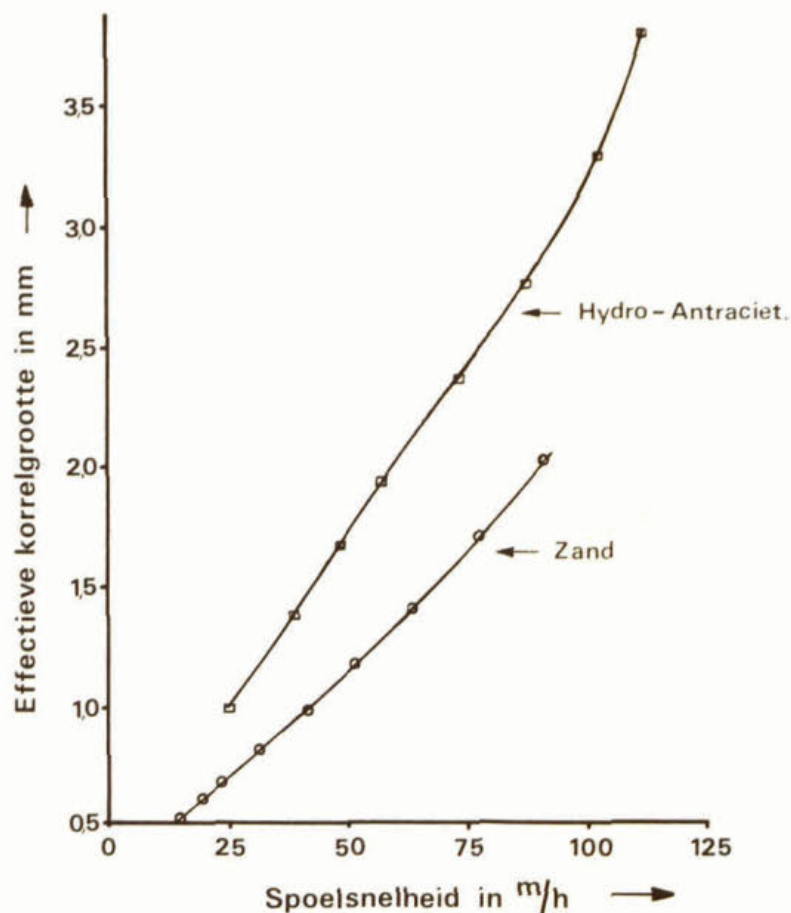


Fig. 6. Minimum fluïdisatie-snelheid

Daartoe is een aantal malen per dag dit drukverschil gemeten, terwijl bovendien de verdeling van de drukval over de hoogte in het filterbed is bepaald. Om het einde van een filtratieperiode te kunnen bepalen, is tevens de hoogte van het vloeistofniveau via een drukmeter continu geregistreerd.

De kwalitatieve metingen hebben voornamelijk betrekking op de bepaling van het zwevendestofgehalte van het water vóór en na de filtratie. Daartoe zijn dagelijks steekmonsters genomen en dagmengmonsters verzameld, waarvan het zwevendestofgehalte is bepaald. Bovendien zijn monsters genomen voor de bepaling van het BZV, CZV, N-Kjeldahl- en P-totaal-gehalte, terwijl enkele malen een uitgebreid analyseprogramma is uitgevoerd, waarbij tevens N-NH_4^+ , $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, P-ortho, en zware metalen zijn bepaald.

Alle analyses zijn verricht door de afdeling Chemie en Technologie van het Hoogheemraadschap van Rijnland, met uitzondering van de bepaling van het zwevendestofgehalte.

5.4 Resultaten en discussie filtratie-experimenten

5.4.1 zwevendestofverwijdering

De resultaten van de experimenten met betrekking tot de zwevendestofverwijdering zijn samengevat in de tabellen 2 en 3 voor het zand, respectievelijk het dubbellaagsfilter.

filter	proef no.	start- datum	belasting		conc. zwev. stof gemiddeld		looptijd (uren)	totale hoeveelheid zwevende stof			
			$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	m^3/h	invoer (mg/l)	filtraat (mg/l)		in filter g	uit filter g	afgevangen g	verwijderd %
ZANDFILTER	1	201179	5	1,4	22,8	12,7	21	680	380	300	44
	2	211179	5	1,4	25,0	14,0	26	920	510	410	44
	3	271179	5	1,4	29,8	18,8	23	970	610	360	37
	4	031279	5	1,4	26,8	7,3	28	1050	290	760	73
	5	051279	5	1,4	21,8	8,2	40	1220	460	760	62
	6	080180	5	1,4	31,3	6,2	16	720	140	580	80
	7	090180	5	1,4	22,3	4,6	17	540	110	430	80
	8	160180	5	1,4	37,2	11,4	18	960	300	660	69
	9	220180	5	1,4	24,0	9,7	23	770	310	460	60
	10	040280	5	1,4	18,4	8,7	30	790	370	420	53
	11	060280	5	1,4	10,6	2,8	48	720	190	530	74
	12	130280	5	1,4	10,0	4,3	53	740	320	420	57
	13	180280	5	1,4	12,6	4,2	46	820	270	550	75
	14	200280	5	1,4	7,9	3,6	49	550	250	300	55
	15	220280	5	1,4	7,6	3,4	69	730	330	400	55
	16	030380	5	1,4	10,7	5,7	49	730	390	340	47
	17	050380	5	1,4	8,0	3,8	47	530	250	280	52
	18	110380	5	1,4	8,3	1,8	36	420	90	330	79
	19	020480	5	1,4	14,4	2,6	28	560	100	460	82
	20	010580	5	1,4	12,9	3,1	34	610	150	460	75
	21	070580	5	1,4	14,6	5,7	44	900	350	650	72
	22	080780	5	1,4	14,3	4,3	27	541	162	379	70
	23	280780	5	1,4	10,2	3,5	73	1042	358	684	66
	24	200880	5	1,4	20,3	8,1	39	1108	442	666	60
	25	270880	5	1,4	8,6	3,4	60	722	286	436	60
	26	010980	5	1,4	11,7	4,3	42	688	253	435	63
	27	080980	5	1,4	12,1	7,0	32	542	314	228	42
	28	100980	5	1,4	9,7	4,7	40	543	263	280	52
	29	120980	5	1,4	9,9	2,7	68	942	257	942	73
	30	150980	5	1,4	11,4	4,2	28	447	165	282	63
	31	180980	5	1,4	15,9	5,7	28	623	223	400	64
	32	190980	5	1,4	14,4	4,1	29	585	166	419	72

Tabel 2. Overzicht resultaten filtratie (zandfilter)

In deze tabellen zijn achtereenvolgens vermeld:

- het nummer van het experiment. Hiernaar zal in het vervolg van dit rapport worden verwezen;
- de startdatum van het experiment;
- de belasting van het filter, dat wil zeggen de filtratiesnelheid;
- de gemiddelde zwevendestofconcentratie van het water voor en na de filtratie. De gemiddelde waarden zijn gewogen gemiddelden;
- de looptijd van het filter, dat wil zeggen de filtratietijd tussen twee spoelingen;
- de totale hoeveelheden zwevende stof, die gedurende het experiment respectievelijk zijn aangevoerd, afgevoerd en in het filterbed zijn geaccumuleerd. Deze laatste waarde is tevens uitgedrukt in procenten van de hoeveelheid toegevoerd materiaal en wordt het verwijderingspercentage genoemd.

Naar aanleiding van tabel 2 (gegevens zandfilter) kan het volgende opgemerkt worden.

De gemiddelde waarde van het verwijderingspercentage is 60%; met dien ver-

type filter	proef no.	start datum	belasting		conc. zwev. stof gemiddeld		looptijd (uren)	totale hoeveelheid zwevende stof			
			$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	m^3/h	invoer (mg/l)	filtraat (mg/l)		in filter g	uit filter g	afgevangen g	verwijderd %
DUBBELLAAGSFILTER zand : 0,8 - 1,2 mm anthrite : 1,6 - 2,5 m	1	051179	15	4,2	16,6	7,0	50	3470	1460	2010	58
	2	121179	10	2,8	15,4	4,9	46	1980	630	1350	68
	3	201179	5	1,4	24,3	9,3	65	2220	850	1370	62
	4	231179	5	1,4	28,9	13,1	111	4490	2040	2450	55
	5	031279	15	4,2	26,8	10,3	35	3940	1510	2430	62
	6	110180	7,5	2,1	14,7	4,8	60	1850	610	1240	67
	7	160180	10	2,8	37,2	14,2	24	2500	950	1450	62
	8	220180	15	4,2	24,0	9,2	25	2520	970	1550	62
	9	240180	20	5,6	42,8	20,8	3	720	350	370	51
	10	040280	10	2,8	17,5	6,1	48	2350	820	1530	65
	11	060280	15	4,2	10,6	3,2	48	2140	640	1500	70
	12	130280	15	4,2	10,0	4,8	53	2240	1070	1170	52
	13	180280	5	1,4	10,2	3,9	171	2440	910	1520	62
	14	030380	10	2,8	9,5	6,0	96	2560	1670	890	35
	15	110380	15	4,2	11,1	1,5	36	1680	230	1450	87
	16	190380	20	5,6	9,2	3,5	27	1400	530	870	62
	17	200380	10	2,8	7,9	2,5	133	2940	931	2009	68
	18	020480	10	2,8	14,4	2,0	27	1089	151	938	86
	19	070580	15	4,2	13,1	9,6	48	2641	1935	706	27
	20	160580	5	1,4	14,1	12,3	164	3237	2824	413	13
	21	280580	15	4,2	13,8	10,5	48	2782	2117	665	24
	22	040680	10	2,8	6,8	6,1	80	1523	1366	157	10
	23	010780	15	4,2	9,3	4,2	69	2695	1217	1478	55
	24	040780	5	1,4	10,8	6,0	74	1119	622	497	44
	25	140780	15	4,2	17,0	9,8	46	3284	1893	1391	42
zand : 0,5 - 0,8 mm hydroanthraciet: 0,6 - 1,6 mm	26	200880	5	1,4	20,3	8,2	38	1080	436	644	60
	27	220880	10	2,8	7,8	3,4	55	1201	524	677	56
	28	270880	5	1,4	9,5	3,5	63	838	309	529	63
	29	010980	5	1,4	11,9	9,7	51	850	693	157	19
	30	080980	5	1,4	11,0	6,9	41	631	396	235	37
	31	100980	10	2,8	12,0	6,7	15	504	281	223	44
	32	110980	10	2,8	8,0	2,5	41	918	287	631	69
	33	120980	10	2,8	9,9	2,8	41	1137	321	816	72
	34	150980	10	2,8	11,4	5,1	24	766	343	423	55
	35	180980	10	2,8	15,9	5,8	22	979	357	622	64
	36	190980	10	2,8	14,4	5,6	21	847	329	518	61

Tabel 3. Overzicht resultaten filtratie (dubbellaagsfilter)

stande dat een grote spreiding wordt waargenomen namelijk van 37 tot 82%. Uit figuur 7a blijkt voorts, dat de verwijdering van zwevende stof niet gerelateerd kan worden aan het zwevendestofgehalte van de toevoer. Figuur 7b laat bovendien zien, dat het zwevendestofgehalte van het filtraat toeneemt bij een toenemend gehalte in de voeding.

De grote spreiding in de resultaten komt ook tot uiting in de hoeveelheid geaccumuleerde zwevende stof, die in het filterbed is achtergebleven, en in de looptijd van het filter. Ook hier is geen relatie met het zwevende stofgehalte waar te nemen.

Het vorenstaande is ook van toepassing op de resultaten die met het dubbellaagsfilter zijn bereikt (zie tabel 3 en figuur 8). De gemiddelde verwijdering bedraagt hierbij 56% (10 - 87%); uit figuur 8 blijkt dat er geen verband is met de filtratiesnelheid.

De hoeveelheid geaccumuleerde zwevende stof, die in principe bij elk experiment gelijk dient te zijn, vertoont ook hier een grote spreiding. Ten aanzien van de bereikte zwevendestofverwijdering kan gesteld worden dat deze in het algemeen lager is dan op grond van de literatuur verwacht mag worden.

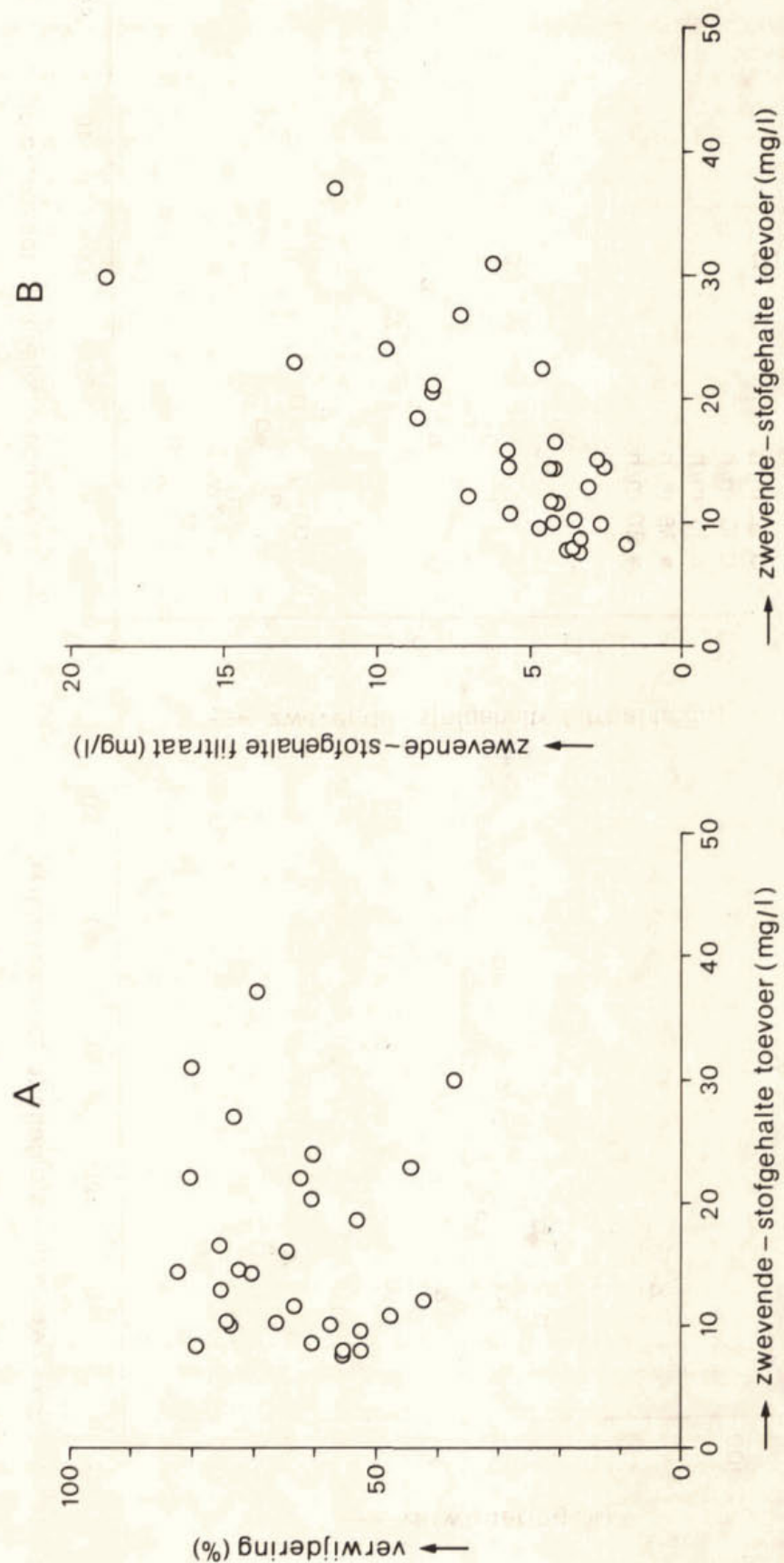


Fig. 7. Het verwijderingspercentage (A) en het zwevendestofgehalte van het filtraat (B) in relatie tot het zwevendestofgehalte van de voeding voor het zandfilter

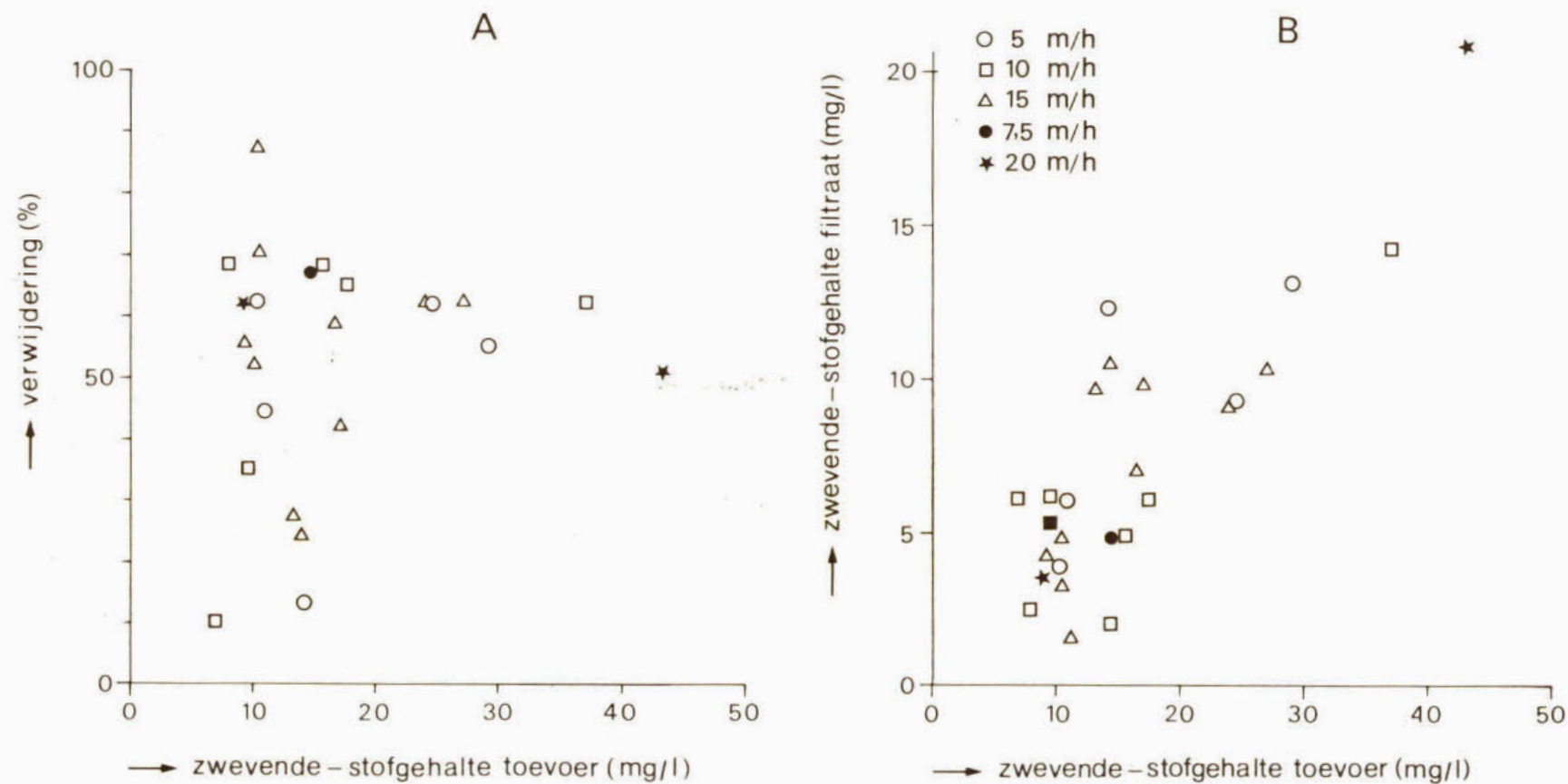


Fig. 8. Het verwijderingspercentage (A) en het zwevendestofgehalte van het filtraat (B) in relatie tot het zwevendestofgehalte van de voeding bij het dubbellaagsfilter

Daar worden verwijderingspercentages genoemd van 80 en meer bij een ongeveer identieke opbouw en korrelgrootte van het filterbed. Dit wat lagere geconstateerde verwijderingspercentage komt ook tot uiting in de resultaten van de microzeef (paragraaf 6.4).

Mogelijk kan de aard van het te filtreren effluent hiervoor verantwoordelijk zijn en met name de over het algemeen zeer fijne verdeling van de zwevende stof in de waterfase. Zelfs bij concentraties aan zwevende stof van circa 20 mg/l, waren visueel nauwelijks deeltjes waar te nemen. Uit de in de tabellen 2 en 3 vermelde concentraties zwevende stof na het filter blijken deze in de meeste gevallen kleiner dan 10 mg/l te zijn. In enkele gevallen zijn ook hogere concentraties waargenomen, vooral wanneer het zwevendestofgehalte in de invoer groter dan 25 mg/l is.

Om te onderzoeken of met een filterbed met fijner zand een hoger verwijderingspercentage bereikt wordt, zijn experimenten uitgevoerd met filtermateriaal bestaande uit zeeffracties 0,5 - 0,8 mm voor zand en 0,6 - 1,6 mm van anthrite, terwijl in de overige experimenten de zeeffracties 0,8 - 1,2 mm respectievelijk 1,6 - 2,5 mm werden gebruikt (zie figuren 4 en 5). Uit tabel 3 blijkt dat de aldaar bereikte resultaten nauwelijks beter zijn. Het verwijderingspercentage van het dubbellaagsfilter is gemiddeld 55%, terwijl het zwevendestofgehalte van de aanvoer en het filtraat respectievelijk gemiddeld 12 mg/l en 5,5 mg/l heeft bedragen, hetgeen laag is te noemen.

Zoals te verwachten zijn de looptijd en de geaccumuleerde hoeveelheid gesuspendeerd materiaal kleiner dan bij de voorgaande experimenten door de aanzienlijk grotere stromingsweerstand en de snellere toename in drukval over het filterbed.

Dit laatste volgt ook uit de beschouwingen die in paragraaf 5.4.2 aan de orde komen.

5.4.2 de drukval over het filterbed

De toename van de drukval over het filterbed als functie van de tijd kan weergegeven worden als in figuur 9.

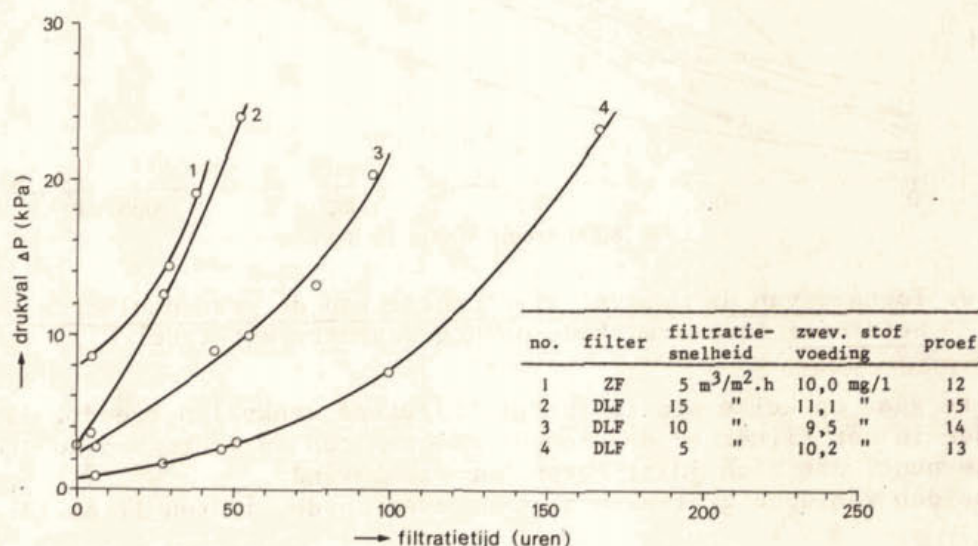


Fig. 9. Toename drukval over het filterbed als functie van de tijd

De interpretatie van op deze manier gepresenteerde gegevens is echter moeilijk, omdat de helling van de curven afhangt van de filtratiesnelheid en van het zwevendestofgehalte. Door echter niet de tijd langs de horizontale as af te zetten, maar de geaccumuleerde hoeveelheid zwevende stof, zouden theoretisch steeds identieke grafieken kunnen ontstaan. De geaccumuleerde hoeveelheid zwevende stof wordt als volgt berekend:

$$M_t = Q \times t \times (\bar{C}_{t_{in}} - \bar{C}_{t_{uit}}) \quad (1)$$

Hierin is M_t : de massa van het geaccumuleerde zwevende stof in een tijd t (g)
 Q : het debiet (m^3/h)
 t : tijd (h)
 $\bar{C}_{t_{in}}$: de gemiddelde zwevendestofconcentratie gedurende de tijd t in de voeding (g/m^3)
 $\bar{C}_{t_{uit}}$: idem van het filtraat.

Enkele resultaten van op deze wijze verwerkte gegevens zijn weergegeven in figuur 10.

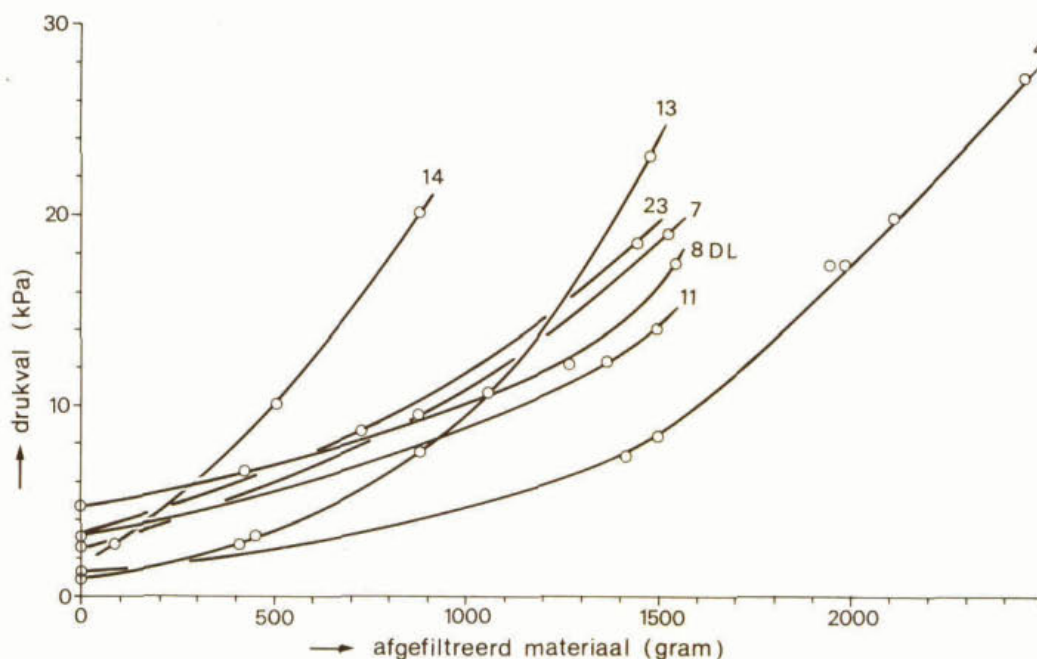


Fig. 10. Toename van de drukval als functie van de geaccumuleerde hoeveelheid stof (nummers slaan op proefnummers uit tabel 3)

Om na te gaan op welke plaats in het filterbed drukval optreedt, is op zeven plaatsen in het filterbed de drukval gemeten ten opzichte van de druk op een achtste punt, dat zich juist boven het bed bevindt. Voorbeelden van deze grafieken zijn gegeven in de figuren 11 en 12.

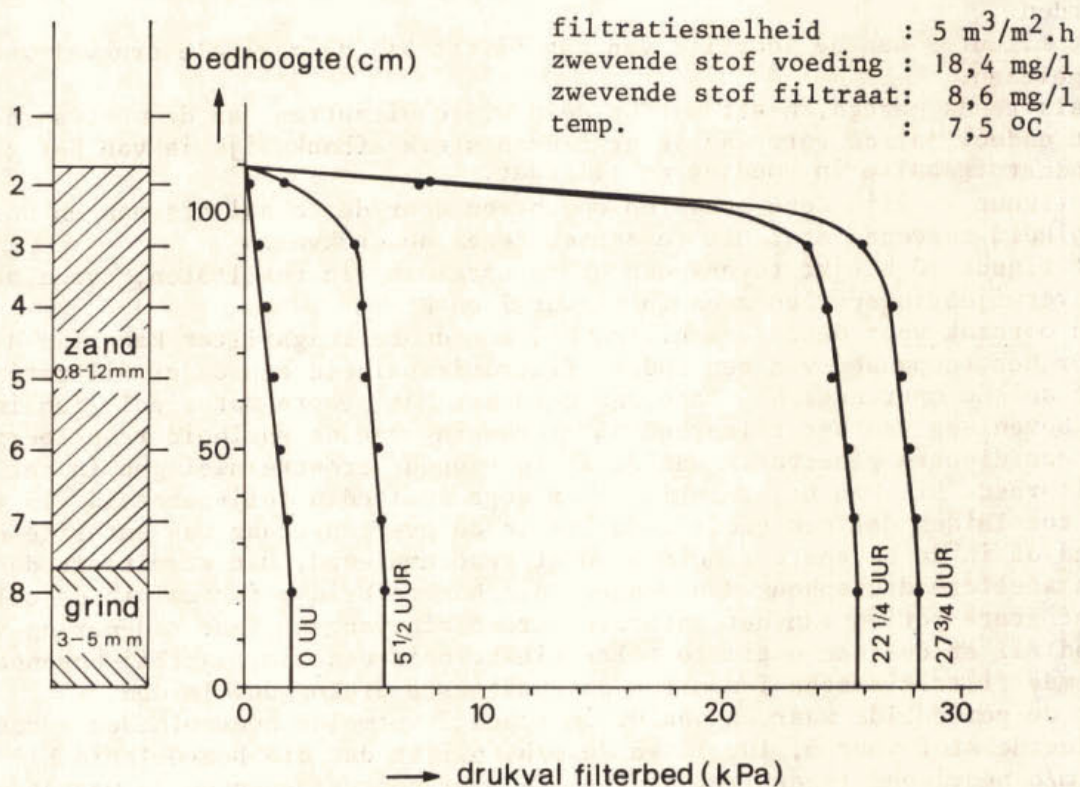


Fig. 11. Drukopbouw in zandfilter als functie van de filtratietijd

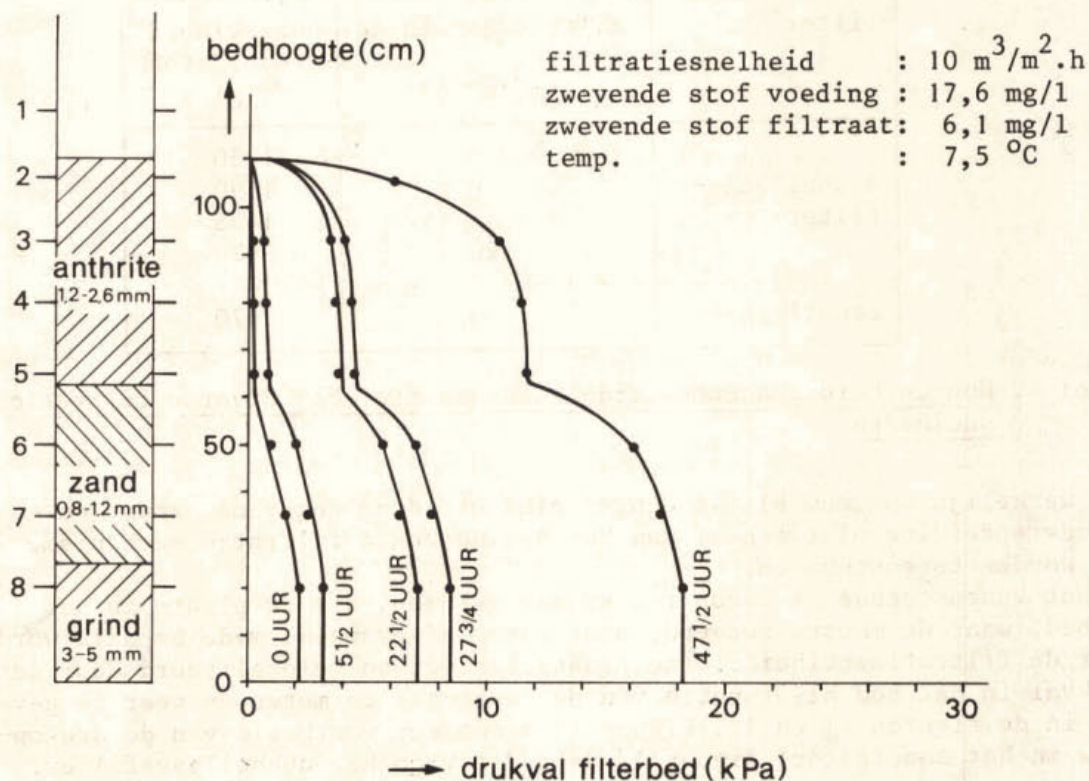


Fig. 12. Drukopbouw in zand-anthrite filter als functie van de filtratietijd

Naar aanleiding van de resultaten en de figuren kan het volgende opgemerkt worden.

Uit figuur 9 kan de looptijd van het filter bij de maximale drukval worden afgelezen.

Zoals reeds gezegd, heeft het op deze wijze uitzetten van de meetwaarden het nadeel dat de vorm van de grafieken sterk afhankelijk is van het zwevendestofgehalte in voeding en filtraat.

In figuur 10 zijn deze bezwaren opgeheven door de totaal afgevangen hoeveelheid zwevende stof uit te zetten tegen de drukval.

Uit figuur 10 blijkt tevens een grote spreiding in resultaten, evenals bij de verwijderingspercentages in figuur 7 en 8.

Een oorzaak voor deze verschillen bij het dubbellaagsfilter kan zijn dat door het toepassen van een andere filtratiesnelheid een ander filtratiemechanisme optreedt; bij lage snelheid zet het meeste materiaal zich in de bovenlaag van het filterbed af. Verhoging van de snelheid resulteert in een diepere penetratie van de af te vangen verontreinigingen in het filterbed. Dit kan bij relatief zeer hoge snelheden (bijvoorbeeld 15 m/h) er toe leiden dat een groot gedeelte in de overgangslaag van anthrite naar zand of in de bovenste zandlaag wordt geaccumuleerd. Dit resulteert dan in een snellere drukopbouw dan wanneer die hoeveelheid materiaal in de relatief grote poriën van het anthrite worden afgevangen. Deze redenering volgend zal er dus een optimale filtratiesnelheid bestaan, waarbij bovengenoemde filtratiemechanismen tot de gunstigste drukopbouw leiden.

Uit de gemiddelde waarden van de in tabel 3 vermelde hoeveelheden geaccumuleerde stof voor 5, 10, 15 en 20 m/h. blijkt dat die hoeveelheid bij 20 m/h beduidend lager ligt dan bij de overige snelheden en de waarde van het zandfilter bij 5 m/h benadert (zie tabel 4).

filter	filtratiesnelheid ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)	hoeveelheid geacc. stof (g)
dubbellaags- filter	5	1250
	10	1190
	15	1435
	20	620
zandfilter	5	470

Tabel 4. Hoeveelheid geaccumuleerde zwevende stof bij diverse filtratiesnelheden

Een werkelijk optimum blijkt echter niet uit deze gegevens, zodat de genoemde spreiding niet geheel aan het veranderende filtratiemechanisme kan worden toegeschreven.

In het vorenstaande is reeds ter sprake gekomen, dat de plaats in het filterbed, waar de meeste zwevende stof wordt afgevangen, mede bepaald wordt door de filtratiesnelheid. Deze plaats kan worden gelocaliseerd door de drukval in het bed als functie van de bedhoogte te meten en weer te geven, als in de figuren 11 en 12. Figuur 11 toont een voorbeeld van de drukopbouw in het zandfilter; figuur 12 doet dit voor het dubbellaagsfilter.

Deze figuren tonen aan, dat in het zandfilter verreweg de grootste bijdrage aan de drukopbouw in de bovenste 20 cm van het bed plaats vindt, hetgeen wijst op een zekere mate van koekfiltratie. Daaronder neemt de drukval nauwelijks meer toe, zodat daar geen accumulatie van zwevende stof meer optreedt. In het dubbellaagsfilter treedt weliswaar ook een gedeeltelijke koekfiltratie op, maar beduidend minder dan in het zandfilter. Zeker bij hogere snelheden vindt de afvang van stof over de gehele bovenlaag plaats. Na verloop van tijd wordt ook de zandlaag belast, hetgeen blijkt uit de discontinuïteit, die weliswaar ook bij doorstroming van het schone bed is waar te nemen, maar zich bij toenemende filtratietijd steeds duidelijker manifesteert.

Het zal duidelijk zijn dat toepassen van een filtermateriaal met kleinere korrelgrootte koekfiltratie zal bevorderen en vanuit dit oogpunt bezien dus minder gunstig zal zijn.

5.4.3 neveneffecten van de zwevendestofverwijdering

Naast de zeer frequente bemonstering ter bepaling van het zwevendestofgehalte, is ook regelmatig een aantal andere kwaliteitsparameters bepaald om een indruk te verkrijgen van de neveneffecten, die met een zwevendestofverwijdering gepaard gaan. In tabel 5 zijn deze gegevens vermeld voor het BZV, het CZV-, het N-Kjeldahl, P-totaal en het TOC-gehalte.

datum	zwevend stof (mg/l)			BZV (mg/l)			CZV (mg/l)			N-Kj (mg N/l)			P-tot (mg P/l)			TOC		
	RW	F1	F2	RW	F1	F2	RW	F1	F2	RW	F1	F2	RW	F1	F2	RW	F1	F2
241079	7,2	4,3	3,8	59	42	16	78	77	73	23	23	22	12	12	12			
311079	9,9	5,1	4,5	48	13	15	82	74	74	27	26	27	12	11	11			
071179	8,4	4,8	3,6	30	15	11	59	55	57	19	17	19	6,0	5,9	5,9			
141179	16,8	6,5	5,3	23	6	5	66	60	57	28	27	28	6,8	6,7	6,9			
211179	22,8	12,7	15,7	23	5	9	90	68	61	31	31	32	7,1	7,4	5,8			
281179	30,8	18,8	10,0	23	7	11	112	93	96	46	47	46	11	10	11			
031279	26,8	7,3	10,3	25	20	20	102	87	93	50	49	49	11	11	10			
041279				53	30	18	103	82	83	44	42	44	12	11	11			
090180	43,6	8,9	5,9	24	10	3	104	73	67	28	-	-	6,2	11	11			
170180	41,6	11,0	15,3	24	17	19	129	100	109	48	45	47	9,3	9,0	8,5			
230180	24,0	9,8	9,2	25	15	13	94	72	76	45	-	-	8,3	-	-			
060280	18,0	8,2	6,5	8	5	6	67	58	50	26	27	22	5,1	5,4	4,9			
200280	12,7	4,5	3,8	4	4	2	85	75	76	42	-	-	19	-	-			
210380	12,0	2,3	3,5	6	5	5	84	73	70	42	-	-	8,3	-	-			
010580	14,6	5,4	6,5	14	7	10	86	72	75	56	-	-	10	-	-			
080580	11,3	5,7	4,9	14	8	7	88	76	76	49	-	-	11	-	-	20,3	18,1	19,7
140580	9,1	-	4,5	25	-	69	83	-	79	41	-	-	9,5	-	-	20,4	-	18,0
290580	15,4	-	13,2	43	-	29	96	-	93	45	-	-	12	-	-	20,6	-	21,6
"	13,5	6,7	8,8	22	13	13	90	80	80	45	-	-	12	-	-	22,7	-	18,8
110680	21,2	9,0	9,1	54	9	52	87	72	81	35	30	35	12	12	13	19,6	16,0	18,6
210880	14,7	4,5	4,2	61	16	15	97	83	82	32	-	-	8,6	-	-	17,0	12,9	13,6
280880	6,5	2,2	1,6	23	4	3	69	63	63	8,5	-	-	9,9	-	-	15,9	14,1	14,3
110980	7,1	2,1	-	24	3	-	61	57	-	13	-	-	6,3	-	-	15,4	12,9	-
"	12,0	6,5	6,7	-	8	9	-	71	79	-	-	-	-	-	-	-	16,0	17,1
180980	11,8	4,8	5,5	59	7	10	78	65	67	20	20	20	11	11	11	20,6	16,4	16,8

Tabel 5. Overzicht neveneffecten bij filtratie

RW = effluent rwzi
F1 = filtraat zandfilter
F2 = filtraat dubbellaagsfilter

In de literatuur wordt als vuistregel gehanteerd, dat 1 g/l zwevende stof in actiefslib overeenkomt met een BZV van ongeveer 0,5 - 0,8 g/l en een CZV van circa 1 g/l.

Uit tabel 6 blijkt dat deze vuistregel ten aanzien van de CZV, gecorrigeerd voor het zuurstofverbruik dat in het filterbed optreedt, gemiddeld in redelijke mate bevestigd lijkt te worden. Deze regel wordt niet bevestigd voor de BZV; bovendien is de BZV-afname groter dan de CZV-afname, wat onwaarschijnlijk is. Vermoedelijk zijn nitrificerende bacteriën bij de BZV-bepaling onvoldoende door allylthioureum geremd.

datum	ZANDFILTER						DUBBELLAAGSFILTER					
	ΔBZV	ΔCZV	$\Delta zw.st.$	ΔCZV	ΔO_2	ΔCZV	ΔBZV	ΔCZV	$\Delta zw.st.$	ΔCZV	ΔO_2	ΔCZV
				$\Delta zw.st.$		$\Delta zw.st. + \Delta O_2$				$\Delta zw.st.$		$\Delta zw.st. + \Delta O_2$
241079	17	1	2,9	0,3	-	-	43	5	3,4	1,5	-	-
311079	35	8	4,8	1,7	-	-	33	8	5,4	1,5	-	-
011179	15	4	3,6	1,1	-	-	19	2	4,8	0,4	-	-
141179	17	6	10,3	0,6	-	-	18	9	11,5	0,8	-	-
211179	18	22	10,1	2,2	5,4	1,4	14	29	7,1	4,1	5,4	2,3
281179	16	19	12,0	1,6	6,4	1,0	12	16	20,8	0,8	5,3	0,6
031279	5	15	19,5	0,8	6,9	0,6	5	9	16,5	0,6	4,0	0,4
041279	23	21	-	-	-	-	35	20	-	-	-	-
090180	14	31	34,7	0,9	-	-	21	37	37,7	1,0	-	-
170180	7	29	30,6	1,0	-	-	5	20	26,3	0,8	-	-
230180	10	22	14,2	1,6	-	-	12	18	14,8	1,2	-	-
060280	3	9	9,7	0,9	6,2	0,6	2	17	11,5	1,5	5,0	1,0
220280	0	10	8,2	1,2	6,3	0,7	2	9	8,9	1,0	5,5	0,6
210380	1	11	9,7	1,1	-	-	1	14	8,5	1,6	-	-
010580	7	14	9,2	1,5	-	-	4	11	8,1	1,4	-	-
080580	6	12	5,4	2,2	-	-	7	12	6,4	1,9	-	-
140580	-	-	-	-	-	-	6	4	4,6	0,9	-	-
290580	-	-	-	-	-	-	14	3	2,2	1,4	-	-
"	9	10	6,8	1,5	-	-	9	10	4,7	2,1	-	-
110680	45	15	12,2	1,2	-	-	2	6	12,1	0,5	3,3	0,4
210880	45	14	10,2	1,4	-	-	46	15	10,5	1,4	-	-
280880	19	6	4,3	1,4	-	-	20	6	4,9	1,2	-	-
110980	21	4	5,0	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
"	-	-	5,5	-	-	-	-	-	5,3	-	-	-
180980	52	13	7,0	1,9	-	-	49	11	6,3	1,7	-	-
GEM.	17,5	13,5	10,7	1,3	6,2	0,9	16,5	12,7	12,7	1,3	4,8	1,0

Tabel 6. Overzicht verlaging kwaliteitsparameters bij filtratie

Teneinde na te gaan in hoeverre tijdens de doorstroming van het filterbed chemische omzettingen plaatsvinden, is verscheidene malen de afname van het zuurstofgehalte gemeten. Ook de plaats, waar die afname het sterkst optreedt, is bepaald. De gegevens en de grafische voorstellingen zijn weer-gegeven in tabel 7 en de figuren 13 en 14.

datum	O_2 mg/l effluent	Temp. °C	zandfilter								dubbellaagsfilter							
			O_2 -gehalte (mg/l) bij monsterpunt								O_2 -gehalte (mg/l) bij monsterpunt							
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
260380	5,3	11	8,7	8,6	7,9	2,6	1,6	1,2	1,1	1,1	7,2	7,2	5,1	3,3	2,2	1,4	1,2	1,2
300580	2,5	16	3,7	3,6	0,6	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	2,4	2,4	1,9	1,4	0,9	0,4	0,2	0,2
100680	0,6	18									3,5	3,4	2,4	1,5	0,8	0,4	0,2	0,1
040780	4,8	17									4,6	4,6	3,2	1,5	0,6	0,3	0,3	0,3
070780	2,1	17									3,4	3,6	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
080780	6,2	17	3,7	3,6	1,5	1,3	0,7	0,4	0,2	0,1	4,1	4,0	3,6	2,9	2,3	1,8	1,5	1,6
090780	7,4	17	3,0	2,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	4,0	4,0	3,1	2,0	1,0	0,2	0,1	0,1
160980	0,3	19									1,6	1,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1

Tabel 7. Zuurstofafname in het filterbed

Op enkele van de vorengenoemde aspecten zal nader worden ingegaan, nl.

- a. het verband tussen de afname van het zwevendestofgehalte en het CZV;
- b. het zuurstofverbruik in de beide filters;
- c. het opstellen van massabalansen over de filters.

ad a. verband afname zwevendestofgehalte-CZV

In de tabellen 5 en 6 zijn de gegevens verzameld van de neveneffecten die optreden bij zwevendestofverwijdering.

Geschat wordt, dat van een meetbare daling van het N-Kj.- en P-tot.-gehalte sprake is als het zwevendestofgehalte met 30 à 40 mg/l of meer afneemt. De verlaging van het BZV en CZV is van meer belang, zodat alleen deze besproken zullen worden. In de literatuur wordt als vuistregel gehanteerd dat 1 gram actiefslib overeenkomt met 0,5 - 0,8 g BZV en circa 1 g CZV.

Uit tabel 3 blijkt dat de verhouding $\frac{\Delta \text{CZV}}{\Delta \text{zwev.stof}}$ varieert over een groot gebied: 0,3 tot 2,2.

Een waarde >1 duidt erop dat er naast een aan de zwevende stof gekoppelde CZV-verlaging nog een andere factor in het spel is. Gedacht kan worden aan een chemische omzetting die dan ook tot uiting moet komen in een afname van het O_2 -gehalte. Indien de totale O_2 -afname resulteert in even grote CZV-afname moet de verhouding

$$\frac{\Delta \text{CZV}}{\Delta \text{zwev.stof} + \Delta \text{O}_2} \approx 1 \text{ zijn.}$$

In de praktijk zal er ook O_2 worden verbruikt voor andere omzettingen (bijvoorbeeld nitrificatie), zodat de werkelijke waarde tussen die van beide genoemde verhoudingen zal liggen. Een waarde die <1 is, wijst erop dat er bij de zwevende stof ook stoffen zijn die geen of slechts een geringe bijdrage aan het CZV leveren.

Uit tabel 6 blijkt dat zowel waarden groter als kleiner dan 1 worden gevonden, wat moeilijk verklaarbaar is. Ook de relatie tussen de BZV-verlaging en de zwevendestofverwijdering is niet of nauwelijks te herkennen.

Gemiddelde waarden van bovengenoemde verhoudingen liggen echter redelijk in de buurt van wat op theoretische gronden verwacht mag worden (circa 1,3).

Een aannemelijke verklaring voor de grote spreiding anders dan een wisseling in de samenstelling van het water is echter niet te geven.

ad b. zuurstofafname in de filters

Tijdens de filtratie in het filterbed treedt een afname op van het zuurstofgehalte. Om te bepalen op welke plaats in het filterbed die afname optreedt, is een zuurstofprofiel opgesteld over de gehele filterbedhoogte. De resultaten daarvan zijn weergegeven in tabel 7 en grafisch weergegeven in de figuren 13 en 14, te samen met de op hetzelfde moment waargenomen drukopbouw in het filter. Om de invloed van de filtratiesnelheid op de zuurstofafname tevens te illustreren zijn in figuur 14 meerdere profielen weergegeven.

Uit figuur 13 wordt duidelijk, dat het verloop van de zuurstofconcentratie in grote lijnen overeenstemt met het verloop van het drukverlies in het filterbed. De afname is echter minder abrupt als bij het drukverlies het geval is, maar tot 0,4 à 0,5 m. in het bed treedt een verlaging op, terwijl daaronder geen O_2 -afname meer wordt waargenomen.

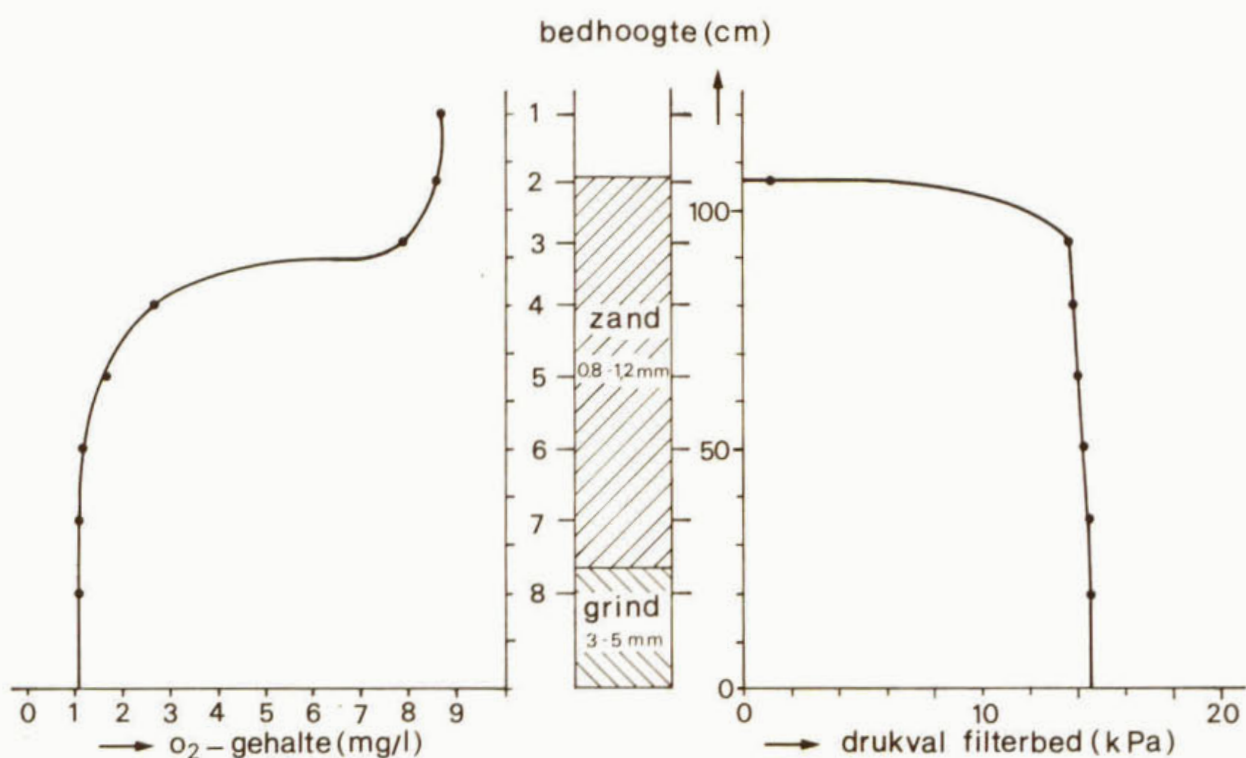


Fig. 13. Drukverlies en O_2 -afname als functie van de bedhoogte in het zandfilter (26-3-1980; $T = 11^\circ C$; $v = 5$ m/h).

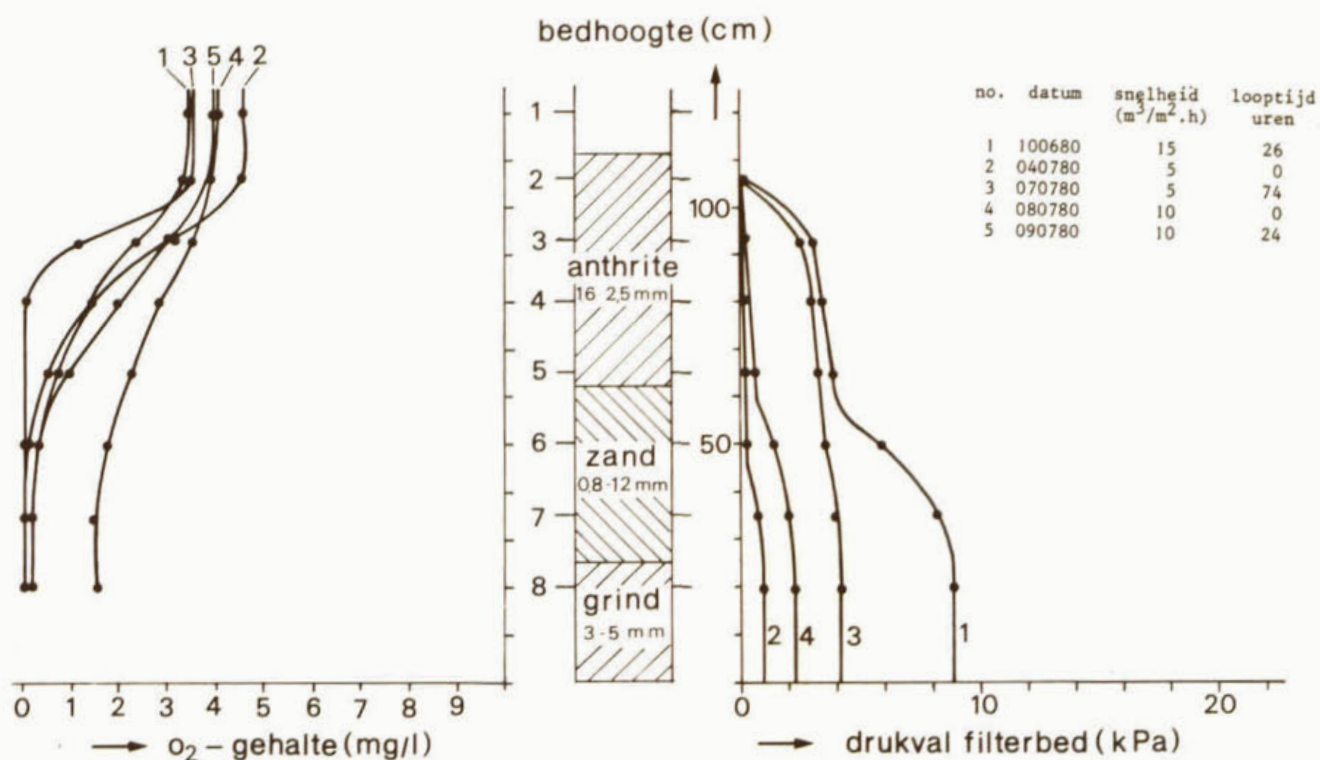


Fig. 14. Drukverlies en O_2 -afname in het anthrite-zand-filter als functie van de bedhoogte.

Een soortgelijk beeld treedt op in het dubbellaagsfilter, waar de afname van de zuurstofconcentratie zich over de gehele hoogte van de anthrite-laag verdeelt. In de zandlaag wordt nauwelijks nog een zuurstofafname gemeten.

Van de vijf in figuur 14 gegeven voorbeelden zijn er twee die enigszins afwijken van de overigen nl. no. 2 en no. 3.

Als mogelijke oorzaak voor deze afwijking kan vermeld worden dat bij deze twee proeven de snelheid $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ bedroeg en de proef uitgevoerd is aan het begin van de filtratieperiode. Bij zo'n lage filtratiesnelheid zal al relatief veel zuurstof verbruikt worden in de bovenste laag van het filtermateriaal, omdat juist bij lage filtratiesnelheden een zekere mate van koekfiltratie optreedt.

In de top laag zet zich dus relatief veel zwevend materiaal af met een vrij sterke drukval over deze laag en een meer abrupte O_2 -afname dan bij hogere snelheden.

Uiteraard zal ook de verblijftijd in het filter en dus ook in de bovenste laag, een rol van betekenis spelen. Immers, hoe langer de verblijftijd hoe meer O_2 er verbruikt kan worden.

Bij hogere filtratiesnelheden zullen genoemde verschijnselen zich over een grotere diepte afspelen.

ad c. massabalans over de filters

Enkele malen zijn uitgebreide bemonsteringen uitgevoerd om een massabalans over beide snelfilters te kunnen opstellen. Daartoe is een groot aantal parameters bepaald in de voeding van de filters, de beide filtraatstromen en het spoelwater van beide filters. De filtratieproeven zijn volgens onderstaande condities uitgevoerd (tabel 8).

parameter	eenheid	6-2-1980		11-6-1980		18-9-1980	
		zandf.	DL-f	zandf.	DL-f	zandf.	DL-f
filtratiesnelheid	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	5	10	5	15	5	5
looptijd	uur	29,5	47,5	43	43	23	23
totaal gefiltreerd	m^3	40	133	60	181	31	31
zw. stof toevoer	mg/l	18,4	17,6	21,2	21,2	11,8	11,8
zw. stof filtraat	"	8,6	6,1	9,0	9,1	4,8	5,5
spoelsnelheid	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$	60	50	60	50	60	50
spoeltijd	min	10	10	10	10	10	10
spoelwatervolume	m^3	2,8	2,3	2,8	2,3	2,8	2,3

Tabel 8. Procescondities bij het opstellen van de massabalans

In figuur 15 is de drukopbouw tijdens de filtratieperiodes weergegeven, waaruit blijkt dat, vooral in het zandfilter een duidelijke koekfiltratie optreedt. In het dubbellaagsfilter (DL-f) is dat in mindere mate het geval. In verband met de planning voor het uitvoeren van deze experimenten zijn de filtratieproeven bij het dubbellaagsfilter beëindigd voordat de maximale drukval werd bereikt. Het zandfilter is op één uitzondering na wel tot het maximale drukverschil belast.

In figuur 16 is de toename van de drukval weergegeven bij toenemende hoeveelheid afgefiltreerd materiaal.

Tabel 9 geeft de analyse-resultaten van deze experimenten.

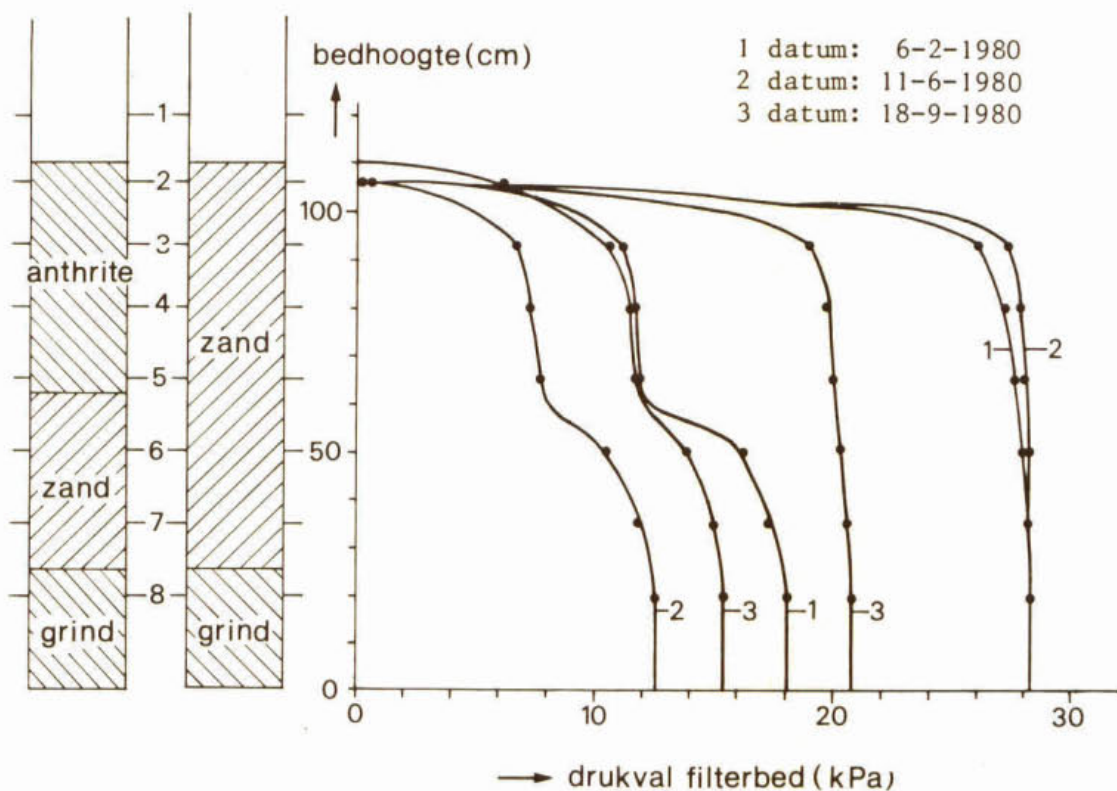


Fig. 15. Drukopbouw in de filters

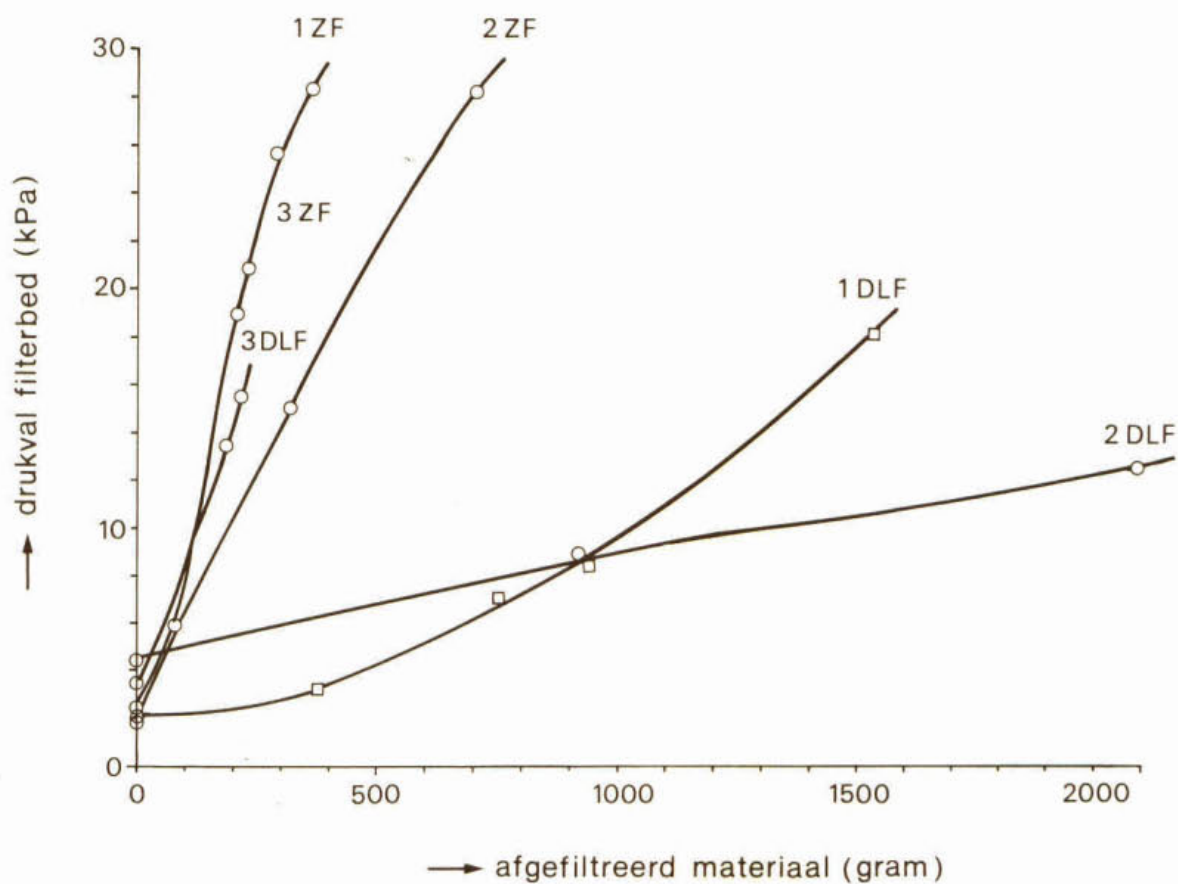


Fig. 16. Drukval over het filterbed als functie van de hoeveelheid afgefilterd materiaal

parameter	eenheid	concentratie parameter op																	
		6 - 2 - 1980 in					11 - 6 - 1980 in					18 - 9 - 1980 in							
		voeding	filtr. ZF	Filtr. DLF	spoelw. toevoer	spoelw. uit ZF	spoelw. uit DLF	voeding	filtr. ZF	filtr. DLF	spoelw. toevoer	spoelw. uit ZF	spoelw. uit DLF	voeding	filtr. ZF	filtr. DLF	spoelw. toevoer	spoelw. uit ZF	spoelw. uit DLF
zwev.stof droogrest	mg/l	18,4/17,6 590	8,6 580	6,1 580	18,0 594	710	- 1120	21,2	9,0	9,1	12,1	64	136	11,8 -	4,8 -	5,5 -	23,2 -	124 -	162 -
BZV	mg/l	8	5	6	7	110	285	54	9	52	27	120	180	59	7	10	52	98	150
CZV	"	67	58	50	66	290	690	87	72	81	90	170	270	78	65	67	83	205	265
N-Kj	mgN/l	26	27	22	20	35	59	35	30	35	34	41	46	20	20	20	17	24	31
N-NH ₄ ⁺	"	22	24	20	17	18	18	34	28	35	33	33	36	18	19	18	14	8,0	16
N-NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻	"	1,31	1,34	1,44	1,64	1,18	1,19	9,4	11,2	11,4	10,2	7,8	54	19,4	18,4	18,9	19,8	18,3	15,2
P-ortho	mgP/l	4,4	4,8	4,2	3,2	3,8	3,7	11	11	12	11	11	11	11	11	11	8,7	9,6	9,3
P-tot	"	5,1	5,4	4,9	3,7	7,9	16	12	12	13	12	13	15	11	11	11	8,8	11	12
Cd	µg/l	1,5	1,4	1,1	2,3	5,4	6,1	1,2	1,1	2,5	0,5	0,6	1,6	1,9	2,4	4,9	0,9	1,1	5,4
Cr	"	2,6	1,6	3,1	<0,2	26	50	4,3	4,1	2,6	4,0	4,1	5,0	1,7	1,5	1,8	1,1	1,2	2,1
Cu	"	7,8	3,7	4,0	14	125	310	5,8	1,7	2,7	2,1	6,1	9,2	9,3	6,4	3,3	8,0	4,1	6,1
Hg	"	0,4	0,4	0,4	0,6	1,2	1,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,5	< 0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	2,3
Pb	"	2,4	2,0	2,2	1,8	6,0	14	9,8	9,1	9,5	7,7	8,6	9,1	0,7	0,5	0,7	0,7	1,1	0,9
Ni	"	60	75	55	28	45	85	50	38	42	32	36	32	7,3	10	11	7,3	9,1	14
Ag	"	0,1	0,3	0,1	0,6	8,0	12,8	0,8	0,4	0,5	0,4	0,5	2,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	1,1
Zn	"	77	32	41	92	625	1677	43	22	33	26	27	26	67	59	62	71	77	80

Tabel 9. Resultaten t.b.v. het opstellen van de massabalans

Voor het berekenen van de massabalans over een filter kan de volgende formule worden gebruikt:

$$V_1 (C_1 - C_2) - V_2 (C_4 - C_3) = R$$

waarin V_1 : het totaal gefiltreerd volume (m³)
 C_1 : concentratie in voeding van het filter (g/m³)
 C_2 : concentratie in filtraat van het filter (g/m³)
 V_2 : spoelwatervolume (m³)
 C_3 : concentratie in spoelwater naar filter (g/m³)
 C_4 : concentratie in spoelwater uit filter (g/m³)
 R : restvervuiling in het filter (g)

Indien in het filter geen blijvende vervuiling optreedt, is R gelijk aan nul.

Indien R voor de diverse waarden van de parameters wordt berekend, blijken de uitkomsten zeer sterk te variëren.

Een reden hiervoor kan zijn dat door de systematische fouten in de bij de berekeningen benodigde grootheden de absolute fout in R zo groot wordt dat aan de waarde van R geen belang meer mag worden toegekend. Zie voor de R -waarden van de zwevende stof tabel 10.

datum	zwevende stof (gram)					
	zandfilter			dubbellaagsfilter		
	filter	uitge- spoeld	restver- vuiling	filter	uitge- spoeld	restver- vuiling
11-6-1980	732	145	587	2190	285	1905
18-9-1980	216	264	-48	406	281	125

Tabel 10. Restvervuiling van filterbedden

Volgens deze berekeningen zou er in drie van de vier gevallen een aanzienlijke restvervuiling optreden.

Dit is echter in tegenspraak met de experimentele gegevens. Immers, een restvervuiling zou bij volgende experimenten aanleiding geven tot een verhoogde drukval, die nimmer is waargenomen. Ook diverse visuele inspecties van het filtermateriaal wezen niet in die richting. Een vervuiling of aangroei van het filtermateriaal kon niet worden geconstateerd. Daaruit, en ook uit de experimenten beschreven in hoofdstuk 5.4.4, kan worden geconcludeerd, dat de gevolgde spoelwatermethode effectief is.

Geconcludeerd moet worden dat deze methode niet geschikt is voor het nauwkeurig opstellen van een nauwkeurige massabalans (tijdens het onderzoek konden echter geen modificaties meer aangebracht worden om dit soort experimenten beter te kunnen uitvoeren).

5.4.4 overige kwaliteitsparameters

Overigens leveren de resultaten van de analyses wel bruikbare gegevens om enigszins een indruk te krijgen van het verloop van een groot aantal kwaliteitsparameters in de verschillende seizoenen (zie tabel 9). Ook kan een indruk worden verkregen van de concentraties aan zware metalen. De metalen zink, nikkel, en in mindere mate lood en koper, komen in het effluent het meest voor. Ook is onderzocht in hoeverre de zware metalen in opgeloste vorm of gebonden aan het zwevend materiaal in het effluent aanwezig zijn (tabel 11), door monsters te filtreren door membraanfilters met poriëndiameter 0,45 μm .

	6 - 2 - 1980		11 - 6 - 1980		18 - 9 - 1980	
	ongefiltreerd	gefiltreerd	ongefiltreerd	gefiltreerd	ongefiltreerd	gefiltreerd
zwevende stof (mg/l)	18,0	-	21,2	-	11,8	-
BZV (mg/l)	8	5	54	5	59	6
CZV "	67	48	87	84	78	68
N-Kj "	26	24	35	35	20	20
N-NH ₄ ⁻ "	22	22	34	33	18	18
N-NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ "	1,31	1,36	9,4	9,9	19,4	18,9
P-Ortho "	4,4	4,4	11	11	11	11
P-tot "	5,1	4,8	12	12	11	11
Cd ($\mu\text{g/l}$)	1,5	1,3	1,2	0,5		
Cr "	2,6	2,5	4,3	5,0		
Cu "	7,8	4,3	5,8	5,9		
Hg "	0,4	0,4	0,4	0,4		
Pb "	2,4	1,9	9,8	9,1		
Ni "	60	60	50	42		
Ag "	0,1	0,1	0,8	0,5		
Zn "	77	40	43	64		

Tabel 11. Analyseresultaten van gefiltreerde en ongefiltreerde monsters rwzi-effluent (laboratoriumanalyses)

Met uitzondering van CZV en BZV blijkt, dat in het effluent de zwevende stoffen op zich nauwelijks enige invloed hebben op de kwaliteit van het effluent. Verreweg het grootste gedeelte bevindt zich in een niet aan zwevende stof gebonden vorm in het water of in colloïdale vorm.

5.4.5 de effectiviteit van het spoelproces

De spoelprocedure bestaat uit een luchtspoeling gevolgd door een waterspoeling. De daarbij gehanteerde snelheden zijn:

lucht : 100 m³/m².h
 en water : 60 m³/m².h voor het zandfilter
 en 50 m³/m².h voor het dubbellaagsfilter.

Om een indruk te krijgen van de tijd, die voor een effectieve reiniging van het filterbed vereist is, is een aantal malen het spoelwater bemonsterd. Door bepaling van de droogrest van die monsters kan de effectiviteit van het spoelproces worden gecontroleerd.

De resultaten van deze experimenten zijn in figuur 17 weergegeven. Ook is regelmatig gecontroleerd in hoeverre sprake is van blijvende vervuiling door bijvoorbeeld aangroei op de korrels van het filtermateriaal. Naast visuele beoordeling is een belangrijke grootheid de drukval over het

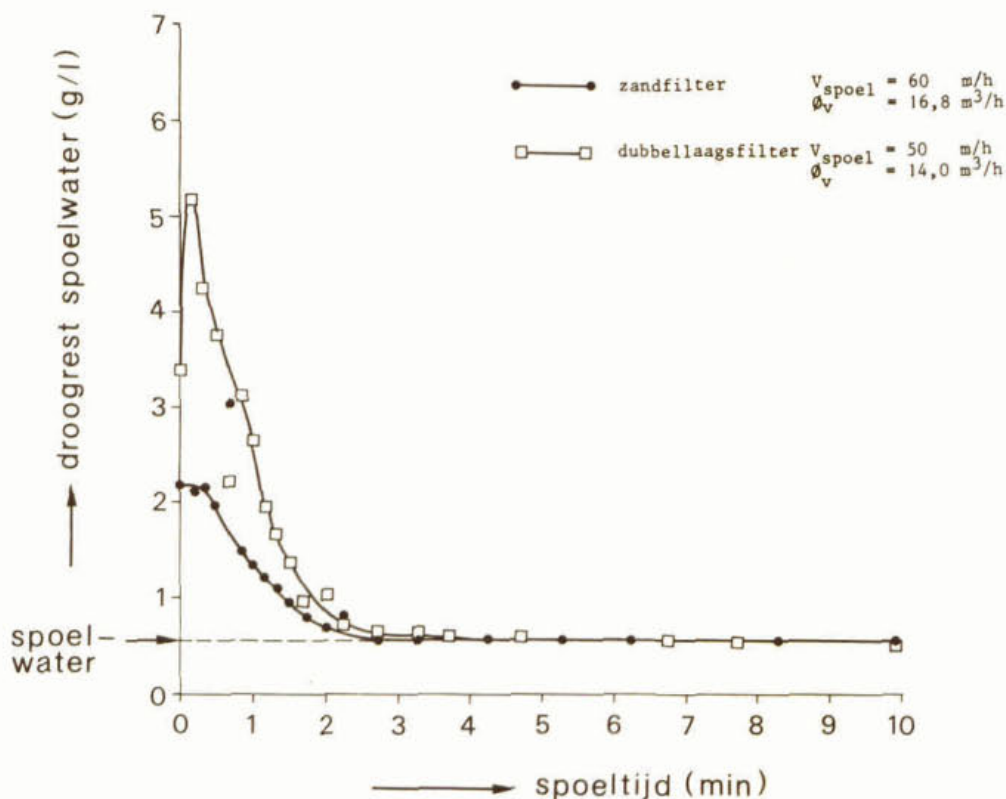


Fig. 17. Verloop van de droogrest van het spoelwater als functie van de spoeltijd

filterbed in schone toestand. Een geleidelijke toename wijst op een of andere vorm van blijvende vervuiling. Tijdens de hier beschreven experimenten is hiervan echter niets waargenomen.

5.5 Samenvatting en conclusies filtratie-experimenten

- Bij de 32 filtratie-experimenten over zand ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$), snelheid $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, varieerde de verlaging van het zwevendestofgehalte tussen 37% en 82%. De gemiddelde verwijdering bedroeg 60%. Bij 28 van de 32 proeven lag het zwevendestofgehalte in het filtraat onder de arbitraire waarde van 10 mg/l .
- De resultaten van de 25 proeven met een dubbellaagsfilter (anthrite $d = 1,6 - 2,5 \text{ mm}$ en zand $d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$), filtratiesnelheden $5 - 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, zijn vergelijkbaar met die van de filtratie over zand. De verlaging van het zwevendestofgehalte varieerde tussen 10% en 87%; de gemiddelde verwijdering bedroeg 56%. Het zwevendestofgehalte in het filtraat was in 19 van de 25 gevallen lager dan 10 mg/l .
- In de 10 experimenten met een fijner dubbellaagsfilter uit zand met $d = 0,5 - 0,8 \text{ mm}$ en hydroanthraciet met $d = 0,6 - 1,6 \text{ mm}$, snelheden tussen 5 en $20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, varieerde de verlaging van het zwevendestofgehalte tussen 19 en 72%, met een gemiddelde van 55%. In tegelijkertijd uitgevoerde proeven met een snelheid $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ over zand ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) werden verwijderingspercentages tussen 42 en 73 gevonden, met een gemiddelde waarde van 61%.

Filtratie over fijner materiaal levert geen opvallend betere resultaten op, behoudens het feit dat hierbij het zwevendestofgehalte in het filtraat de 10 mg/l niet overschreed.

- De filtratiesnelheid heeft geen invloed op het verwijderingspercentage. Bij de belangrijk hogere filtratiesnelheden in het dubbellaagsfilter ($5 - 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) wijkt het gemiddelde verwijderingspercentage nauwelijks af van dat bij het zandfilter bij $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.
- De experimenteel gevonden verlaging van het zwevendestofgehalte is aanmerkelijk minder goed dan de in de literatuur vermelde 70 - 90% en hoger bij vergelijkbare condities. De oorzaak voor deze verschillen is waarschijnlijk de geringe afmetingen van het zwevende stof. Er is geen aanwijsbaar verband tussen het zwevendestofgehalte van het effluent en de bereikte lage verwijderingspercentages. Dit kan wijzen op een relatief grote hoeveelheid zwevende stof in de vorm van kleine, moeilijk te verwijderen deeltjes.
- De weerstandtoename voor het dubbellaagsfilter (anthrite $d = 1,6 - 2,5 \text{ mm}$, zand $d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) bij snelheden van $10 - 15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, komt overeen met die voor het zandfilter ($d = 0,8 - 1,2 \text{ mm}$) bij $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Het benodigd filteroppervlak voor een bepaalde capaciteit kan dan ook voor een filtervulling anthrite/zand 2 à 3 maal kleiner zijn dan voor een filtervulling uit zand alleen.
- Na 1 jaar in bedrijf geweest te zijn, verkeren de filtermaterialen nog in goede conditie. De spoeling van de filters met achtereenvolgens lucht ($100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) en water ($50 \text{ à } 60 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) is derhalve effectief gebleken.
- Het zuurstofverbruik tijdens de filtratie was als gevolg van biologische activiteit doorgaans aanzienlijk. Het resterende zuurstofgehalte varieerde tussen 0 en 2 mg/l, zodat in de praktijk eventueel rekening gehouden moet worden met de noodzaak het effluent van de filters te beluchten. Het zuurstofgebruik in de filters treedt nagenoeg geheel op in het bovenste gedeelte van het filter; dit geldt zowel voor de filtratie over zand als, zij het in wat mindere mate, voor de dubbellaagsfiltratie.
- De CZV-afname van 15% voor zandfiltratie en dubbellaagsfilter is belangrijk lager dan de in de literatuur genoemde 30%. De afname van de BZV is aanzienlijk hoger. Er zijn echter aanwijzingen dat de voorgeschreven hoeveelheid allylthiourem bij de BZV-bepaling in een aantal situaties onvoldoende was om de activiteit van nitrificeerders geheel te onderdrukken. Door deze onzekerheid kunnen de BZV-waarden te hoog liggen.
- De verlaging van het N-Kjeldahl- en P-totaal-gehalte blijkt bij snelfiltratie verwaarloosbaar. Dit resultaat bevestigt de veronderstelling dat het N- en P-gehalte van de zwevende stoffen in effluent gering moet zijn. De verlaging van het TOC-gehalte was bij de filtratie over zand- en dubbellaagsfiltratie respectievelijk, gemiddeld 16% en 10%.
- De mate waarin de metalen Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Ag en Zn worden verwijderd, is gezien de sterke onderlinge verschillen moeilijk interpreteerbaar.
Uit metingen van het gehalte van deze metalen vòòr en na filtratie door een membraanfilter ($0,45 \mu\text{m}$) kan opgemaakt worden dat de metalen in effluent voornamelijk in opgeloste en/of colloïdale vorm voorkomen. Snelfiltratie zal dan ook niet tot een belangrijke verlaging van het gehalte leiden.

De volgende variabelen zijn onderzocht:

- de poriën van het gaas

De microzeef is standaard uitgerust met gaas met een maaswijdte van 25 µm; er zijn ook experimenten uitgevoerd met gaas met een aanzienlijk kleinere maaswijdte nl. 13 µm.

- het spoelwaterverbruik

Bij het bereiken van de maximaal toelaatbare drukval wordt het zeefgaas gereinigd door middel van boven de trommel aangebrachte sproeiers, door welke het spoelwater bij verhoogde druk (250 à 300 kPa) wordt versproeid.

- het toerental van de trommel

Het toerental kon traploos worden gevarieerd tussen 0 - 4 toeren per minuut.

- de capaciteit van de microzeef

In principe wordt de hydraulische capaciteit van de installatie bepaald door de belasting van zwevende stof.

6.3 Uitgevoerde metingen

Voor de beoordeling van de werking van de microzeefinstallatie zijn de meest relevante procesvariabelen gemeten. Zo zijn dagelijks de hoeveelheid behandeld water, de spoelfrequentie en de spoelduur bepaald.

Ter bepaling van de effectiviteit van de zwevendestofverwijdering is eveneens dagelijks een dagmengmonster geanalyseerd, terwijl ook steekmonsters zijn onderzocht op zwevendestofgehalten.

Overeenkomstig de filtratie-experimenten is ook voor deze installatie meerdere malen het reeds in hoofdstuk 5.3 beschreven analyse-programma uitgevoerd.

6.4 Resultaten microzeving

6.4.1 zwevendestofverwijdering

De resultaten van de experimenten zijn samengevat in tabel 12.

maand	temp. °C	zwevende stof (mg/l)		rend.%	aantal waarn.
		voeding	filtraat		
oktober 1979	14,0	9,3	7,8	16	12
november 1979	13,0	20,5	13,8	33	4
december 1979					
januari 1980	9,0	38,3	31,7	17	23
februari 1980	9,0	10,0	7,7	23	5
maart 1980	11,0	11,4	8,6	25	18
april 1980	13,0	14,8	9,6	35	4
mei 1980	15,0	12,3	10,6	14	31
juni 1980	16,0	6,8	5,4	20	8
juli 1980	16,5	13,7	10,2	26	8
augustus 1980*	19,5	9,1	7,3	20	10
september 1980*	19,0	10,3	6,4	38	27

Tabel 12. Verwijdering van zwevende stof door middel van microzeving

* toegepast werd een gaas met maaswijdte 13 µm.

De vermelde maandgemiddelden zijn rekenkundig gemiddelde waarden, die alle waarnemingen omvatten. Hetzelfde geldt voor figuur 19, waar het zwevendestofgehalte na microzeving is weergegeven als functie van het zwevendestofgehalte in het effluent van de rwzi. Figuur 20 geeft in de vorm van een frequentieverdeling nogmaals de zwevendestofgehalten vòòr en na zeving.

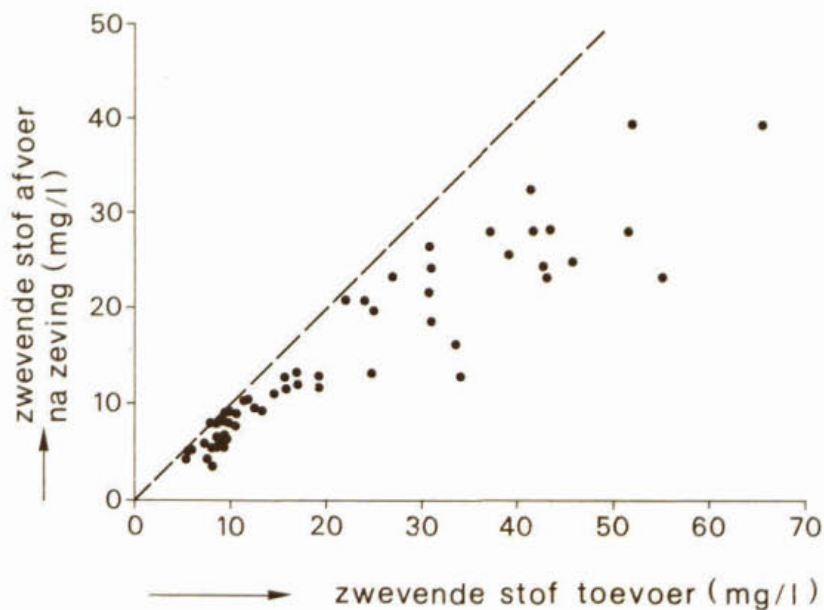


Fig. 19. Zwevendestofgehalte in afvoer microzeef als functie van het zwevendestofgehalte van het effluent van de rwzi

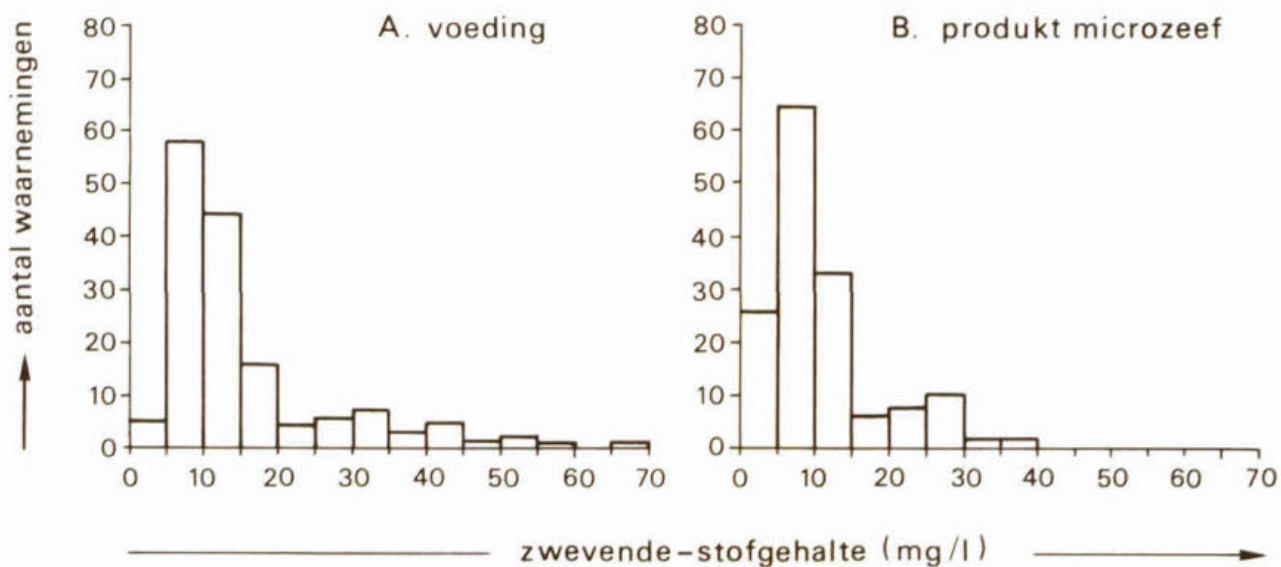


Fig. 20. Frequentie-verdeling zwevendestofgehalte

Uit de resultaten van de experimenten blijkt dat gemiddeld circa 21% wordt verwijderd.

De oorzaak van dit lage percentage kan niet met zekerheid worden aangewezen. Het meest waarschijnlijk lijkt, dat de aard van de zwevende stof en met name de deeltjesgrootte verantwoordelijk is voor het lage rendement. Zowel bij deze experimenten als bij de eerder genoemde filtratieproeven bleek het verwijderingspercentage geringer dan op grond van de literatuurstudie verwacht mocht worden.

Ook de resultaten die Jansma en Weesendorp⁴ verkregen met een soortgelijke microzeef liggen beduidend hoger dan de resultaten van deze experimenten. Uit figuur 19 blijkt dat bij een hoger gehalte aan zwevend materiaal in het effluent van de rwzi het rendement toeneemt, doch beperkt blijft. Dit betekent dat het lage verwijderingsrendement ten dele toegeschreven kan worden aan het gemiddeld lage gehalte (circa 15 mg/l) in het effluent. Dit verschijnsel wordt weliswaar ook door Jansma waargenomen, al is het verwijderingspercentage over het gehele gebied daar (van 0 - 100 mg/l) hoger, namelijk 60%.

Om na te gaan of een laag verwijderingspercentage veroorzaakt werd door een te grove maaswijdte (25 μ m) van de microzeef zijn de zeeframen vervangen door ramen met een gaas, waarvan de maaswijdte 13 μ m bedroeg.

Uit tabel 12 blijkt dat dit weliswaar een aantoonbare invloed had op het zuiveringseffect; het effect blijft echter relatief gering.

Om de invloed van het toerental van de microzeef op de verwijdering na te gaan, is de zwevendestofverwijdering bepaald bij diverse omwentelingssnelheden (zie tabel 13 en figuur 21).

Uit deze gegevens blijkt dat ook een variatie van het toerental geen duidelijke invloed heeft op de zwevendestofverwijdering.

omw. snelheid (m/min.)	zwevendestofverwijdering %			aantal waarnemingen
	gemiddeld	max.	min.	
1,7	22	14	11	10
3,5	38	62	22	8
4,1	29	60	6	18
5,0	26	55	6	13
6,7	35	58	19	6
8,7	29	62	1	31
9,6	38	58	20	3
10,8	34	46	22	2
11,6	25	57	5	19
18,8	26	45	13	5

Tabel 13. Zwevendestofverwijdering bij verschillende omwentelingssnelheden van de microzeef

Aangezien bovengenoemde procesvariabelen geen aantoonbare relatie hebben met de verlaging van het zwevendestofgehalte, zijn verder geen berekeningen uitgevoerd aan de maximaal toelaatbare belasting aan zwevende stoffen en de maximale hydraulische belasting.

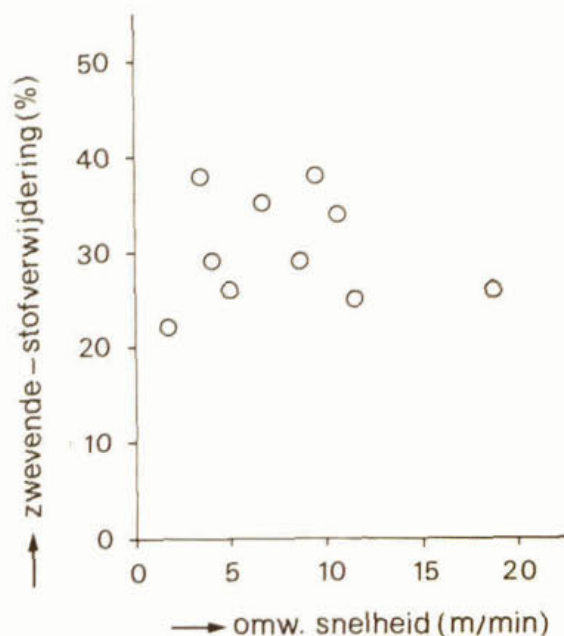


Fig. 21. Gemiddelde verwijderingspercentages als functie van de omwentelingssnelheid

De bij deze experimenten verkregen resultaten zijn daar niet geschikt voor. Bovendien had gedurende langere tijd het zwevendestofgehalte hoger moeten zijn, zodat ook de maximale toelaatbare belasting experimenteel had kunnen worden bepaald. Daartoe zijn wel pogingen ondernomen, namelijk door op kunstmatige wijze het zwevendestofgehalte op te voeren door aan het effluent van de rwzi een relatief geringe hoeveelheid onbezonden afvalwater te doseren. Door de omstandigheden zijn deze experimenten op min of meer provisorische wijze uitgevoerd; het bleek echter niet mogelijk om hierbij representatieve en reproduceerbare resultaten te verkrijgen.

6.4.2 *neveneffecten van zwevendestofverwijdering*

Evenals bij de filtratie-experimenten zijn ook bij de microzeef regelmatig monsters geanalyseerd op de kwaliteitsparameters BZV, CZV, N-Kj en P-tot. De resultaten van deze bepalingen staan vermeld in tabel 14. Hieruit blijken verlagingen van de CZV en BZV van gemiddeld 2, resp. 24%. Ook hier speelt de onzekerheid omtrent de juistheid van de BZV-bepaling mee. Voor N-Kjeldahl en P-totaal zijn de verlagingen gering.

6.5 Samenvatting en conclusies microzeving

- De verlaging van het zwevendestofgehalte over gaas met de maaswijdte 25 μm bedroeg gemiddeld 21% (113 waarnemingen gedurende 9 maanden). Voor het gaas met de maaswijdte 13 μm bedroeg de verlaging gemiddeld 33%. (37 waarnemingen in 2 maanden). Opgemerkt moet worden dat de experimenten met de twee typen gaas niet gelijktijdig zijn uitgevoerd, zodat een definitieve uitspraak over de hogere effectiviteit bij het 13 μm -gaas niet geheel verantwoord is.
- De verlaging van het zwevendestofgehalte tijdens beide soorten experimenten was aanzienlijk minder dan de 50 tot 80% die in de literatuur voor vergelijkbare condities wordt genoemd.

datum	chem. zuurstof verbruik (mg/l)			biochem. zuurstof ver- bruik (mg/l)			stikstof N Kjeldahl (mg/l)			totaal fosfaat als P (mg/l)			zwevende stof (mg/l)		
	voeding	filtraat	rend.%	voeding	filtraat	rend.%	voeding	filtraat	rend.%	voeding	filtraat	rend.%	voeding	filtraat	rend.%
24-10-79	78	74	5	59	19	68	23	27	4	12	11	8	7,2	5,9	18
3-12-79	70	70	0	24	22	8	22	22	0	11	11	0	-	-	-
4-12-79*	102	97	5	25	24	4	50	50	0	11	11	0	-	-	-
9-1-80*	103	93	10	53	19	64	44	44	0	-	12	-	26,8	17,4	35
17-1-80*	104	102	2	24	22	8	28	-	-	-	6,2	-	43,6	28,4	35
23-1-80*	129	148	-15	24	23	4	48	49	-2	9,3	9,5	-2	41,6	28,0	33
21-3-80*	-	-	-	25	14	44	45	-	-	8,3	-	-	42,8	23,6	45
1-5-80*	84	91	-8	6	5	17	42	-	-	8,3	-	-	-	-	-
8-5-80*	86	85	1	14	13	7	56	-	-	10	-	-	24,6	12,9	12
14-5-80*	88	85	3	14	11	21	49	-	-	11	-	-	11,3	10,0	12
29-5-80*	83	79	5	15	9	40	41	-	-	9,5	-	-	10,4	9,1	13
29-5-80*	96	92	4	43	36	16	45	-	-	12	-	-	15,4	13,6	12
21-8-80*	90	82	9	22	20	9	45	-	-	12	-	-	13,5	11,4	16
28-8-80*	97	93	4	61	45	30	32	-	-	8,6	-	-	15,4	14,5	6
11-9-80*	69	67	3	23	16	30	8,5	-	-	9,9	-	-	6,5	6,7	3
	61	59	3	24	11	54	13	-	-	6,3	-	-	7,1	4,3	39

Tabel 14. Neveneffecten van zwevendestofverwijdering

*BZV-bepalingen met enten

0 Gaas met maaswijdte van 13 µm toegepast

De oorzaak hiervoor moet worden gezocht in de kennelijk geringe afmetingen van een belangrijke hoeveelheid zwevende stof.

- Tussen de omwentelingssnelheid van de microzeef en het verwijderingspercentage blijkt geen verband aantoonbaar.
- De microzeef heeft tijdens de experimenten uit technisch oogpunt probleemloos gefunctioneerd.
- De verlaging van de CZV bedroeg voor gaas met de maaswijdte 25 μm , gemiddeld 2%, wat laag is ten opzichte van de 30% uit de literatuur.
De verlaging van het N-Kjeldahl en P-totaal-gehalte was naar verwachting verwaarloosbaar.

1. Verwijdering van zwevende stof uit effluent.
 1. Literatuuronderzoek. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA), Rijswijk, 1980.
2. Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces.
 1. Literatuur. STORA, Rijswijk, 1982.
3. Bennekom C.A.v. - Het mechanisme van de menging van de grenslaag in een dubbellaagsfilter. H_2O 9 (1976) 16 299-304.
4. Jansma V. en Weesendorp P.P. - Effluentpolishing door middel van een microfilter. H_2O 13 (1980) 16 273 - 375.

