

NN31050.88-00

dienst binnenwateren/riza

1988-00

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

**Vergaande fosfaatverwijdering  
door  
vlokkingsfiltratie**

**(semi-technisch onderzoek)**

Handwritten text, possibly a name or number.

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

Handwritten text, possibly a date or reference number.

postbus 17, 8200 AA IJlstad ☎ 03200-70411

dienst binnenwateren/riza

postbus 80200, 2508 GE den haag ☎ 070-512710 **stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater**

# Vergaande fosfaatverwijdering door vlokkingfiltratie

(semi-technisch onderzoek)

8 JUNI 1988



0000 0386 8565

|       |  |    |
|-------|--|----|
|       | Inhoud   | I  |
|       | Ten geleide  | II |
| 1     | SAMENVATTING   | 1  |
| 2     | INLEIDING  | 4  |
| 3     | DOEL VAN HET ONDERZOEK   | 6  |
| 4     | LITERATUURSAMENVATTING   | 7  |
| 4.1   | Simultane fosfaatverwijdering                                  | 7  |
| 4.2   | Filtratie  | 9  |
| 4.3   | Vlokkingsfiltratie   | 13 |
| 4.4   | Neveneffecten bij vlokkingsfiltratie                           | 16 |
| 5     | OPZET VAN HET ONDERZOEK  | 18 |
| 5.1   | Beschrijving van de rwzi Beekbergen                            | 18 |
| 5.2   | Beschrijving van de proefinstallatie                           | 20 |
| 5.3   | Programma van onderzoek  | 21 |
| 5.3.1 | bedrijfsvoering oxydatiesloot                                  | 21 |
| 5.3.2 | meetprogramma van de vlokkingsfiltratie                        | 22 |
| 5.3.3 | analyses/metingen  | 23 |
| 6     | RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK                                   | 24 |
| 6.1   | Simultane defosfatering  | 24 |
| 6.2   | De vlokkingsfiltratie  | 26 |
| 6.2.1 | fosfaatverwijdering  | 26 |
| 6.2.2 | filtratiesnelheid-looptijd                                     | 29 |
| 6.2.3 | drukvalmetingen  | 31 |
| 6.2.4 | effect polymeerdosering  | 35 |
| 6.3   | Afname zwevende stof, sturing op troebelheid, bekerglasproeven | 35 |
| 6.4   | Neveneffecten van de filtratie                                 | 36 |
| 7     | EVALUATIE EN CONCLUSIES VAN LITERATUUR EN ONDERZOEK            | 38 |
| 7.1   | De simultane fosfaatverwijdering                               | 38 |
| 7.2   | De vlokkingsfiltratie  | 39 |
| 7.3   | De totale chemicaliëndosering                                  | 40 |
| 8     | ONTWERP EN KOSTEN  | 42 |
| 9     | CONCLUSIES   | 47 |
| 10    | LITERATUUR   | 50 |
|       | BLIJAGEN:  |    |
|       | 1. Praktijkinstallaties  | 51 |
|       | 2. Natfiltratie versus droogfiltratie                          | 57 |
|       | 3. Resultaten simultane P-verwijdering                         | 61 |
|       | 4. Verzamelde resultaten vlokkingsfiltratie                    | 63 |
|       | 5. Voorbeeldberekening   | 65 |

## Ten geleide

Het voorliggende onderzoek is tot stand gekomen dankzij de samenwerking van en financiering door DBW/RIZA en de STORA. Daarnaast heeft het Zuiveringsschap Veluwe geparticipeerd door met name de rioolwaterzuiveringsinrichting Beekbergen, apparatuur, mankracht en chemicaliën beschikbaar te stellen.

Het onderzoek is uitgevoerd door DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV en omvat een voorbereidende literatuurstudie en onderzoek op praktijkschaal naar de simultane fosfaatverwijdering, gevolgd door vlokingsfiltratie van effluent op semi-technische schaal.

De uitvoerder van het onderzoek werd begeleid door een commissie, die als volgt was samengesteld:

- ir A.H. Dirkwager DBW/RIZA (voorzitter)
- ir P.C. Stamperius STORA
- ing. R. van Dalen Zuiveringsschap Veluwe
- ing. W. Yntema Zuiveringsschap Veluwe
- ing. P. Kuiper DBW/RIZA
- ir. J.F. de Waal Ministerie van VROM

februari 1988

## SAMENVATTING

Op de rioolwaterzuiveringsinrichting Beekbergen (oxydatiesloot, 5300 i.e.) van het zuiveringsschap Veluwe is onderzoek verricht aan simultane fosfaatverwijdering gevolgd door vlokingsfiltratie om vast te stellen in hoeverre het met dit systeem mogelijk is tot een fosfaat-P-gehalte in het effluent van minder dan 0,5 mg/l te komen, en om de ontwerpgrondslagen en kosten van deze methode van vergaande fosfaatverwijdering vast te stellen. Ter ondersteuning heeft een beperkt literatuuronderzoek plaatsgevonden.

Het onderzoek besloeg twee perioden, één van 60 en één van 50 dagen, waarin ijzerchloride gedoseerd werd in het beluchtingscircuit bij een Me/P-verhouding van resp. 0,83 en 1,09. Hiermee werd een fosfaat-P-gehalte na de bezinking van resp. 2,1 en 1,2 mg/l bereikt. Een gedeelte van het op deze wijze ontstane effluent werd verder behandeld in een semi-technische installatie bestaande uit twee parallelle dubbellaagsfilters met een diameter van 0,6 m, die als volgt waren opgebouwd:

| type         | filter 1        | filter 2        |
|--------------|-----------------|-----------------|
| -----        | -----           | -----           |
| vulmateriaal | deeltjesgrootte | deeltjesgrootte |
| -----        | -----           | -----           |
| zand         | 1,4-2,0 mm      | 0,7-1,2 mm      |
| anthraciet   | 2,0-4,0 mm      | 1,4-2,5 mm      |

In de toevoer naar de filters werd ijzerchloride als vlokmiddel gedoseerd (de zogenaamde vlokingsfiltratie). Naar verwachting zal door simultane fosfaatverwijdering een fosfaat-P-gehalte van 1,0 mg/l bereikt kunnen worden. Bij dit eindgehalte van de simultane defosfatering is het niet mogelijk door rechtstreekse filtratie de gewenste streefwaarde te bereiken. Mocht in de praktijk blijken, dat het eindgehalte van de simultane defosfatering in de buurt van 0,7 mg fosfaat-P/l ligt, dan kan volstaan worden met rechtstreekse filtratie zonder toevoeging van vlokmiddel.

De resultaten van het onderzoek wezen uit, dat met dit systeem van defosfateren een fosfaat-P-gehalte in het effluent van minder dan 0,5 mg/l kon worden bereikt. Met beide filters kon deze richtwaarde worden bereikt, zij het dat bij het fijnere filtermateriaal door een efficiëntere verwijdering met een geringere dosering kon worden volstaan.

Het fosfaat-P-gehalte in het effluent van de filters varieerde afhankelijk van de ijzerchloridedosering bij filter 1 van 0,35 tot 0,7 in de eerste onderzoeksperiode en van 0 tot 2,3 mg/l in de tweede onderzoeksperiode. Voor filter 2 bedroegen deze waarden respectievelijk 0,4 tot 1,5 en 0 tot 2,1 mg/l. Het aantal proefnemingen, dat leidde tot een fosfaat-P-gehalte lager dan 0,5 mg/l was substantieel.

Rekenwaarden voor de dosering van ijzerzout ( $Fe^{3+}$ ) voor de fosfaatverwijdering door het systeem simultaan defosfateren gevolgd door vlokingsfiltratie, leidend tot een eindgehalte in het effluent na filtratie van  $< 0,5$  mg/l, zijn samengevat in onderstaande tabel.

|                    | periode 1                        |                    |      | periode 2                        |                    |      |
|--------------------|----------------------------------|--------------------|------|----------------------------------|--------------------|------|
|                    | fosfaat-P-gehalte aanvoer (mg/l) | Fe-dosering (mg/l) | Me/P | fosfaat-P-gehalte aanvoer (mg/l) | Fe-dosering (mg/l) | Me/P |
| simultaan filter 1 | 11,9                             | 18,1               | 0,83 | 11,7                             | 21,1               | 1,09 |
|                    | 2,12                             | 13,0               | 3,40 | 1,2                              | 3,7                | 1,70 |
| totaal             | -                                | 31,1               | 1,45 | -                                | 24,8               | 1,18 |
| simultaan filter 2 | 11,9                             | 18,1               | 0,83 | 11,7                             | 21,1               | 1,09 |
|                    | 2,12                             | 9,2                | 2,40 | 1,2                              | 2,5                | 1,17 |
| totaal             | -                                | 27,3               | 1,27 | -                                | 23,7               | 1,12 |

Het drukverlies in de filters is afhankelijk van de drogestofbelasting. Bij gelijke drogestofbelasting is het drukverlies in het fijne filter groter dan in het grove filter. De looptijd van het fijne filter is daarentegen belangrijk langer. Terugspoelen bij een drukval van 0,9 mWk kan in filter 1 veilig, zonder dat nog voor doorslag wordt gevreesd, plaatsvinden. In filter 2 bedraagt deze drukval 2,3 mWk. Op grond van de langere looptijd wordt voor het ontwerp en de kostenberekeningen uitgegaan van fijne filters uitgevoerd als drukfilters.

De resultaten van de drukvalmetingen wijzen uit dat filter 1 desgewenst uitgevoerd kan worden als gravitatiefilter en onder rwa-omstandigheden met eenzelfde filtratiesnelheid kan worden bedreven. Filter 2 kan slechts ten koste van een afname van de filtratiesnelheid worden uitgevoerd als een gravitatiefilter. Dit filter is meer geschikt voor toepassing als drukfilter. Vanwege het minimaal vereiste aantal proceseenheden en de afmeting van de proceseenheden is gravitatiefiltratie pas concurrerend voor rwzi's groter dan 50.000 i.e.

Met behulp van de verkregen resultaten is een relatie tussen de looptijd, de hydraulische belasting en de ijzerdosering afgeleid en zijn verbanden samengesteld, tussen het rendement en de Me/P-dosering bij filtratie in Beekbergen en de Me/P-dosering bij simultane fosfaatverwijdering in Nederlandse installaties. De verkregen relaties zijn als basis genomen voor het ontwerp en de kostenberekeningen van het systeem simultaan defosfateren plus vlokingsfiltratie. Bij het ontwerp van een filtratie-eenheid voor een rwzi van 10.000 i.e. moet op een filtratiesnelheid van 18,5 m/h bij rwa worden gerekend. Bij rwzi's van 50.000 tot 100.000 i.e. op 20 m/h. Het verschil wordt verklaard doordat de niet werkbare tijd bij spoelen naar verhouding bij kleinere installaties groter is. De maximale belasting bij rwa bedraagt 24 m/h. Dit betekent voor de dwa-situatie een filtratiesnelheid van 8 m/h.

De vlokingsfiltratie heeft een betere effluentkwaliteit tot gevolg. De extra verwijdering van BZV, CZV en NKj bedraagt ruwweg 30%.

De investeringskosten voor de simultane fosfaatverwijdering, gevolgd door vlokkingsfiltratie zijn vergeleken met de investeringskosten voor fosfaatverwijdering in de korrelreactor, gevolgd door filtratie. Deze kosten, inclusief BTW, bedragen:

| investeringskosten (gld) |                                   |                              |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|                          | simultaan +<br>vlokkingsfiltratie | korrelreactor +<br>filtratie |
| 10.000 i.e.              | 770.000-980.000                   | 970.000-1.110.000            |
| 50.000 i.e.              | 1.880.000                         | 2.620.000-2.790.000          |
| 100.000 i.e.             | 3.690.000                         | 4.850.000-5.030.000          |

De jaarlijkse lasten voor de simultane fosfaatverwijdering, gevolgd door vlokkingsfiltratie zijn vergeleken met de kosten van het systeem korrelreactor, gevolgd door dubbellaagsfiltratie. De kosten, inclusief BTW, bedragen:

| jaarlijkse lasten (gld/i.e. jaar) |                                   |                              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|                                   | simultaan +<br>vlokkingsfiltratie | korrelreactor +<br>filtratie |
| 10.000 i.e.                       | 15,05-20,45                       | 16,45-21,90                  |
| 50.000 i.e.                       | 13,45-14,65                       | 11,10-15,40                  |
| 100.000 i.e.                      | 13,35-14,55                       | 10,60-14,65                  |

Bij de installatie van 10.000 i.e. wordt de hoogte van dit bedrag voorts nog bepaald door de wijze van slibverwerking. Voor de verwerking c.q. afzet van het slib van de korrelreactor zijn vooralsnog geen kosten of baten opgevoerd. Bij grotere capaciteiten is er uit kosten oogpunt een lichte voorkeur voor de combinatie korrelreactor + dubbellaagsfiltratie.

De investeringskosten voor de simultane fosfaatverwijdering gevolgd door vlokkingsfiltratie zijn lager dan voor het systeem korrelreactor + dubbellaagsfiltratie, doch de verschillen zijn gering gezien de nauwkeurigheid van de ramingen. Andere overwegingen kunnen een rol spelen bij de keuze voor één van beide systemen. Hierbij wordt met name bedoeld op de gevoeligheid voor de kosten van de slibbehandeling en de afzet van het slib.

De inspanningen van de Nederlandse overheid om de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren hebben zich aanvankelijk gericht op beperking van de lozing van zuurstofbindende stoffen. In de tachtiger jaren is de belasting van het oppervlaktewater met voedingstoffen, de zogenaamde eutrofiëring, centraal komen te staan. Door eutrofiëring kan excessieve algengroei optreden en worden de ecologie en de gebruiksfuncties van het oppervlaktewater geschaad.

In het IMP-water 1985-1989 (5) en een CUWV0-nota (1) zijn gebieden aangeduid waarin de lozing van afvalwater slechts na vergaande fosfaatverwijdering zou mogen plaatsvinden. De eisen die aan de fosfaatemissie in gevoelige gebieden worden gesteld, zijn thans nog niet geheel duidelijk. Op dit moment wordt voor toestromende wateren in eutrofiëring gevoelige gebieden gedacht aan een fosfaat-P-gehalte van 0,25 mg/l.

Een fosfaatbalans zal uiteindelijk moeten uitwijzen welke eisen aan het effluent van de rwzi's in betreffende gebieden moeten worden gesteld. In de onderhavige studie is uitgegaan van een fosfaatverwijdering, die resulteert in een fosfaatgehalte in het effluent van maximaal 0,5 mg fosfaat-P/l.

Met de traditionele methoden van fosfaatverwijderen met behulp van metaalzouten is deze effluentkwaliteit niet haalbaar; door de lozing van zwevende stof (niet opgelost fosfaat) met het effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen wordt dit gehalte meestal reeds overschreden. Voor een vergaande verlaging van het gehalte opgelost fosfaat is daarnaast een relatief hoge chemicaliëndosering nodig. Om aan de effluenteis van  $< 0,5$  mg fosfaat-P/l te kunnen voldoen, is derhalve verwijdering van zwevende stof nodig, waarvoor filtratie de meest aangewezen methode is. Door extra dosering van chemicaliën voor de filtratie is tevens een efficiënte verwijdering van opgelost fosfaat mogelijk (vlokkingsfiltratie).

Simultaan defosfateren gevolgd door vlokkingsfiltratie wordt in Zwitserland en West-Duitsland in de praktijk toegepast. In Nederland is dit tot op heden niet het geval. De resultaten van de combinatie simultaan defosfateren - vlokkingsfiltratie zijn evenwel moeilijk te vertalen naar de Nederlandse situatie. Om deze reden bestond er behoefte de bereikbare resultaten en de benodigde procescondities proefondervindelijk vast te stellen. Dit onderzoek werd uitgevoerd op de rioolwaterzuiveringsinrichting Beekbergen van het type oxydatiesloot, waar op praktisch schaal simultaan werd gedefosfateerd. Een deel van het effluent is op semi-technische schaal onder toevoeging van vlokmiddel in een dubbellaagsfilter behandeld. Als voorbereiding hierop is een oriënterende literatuurstudie uitgevoerd naar simultaan fosfaatverwijdering gevolgd door filtratie. Deze studie diende als aanvulling en ondersteuning van het onderzoek. De bevindingen van literatuurstudie en praktijkonderzoek zijn neergelegd in voorliggend rapport. Recentelijk is het semi-technisch onderzoek beëindigd naar de vermindering van de afvoer van restfosfaat van de korrelreactor met behulp van een dubbellaagsfilter (2). Het bleek, dat met het systeem korrelreactor - dubbellaagsfilter lage fosfaatgehalten kunnen worden bereikt ( $< 0,5$  mg fosfaat-P/l), die



vergelijkbaar zijn met die van een traditioneel systeem voor het verwijderen van fosfaat gevolgd door vlokkingsfiltratie. Het is derhalve van belang om aan de hand van de onderzoekresultaten en de daarop gebaseerde dimensionering ook een financiële vergelijking uit te voeren tussen fosfaatverwijdering met behulp van de combinatie korrelreactor-dubbellaagsfiltratie en de combinatie simultaan defosfateren-vlokkingsfiltratie.

In dit rapport komen achtereenvolgens aan de orde het doel van de studie (hoofdstuk 2) en de literatuurstudie (hoofdstuk 3). Vervolgens wordt nader ingegaan op het praktijkonderzoek (hoofdstuk 4), waarin zijn opgenomen een beschrijving van de installaties, het onderzoekprogramma en de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 5 vindt een evaluatie van het onderzoek en een interpretatie van de resultaten plaats. Tenslotte wordt in hoofdstuk 6 ingegaan op ontwerpgrondslagen en kosten van de methode. Deze kosten worden vergeleken met die van defosfateren in een korrelreactor gecombineerd met dubbellaagsfiltratie.

3 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Doel van het praktijkonderzoek is vast te stellen in hoeverre met het systeem simultaan defosfateren - vlokingsfiltratie het gewenste fosfaatgehalte van 0,5 mg/l fosfaat-P in het effluent kan worden bereikt, alsmede onder welke condities lagere gehalten, bijvoorbeeld 0,2 mg/l, worden bereikt.

Daarnaast is het van belang te bepalen tegen welke kosten dit doel bereikbaar is. Deze kosten dienen vergeleken te worden met de kosten van het systeem korrelreactor-nafiltratie. Hiervoor moeten de dimensioneringsgrondslagen van de simultane fosfaatverwijdering, gevolgd door vlokingsfiltratie, worden vastgesteld.

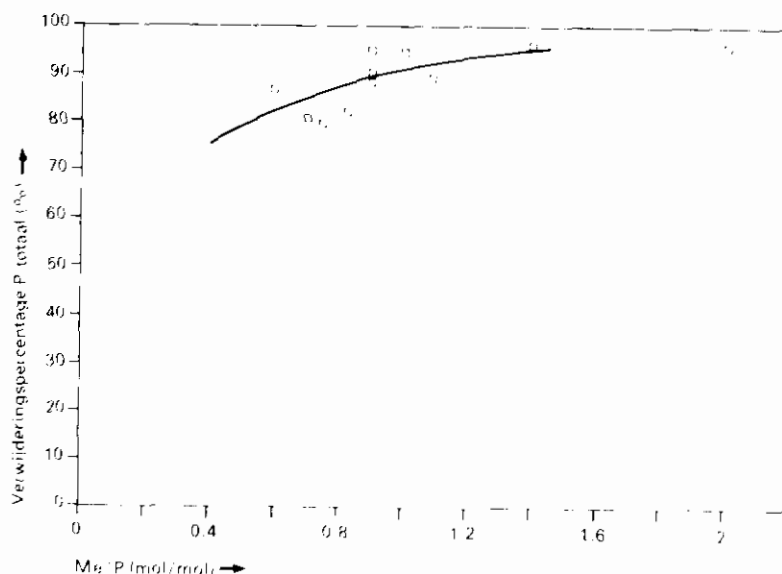
## 4 LITERATUURSAMENVATTING

### 4.1 Simultane fosfaatverwijdering

De theoretische en praktische achtergronden van de simultane fosfaat-P-verwijdering zijn in een groot aantal publicaties en rapporten behandeld. Om deze reden wordt in deze literatuursamenvatting volstaan met enkele van de voor de vergelijking van de literatuurgegevens en de onderzoekresultaten van belang zijnde aspecten.

Simultane fosfaat-P-verwijdering berust op het vastleggen van fosfaat-P in biologisch slib door dosering van metaalzouten en/of kalk in de toe- of afvoer van, of direct in de beluchtingstanks van actief-slibinstallaties. Veel toegepaste zouten zijn de chloriden en sulfaten van ijzer en aluminium. Deze chemicaliën vormen, met de fosfaten die in het afvalwater aanwezig zijn, onoplosbare verbindingen, die gelijktijdig met biologisch materiaal door bezinking worden afgevangen.

De gemiddelde fosfaat-P-verwijdering die in actief-slibinstallaties in Nederland zonder dosering van metaalzouten optreedt, ligt tussen 20 en 40%. De toepassing van metaalzouten voor de simultane dosering leidt tot aanzienlijk hogere verwijderingspercentages. Bij het toepassen van metaalzouten is het gebruikelijk de chemicaliënbehoefte te relateren aan de totale hoeveelheid fosfaat-P in het ruwe afvalwater, en de dosering uit te drukken in molaire verhouding Me/P. Een verhoging van de Me/P-verhouding leidt tot een grotere fosfaat-P-verwijdering. Hiervoor is een meer dan proportionele toename van de chemicaliën-dosis nodig. In figuur 1 is de verwijdering van fosfaat-P in een aantal Nederlandse oxydatiesloten afgebeeld (12).



Figuur 1 De verwijdering van fosfaat-P bij simultaan defosfateren als functie van de dosering (Me/P)

Bij de simultane fosfaatverwijdering ontstaat een mengsel van biologisch en chemisch slib. Onder deze condities kan worden aangenomen dat de toegevoegde metaalionen geen invloed hebben op de stabilisatiegraad van het biologische surplusslib. De toename van de slibproductie komt dan volledig op rekening van het gevormde chemische slib. De stabilisatiegraad zal in het algemeen niet in gevaar komen, aangezien simultaan defosfateren een afname van de slibvolume-index tot gevolg heeft, zodat de beluchtingstanks met een hoger slibgehalte bedreven kunnen worden. Op grond van literatuurgegevens zijn de in tabel 1 vermelde slibproducties te verwachten bij simultane P-verwijdering met ijzerzouten (9).

Tabel 1 - Te verwachten slibhoeveelheden in g/i.e.d. bij simultane defosfatering met ijzerzouten

|                        | Fe/P = 0 | Fe/P = 1 | Fe/P = 1,5 |
|------------------------|----------|----------|------------|
| biologisch surplusslib | 40       | 40       | 40         |
| chemisch slib          | -        | 15       | 21         |
| totaal                 | 40       | 55       | 61         |
| toename                |          | +38%     | +53%       |

Het fosfaatgehalte van aëroob gestabiliseerd slib van een zuiveringssysteem zonder fosfaatverwijdering bevat 2-3% fosfaat-P. Na defosfateren neemt dit gehalte toe tot circa 6%.

Door toevoeging van chemicaliën in de beluchtingstank treden veranderingen op in de samenstelling van het effluent. In eerste instantie betreft dit het aniongehalte van het effluent. Ter illustratie is in tabel 2 de berekende concentratieverhoging in het effluent voor verschillende Me/P-verhoudingen opgenomen. Huishoudelijk afvalwater bevat 40-400 mg Cl/l en 15-150 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l.

Tabel 2 - Verhoging anionconcentratie bij defosfatering van afvalwater met 20 mg P/l

| Zout  | FeSO <sub>4</sub>             | FeCl <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> |
|-------|-------------------------------|-------------------|---|
| Anion | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Cl <sup>-</sup>   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                   |
| Me/P  | mg/l                          | mg/l              | mg/l  |
| 1,0   | 62                            | 69                | 93  |
| 1,5   | 93                            | 103               | 139   |
| 2,0   | 124                           | 137               | 186   |

Andere min of meer indirecte veranderingen kunnen optreden in BZV, CZV, Nkj-gehalte en de pH van het effluent. Meestal worden bij toepassing van simultane fosfaatverwijdering geen significante veranderingen in BZV- en CZV-verwijdering waargenomen ten opzicht van de situatie zonder toevoeging van chemicaliën. Toepassing van verontreinigd vlokmiddel bij simultaan defosfateren kan mogelijk leiden tot een toename van het zware-metaalgehalte in het effluent van de nabezinktank.

Bij simultane defosfatering is het gevaar aanwezig dat de gebruikte chemicaliën de nitrificatie- en de denitrificatiesnelheden beïnvloeden. Door een aantal onderzoekers worden grensconcentraties voor ijzer- en aluminiumionen gegeven, waarboven de nitrificatiesnelheid wordt beïnvloed. De voorzichtige conclusie uit deze onderzoeken luidt, dat de nitrificatiesnelheid afneemt bij  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Al}^{3+}$ - doseringen groter dan 15-20 mg/l (4). Een eventuele afname van de nitrificatiesnelheid hoeft met name in verband met de nitrificatie-overcapaciteit van de oxydatiesloot niet te leiden tot verminderde rendementen voor de stikstofverwijdering. Dit heeft onderzoek op de installaties Bodegraven en Nieuwveen uitgezeten (4).

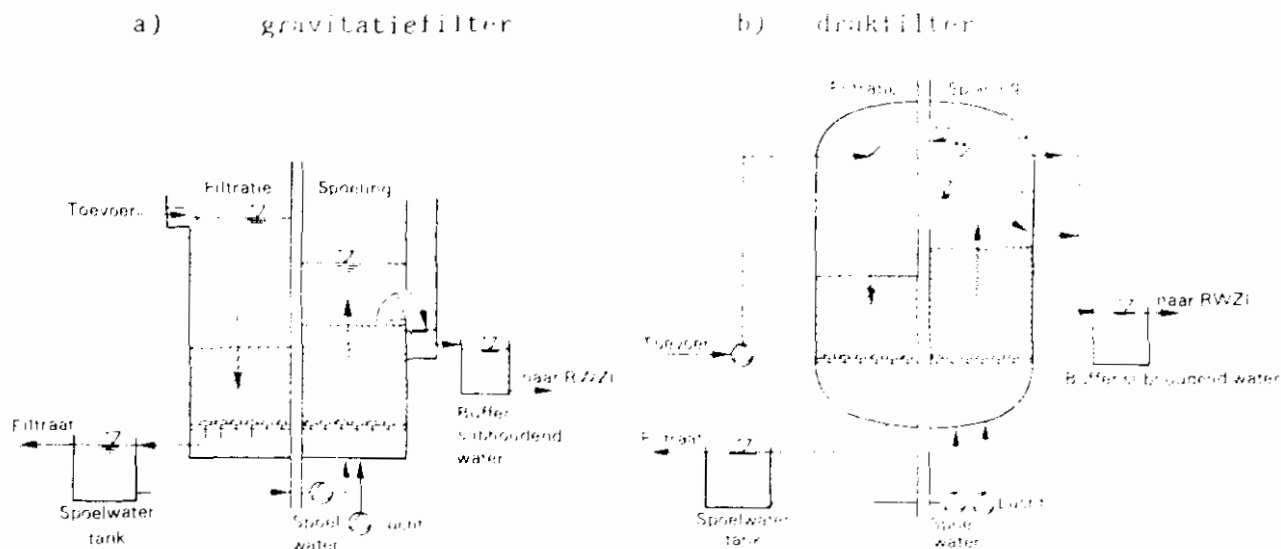
De literatuur vermeldt de resultaten van laboratoriumonderzoek betreffende de invloed van ijzer- en aluminium-doseringen op de denitrificatiesnelheid. Uit dit onderzoek blijkt dat remming plaats kan vinden bij relatief hoge dosering van metaal-ion. Verwacht mag worden dat de dosering in de meeste praktijksituaties niet tot problemen zal leiden (9).

De pH-daling, die het gevolg is van het doseren van metaalzouten, kan leiden tot slibverzuring en een verstoring van het zuiveringsproces. Slibverzuring treedt in de praktijk op bij een pH < 5. Om deze reden moet als richtlijn worden aangehouden, dat pH-correctie plaats vindt bij een pH-waarde < 6. Een ander effect van pH-daling kan een minder goede vlokvorming zijn door afwijking van het pH-optimum voor de oplosbaarheid van het gedoseerde metaal-zout. In de dagelijkse bedrijfsvoering blijkt dit niet tot problemen te leiden bij pH-waarden tussen 6 en 8.

#### 4.2 Filtratie

Het principe van filtratie berust op de doorstroming van een poreus medium met te behandelen water, waarbij zwevende en soms ook colloïdale deeltjes in de poriën van het medium achterblijven. Er bestaan meerdere uitvoeringsvormen van het filtratieproces. Voor filtratie van effluent wordt in de praktijk om redenen van grondbeslag, eenvoud van regeneratie en effectieve vuilberging, snelfiltratie het meest toegepast. De snelfiltratie kan geschieden in gesloten drukfilters of in open gravitatiefilters. Het spoelen van de filters kan continu of discontinu geschieden. Voorts kan nog natfiltratie, danwel droogfiltratie, plaatsvinden. Blijkens de literatuur is er weinig onderscheid tussen deze beide vormen van snelfiltratie (bijlage 2).

Onderstaande figuur geeft inzicht in het principe van de filtratie in gravitatiefilters en drukfilters.



Figuur 2 - Principeschemata van a) gravitatie- en b) drukfilters

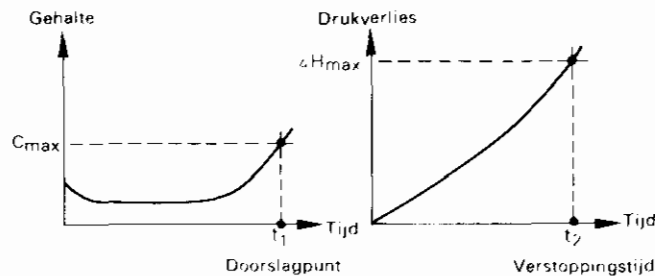
Het maximale drukverlies in drukfilters kan groter zijn dan in gravitatiefilters. Drukfiltratie kan daardoor worden toegepast met een hogere filtratiesnelheid dan wel met een langere looptijd. Een ander onderscheid is gelegen in de afmeting van de filter-eenheden. Het maximale oppervlak van drukfilter-eenheden blijft beperkt tot  $\pm 15 \text{ m}^2/\text{filter}$ . Het oppervlak van gravitatiefilters bedraagt  $20\text{-}35 \text{ m}^2/\text{filter}$ . Om bedrijfsmatige redenen worden bij voorkeur minimaal 3-4 filters toegepast. Dit betekent dat de toepassing van gravitatiefilters in de afvalwaterzuivering vooral interessant wordt bij rwzi's met een capaciteit van 50.000 i.e. of meer.

Met name in de afvalwaterbehandeling lijken de meevlaag-systemen tot de beste resultaten te leiden. De voordelen zijn een betere vuilberging over de hoogte van het filterbed (grob naar fijn filtratie), hetgeen resulteert in een lager drukverlies en een betere afscheiding van de deeltjes. Van groot belang bij de toepassing van snelfilters is de laagopbouw, want het spelen treedt stratificatie van filtermateriaal op waardoor de kleinere korrels zich naar de bovenzijde van het bed verplaatsen. In het geval van neerwaartse filtratie wordt hierdoor de filteroppervlakte in de bovenlaag vergroot. Dit probleem kan worden ondervangen door uniforme deeltjesgrootte (geen stratificatie) of toepassing licht materiaal op een onderlaag van zand.

Ten behoeve van de dubbellaagfiltratie wordt vaak gebruik gemaakt van hydro-anthraciet als top laag op een onderlaag van zand. Dit filter combineert een hoge vuilbergingcapaciteit en lage stromingsweerstand in het relatief goede hydro-anthraciet met een goede bescherming tegen doorlag in het ftere zand. De korrelgrootte van hydro-anthraciet ligt in de regel tussen  $0,5$  en  $2,5 \text{ mm}$ , de korrelgrootte van zand tussen  $0,5$  en  $1,5 \text{ mm}$ . De dichtheid van het hydro-anthraciet bedraagt ongeveer  $1,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  tegen  $2,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  voor zand.

In principe kunnen meer dan twee verschillende filterlagen worden toegepast. In de praktijk zal het aantal filterlagen om praktische redenen doorgaans tot twee beperkt blijven.

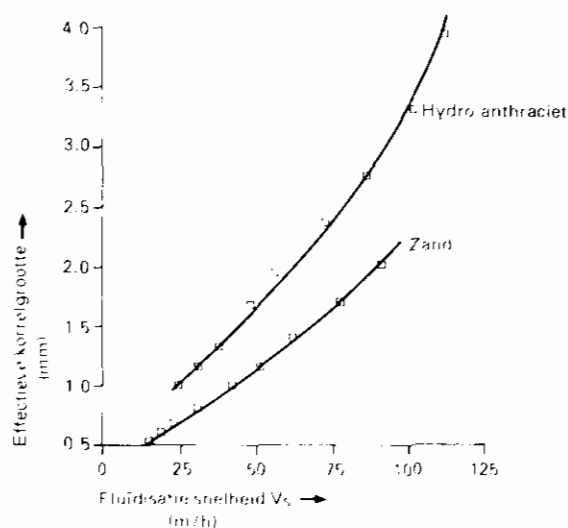
De voortdurende accumulatie van gesuspendeerd materiaal in de poriën van het filterbed heeft een toename van de stromingsweerstand tot gevolg. Als het filter gaat verstoppingen, moet bij een bepaalde maximale drukval het filter worden teruggespoeld. Een ander criterium voor teruggespoelen is de concentratie aan zwevende stoffen in het effluent van de filters. Als deze concentratie snel begint op te lopen spreekt men van doorslag van de filters. Teruggespoelen moet dan plaatsvinden.



Figuur 3 - Kwaliteits- en drukvalcriterium

Theoretisch is bij een optimaal werkend filter de doorbraaktijd ( $t_1$ ) gelijk aan de verstoppingstijd ( $t_2$ ). Uit veiligheidsoverwegingen wordt in de praktijk voor filtratie van afvalwater gesteld dat  $t_1 \geq t_2$ .

Bij het spoelen (de regeneratie) wordt het bed in een gefluïdiseerde toestand gebracht. Hierbij worden sterke wrijvingskrachten op de korrels uitgeoefend en worden verontreinigingen uit de poriën en van de korrels verwijderd. De voor de fluïdisatie vereiste spoelsnelheid is afgebeeld in figuur 4.



Figuur 4 - Minimum fluïdisatiesnelheid van zeeffracties zand en hydro-anthraciet (10)

De figuur geeft aan dat voor fluidisatie van een filterbed, opgebouwd uit de fracties zand 0,8 - 1,2 mm en hydro-anthraciet 1,6 - 2,5 mm, een minimale spoelsnelheid van  $65 - 75 \text{ m}^3/(\text{m}^2/\text{h})$  vereist is. In de praktijk blijken dergelijke hoge snelheden meestal niet noodzakelijk, indien voorafgaand aan de spoeling met water een luchtspoeling wordt toegepast ( $40-100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ). De luchtspoeling oefent grote wrijvingskrachten uit op de korrels waardoor het vuil loskomt van de korrels. De waterspoeling zorgt voor de afvoer van het vuil uit het filter. Een laatste waterspoeling met een snelheid van  $20-40 \text{ m/h}$  is nodig om de bij de luchtspoeling ontstane ontmenging van filtermaterialen teniet te doen. Bij de spoeling kan een expansie van het filterbed optreden, tot  $\pm 50\%$  afhankelijk van de spoelsnelheid. Met deze expansie moet bij het ontwerp rekening worden gehouden. Een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp van filters vormt voorts het verdeelsysteem voor spoelwater en spoellucht. Beide stromen dienen gelijkmatig over het filteroppervlak verdeeld te worden.

Bij de toepassing van hoge filtratiesnelheden, moeten de filters frequent worden gespoeld. Frequent spoelen leidt enerzijds tot een verkorting van de effectieve filtratietijd (in-/uitloop) en een verhoging van de kosten voor opslag en behandeling van spoelwater, anderzijds zullen de investeringskosten lager zijn. Het spoelwaterverbruik in praktijkinstallaties bedraagt  $3-10\%$  van de behandelde hoeveelheid. Hogere waarden wijzen meestal op problemen in de bedrijfsvoering. Voor een goede vuilverwijdering dient de spoeltijd  $5 - 30$  minuten te bedragen (7).

In snelfilters kunnen door de over het filterbed optredende drukval samengeperste klonten ontstaan. De oorzaak van het ontstaan van deze agglomeraten van slib kan ook liggen in een aangroei van biologisch materiaal op de zandkorrels. Als spoelen zowel met water als met lucht niet tot verwijdering van deze slibklonten leidt, zal het filtermateriaal van tijd tot tijd moeten worden gespoeld met oxydatiemiddelen. De slibklonten ontstaan vooral als de looptijden te hoog ( $> 20-30$  uur) worden, dit wil zeggen bij naar verhouding lage filtratiesnelheden. Kortere looptijden dan  $6-10$  uur worden algemeen als ongewenst ervaren vanwege het hoge spoelwaterverbruik en problemen bij de bedrijfsvoering. Bij de zuivering van afvalwater betekent de toevoer van spoelwater een extra belasting van de voorafgaande onderdelen.

De filtratiesnelheid  $v$  ( $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{h})$ ) is één van de belangrijkste ontwerpparameters voor snelfiltratie. Het benodigd filteroppervlak is omgekeerd evenredig met de filtratiesnelheid. Hoge filtratiesnelheden zullen leiden tot relatief lage investeringskosten en resulteren in kortere looptijden en een hoge spoelfrequentie. Bij een optimale ontwerpkeuze spelen beide factoren een rol.

Bij hoge snelheden wordt een betere verdeling van het afgevangen materiaal over het filter bereikt dan bij lage filtratiesnelheden. Het gehalte aan zwevende stof in het effluent van de filters wordt door de snelheid niet of nauwelijks beïnvloed (8).



Hoge filtratiesnelheden hebben een grote drukval over het filterbed tot gevolg. Dit effect wordt in de praktijk vaak opgeheven door een reductie van de drukval als gevolg van de grotere indringdiepte bij hogere filtratiesnelheden. Daarbij ontstaat het beeld, dat de drukval over het filterbed voornamelijk afhankelijk is van de drogestofhoeveelheid en de berging (10).

De procestechnische voordelen van hogere snelheden zijn:

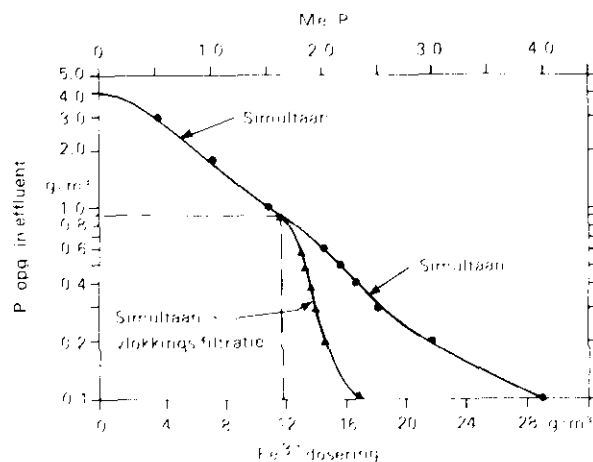
- een lange transportweg door het filter
- een hogere turbulentie, die de transportmechanismen voor adsorptie van deeltjes aan filtermateriaal bevordert.

Bij hogere snelheden is daarentegen de verblijftijd in het filter korter; hierdoor kunnen vlokvorming en biologische activiteit nadelig worden beïnvloed. Het laatste verschijnsel is experimenteel bevestigd (10).

#### 4.3 Vlokkingsfiltratie

Met simultane fosfaatverwijdering als enige behandelingsstap is het in de Nederlandse situatie, gekarakteriseerd door een relatief hoog fosfaat-P-gehalte in het influent, om praktische en economische redenen vrijwel niet mogelijk te komen tot een fosfaat-P-gehalte in het effluent  $< 1$  mg/l. Door filtratie van het gedefosfateerde effluent, waarbij 50-80% van de zwevende stof wordt verwijderd, wordt een extra fosfaat-P-reductie van 10-30% verkregen.

Opgelost restfosfaat in het effluent van een rwzi kan worden verwijderd door filtratie van effluent onder toevoeging van chemicaliën: de zogenaamde vlokkingsfiltratie. De toevoeging van zouten van metalen leidt tot de vorming en flocculatie van onoplosbare fosfaten en hydroxyden. Voor de vlokkingsfiltratie komen vooral de zouten van driewaardige metalen zoals  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  en  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  in aanmerking. Voorts worden soms polymeren als vlokkingshulpmiddel toegepast. Resultaten van onderzoek in Zwitserland duiden op mogelijke besparingen op het gebruik van chemicaliën indien simultane fosfaat-P-verwijdering gevolgd wordt door vlokkingsfiltratie. Figuur 5 laat zien dat voor eenzelfde opgelost fosfaat-P-gehalte in het effluent bij toepassing van simultane fosfaat-P-verwijdering meer chemicaliën nodig zijn dan bij simultane fosfaat-P-verwijdering gevolgd door vlokkingsfiltratie (8).



Figuur 5 - Restfosfaat-P-gehalte (opgelost) als functie van de ijzerdosering

De dosering van vlokmiddelen heeft de toevoer van een extra hoeveelheid zwevende stof aan de filters tot gevolg. Deze hoeveelheid wordt theoretisch berekend op:

$$ZS = 2,7 \Delta[P] + 1,9 \times 56 \times \left( \frac{Fe^{3+}}{56} \frac{\Delta[P]}{31} \right)$$

ZS = toename zwevende in toevoer aan het filter (mg/l)

$\Delta[P]$  = verwijderde hoeveelheid fosfaat-P over het filter (mg/l)

$Fe^{3+}$  = gedoseerde hoeveelheid ijzer-ion in toevoer aan het filter (mg/l)

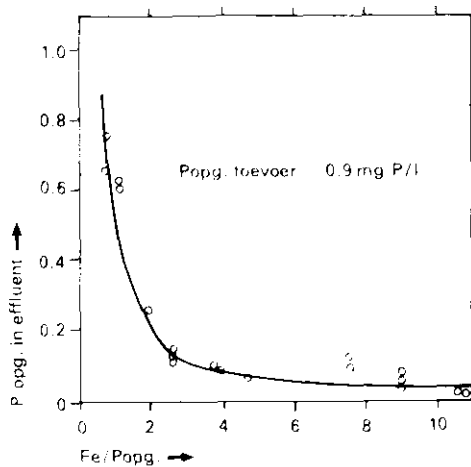
In de praktijk blijkt de extra drogestofhoeveelheid wat kleiner te zijn. Het gevolg van deze hogere drogestofbelasting van de filters is een grotere drukval over het filter en het sneller bereiken van het doorslagpunt. De dosering van vlokmiddelen kan een sterkere verkorting van de looptijd tot gevolg hebben dan op grond van de extra drogestofproductie wordt verwacht. De gevormde metaalzoutvlokken zijn volumineuzer dan de zwevende bestanddelen in het effluent van de nabezinking, hetgeen een snellere drukopbouw in het filter veroorzaakt. De gevormde vlokken hebben ook een zwakkere vlokstructuur en daardoor een geringere weerstand tegen afschuifkrachten. Vlokbreek kan onder deze omstandigheden leiden tot verslechtering van de filtraatkwaliteit. Zwitserse ervaringen leren dat door toevoeging van geringe hoeveelheden polymeer de vlok sterker wordt en langere looptijden kunnen worden bereikt (10). In de praktijk gebruikte polymeren zijn non-ionisch tot zwak anionisch. De dosering bedraagt 0,02 - 0,2 mg/l.

Door middel van simultane fosfaat-P-verwijdering gevolgd door vlokkingfiltratie kunnen lage fosfaatgehalten in het effluent van een rwzi worden bereikt. In tabel 3 zijn de resultaten van inrichtingen in Zwitserland en Duitsland samengevat (12).

Tabel 3 - Fosforverwijderingspercentages bij vlokkingfiltratie (12)

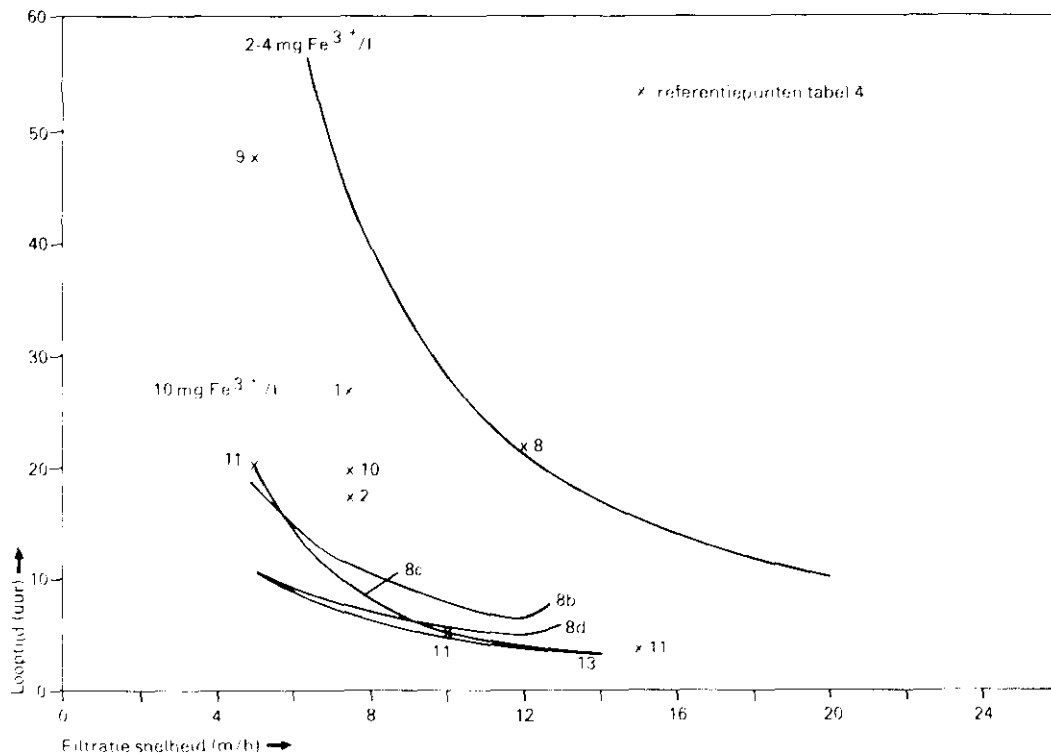
| P-totaal (mg/l) |                | Me/P-filter | R(%) |
|-----------------|----------------|-------------|------|
| influentfilter  | effluentfilter |             |      |
| 1,31            | 0,66           | 1,75        | 50   |
| 1,25            | 0,26           | 1,90        | 64   |
| 1,00            | 0,13           | 1,36        | 67   |
| 1,00            | 0,10           | 1,90        | 90   |
| 1,08            | 0,15           | 1,55        | 86   |
| -               | -              | 1,90        | 73   |
| 1,10            | 0,14           | 2,00        | 87   |
| 1,00            | 0,17           | 2,00        | 83   |
| 1,31            | 1,13           | 2,00        | 19   |

Uit figuur 6 blijkt, dat met vlokkingfiltratie het opgelost fosfaat efficiënt wordt verwijderd. In dit onderzoek werd een gehalte aan opgelost-P in het effluent van 0,1 mg/l bereikt bij een  $Fe/P = 2,9$  (mol.verh) over het filter. Om tot een verdere verlaaging te komen, moeten bijna exponentieel toenemende hoeveelheden ijzer worden gedoseerd.



Figuur 6 - Rest-P-gehalte (opgelost) als functie van de ijzerdoserings (3)

Het is voordehandliggend dat naast de filtratiesnelheid de drogestofbelasting van invloed is op de filterlooptijd. In figuur 7 is verband gelegd tussen filterlooptijd, de filtratiesnelheid en de ijzerdoserings als indicatie voor de drogestofbelasting. De belangrijkste parameters ervan zijn vermeld in tabel 4.



Figuur 7 - Invloud van de filtratiesnelheid op de looptijd met de Fe<sup>3+</sup>-doserings als lopende parameter (12)

Tabel 4 - Aanvullende gegevens bij figuur 7

| onderzoek | type filters | zwevendestof-<br>gehalte<br>(mg/l) | Fe <sup>3+</sup><br>dosering | polymeer-<br>toepassing |
|-----------|--------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1         | 2 laagfilter | 12,6                               | 2,2                          | -                       |
| 2         | 2 laagfilter | 12                                 | 4,0                          | -                       |
| 8         | 2 laagfilter | 22                                 | 4,0                          | +                       |
| 8b,c,d    | 3 laagfilter | 10-20                              | >10                          | +                       |
| 9         | 2 laagfilter | 8                                  | 2,0                          | +                       |
| 10        | 2 laagfilter | 12                                 | 3,6                          | +                       |
| 11        | 3 laagfilter | 10-20                              | >10                          | +                       |
| 13        | 2 laagfilter | 10-20                              | >10                          | -                       |

In de onderzoeken 8b, c, d, 11 en 13 gaan relatief hoge influentconcentraties (tot 20 mg/l) aan zwevende stof gepaard met hoge ijzerdoseringen (>10 mg/l). Het gevolg hiervan zijn de naar verhouding korte looptijden voor de filtratie.

In op praktijkschaal werkende filtratie-inrichtingen worden filtratiesnelheden tot 25 m/h bij RWA toegepast. Onder DWA-omstandigheden wordt gewoonlijk een filtratiesnelheid van 7,5 tot 12 m/h aangehouden.

#### 4.4 Neveneffecten bij vlokkingfiltratie

##### BZV-, CZV-, stikstof- en zwevendestofverwijdering

In de Zwitserse literatuur worden BZV-verwijderingspercentages genoemd van 70 tot 85% (10, 12). Deze reducties zijn toe te schrijven aan biologische activiteit in de vlokkingfilters. Er worden dan ook aanzienlijke zuurstofverbruiken gemeten, vooral over het bovenste gedeelte van het filtermateriaal. Bij lagere snelheden wordt de BZV-reductie hoger tot een bepaalde grens. Bij hoge snelheden is de verblijftijd te kort en zal de BZV-reductie klein zijn. De CZV-verwijdering bedraagt ongeveer 25 tot 40% (10, 12). Voor verwijdering van zwevende stof wordt 70 tot 95% gerapporteerd. In de literatuur wordt een NKj-verwijdering van 30% genoemd (12). Ter vergelijking staan in tabel 5 de resultaten van de klassieke filtratie geplaatst naast de resultaten met vlokkingfiltratie. De vlokkingfiltratie werd bedreven bij een dosering van 1-4 mg Fe<sup>3+</sup> per liter.

Tabel 5 - Vergelijking BZV-, CZV-, zwevendestofreducties van vlokkingfiltratie met klassieke filtratie

|                          | BZV-verwijdering | CZV-verwijdering | zwevendestof-<br>verwijdering |
|--------------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| met FeCl <sub>3</sub>    | 70-85            | 25-40            | 70-90                         |
| zonder FeCl <sub>3</sub> | 10-30            | 0-20             | 50-90                         |

zware metalen en micro-organismen

In onderstaande tabel zijn de reducties opgenomen van zware metalen en micro-organismen bij de vlokkingfiltratie (12).

Tabel 6 - De verwijdering van zware metalen en micro-organismen door vlokkingfiltratie

|               | percentage verwijderd |
|---------------|-----------------------|
| zware metalen |                       |
| - Cd          | 50-80                 |
| - Zn          | 50-80                 |
| - Pb          | 50-80                 |
| - Cu          | 50-80                 |
| - Ni          | 10                    |
| - Cr          | 75                    |
| - As          | <sup>1)</sup>         |
| bacteriën     | 95-100                |
| virussen      | > 99                  |

<sup>1)</sup> geen gerapporteerde gegevens bekend. Arseen (in arsenaat of arsenietvorm) wordt aan ijzer gebonden en naar verwachting volledig verwijderd.

5 OPZET VAN HET ONDERZOEK

5.1 Beschrijving van de rwzi Beekbergen

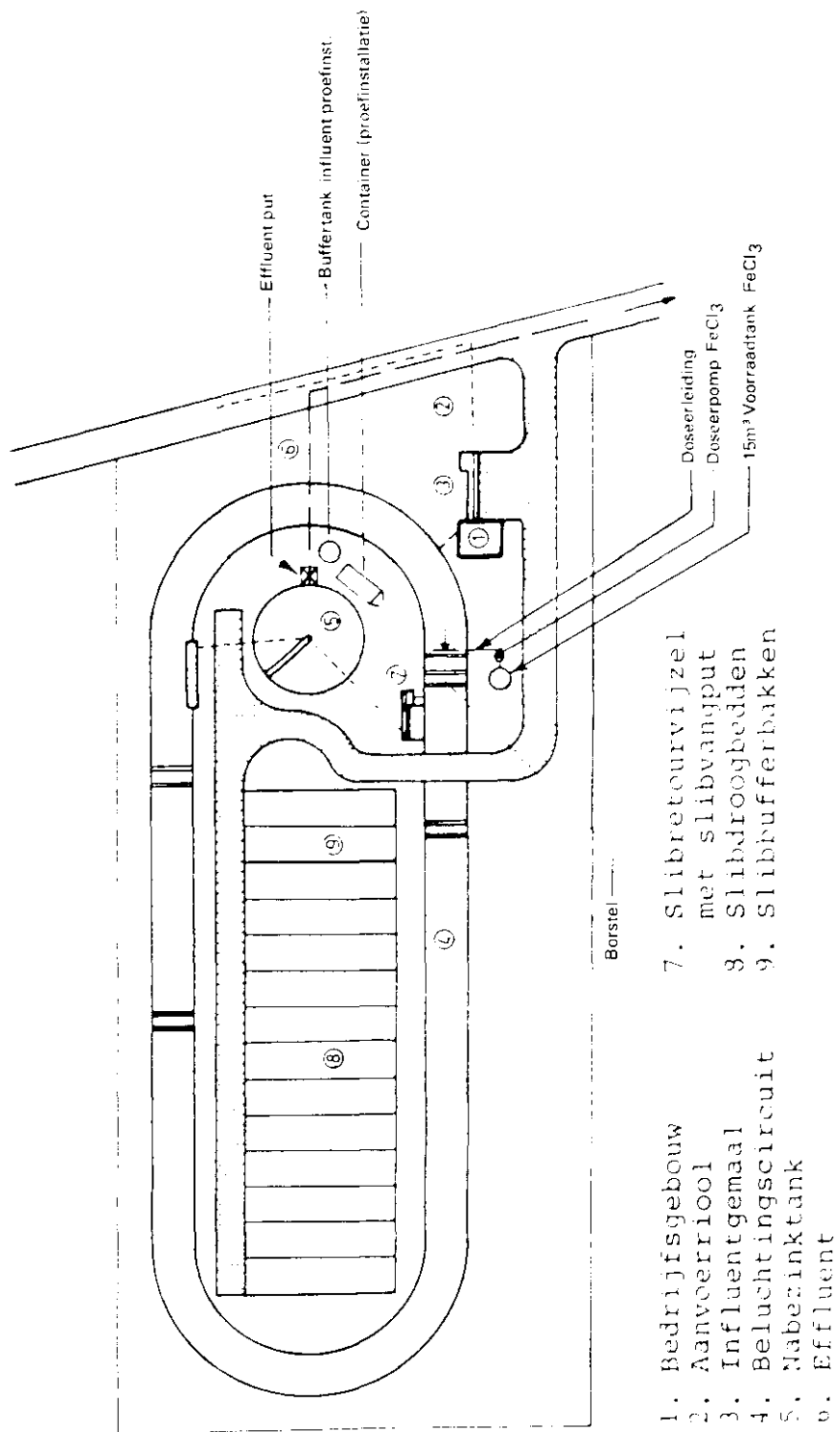
De rwzi Beekbergen is een oxydatiesloot met borstelbeluchting. De nabezinktank en de droogvelden zijn op het middenterrein gesitueerd. In figuur 8 is de plattegrond afgebeeld. De rwzi heeft in 1986 een capaciteitsvergroting ondergaan, in de vorm van een niveauperhoging in het circuit en de plaatsing van twee nieuwe borstelbeluchters. De huidige grondslagen zijn:

|                                      |                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| aanvoer                              |                                       |
| - aantal inwonerequivalenten         | 5300                                  |
| - capaciteit aanvoervijzel (rwa/dwa) | 175/75 m <sup>3</sup> /h              |
| beluchtingscircuit                   |                                       |
| - inhoud                             | 1300 m <sup>3</sup>                   |
| - beluchttingscapaciteit             | 39 kg O <sub>2</sub> /h               |
| - aantal rotoren                     | 4                                     |
| - rotorlengte                        | 3,90 m                                |
| nabezinktank                         |                                       |
| - max. opp. belasting                | 1 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h) |
| - oppervlak                          | 175 m <sup>2</sup>                    |
| - diameter                           | 15 m                                  |
| - kantdiepte                         | 1,5 m                                 |
| retourslibvijzel                     |                                       |
| - capaciteit                         | 58,5/98,5 m <sup>3</sup> /h           |
| slibdroogvelden                      |                                       |
| - oppervlak (12 stuks)               | 1219 m <sup>2</sup>                   |

De slibbelasting bedroeg in de periode 1981-1987 gemiddeld 0,04 kg BZV/kg slibdrogestof per dag bij een gemiddeld slibgehalte van ca. 4,5 g/l. Zoals de cijfers in tabel 7 uitwijzen, werkt de installatie goed. De fosfaattoevoer is voor Nederlandse begrippen laag.

Tabel 7. De zuiveringsresultaten van de rwzi

|                  |         | periode<br>1981-1987 |                |
|------------------|---------|----------------------|----------------|
| debiet           |         | 1125                 | m <sup>3</sup> |
| BZV              | - infl. | 168                  | mg/l           |
|                  | - effl. | 5,5                  | ug/l           |
|                  | - rend. | 97                   | %              |
| CZV              | - infl. | 396                  | mg/l           |
|                  | - effl. | 41                   | mg/l           |
|                  | - rend. | 90                   | %              |
| N <sub>tot</sub> | - infl. | 34                   | mg/l           |
|                  | - effl. | 12,2                 | mg/l           |
|                  | - rend. | 64                   | %              |
| P <sub>tot</sub> | - infl. | 8,4                  | mg/l           |
|                  | - effl. | 5,5                  | mg/l           |
|                  | - rend. | 35                   | %              |



Figuur 8 - Schematisch overzicht van de rwzi Beekbergen

## 5.2 Beschrijving van de proefinstallatie

### simultane fosfaatverwijdering

Voor de simultane fosfaatverwijdering was een kunststof voorraad-tank voor ijzerchloride ( $FeCl_3$ ) aanwezig met een inhoud van  $15\text{ m}^3$  en een regelbare doseerpomp. De Me/P-verhouding (mol) bij de dosering van ijzerchloride in het beluchtingscircuit was hiermee instelbaar. De apparatuur is in het schema van figuur 8 aangegeven. Het doseerpunt voor ijzerchloride bevond zich juist vóór de eerste beluchtingsrotor, na de overstort. In de normale bedrijfsvoering waren deze rotor en de derde rotor altijd in werking. De dosering van de ijzerchloride-oplossing was continu over de dag en afgestemd op de gemiddelde fosfaat-P-aanvoer. De gemiddelde fosfaat-P-aanvoer (in kg/d) is bepaald aan de hand van de analysegegevens van de rwzi Beekbergen. Met behulp van deze gemiddelde aanvoer is het aantal liters ijzerchloride berekend, dat voor het bereiken van de gewenste Me/P-verhouding per dag gedoseerd moet worden. Een dosering afgestemd op de actuele fosfaat-P-aanvoer is niet mogelijk vanwege het ontbreken van betrouwbare automatische analyse-apparatuur.

Het influent werd proportioneel bemonsterd. Het effluent werd continu bemonsterd. Van de inhoud van het beluchtingscircuit werden steekmonsters genomen.

### vlokkingsfiltratie

In de filterinstallatie werd op semi-technische schaal een deel van het gedefosfateerde effluent behandeld. De filterinstallatie bestond uit twee parallelle, neerwaarts doorstroomde, dubbel-laagsfilters met een diameter van  $0,6\text{ m}$ , beide gevuld met  $0,7\text{ m}$  zand en  $0,7\text{ m}$  anthraciet. De filters zijn verschillend qua deeltjesgrootte van het filtermedium:

|            | filter 1   | filter 2   |
|------------|------------|------------|
| zand       | 1,4-2,0 mm | 0,7-1,2 mm |
| anthraciet | 2,0-4,0 mm | 1,4-2,5 mm |

De filters zijn, gelijkmatig over de hoogte voorzien, van acht drukmeetpunten. In figuur 9 is de filterinstallatie sterk vereenvoudigd weergegeven.



Figuur 9 - Vereenvoudigd schema van de filtratie-installatie



Met behulp van twee opjaagpompen (0-6 m<sup>3</sup>/h) wordt effluent van de rwzi door de filters gepompt vanuit een continu doorstroomd voorraadvat van 15 m<sup>3</sup>. De toevoerleidingen naar de filters zijn voorzien van debietmeters en regelafsluiters, waarmee de hydraulische belasting van de filters kan worden ingesteld tussen 5 en 20 m<sup>3</sup>/h. In de toevoerleidingen naar de filters vindt injectie van oplossingen van vlokmiddel (FeCl<sub>3</sub>, 41%) en/of vlokhulpmiddel (polymeer) plaats. Deze injectie geschiedt proportioneel met behulp van de slag-instelbare doseerpompen op commando van een pulsgevende watermeter in de toevoer van het filter.

Bij een sterke toename van de troebelheid van het effluent van een filter, wordt het spoelprogramma met de hand in werking gesteld. Het betrokken filter wordt automatisch uit bedrijf genomen, door middel van het sluiten van de afsluiters in de aan- en afvoerleiding en het stoppen van de aanjaagpomp. Het filter wordt vervolgens gespoeld met lucht en water, volgens het onderstaande schema:

- 5 minuten waterspoeling (35-40 m/h)
- afdelen van het water boven het filterbed (5 minuten)
- 5 minuten luchtspoeling (70-80 m/h)
- stilstand (5 minuten)
- 5 minuten waterspoeling (35-40 m/h)

Het spoelwater wordt onttrokken uit een filtraatvoorraadvat met een inhoud van 3 m<sup>3</sup>. Het spoelwater wordt afgevoerd naar het beluchtingscircuit. Na het spoelproces wordt het filter weer in bedrijf genomen. Het spoelprogramma is gekozen op basis van praktijkervaringen. Tijdens het onderzoek zijn geen andere spoelprogramma's onderzocht.

### 5.3 Programma van onderzoek

Het onderzoek besloeg twee perioden van respectievelijk 60 dagen en 50 dagen waarin simultaan gedefosfateerd werd. Gestreefd werd naar een P-gehalte in het effluent van de simultane defosfatering van 2-3 mg/l in de eerste periode en 1-2 mg/l in de tweede periode.

#### 5.3.1 bedrijfsvoering oxydatiesloot

Bij simultane fosfaatverwijdering neemt het gloeiverlies af. Om de slibbelasting op organische-stofbasis gelijk te houden zou dan ook het slibgehalte verhoogd moeten worden. Dit werd met het oog op de werking van de nabezinktank niet toelaatbaar geacht. Het slibgehalte werd nagenoeg constant gehouden. Dit impliceert een verhoging van de slibbelasting. De gevolgen ervan zullen bij de relatief korte onderzoekstermijn niet significant zijn.

Ijzerchloride-oplossing werd continu gedoseerd vlak voor de eerste beluchtingsrotor na de overstort van het circuit. De gedoseerde hoeveelheid ijzerchloride werd zoveel mogelijk gelijk gehouden over elk van beide onderzoeksperioden. Aanpassing van de dosering vond slechts plaats indien gedurende meerdere dagen het fosfaat-P-gehalte in het effluent afweek van de streefwaarde. Een proportionele dosering op fosfaat-P-gehalte van het influent zou waarschijnlijk iets effectiever zijn, doch wordt in de praktijk niet toegepast vanwege het ontbreken van betrouwbare automatische analyse-apparatuur.

Van te voren zijn gecontroleerd het Fe-gehalte van de ferrichlorideoplossing en de capaciteit van de aanvoervijzel. Het influent van de rwzi werd proportioneel bemonsterd; de analyses zijn verricht in dagmengmonsters. De gegevens van de inhoud van het beluchtingscircuit zijn verkregen aan de hand van steekmonsters. Het effluent werd continu bemonsterd; de analyses zijn uitgevoerd in een dagmengmonster. Dagelijks werden van in- en effluent het totaal fosfaat-P-gehalte bepaald. Ongeveer éénmaal per week werden in dagmengmonsters ook de biologische zuiveringsresultaten bepaald.

### 5.3.2 meetprogramma van de vlokkingsfiltratie

-----

Het onderzoek naar de vlokkingsfiltratie richtte zich vooral op de ontwerp- en bedrijfsvoeringsparameters voor filtratie. Hiervan zijn de belangrijkste de benodigde dosering voor een gewenst fosfaat-P-gehalte en de filterlooptijd bij verschillende filtersnelheden en belastingen met ijzer-ion of drogestof. Tijdens beide onderzoeksperiodes zijn eerst kortlopende en vervolgens langlopende filtratieproeven uitgevoerd. De kortlopende filtratieproeven (2-4 uur) zijn uitgevoerd bij een relatief lage filtratiesnelheid van 7-9 m/h en verschillende doseringen van ijzerchloride. Deze proeven zijn gericht op de relatie tussen dosering en het fosfaat-P-gehalte in het filtraat. De langlopende filtratieproeven zijn uitgevoerd bij verschillende filtratiesnelheden en doseringen. Deze proeven zijn telkens beëindigd als de filtraatkwaliteit verslechterde. De doseringen bij deze proeven zijn zodanig gekozen dat het fosfaat-P-gehalte in het filtraat 0,5 mg/l niet overschrijdt.

De bemonstering vond plaats door gedurende elke filterproef (afhankelijk van de tijdsduur) van het filtraat 3 tot 30 monsters te nemen en deze samen te voegen tot één dagmengmonster. De monsternamen werden gestart na een inlooptijd van 15 minuten en beëindigd zodra de troebelheid van het filtraat significant toenam. De troebelheid bleek een goede indicator-parameter voor doorslag van het filter, aangezien bij toename van de troebelheid het fosfaat-P-gehalte en het ijzergehalte eveneens toenemen. Het moment van doorslag (toename troebelheid) bepaalt de looptijd van het filter.

Tijdens de looptijdenexperimenten is meerdere malen de drukverdeling opgenomen, waarmee de verdeling van de vuilberging over het filterbed wordt aangegeven. Daarnaast geeft de drukverdeling en het drukverschil direct na de spoeling (schoonbedweerstand) een indicatie van de doelmatigheid van de toegepaste spoelprocedure.

Voor elk filtratie-experiment zijn de fosfaat-P-gehalten en troebelheid in het in- en effluent van de filters bepaald. Incidenteel zijn ook de zwevendestofverwijdering en de verwijdering van BZV, CZV, NKj en  $\text{NO}_3\text{-N}$  bepaald, alsmede het verloop van het zuurstofgehalte. Enkele looptijdenexperimenten zijn uitgevoerd met additionele dosering van polymeer.

Met behulp van bekerglasproeven is de invloed van de pH en de polymeedosering op de fosfaatverwijdering vastgesteld.

### 5.3.3 analyses/metingen

De volgende analyses en metingen zijn tijdens het onderzoek uitgevoerd.

Tabel 8 - Meetschema voor het onderzoek

|                    | influent<br>rwzi | inhoud<br>circuit | influent<br>filters | effluent<br>filters |
|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| debiet             | +                | -                 | +                   | -                   |
| CZV                | +                | -                 | +                   | +                   |
| BZV                | +                | -                 | +                   | +                   |
| NKj                | +                | -                 | +                   | +                   |
| NO <sub>3</sub> -N | -                | -                 | +                   | +                   |
| Ptot               | +                | +                 | +                   | +                   |
| P-ortho            | -                | -                 | +                   | +                   |
| zwevende stof      | -                | +                 | +                   | +                   |
| droogrest          | -                | +                 | -                   | -                   |
| gloeirest          | -                | +                 | -                   | -                   |
| Fe-gehalte         | -                | +                 | -                   | -                   |
| pH                 | +                | +                 | +                   | -                   |

## 6 RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

### 6.1 Simultane defosfatering

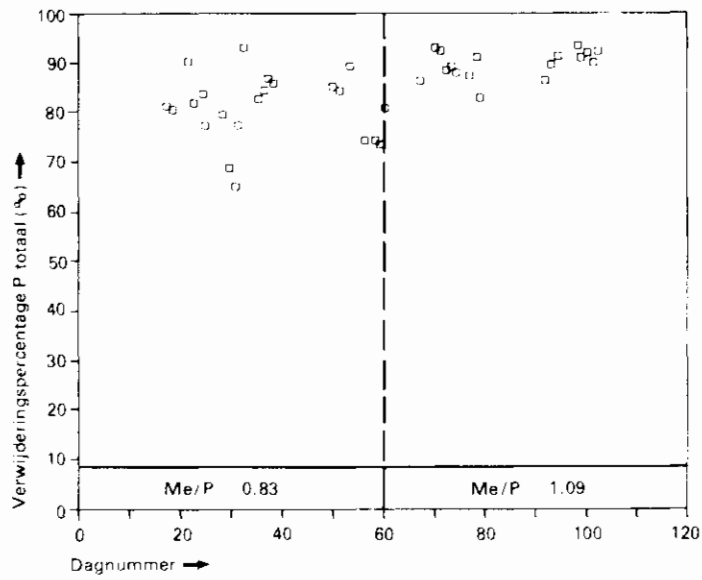
De verzamelde resultaten van de werking van de rioolwaterzuiveringsinrichting tijdens het onderzoek zijn opgenomen in bijlage 3. De resultaten van de verwerking van de meet- en analysegegevens zijn vermeld in tabel 9.

Tabel 9 - Resultaten simultane defosfatering (gewogen gemiddelde meetwaarden)

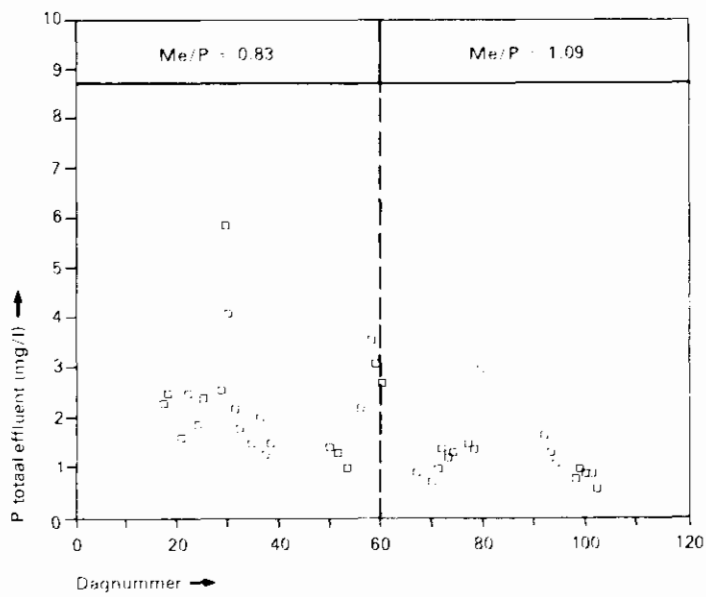
| Periode                    | 1       | 2        |
|----------------------------|---------|----------|
| debiet (m <sup>3</sup> /d) | 1268    | 1506     |
| Me/P (mol/mol)             | 0,83    | 1,09     |
| P-tot.                     |         |          |
| - influent (mg/l)          | 11,9    | 11,7     |
| - effluent (mg/l)          | 2,1     | 1,2      |
| - rendement (%)            | 82      | 90       |
| pH                         | 6,0-6,8 | <5,0-6,0 |

Zoals bijlage 3 laat zien is er, met name waar het de Me/P-verhouding betreft, nogal een grote spreiding. Deze spreiding wordt veroorzaakt door de sterke variatie van de fosfaat-P-aanvoer over de week, en ook van week tot week. Daarbij was de dosering continu met een constant debiet en afgestemd op een verwachte gemiddelde fosfaat-P-aanvoer.

In de figuren 10 en 11 zijn afgebeeld, respectievelijk het verloop van het verwijderingspercentage van fosfaat-P en het gehalte fosfaat-P in het effluent van de nabezinktank. Het verwijderingspercentage en het gehalte in het effluent worden wat stabielier bij de hoge Me/P-verhouding. In de eerste periode van onderzoek is de spreiding in de waarnemingen groot. Eenduidige relaties tussen Me/P en P-totaal in het effluent zijn niet gevonden. De resultaten van de zuivering tijdens de simultane fosfaatverwijdering zijn opgenomen in tabel 10.



Figuur 10 - Het verloop van het verwijderingspercentage van fosfaat tijdens het onderzoek



Figuur 11 - Het verloop van het fosfaatgehalte (P) in het effluent van de nabezinktank tijdens het onderzoek

Tabel 10 - De zuiveringsresultaten tijdens het onderzoek

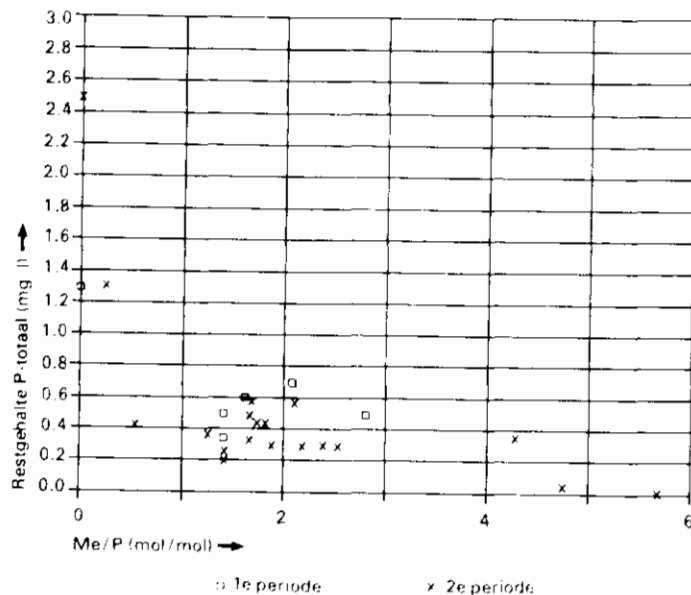
|      |              | simultaan defosfateren |             |
|------|--------------|------------------------|-------------|
|      |              | Me/P = 0,83            | Me/P = 1,09 |
| BZV  | -infl.(mg/l) | 280                    | 158         |
|      | -effl.(mg/l) | 8,5                    | 3,3         |
|      | -rend.(mg/l) | 97                     | 98          |
| CZV  | -infl.(mg/l) | 450                    | 496         |
|      | -effl.(mg/l) | 35                     | 31          |
|      | -rend.(%)    | 92                     | 94          |
| Ntot | -infl.(mg/l) | 45                     | 43          |
|      | -effl.(mg/l) | 5,7                    | 11,8        |
|      | -rend.(%)    | 87                     | 73          |

De resultaten van de biologische zuivering zijn vergelijkbaar met de resultaten van de voorafgaande jaren. Het gemiddeld NKj-gehalte in het effluent van de rwzi is < 2 mg/l tijdens het simultaan defosfateren. Dit houdt in dat vrijwel volledige nitrificatie optreedt. De toename van de slibproductie kon, in verband met de relatief korte periode waarin gedefosfateerd wordt, niet één-duidig worden vastgesteld. De gloeirest van het slib nam, zoals verwacht mocht worden, toe van gemiddeld 25% (periode 1981-1987) tot gemiddeld 35% van het drogestofgehalte (simultane defosfatering). Tijdens het onderzoek is de pH in het beluchtingscircuit tijdelijk gedaald tot beneden 5,0, waarbij plotseling een sterke verslechtering van de biologische zuivering optrad. Met behulp van een kalkdosering is daarna de pH op ongeveer 6,0 gehouden.

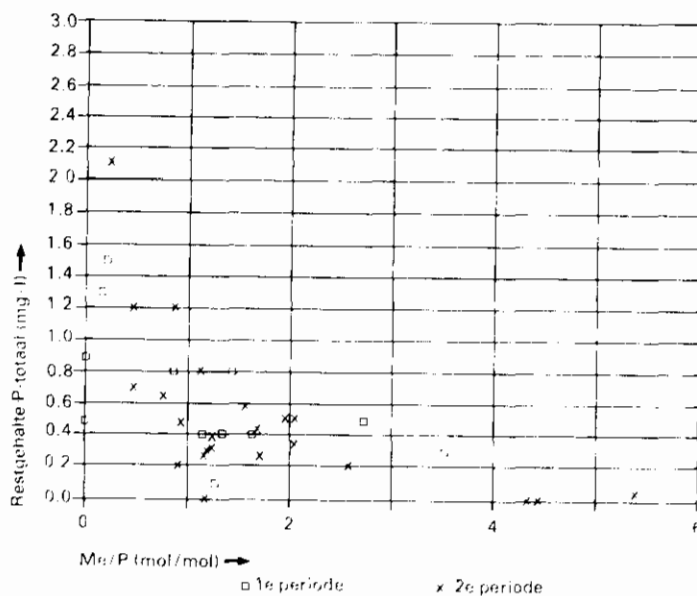
## 6.2 De vlokkingsfiltratie

### 6.2.1 Fosfaatverwijdering

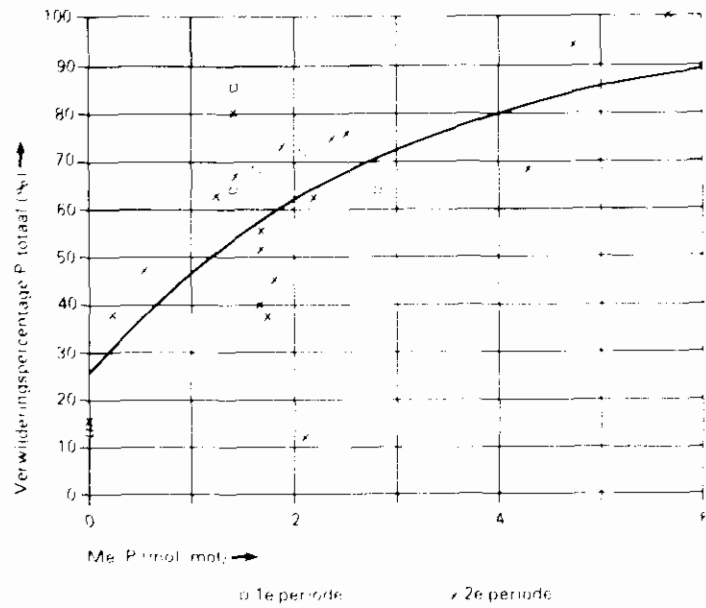
De verzamelde analyseresultaten van de vlokkingsfiltratie zijn opgenomen in bijlage 4 en de figuren 12 t/m 15. Hieruit blijkt dat met vlokkingsfiltratie zeer lage fosfaat-P-gehalten mogelijk zijn, zelfs tot beneden 0,2 mg P/l. Uit deze resultaten blijkt niet dat de filtratiesnelheid en het influent-fosfaat-P-gehalte een significante invloed hebben op de fosfaatverwijdering. Deze fosfaatverwijdering blijkt direct afhankelijk van de verhouding van de ijzerchloridedosering en het fosfaat-P-gehalte in het influent van de filters (Me/P verhouding op de filters). Indien geen ijzerchloride wordt gedoseerd, wordt het fosfaat-P-gehalte slechts verlaagd met 15-40%. Met een Me/P-verhouding op de filters van 2-4 worden verwijderingspercentages gevonden van 60-90%.



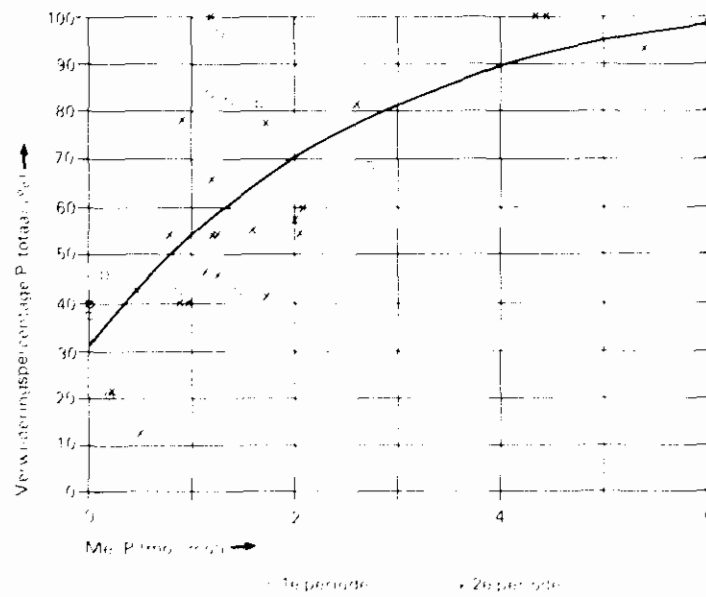
Figuur 12 - Het P-gehalte in het effluent van het filter 1 in relatie tot de Me/P-verhouding (op het filter)



Figuur 13 - Het P-gehalte in het effluent van filter 2 in relatie tot de Me/P-verhouding (op het filter)



Figuur 14 - Het fosfaatverwijderingspercentage in filter 1 in relatie tot de Me/P-verhouding (op het filter)



Figuur 15 - Het fosfaatverwijderingspercentage in filter 2 als functie van de Me/P-verhouding (op het filter)



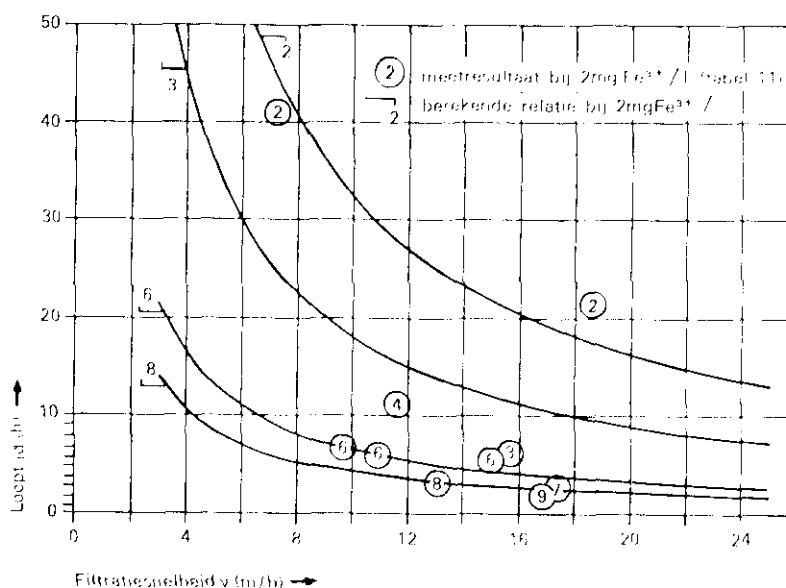
Uit de figuren blijkt, dat het bereiken van eenzelfde eindresultaat bij filter 2 minder vlokmiddel vergt dan bij filter 1. Het relatief fijne filter 2 heeft ook bij dosering  $Me/P = 0$  een beter rendement. Indien het fosfaat-P-gehalte in de toevoer 2 mg/l bedraagt, kan na filtratie een fosfaat-P-gehalte van 0,5 mg/l worden bereikt bij een  $Me/P$  tussen 1,2 en 3,4 afhankelijk van het fosfaat-P-gehalte in het influent van de filters en het filtermedium. De figuren 14 en 15 zijn goed hanteerbaar bij de voorspelling van de effluentconcentratie van een filter.

Toevoeging van polymeer als vlokhelpmiddel heeft incidenteel plaatsgevonden. Hierop wordt nader teruggekomen in § 6.2.4.

### 6.2.2 filtratiesnelheid-looptijd

De resultaten van de filtratieproeven betreffende de looptijd zijn samengevat in tabel 11 en 12. Uit deze metingen zijn via statistische analyses rekenkundige relaties gevonden tussen filtratiesnelheid, ijzerchloridedosering en looptijd. Deze relaties zijn weergegeven in figuur 16 en 17. Hoge filtratiesnelheden en hoge doseringen van ijzerchloride leiden tot korte looptijden. Een geringe toename van de ijzerchloridedosering bij een constante filtratiesnelheid leidt tot een aanzienlijke reductie van de looptijd. Omgekeerd geldt dat bij een constante looptijd van bijvoorbeeld 12 uur de filtratiesnelheid sterk afneemt bij een geringe toename van de ijzerchloridedosering.

De doorbraak in het fijne filter (filter 2) vindt bij gelijke dosering en filtratiesnelheid later plaats dan in het grove filter (filter 1).

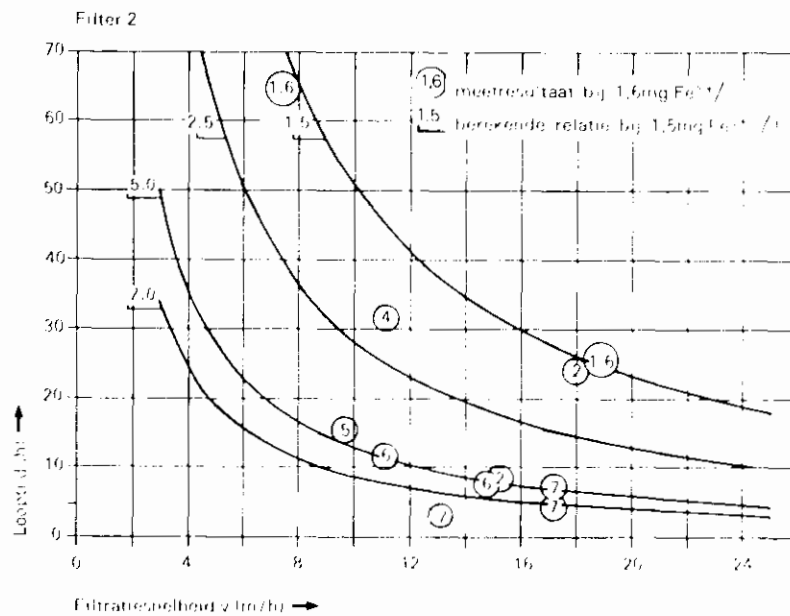


Figuur 16 - Relatie filtratiesnelheid, looptijd en ijzerchloridedosering van filter 1

Tabel 11 - Looptijd, filtratiesnelheid, ijzerdosering en drukval, filter 1

| dagnummer | filtratiesnelheid (m/h) | Fe <sup>3+</sup> dosering (mg/l) | looptijd tq (h) | Fe <sup>3+</sup> belading (g/m <sup>2</sup> ) | drukverlies einde (mWk) |
|-----------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|---|-------------------------|
| 56        | 17,2                    | 6,7                              | 3,5             | 401   | 0,9                     |
| 58        | 12,8                    | 7,5                              | 3,0             | 288   | 0,7                     |
| 59        | 9,9                     | 6,1                              | 7,0             | 426   | 1,0                     |
| 60        | 17,0                    | 9,4                              | 2,4             | 382   | 0,9                     |
| 70        | 14,9                    | 6,0                              | 5,5             | 489   | 1,6                     |
| 72        | 11,1                    | 6,0                              | 7,0             | 467   | 1,2                     |
| 73/ 74    | 15,1                    | 2,5                              | 7,4             | 290   | 1,3                     |
| 98/101    | 7,8                     | 2,0                              | 41,8            | 648   | 1,9                     |
| 104/105   | 18,5                    | 2,2                              | 21,0            | 835   | 2,8                     |
| 107/108   | 11,9                    | 4,0                              | 11,5            | 542   | 1,0                     |
| 106*)     | 19,2                    | 2,2                              | 23,0            | 978   | 2,5                     |

(\*) met 0,03 mg/l Superfloc 100



Figuur 17 - Relatie filtratiesnelheid, looptijd en ijzerchloridedosering van filter 2

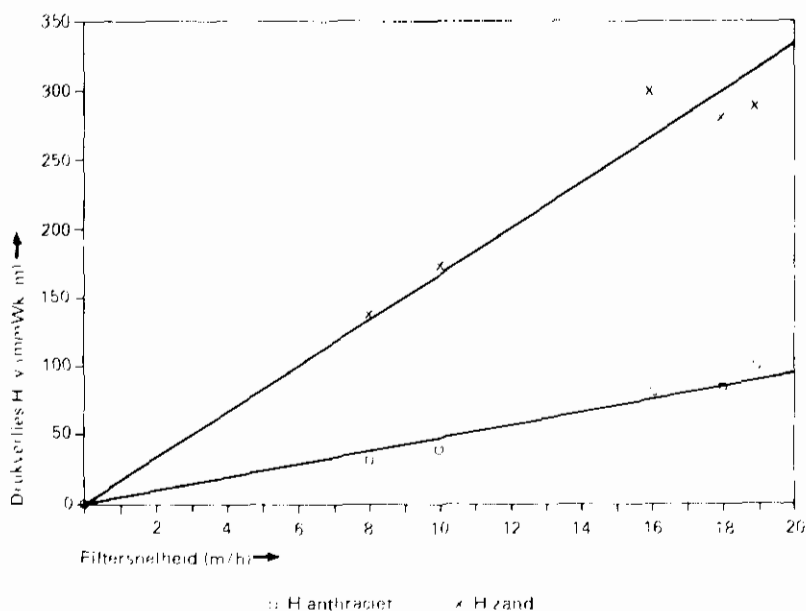
Tabel 12 - Looptijd, filtratiesnelheid, ijzerdosering en drukval, filter 2

| dagnummer  | filtratiesnelheid (m/h) | Fe <sup>3+</sup> dosering (mg/l) | looptijd tq (h) | Fe <sup>3+</sup> belading (g/m <sup>2</sup> ) | drukverlies einde (mWk) |
|------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|---|-------------------------|
| 56         | 17,2                    | 6,7                              | 4,2             | 481   | 2,4                     |
| 58         | 13,1                    | 6,5                              | 4,5             | 384   | 1,3                     |
| 59/ 60     | 9,8                     | 5,4                              | 13,5            | 715   | 3,0                     |
| 70         | 14,7                    | 5,7                              | 7,8             | 651   | 3,8                     |
| 72/ 73     | 11,5                    | 5,6                              | 11,3            | 726   | 2,6                     |
| 73/ 74     | 15,6                    | 2,2                              | 8,8             | 293   | 2,5                     |
| 98/102     | 7,8                     | 1,6                              | 65,0            | 788   | 4,4                     |
| 104/106    | 18,6                    | 1,6                              | 27,0            | 794   | 3,9                     |
| 107/108    | 11,4                    | 3,6                              | 31,0            | 1280  | 4,1                     |
| 66/ 67 (*) | 17,3                    | 6,5                              | 8,3             | 919   | 8,1                     |
| 106 (*)    | 18,4                    | 1,8                              | 26,0            | 846   | 4,7                     |

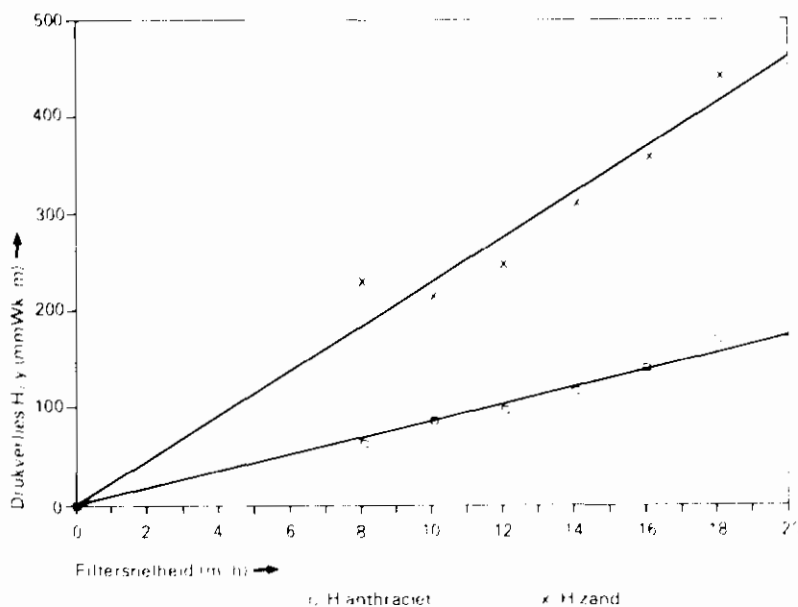
(\*) met 0,03 mg/l Superfloc 100

### 6.2.3 drukvalmetingen

In de loop van het onderzoek zijn drukvalmetingen verricht direct na het spoelen van de filters. De resultaten hiervan zijn verwerkt in de figuren 18 en 19. De gelijkmatige drukval in zowel de zand- als de anthracietlaag van beide filters duiden op een efficiënte spoeling, waarbij een goede herrangschikking en scheiding van beide materialen plaatsvindt.



Figuur 18 - Relatie drukval en filtratiesnelheid van het schone filterbed (filter 1)



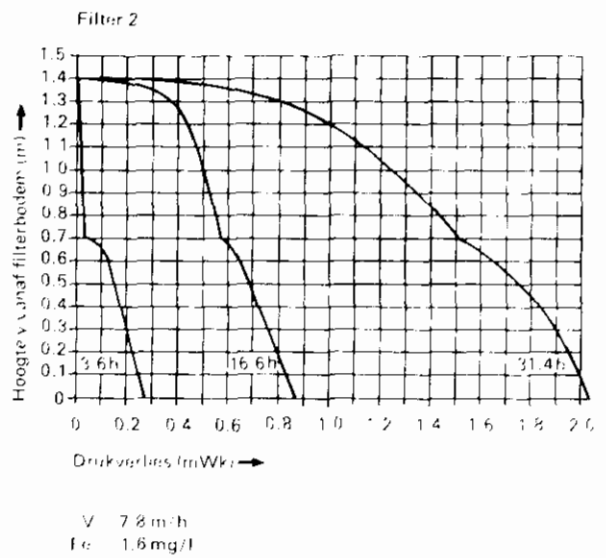
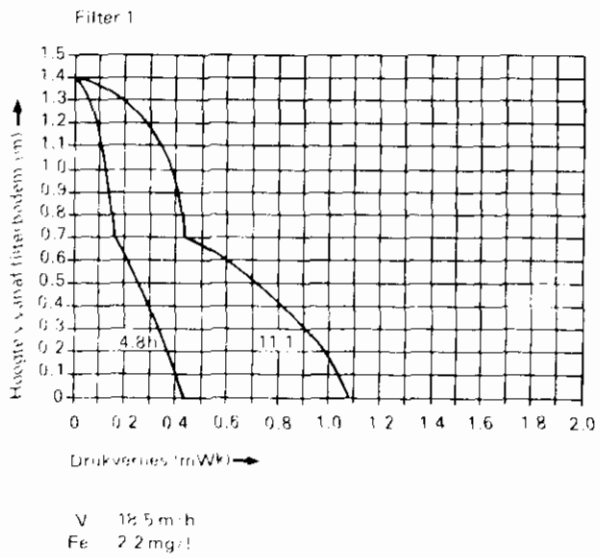
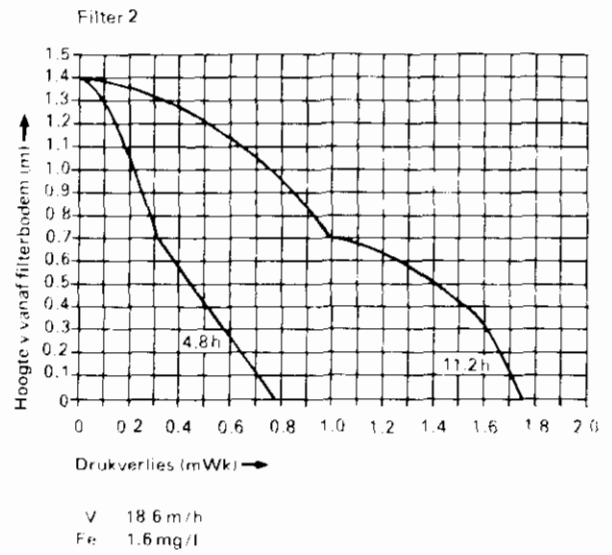
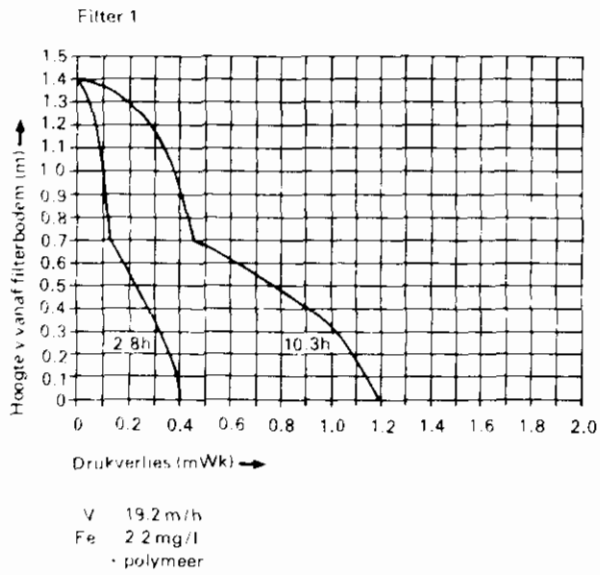
Figuur 19 - Relatie drukval en filtratiesnelheid van het schone filterbed (filter 2)

De drukval over de bedhoogte bij voortschrijdende filtratietijd tijdens een aantal experimenten is afgebeeld in figuur 20. Het verloop van de lijnen geeft aan dat de bedhoogte redelijk goed benut wordt voor de vuilberging.

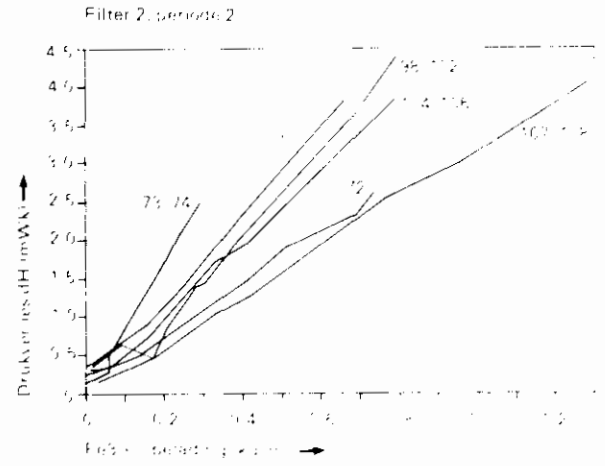
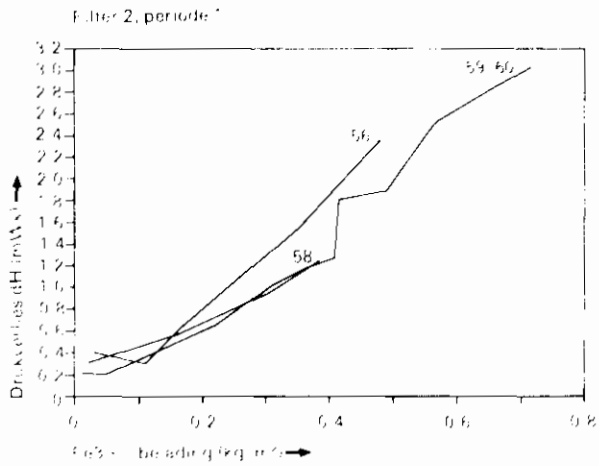
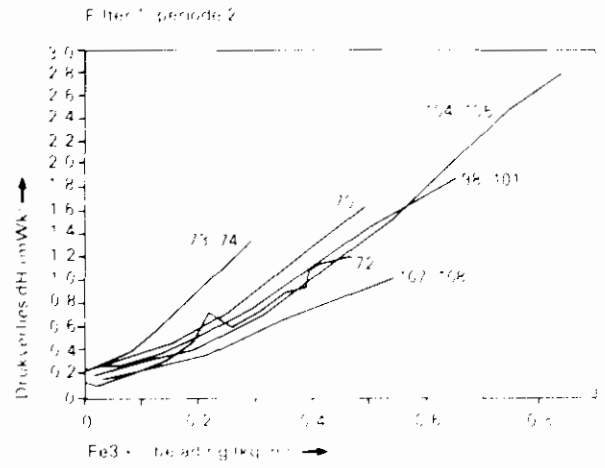
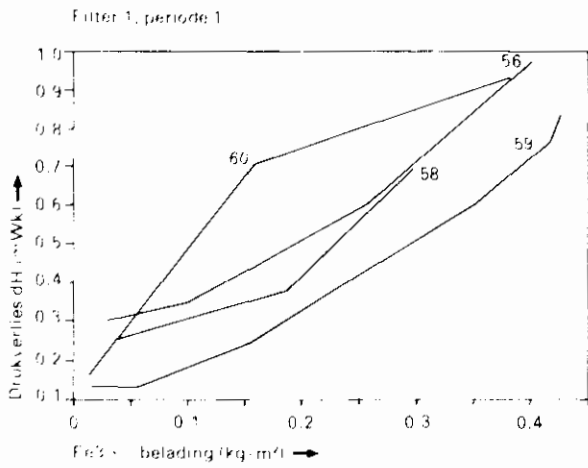
Het verband tussen de  $Fe^{3+}$ -belading en de drukopbouw (bij doorslag) is afgebeeld in figuur 21. De  $Fe^{3+}$ -belading wordt hierin gehanteerd als maat voor de hoeveelheid afgevangen materiaal c.q. de berging van het filter. De gemiddelde drukval bij doorslag over het grove filter (filter 1) bedroeg 1,33 mWk. Bij 90% van de filtratieproeven was de drukval > 0,9 mWk. Deze resultaten duiden erop, dat terugspoelen bij een drukval van 0,9 mWk voor dit filter een veilige bedrijfsvoering betekent. Bij het fijne filter wordt geen doorslag verwacht, indien teruggespoeld wordt bij een drukval van 2,3 mWk. De resultaten van de drukvalmetingen duiden erop, dat filter 1 (grof) als gravitatiefilter kan worden uitgevoerd. Filter 2 is meer geschikt voor de toepassing als drukfilter.

In de literatuur wordt gesignaleerd dat de drukval over de filters in belangrijke mate afhangt van de hoeveelheid afgevangen ijzerverbindingen. De afgebeelde resultaten lijken deze tendens te bevestigen.

De gemiddeld opgebrachte hoeveelheden bedragen op het doorslag-tijdstip gemiddeld voor het filter 2 (fijn)  $673 \text{ g } Fe^{3+}/m^2$  en voor het filter 1 (grof)  $434 \text{ g } Fe^{3+}/m^2$ . Deze waarden komen overeen met de in de literatuur vermelde beladingen van 450 tot  $550 \text{ g } Fe^{3+}/m^2$ .



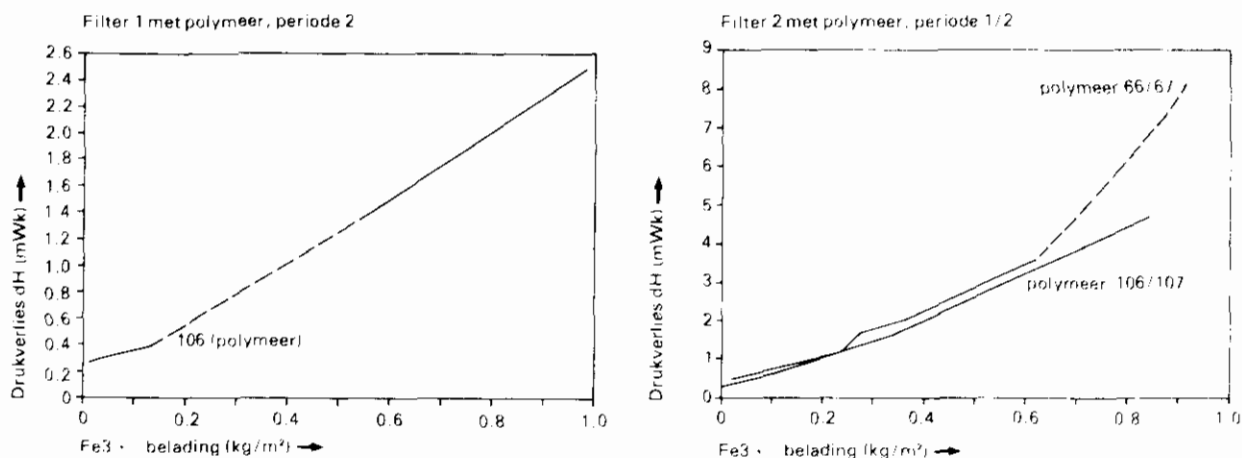
Figuur 20 - Drukval over de bedhoogte bij voortschrijdende filtratietijd



Figuur 21 - De drukopbouw als functie van de  $Fe^{3+}$ -belading voor verschillende experimenten (dagnummers)

### 6.2.4 effect polymeerdosering

In de loop van het onderzoek is bij een drietal proeven een geringe hoeveelheid polymeer gedoseerd als vlokhelpmiddel (0,03 mg/l). Het effect ervan op het drukverlies wordt weergegeven in figuur 22. Met dit onderzoek is aangetoond dat bij polymeerdosering de drukval over de filters en de  $Fe^{3+}$ -belading toenemen. De resultaten vermeld in de tabellen 11 en 12 geven in dit opzicht mogelijk meer inzicht.



Figuur 22 - De relatie drukopbouw- $Fe^{3+}$ -belading met polymeer als vlokhelpmiddel

### 6.3 Afname zwevende stof, sturing op troebelheid, bekerglasproeven

De verwijdering van zwevende stof in de filters bleek zeer effectief. De afname in het grove filter bedroeg circa 85%. In het fijne filter was de afname 92%.

De sturing op troebelheid en colorimetrische ijzerbepaling was adequaat, zoals blijkt uit de filtratieproef 107/108 in tabel 13. Bij deze filtratieproef werd filter 2 bedreven op een filtratiesnelheid van 11,4 m/h. De troebelheid van het influent van het filter bedroeg 2,3.

Tabel 13 - Het verloop van de filtratie bij onderzoek met lange looptijd

| dagnr. | tijd  | troebelheid effluent (NTU)* | $Fe^{3+}$ effluent [mg/l] | P-totaal effluent [mg/l] |
|--------|-------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 107    | 14.20 | start                       |                           |                          |
|        | 15.00 | 0,80                        |                           | 0,24                     |
|        | 20.50 | 0,54                        | 0,22                      | 0,14                     |
|        | 00.00 | 0,43                        |                           | 0,48                     |
| 108    | 12.50 | 0,28                        |                           |                          |
|        | 19.10 | 0,26                        |                           |                          |
|        | 21.00 | 0,60                        |                           | 0,18                     |
|        | 22.40 | 1,20                        |                           |                          |
|        | 23.50 | 5,90                        | 3,10                      | 0,64                     |

\* NTU: Nephelometric Turbidity Units

Op het tijdstip 23.50 uur is het nagestreefde fosfaatgehalte van 0,5 mgP/l overschreden. Op grond van de toename van troebelheid op het tijdstip 22.40 uur wordt aangenomen, dat doorslag tussen 21.00 en 22.40 uur heeft plaatsgevonden. De looptijd van het filter wordt derhalve op 31 uur geschat. Een verhoogd fosfaat-P-gehalte bij een verhoogde effluenttroebelheid is meerdere malen waargenomen.

Onderzoek naar de invloed van de pH en de dosering van polymeren (tot 0,2 mg/l) op vlokvorming, bezinking en P-verwijdering is in bekersglasproeven uitgevoerd. In een zevental bekersglazen (waarvan één blanco) is effluent van de rwzi snel gemengd met ijzerchloride en/of polymeer, vervolgens 25 minuten op lage snelheid geroerd, waarna gedurende 40 minuten werd bezonken. Noch de pH, noch de dosering van polymeer beïnvloedde troebelheid en fosfaat-P-gehalte na bezinking.

#### 6.4 Neveneffecten van de filtratie

Naast de zwevendestofverwijdering en fosfaatverwijdering, is incidenteel de verwijdering van BZV, CZV, NKj en  $\text{NO}_3\text{-N}$  in de filters onderzocht. In tabel 14 zijn de resultaten van dit onderzoek vermeld. De toegepaste filtratiesnelheid was 8 m/h. Een beperkte BZV-, CZV- en NKj-verwijdering werd bij deze filtratiesnelheid bereikt. Deze verwijdering moet naar verwachting worden toegeschreven aan de zwevendestofverwijdering in de filters. De nitraatstikstof ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) is in opgeloste vorm in het effluent van de rwzi aanwezig en wordt niet verder verwijderd.



Tabel 14 - BZV, CZV, Nkj en NO<sub>3</sub>-N in het rioolwater en in het in- en effluent van de filters

| dagnr. | plaats           | BZV<br>mg/l | CZV<br>mg/l | Nkj<br>mg/l | NO <sub>3</sub> -N<br>mg/l |
|--------|------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|
| 97     | influent         | 270         | 816         | 55          | -                          |
|        | effluent nbt     | 1           | 22          | 1,9         | 14                         |
|        | effluent filt. 1 | 1           | 19          | 1,7         | 14                         |
|        | effluent filt. 2 | 1           | 17          | 1,5         | 14                         |
| 98     | influent         | 140         | 426         | 45          | -                          |
|        | effluent nbt     | 6           | 32          | 2,2         | 10                         |
|        | effluent filt. 1 | 14          | 36          | 0,9         | 9,8                        |
|        | effluent filt. 2 | 14          | 36          | 1,5         | 9,8                        |
| 99     | influent         | 175         | 597         | 55          | -                          |
|        | effluent nbt     | 2           | 23          | 1,6         | 13                         |
|        | effluent filt. 1 | 1           | 22          | 1,0         | 14                         |
|        | effluent filt. 2 | 1           | 22          | 0,8         | 14                         |
| 100    | influent         | 160         | 411         | 44          | -                          |
|        | effluent nbt     | 3           | 50          | 1,4         | 12                         |
|        | effluent filt. 1 | 1           | 20          | 0,8         | 14                         |
|        | effluent filt. 2 | 1           | 21          | 1,0         | 14                         |
| 102    | influent         | 150         | 460         | 50          | -                          |
|        | effluent nbt     | 2           | 31          | 1,9         | 16                         |
|        | effluent filt. 1 | 1           | 26          | 1,4         | 16                         |
|        | effluent filt. 2 | -           | -           | -           | -                          |

De resultaten van enkele metingen van het zuurstofverloop over de filters wezen uit, dat het zuurstofgehalte door filtratie niet significant afnam.

7 EVALUATIE EN CONCLUSIES VAN LITERATUUR EN ONDERZOEK

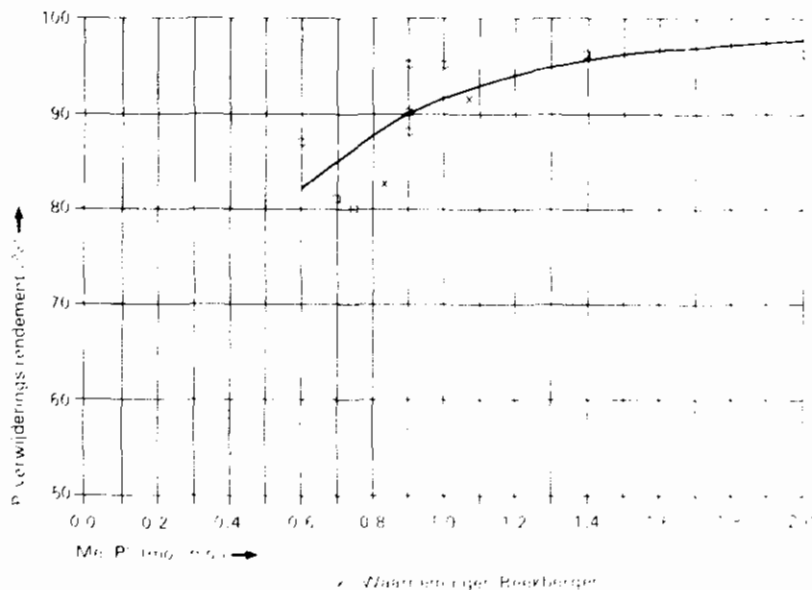
7.1 De simultane fosfaatverwijdering

De fosfaat-P-verwijdering in de rwzi Beekbergen bedraagt zonder chemisch defosfateren circa 35%. Bij toepassing van simultaan defosfateren met ferrichloride liep dit op tot 96%. De simultane fosfaat-P-verwijdering vond plaats in twee perioden, waarin dosering van ferrichloride in twee Me/P-verhoudingen werd toegepast. De simultane fosfaat-P-verwijdering wordt gekarakteriseerd door de volgende gemiddelde waarden:

|             | fosfaat-P-influent | fosfaat-P-effluent | verwijdering |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Me/P = 0,83 | 11,9 mg/l          | 2,1 mg/l           | 82%          |
| Me/P = 1,09 | 11,8 mg/l          | 1,2 mg/l           | 90%          |

Het is van belang, met name voor het ontwerp van de vlokkingfiltratie na simultane defosfatering (optimalisatie Me/P), deze resultaten te vergelijken met de resultaten van onderzoek en praktijk van simultane defosfatering in Nederland. In figuur 23 is het verwijderingspercentage in Nederlandse zuiveringsinrichtingen afgebeeld als functie van de dosering uitgedrukt in Me/P.

De ingetekende punten zijn de resultaten van de beide onderzoeksperioden in Beekbergen. Het blijkt ook in dit geval dat de onderzoekresultaten nauwelijks afwijken van de praktijkresultaten. Deze figuur zal worden gebruikt bij de berekening van de kosten van de simultane defosfatering gevolgd door vlokkingfiltratie.



Figuur 23 - De verwijdering van fosfaat bij simultaan defosfateren als functie van de dosering (Me/P)

Het bufferend vermogen van het afvalwater in Beekbergen is naar verhouding gering. De dosering van ferrichloride had tot gevolg dat de pH in het beluchtingscircuit in de eerste onderzoeksperiode daalde tot 6,0 à 6,8 en in de tweede onderzoeksperiode tot <5,0 à 6. Kalkdosering was in deze laatste situatie nodig om de gevolgen van de verzuring te bestrijden en te komen tot een ongestoorde biologische procesgang. In de praktijk zal vanwege de lage prijs ferrosulfaat worden gebruikt voor de simultane fosfaat-P-verwijdering. De toepassing van dit vlokmiddel zal tot een minder scherpe pH-daling leiden. Niettemin moet bij defosfateren in gebieden, waar drinkwater wordt gedistribueerd met een lage hardheid worden rekening gehouden met bijdosering van kalk. De pH van het beluchtingscircuit is desondanks tijdens het onderzoek in het voor de vlokvorming van ferrifosfaat gunstige traject gebleven.

Uit de resultaten van het onderzoek bleek, dat de nitrificatie en de denitrificatie niet werden gergmd door de toevoeging van ferrichloride (dosering 10-21 mg/l  $Fe^{3+}$ ).

## 7.2 De vlokingsfiltratie

Filtratie van effluent van zuiveringsinrichtingen leidt in traditionele filters tot een zwevendestofverwijdering van 60-80%. De extra fosfaat-P-verwijdering die hiervan het gevolg is, bedraagt volgens de literatuurgegevens 10-30%. Dit kan oplopen tot 40 à 50% als in de betrokken rioolwaterzuiveringsinrichting simultaan wordt gedefosfateerd. Tijdens het onderzoek zijn door rechtstreekse filtratie verwijderingspercentages van fosfaat-P over de filters gevonden van 15-40%. Rechtstreekse filtratie van effluent zal mogelijk bij zeer hoge ijzer- en kalkdoseringen bij het voorafgaande simultaan defosfateren leiden tot een fosfaat-P-gehalte van 0,5 mg/l of lager. Daarbij moet worden gerekend op een aanzienlijke slibproductie.

Met behulp van vlokingsfiltratie zijn fosfaat-P-gehalten van 0,5 mg/l of lager vrij eenvoudig bereikbaar. Volgens de literatuur worden bij de behandeling van het effluent van rwzi's de beste resultaten bereikt met meerlaagsfilters. Bij vlokingsfiltratie in Zwitserland zijn uiterst lage fosfaat-P-gehalten van < 0,2 mg/l bereikt bij dosering van vlokmiddel in een verhouding Me/P ~ 1,9-2,0 op de filters. De influentconcentratie was in die gevallen al laag en bedroeg 1-1,1 mg fosfaat-P/l.

Het onderzoek in Beekbergen heeft aangetoond dat ook in de Nederlandse situatie met vlokingsfiltratie fosfaat-P-gehalten < 0,5 mg/l in het effluent kunnen worden bereikt. Het fosfaat-P-gehalte in het effluent van filter 1 varieerde afhankelijk van de ijzerchloridedosering in de eerste onderzoeksperiode van 0,35 tot 0,7 en in de tweede onderzoeksperiode van 0 tot 2,3 mg/l. Voor filter 2 was dit respectievelijk 0,4 tot 1,5 en 0 tot 2,1 mg/l. Bij een belangrijk aantal filtratieproeven werden fosfaat-P-gehalten lager dan 0,5 mg/l bereikt.

Polymeertoevoeging als vlokhulpmiddel zou volgens de literatuur de looptijd verlengen ten koste van een grotere drukval over de filters. Dit werd in het onderzoek in Beekbergen bevestigd.

Het onderzoek verschaft bruikbaar inzicht in de verbanden tussen filtratiesnelheid, looptijd en vlokmiddeldosering. Deze relaties kunnen gebruikt worden bij het ontwerp van een filterinstallatie.

Indien het fosfaat-P-gehalte in het influent van de filterinstallatie en het gewenste gehalte in het effluent bekend zijn, kan met behulp van het rendement van de filters de vereiste ijzerchloridedosering worden berekend. Bij een voor de bedrijfsvoering aanvaardbare looptijd kan de maximale filtratiesnelheid worden gevonden.

Drukvalmetingen toonden aan dat diepbedfiltratie plaatsvindt en de berging van de filters redelijk goed werd benut. Uit de drukvalmetingen over het schone filter bleek, dat de speelruimte efficiënt werkte.

In de praktijk zal een filterinstallatie hetzij op looptijd, hetzij op drukval worden gestuurd. Voor de sturing van de filters in Beekbergen zou sturing op een drukval van 0,9 mwk tot 2,3 mwk (afhankelijk van filteropbouw) een bedrijfsvoering zonder storingen betekenen. Met name de resultaten van de drukvalmetingen over de filters wijzen uit dat filter 1 (grof) desgewenst als gravitatiefilter kan worden uitgevoerd. Filter 2 is meer geschikt als drukfilter. Toepassing van gravitatiefiltratie zou bij dit filter tot lagere filtratiesnelheden leiden.

De filters bleken zwevend stof zeer efficiënt te verwijderen. Met 85 tot 92% werd de bovengrens van de in de literatuur vermelde waarden bereikt.

Als neveneffect werd een extra reductie van BZV, CZV en Mn<sup>2+</sup> constateerd.

### 7.3 De totale chemicaliëndosering

De in de vorige paragrafen vermelde doseringen op het filter tellen tot de in de tabel 15 aangegeven totaal-doseringen van ijzerzout.

Tabel 15 - Benodigde ijzerzoutdoseringen (fosfaat-P-gehalte filtraat < 0,5 mg/l)

|           | periode 1             |                               |      | periode 2             |                               |      |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|------|-----------------------|-------------------------------|------|
|           | P-geh. aanvoer (mg/l) | Fe <sup>3+</sup> -dos. (mg/l) | Me/P | P-geh. aanvoer (mg/l) | Fe <sup>3+</sup> -dos. (mg/l) | Me/P |
| simultaan | 11,9                  | 18,06                         | 0,83 | 11,7                  | 21,14                         | 1,07 |
| filter 1  | 2,12                  | 13,02                         | 3,40 | 1,2                   | 1,7                           | 1,4  |
| totaal    | -                     | 31,08                         | 1,45 | -                     | 24,84                         | 1,1  |
| simultaan | 11,9                  | 18,06                         | 0,83 | 11,7                  | 21,14                         | 1,07 |
| filter 2  | 2,12                  | 9,19                          | 2,40 | 1,2                   | 2,54                          | 1,1  |
| totaal    | -                     | 27,25                         | 1,27 | -                     | 23,68                         | 1,1  |

Verhoging van de dosering voor de simultane defosfatering leidt bij dit onderzoek tot een beperkte verlaging van de totaal-dosering van ijzerzout. De totaal-dosering heeft een minimum. Verhoging van de dosering voor de simultane defosfatering leidt voorbij dit minimum tot toename van de totaal Me/P. Bij het onderzoek in Beekbergen is de dosering relatief ver van dit minimum verwijderd gebleven. Lage totaal Me/P-verhoudingen leidden tot relatief lage effluentfosfaat-P-gehalten van het filter.

De eisen die aan het filter gesteld worden, bepalen de ontwerpgrondslagen. Voor het verwijderen van fosfaat in de vorm van zwevende stof en het opgeloste fosfaat moet vlokkingfiltratie worden toegepast. Belangrijk bij ontwerp zijn:

- het rendement van het filter;
- het vlokmiddelverbruik voor filtratie en simultane defosfatering;
- een zo hoog mogelijke hydraulische belasting;
- een looptijd van tenminste 12 uur.

Figuur 24 geeft de resultaten van kostenberekeningen voor vlokkingfiltratie over een filter van het type 2, inclusief de kosten van simultane defosfatering, waarbij de snelheid over het filter is gevarieerd. De bepaling van de grondslagen voor deze kostenberekeningen verloopt als volgt:

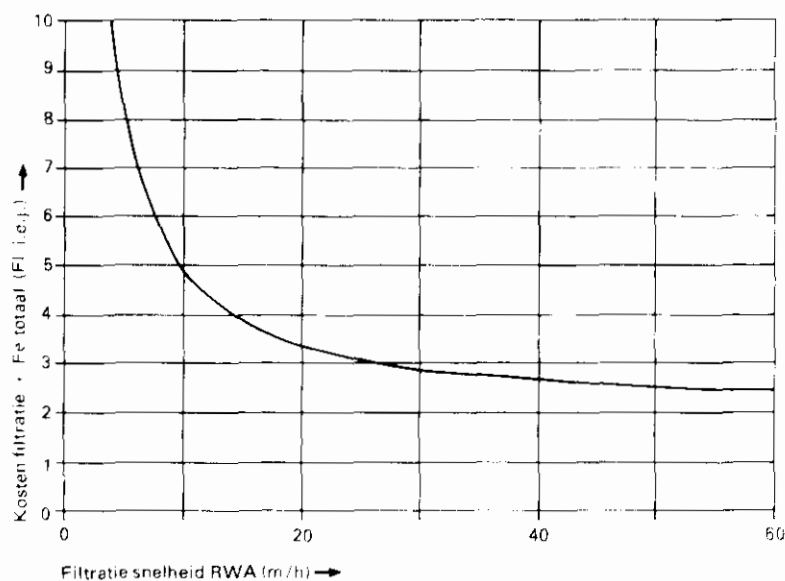
- bij een vastgesteld verwijderingspercentage van fosfaat-P bij simultaan defosfateren kan in de grafiek, die de relatie verwijdering-dosering weergeeft, de dosering uitgedrukt als  $Me/P$  worden afgelezen;
- indien het fosfaat-P-gehalte in de toevoer aan de rwzi bekend is, kan het influentgehalte van de filters worden berekend. Tevens wordt de benodigde verwijdering in de filters berekend bij een effluenteis van 0,5 mg fosfaat-P/l. In de grafiek betreffende het rendement van het filter wordt de benodigde dosering afgelezen als  $Me/P$ . Deze dosering wordt omgerekend tot een dosering in  $mg Fe^{3+}/l$ ;
- de filtratiesnelheid wordt bij een vastgestelde looptijd en de berekende ijzerchloridedosering ( $mg Fe^{3+}/l$ ) afgelezen in de grafiek die de relatie geeft tussen de filtratiesnelheid, looptijd en de dosering.

Met behulp van deze gegevens kan zowel de apparatuur voor simultane defosfatering als de filterinstallatie worden gedimensioneerd. In bijlage 5 is een voorbeeldberekening uitgevoerd.

Uitgangspunten bij deze berekeningen waren:

- |                                    |                           |             |
|------------------------------------|---------------------------|-------------|
| - investeringskosten drukfilter    | f 10.000,-/m <sup>2</sup> | (excl. BTW) |
| (exclusief overige apparatuur)     |                           |             |
| - annuïteit                        |                           | 11%         |
| - $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (simultaan) | f 90,-/ton                | (excl. BTW) |
| - $FeCl_3$ , 41 gew.% (filtratie)  | f 275,-/ton               | (excl. BTW) |

De kosten in de figuur hebben slechts een indicatieve waarde, aangezien alleen de kosten voor de filters (exclusief randapparatuur) en de kosten van de chemicaliën erin zijn verwerkt. De figuur wordt echter gebruikt om de gewenste filtratiesnelheid te bepalen. Op basis van het gevonden verband kan voor een filtratiesnelheid 18,5 tot 20 m/h worden gekozen bij RWA. Tijdens het spoelen kan de filterbelasting van de overige filters oplopen tot 24 m/h.



Figuur 24 - Jaarlijkse kosten, exclusief BTW, van simultaan defosfateren + vlokingsfiltratie (filter 2)

Ten behoeve van een meer volledige kostenvergelijking met het systeem korrelreactor gevolgd door filtratie is met de volgende factoren rekening gehouden:

- een effectieve filtratiesnelheid van resp. 18,5 m/h bij 10.000 i.e. en 20 m/h bij 50.000 en 100.000 i.e. (à 54 g BZV/d);
- de aanvoer van fosfaat-P bedraagt 3,5 g/i.e. per dag;
- rest fosfaat-P in effluent rwzi 0,5 mg/l;
- de dwa bedraagt 10 l/i.e. per uur;
- de rwa bedraagt 30 l/i.e. per uur;
- de slibproductie wordt met 50% verhoogd; voor 10.000 i.e. is afvoer naar de landbouw of stort aangenomen, slib van rwzi's van 50.000 en 100.000 i.e. wordt afgevoerd naar stort, na menging met zand en kalk.

Financiële uitgangspunten zijn:

- rentevoet 7%
- afschrijvingstermijn van alle onderdelen 15 jaar
- onderhoud 2% van investering
- bediening f 250,- per mandag
- chemicaliën:
 

|   |             |
|---|-------------|
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | f 108,-/ton |
| $\text{FeCl}_3$                           | f 330,-/ton |
| $\text{Ca(OH)}_2$                         | f 265,-/ton |

 (voor eventuele neutralisatie)
- zand f 14,50/ton
- elektriciteit f 0,24/kWh
- slibafzet landbouw f 12,-/ton
- slibafzet stort f 60,-/ton
- alle kosten inclusief BTW.

Voor de uitgangspunten van het systeem korrelreactor, gevolgd door filtratie, wordt verwezen naar het rapport "Defosfateren met een korrelreactor: een Nederlandse ontwikkeling met toekomst" (2). Een belangrijk verschil met bovengenoemde uitgangspunten vormt de slibverwerking. Voor de afzet van fosfaatkorrels zijn geen kosten opgevoerd.

De investeringskosten zijn opgenomen in de tabellen 16 en 17. In deze tabellen zijn de totale investeringskosten en de investeringskosten per inwonerequivalent (à 54 g BZV/i.e. per jaar) opgenomen.

Tabel 16 - Raming investeringskosten, inclusief BTW, voor het systeem simultane defosfatering + vlokingsfiltratie (in gulden)

|   | 10.000 i.e. | 50.000 i.e. | 100.000 i.e. |
|---|-------------|-------------|--------------|
| apparatuur  |             |             |              |
| chemicaliëndosering<br>$\text{FeSO}_4$ en $\text{Ca(OH)}_2$     | 156.000     | 171.000     | 240.000      |
| dubbellaagsfilters<br>incl. leidingen, appendages<br>en elektra | 582.000     | 1.412.000   | 2.852.000    |
| extra investeringen   |             |             |              |
| slibverwerking  |             |             |              |
| of natte afzet  | 24.000      |             |              |
| of droogbedden  | 240.000     |             |              |
| of kalk/zand stort  |             | 300.000     | 600.000      |
| totaal  |             |             |              |
| - natte afzet   | 170.000     |             |              |
| - droogbedden   | 980.000     |             |              |
| - stort   |             | 1.880.000   | 3.690.000    |
| totaal per i.e.:  |             |             |              |
| - natte afzet   | 7%          |             |              |
| - droogbedden   | 9%          |             |              |
| - stort   |             | 3%          | 11%          |



Tabel 17 - Raming investeringskosten, inclusief BTW, voor het systeem korrelreactor + dubbellaagsfilters (in guldens)

|  | 10.000 i.e.          | 50.000 i.e.            | 100.000 i.e.           |
|--|----------------------|------------------------|------------------------|
| mechanische-elektrische<br>hoofdonderdelen (pompen,<br>reactoren, filters, blower,<br>zand- en pelletopslag)   | 410.000              | 1.295.000              | 2.410.000              |
| chemicaliëndosering<br>of NaOH (en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> voor<br>pH correctie)<br>of Ca(OH) <sub>2</sub> (en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> voor<br>pH-correctie) | 115.000<br>257.000   | 211.000<br>388.000     | 301.000<br>484.000     |
| leidingwerk en appendages  | 104.000              | 451.000                | 930.000                |
| elektrotechniek  | 131.000              | 221.000                | 377.000                |
| civiele werken   | 206.000              | 438.000                | 832.000                |
| totaal (afgerond) of NaOH<br>of Ca(OH) <sub>2</sub>  | 970.000<br>1.110.000 | 2.620.000<br>2.790.000 | 4.850.000<br>5.030.000 |
| totaal per i.e.  |                      |                        |                        |
| voor NaOH  | 97                   | 52                     | 49                     |
| voor Ca(OH) <sub>2</sub>   | 111                  | 56                     | 50                     |

De jaarlijkse lasten vormen meestal een belangrijk keuzecriterium. Om deze reden is het interessant de jaarlijkse kosten voor het systeem simultane defosfatering + vlokkingfiltratie te vergelijken met het systeem korrelreactor + dubbellaagsfiltratie. In tabel 18 zijn de jaarlijkse lasten voor beide systemen opgenomen. Aangezien over de kosten voor bediening geen BTW wordt berekend, bedraagt het verschil tussen de jaarlijkse kosten exclusief en inclusief ongeveer 18%.

De tabel laat zien dat op basis van deze berekening de verschillen in jaarlijkse lasten gering zijn en dat derhalve andere argumenten dan kosten een rol zullen spelen bij de keuze voor één van beide systemen. Dit geldt in mindere mate, zoals blijkt uit tabel 19, indien het gehalte fosfaat-P in het effluent van de rwzi < 1 mg/l mag zijn. In dat geval kan bij simultaan defosfateren de filtratiestap achterwege blijven en heeft met name bij een rwzi met een capaciteit van 10.000 i.e. simultaan defosfateren op grond van financiële argumenten de voorkeur.

Tabel 18 - De jaarlijkse lasten, inclusief BTW, voor simultaan defosfateren en korrelreactor beiden gevolgd door dubbellaagsfiltratie (in fl/i.e.j.)

|                         | simultane defosfatering + vlokingsfiltratie | korrelreactor + dubbellaagsfiltratie |
|-------------------------|---|--------------------------------------|
| 10.000 i.e.             |   |                                      |
| Afschrijving            | 8,50-10,80                                  | 9,70-11,05                           |
| Onderhoud               | 1,60- 1,90                                  | 1,90- 2,20                           |
| Chemicaliën             | 2,60- 3,80                                  | 2,90- 6,70                           |
| Slibverwerking en afzet | 0,60- 2,20                                  | -                                    |
| Energie                 | 0,5   | 0,70                                 |
| Bediening               | 1,25  | 1,25                                 |
| Totaal                  | 15,05-20,45                                 | 16,45-21,90                          |
| 50.000 i.e.             |   |                                      |
| Afschrijving            | 4,15  | 5,30- 5,65                           |
| Onderhoud               | 0,75  | 0,95- 1,10                           |
| Chemicaliën             | 2,60- 3,80                                  | 2,90- 6,70                           |
| Slibverwerking en afzet | 4,20  | -                                    |
| Energie                 | 0,50  | 0,70                                 |
| Bediening               | 1,25  | 1,25                                 |
| Totaal                  | 13,45-14,65                                 | 11,10-15,40                          |
| 100.000 i.e.            |   |                                      |
| Afschrijving            | 4,06  | 4,80- 5,05                           |
| Onderhoud               | 0,74  | 0,95                                 |
| Chemicaliën             | 2,60- 3,80                                  | 2,90- 6,75                           |
| Slibverwerking en afzet | 4,20  | -                                    |
| Energie                 | 0,50  | 0,70                                 |
| Bediening               | 1,25  | 1,25                                 |
| Totaal                  | 13,35-14,55                                 | 10,60-14,65                          |

Tabel 19 - De jaarlijkse kosten, inclusief BTW, voor simultaan defosfateren zonder en korrelreactor met filtratie (in fl/i.e.j.)

|              | simultane defosfatering | korrelreactor + filtratie |
|--------------|-------------------------|---------------------------|
| 10.000 i.e.  | 7,55-12,00              | 15,35-19,60               |
| 50.000 i.e.  | 9,80-11,00              | 10,00-13,40               |
| 100.000 i.e. | 9,60-10,85              | 9,50-12,65                |

Het onderzoek in Beekbergen heeft uitgewezen, dat met simultaan defosfateren gevolgd door vlokingsfiltratie aan een eis voor het fosfaat-P-gehalte in het effluent van 0,5 mg/l kan worden voldaan.

De fosfaat-P-verwijdering bij simultaan defosfateren liep op tot 82% in de eerste periode van onderzoek bij een dosering in het circuit als Me/P van 0,83. In de tweede periode bedroeg de fosfaat-P-verwijdering 90% bij een Me/P van 1,09. Deze resultaten komen redelijk goed overeen met de resultaten bereikt in Nederlandse rwzi's met simultane defosfatering.

Toevoeging van ferrichloride leidde niet tot remming van de nitrificatie en de denitrificatie. Het afvalwater in Beekbergen heeft een relatief gering bufferend vermogen. Dit had tot gevolg dat in de tweede periode van onderzoek kalkdosering nodig was om te sterke daling van de pH van het beluchtingscircuit te voorkomen.

Een gehalte van 0,5 mg fosfaat-P/l werd in de eerste onderzoeksperiode bereikt bij een dosering van ferrichloride als Me/P op filter 1 (grof) van 3,4 en op filter 2 (fijn) van 2,4. In de tweede periode was dit respectievelijk 1,7 en 1,17. Deze waarden komen overeen met gerapporteerde waarden van praktijkinstallaties in Zwitserland. De totaal-dosering voor het systeem simultaan defosfateren gevolgd door vlokingsfiltratie kwam uit op 1,45 in periode 1 en 1,18 in periode 2 voor filter 1, en 1,27 respectievelijk 1,12 voor filter 2.

Drukvalmetingen wezen uit dat de spoelprocedure efficiënt was en de berging van de filters redelijk goed benut werd. Voorts werd geconstateerd, dat een veilig terugspoelregiem werd gehanteerd indien het grove filter bij een drukval van 0,9 mWk en het fijne filter bij een drukval van 2,3 mWk werd teruggespoeld. De drukval bleek in belangrijke mate afhankelijk van de filterbelading, uitgedrukt als  $\text{kg Fe}^{3+}/\text{m}^2$  filteroppervlak. Voordat doorslag plaatsvond, bedroeg de op de filters gebrachte gemiddelde hoeveelheid ijzerion, voor het fijne filter 670 en voor het grove filter 430  $\text{g}/\text{m}^2$ . Deze waarden stemmen overeen met de in de literatuur gerapporteerde waarden.

De resultaten van de drukvalmetingen duiden erop dat filter 1 uitgevoerd kan worden als gravitatiefilter en onder rwa-omstandigheden bij dezelfde filtratiesnelheid kan worden bedreven. Filter 2 kan slechts ten koste van een afname van de filtratiesnelheid worden uitgevoerd als een gravitatiefilter. Dit filter is meer geschikt voor toepassing als drukfilter. Vanwege het minimaal vereiste aantal proceseenheden en de afmeting van de afzonderlijke proceseenheden is gravitatiefiltratie pas concurrerend voor rwzi's groter dan 50.000 i.e.

Bij de dosering van polymeer, als vlokingsmiddel, nemen zowel de drukval als de  $\text{Fe}^{3+}$ -belading van de filters belangrijk toe.

De hydraulische belasting van de filters is onderzocht tot 18,5 m/h. Ook bij deze relatief hoge filtratiesnelheid werden goede resultaten bij acceptabel lange looptijden bereikt. Het

onderzoek, waarbij de hydraulische belasting van de filters werd gevarieerd, leverde bruikbaar inzicht in de verbanden tussen de filtratiesnelheid, de looptijd en de vlokmiddeldosering.

De zwevendestofverwijdering in de filters bedroeg 85-92%. Deze waarden zijn hoog vergeleken met de in de literatuur gerapporteerde waarden. Voorts werd in de filters een afname van BZV, CZV en NKj bereikt.

Met bekerglasproeven is aangetoond dat noch de pH noch de polymereerdosering van invloed was op troebelheid, zwevende stof en fosfaat-gehalte van het effluent.

Met de gevonden relatie hydraulische belasting, looptijd, ijzerchloridedosering alsmede het rendement van de simultane defosfatering en het filterrendement kon de filtratiesnelheid bij een filterlooptijd van 12 uren worden bepaald en waren kostenberekeningen mogelijk voor simultane defosfatering gecombineerd met een vlokingsfiltratiestap.

Een kostenminimum wordt gevonden bij een filtratiesnelheid van 18,5 à 20 m/h; deze snelheid is gebruikt als ontwerpgrondslag (bij rwa). De effectieve filtratiesnelheid bedraagt bij een rwzi van 10.000 i.e. 18,5 m/h; bij rwzi's van 50.000 tot 100.000 i.e. is dit 20 m/h. Het verschil wordt verklaard doordat de niet werkbare tijd bij kleinere rwzi's groter is. Tijdens perioden waarin gespoeld wordt, zal de filtratiesnelheid van de niet gespoelde éénheden oplopen tot max. 24 m/h.

De investeringskosten (in gld), inclusief BTW, van de systemen: simultaan defosfateren gevolgd door vlokingsfiltratie en korrelreactor gecombineerd met dubbellaagsfiltratie, bedragen:

|              | simultaan + vlokingsfiltratie | korrelreactor + filtratie |
|--------------|-------------------------------|---------------------------|
| 10.000 i.e.  | 770.000-980.000               | 970.000 - 1.110.000       |
| 50.000 i.e.  | 1.880.000                     | 2.620.000 - 2.790.000     |
| 100.000 i.e. | 3.690.000                     | 4.850.000 - 5.030.000     |

De jaarlijkse lasten, inclusief BTW, voor de simultane fosfaatverwijdering gevolgd door vlokingsfiltratie zijn vergeleken met de kosten van het systeem korrelreactor gevolgd door dubbellaagsfiltratie. Deze kosten in gld/i.e per jaar bedragen:

|              | simultaan + vlokingsfiltratie | korrelreactor + filtratie |
|--------------|-------------------------------|---------------------------|
| 10.000 i.e.  | 15,05-20,45                   | 16,45-21,90               |
| 50.000 i.e.  | 13,45-14,65                   | 11,10-15,40               |
| 100.000 i.e. | 13,35-14,55                   | 10,60-14,65               |

De kosten of baten voor de afvoer en verwerking van de fosfaatkorrels, geproduceerd in de korrelreactor, zijn voornamelijk niet meegeteld.

De investeringskosten voor de simultane fosfaatverwijdering, gevolgd door vlokingsfiltratie, zijn lager dan voor het systeem korrelreactor + dubbellaagsfiltratie. Voor kleinere capaciteiten

zijn de jaarlijkse lasten globaal vergelijkbaar. Voor grotere capaciteiten (50.000 i.e. en hoger) is er uit kosten oogpunt een lichte voorkeur voor de combinatie korrelreactor + dubbellaagsfiltratie. De werkelijke kostenverschillen worden echter in sterke mate bepaald door de kosten voor slibverwerking en -afzet bij de combinatie simultaan defosfateren + vlokkingfiltratie. Voorts spelen de RWA/DWA verhouding en de influentfosfaat-P-concentratie een rol.

De jaarlijkse kosten (in gld/i.e. per jaar), indien simultaan defosfateren niet gevolgd hoeft te worden door een filtratiestap (fosfaat-P-gehalte in het effluent  $\leq$  1 mg/l), bedragen (inclusief BTW):

|              | simultaan  | korrelreactor<br>+ filtratie |
|--------------|------------|------------------------------|
| 10.000 i.e.  | 7,55-12,90 | 15,35-19,60                  |
| 50.000 i.e.  | 9,80-11,00 | 10,00-13,40                  |
| 100.000 i.e. | 9,65-10,80 | 9,50-12,65                   |

Voor installaties met een capaciteit rond 10.000 i.e. zou in dat geval op grond van financiële overwegingen gekozen worden voor simultaan defosfateren.

10 LITERATUUR

- 1 Coördinatiecommissie Uitvoering WVO (CUWVO) - Aanbevelingen voor de bestrijding van de eutrofiëring van de Nederlandse oppervlaktewateren, 1983.
- 2 Defosfateren met een korrelreactor: een Nederlandse ontwikkeling met toekomst. DBW/RIZA, Hoechst, VROM, interimrapport, november 1986.
- 3 Duin, O. - Simultane P-verwijdering gevolgd door vlokkingsfiltratie. Een literatuuroverzicht van ervaringen in de praktijk. Stageverslag LU-Wageningen, 1987.
- 4 Heide, B.A. - Defosfatatie. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, maart 1984.
- 5 Indicatief Meerjarenprogramma Water 1985-1989. Ministerie V & W en VROM, 1986.
- 6 Young, J.C. - Operating problems with waste water filters, J.W.P.C.F.; 57, 1, 1985, 23-29.
- 7 Process Design manual for phosphorus removal. EPA 625/1-76, 1976.
- 8 Reduktie van het zwevende-stofgehalte in het effluent van de rwzi's te Harderwijk en Elburg. Zuiveringsschap Veluwe, 1986.
- 9 STORA-/Chemisch defosfateren. Methoden en neveneffecten, 1981.
- 10 STORA-/Verwijdering van zwevende stof uit effluent, 1980.
- 11 Trentelman, C.C.M. - Nevenaspecten van fosfaatverwijdering uit afvalwater. H<sub>2</sub>O, 14, 22, 1980, 526-530.
- 12 Verberne, A.J.P. - Vergaande fosfaatverwijdering door middel van vlokkingsfiltratie na simultane defosfatering. Afstudeerverslag TU-Delft, 1987.

B I J L A G E N  
= = = = =

Tabel 20 - Praktijkinstallaties

| filter-systeem                 | aantal eenheden | ontwerp-belasting m <sup>3</sup> /h  | filtratie-snelheid m/h | druk-val mWk | laag-dikte m            | spoel-systeem              | buffer-capaciteit spoelen | stad   |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------|------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| gravita-tie filter             | 5               | 440<br>1580<br>9000<br>16200<br>5040 | 6-10                   | 3-4          | 1,5-2,0                 | lucht/<br>water            | nodig                     | Richterswill<br>Uster<br>Bern<br>Zürich*<br>Stäfa* |
| druk-filter                    | 2               | 360<br>800                           | 8-12                   | 5-6          | 1,5-2,0                 | lucht/<br>water            | nodig                     | Hochdorf<br>Zermatt*                               |
| drukfil-tratie                 | -               | 15000                                | 4,7                    | -            | -                       | -                          | -                         | Berlijn<br>Beclitzhof                              |
| celfilter                      | 4               | 150<br>230<br>290<br>440             | 4-5                    | 0,50         | 0,30                    | half<br>continu<br>water   | niet<br>nodig             | Bäretswil<br>Gossau<br>Pfäffikon<br>Egg/Esslinger  |
| opwaarts<br>continu-<br>filter | 3               | 50<br>150<br>150                     | 7-9                    | 0,70         | 2,0                     | continu<br>lucht/<br>water | niet<br>nodig             | Stadel<br>Mönchaltorf<br>Maur                      |
| doek-<br>filter                | 3               | 75<br>430<br>680                     | 6-14                   | 0,50         | 2-3 mm<br>vilt-<br>doek | water                      | niet<br>nodig             | Hittnau<br>Hinwil<br>Wetzikon*                     |

\* onder constructie



Hochdorf (Zwitserland)

Omschrijving zuiveringsinrichting

-----

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| Type             | : | mechanisch-biologische reiniging met simultaanverwijdering   |
| Belasting        | : | inwonerequivalenten:<br>hydraulisch 20.000<br>biologisch 40.000  |
|                  | : | droogweerafvoer (DWA) 170 l/s  |
|                  | : | regenweerafvoer (RWA):<br>mechanische trap 680 l/s<br>biologische trap 340 l/s   |
| Mechanische trap | : | 2 voorbezinktanks<br>inhoud 2 x 467 = 934 m <sup>3</sup> .<br>oppervlakte 2 x 195 = 390 m <sup>2</sup>   |
| Biologische trap | : | 4 aëratiebassins, dwarsdoorstroomd<br>inhoud 4 x 280 m <sup>3</sup> = 1120 m <sup>3</sup><br>4 nabezinktanks, dwarsdoorstroomd<br>inhoud 4 x 478 = 1912 m <sup>3</sup><br>oppervlakte 4 x 152 = 608 m <sup>2</sup> |
| Chemische trap   | : | simultaanverwijdering met Fe(III)-zouten,<br>2 opslagtanks 2 x 18 m <sup>3</sup> voor Fe(III)-zout.  |
| Dosering         | : | 18 mg Fe(III)/l<br>Fe/P = 1,8-2,0  |

Filterinstallatie

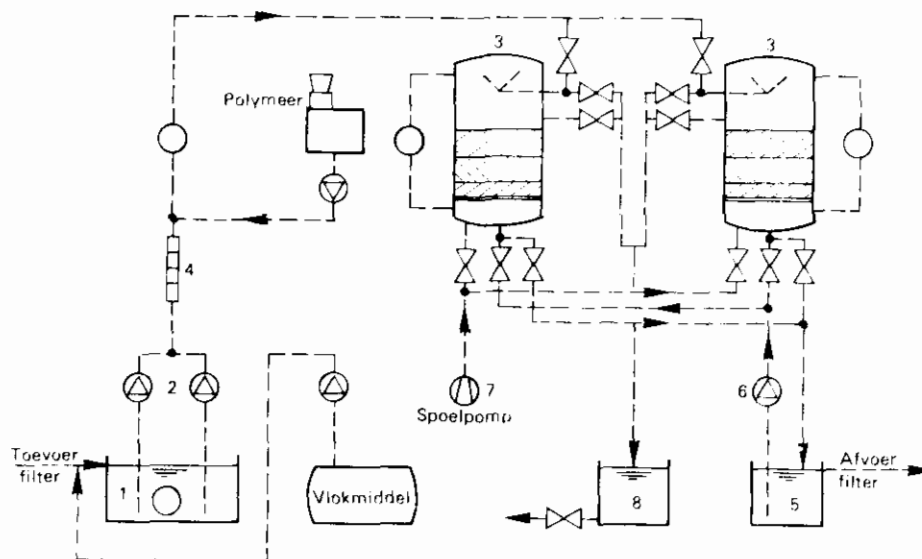
-----

|                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| Type               | : | drukfilters, neerwaarts doorstroomd, natte filtratie (zonder luchttoevoer)   |
| Bouwjaar           | : | 1979   |
| Zes filters        | : | doorsnede-x-hoogte: 2,8 x 6,2 m  |
| Filterbed          | : | 135 cm Blähschiefer (2 -4 mm)<br>50 cm kwartszand (0,8-1,2 mm)   |
| Filtersnelheid     | : | bij DWA 4-10 m/h, gem. 7,4 m/h<br>bij RWA tot 25 m/h   |
| Maximale drukval   | : | 6 m H <sub>2</sub> O   |
| Looptijd           | : | gemiddeld 20,1 uur; 30% < 15 uur   |
| Spoelwaterverbruik | : | 2,9% gemiddeld; bij RWA maximaal 5-7%  |
| Spoelproces        | : | . afloop bovenstaande<br>water 1,5 min.<br>. luchtspoeling 4 min., 70 m/h (water)<br>. lucht/water-<br>spoeling 1,5 min., 70 m/h (lucht)<br>. pauze (sedimentatie filterbed) 2 min.<br>. afloop spoel-<br>water 1,5 min.<br>. waterspoeling 4,5 min., 70 m/h<br>. einde spoelfase 0,3 min.<br><br>totale spoeltijd 15,3 min. |

=====

chemicaliëndosering 3,6 mg Fe(III)/l, Q-proportioneel  
0,18 mg polyelectrolyt/l

De dosering vindt plaats bij de effluentopslagtank, er is 25 min. tijd tussen toevoeging en filtratie.



Figuur 25. Schema van vlokingsfilterinstallatie Hochdorf

Bedrijfsresultaten

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| gem. Ptot-concentratie na VBT        | 6,70 mg P/l |
| gem. Ptot-concentratie na biol. fase | 1,08 mg P/l |
| gem. P tot-concentratie na filter    | 0,14 mg P/l |

Kosten

|                    |   |                                      |
|--------------------|---|--------------------------------------|
| Investeringskosten | : | 1.797.000 Sfr; 124.614 Sfr. per jaar |
| Bedrijfskosten     | : | elektra 30.175 Sfr./j                |
|                    |   | chemicaliën 18.031 Sfr./j            |
|                    |   | onderh./pers. 15.500 Sfr./j          |
|                    |   | -----                                |
|                    |   | totaal 63.707 Sfr./j                 |

Uster (Zwitserland)

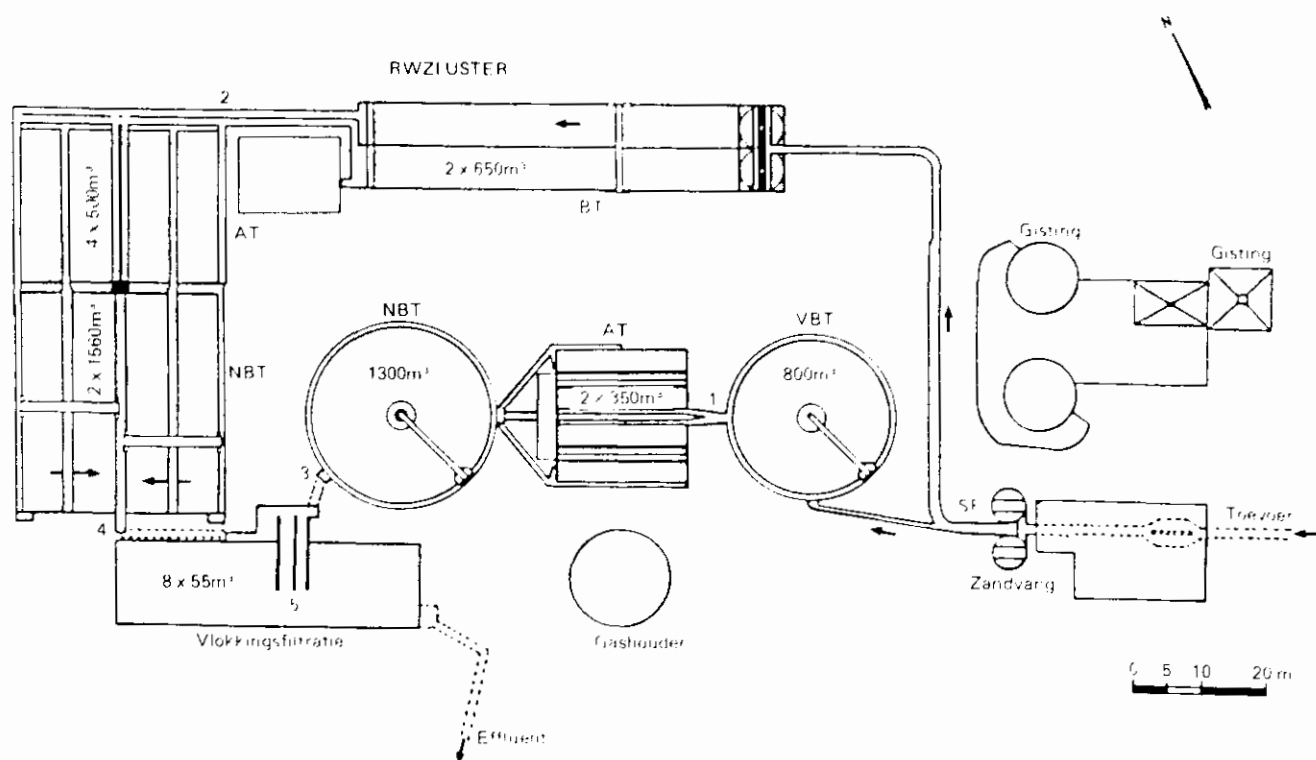
Omschrijving zuiveringsinrichting

|            |   |   |         |
|------------|---|---|---------|
| Type       | : | mechanisch biologische reiniging met simultaanverwijdering en vlokingsfiltratie |         |
| Bouwjaar   | : | 1959, in 1977 uitgebreid tot ongeveer 4,2 keer de oude grootte                  |         |
| Belasting: |   | inwonerequivalenten hydrologisch  | 60.000  |
|            |   | biologisch  | 60.000  |
|            |   | DWA   | 440 l/s |
|            |   | RWA   | 880 l/s |

Een overzicht van de installatie is gegeven in figuur 26.

Chemische trap : simultaanverwijdering met FeSO<sub>4</sub> met voorgeprogrammeerde dosering

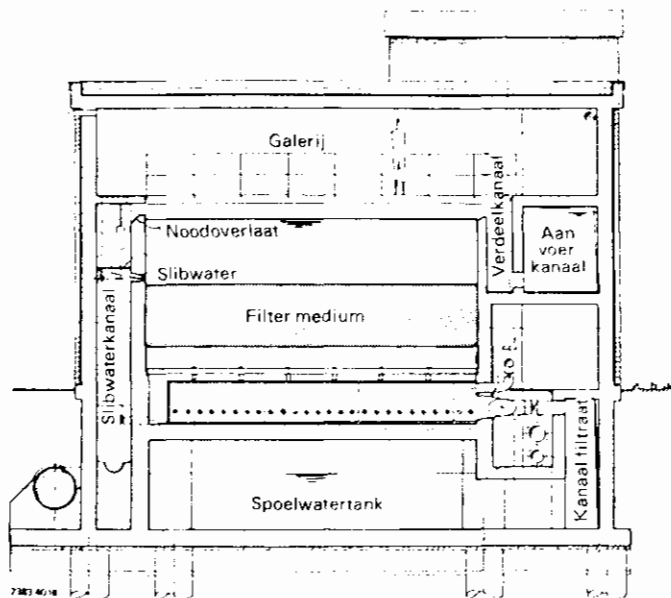
Chemicaliëndosering in biol. fase niet bekend.



Figuur 26. Overzicht zuiveringsinrichting

Filterinstallatie

|                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| Type                   | : | gravitatiefilters  |
| Bouw                   | : | in 1981 opgeleverd door de firma<br>Gebrüder Sülzer AG.  |
| Acht filters           | : | $l = 7,77 \text{ m}$ , $b = 3,5 \text{ m}$ , $d = 2,0 \text{ m}$   |
| Filterbed              | : | kwartszand, totaal 2 m dik<br>blähschiefer   |
| Filtersnelheid         | : | gemiddeld 5,6 m/h<br>maximaal 15,5 m/h   |
| Filterlooptijd         | : | maximaal 48 uur  |
| Totaal filteroppervlak | : | 215 m <sup>2</sup>   |
| Chemicaliën            | : | . volume-proportionele FeSO <sub>4</sub> -<br>dosering door een proces-<br>regelaar gestuurd<br>. polyelektrolyt |
| Dosering               | : | 2,0 mg Fe(II)SO <sub>4</sub> /l  |



Figuur 27. Dwarsdoorsnede filterinstallatie

Resultaten

-----  
 [P<sub>tot</sub>] influent : 9,4 mg P/l  
 [P<sub>tot</sub>] 1e fase : 2,16 mg P/l  
 [P<sub>tot</sub>] 2e fase : 0,38 mg P/l

Kosten

-----  
 Investeringskosten : 5,4 milj. Sfr.  
 = 90 Sfr./i.e.

Natfiltratie versus droogfiltratie

## 1 INLEIDING

Filtratie ter verwijdering van zwevende stof wordt in diverse uitvoeringsvormen toegepast (opwaarts of neerwaarts doorstroomd; eenlaags of dubbellaags filterbed; vrijverval- of drukfilter, nat of droog filter).

Voor de filtratie bij afvalwaterzuiveringsinrichtingen zijn voornamelijk neerwaartse dubbellaagsfilters toegepast, zowel vrijvervalfilters als drukfilters, waarbij de laatste uitvoeringsvorm vooral bij kleinere capaciteiten wordt gekozen. Op praktijkschaal is tot nu toe uitsluitend natfiltratie toegepast, terwijl droogfiltratie uitsluitend op proefschaal onderzocht is. Deze laatste wijze biedt evenwel enkele voordelen waardoor het interessant is ook deze methode in de beschouwingen over vlokfiltratie bij verregaande simultane fosfaatverwijdering nader te bezien.

Deze notitie geeft een overzicht van de verschillen tussen nat- en droogfiltratie. Tevens worden de resultaten gepresenteerd van een onderzoek waarin nat- en droogfiltratie zijn beproefd.

## 2 VERSCHILLEN TUSSEN NAT- EN DROOGFILTRATIE

Natfiltratie wordt gekenmerkt door een geheel met water verzadigd filterbed, terwijl droogfilters een onverzadigd filterbed hebben.

Een aantal kenmerkende verschillen is in tabel 21 samengevat. Droogfiltratie wordt vooral in Nederland toegepast bij de ijzer- verwijdering uit grondwater in drinkwaterpompstations. In Nederland is 30% van de ontijzeringsfilters als droogfilters uitgevoerd; in het buitenland wordt droogfiltratie veel minder toegepast.

Van droogfiltratie bij afvalwaterzuivering zijn geen praktijkvoorbeelden bekend. Droogfiltratie is echter wel op semi-technische schaal onderzocht (Dohman, West-Duitsland)\* en in semi-technische installaties toegepast (Hergebruikstudie RID-Dordrecht).

Evenals bij natfiltratie kan ook droogfiltratie worden toegepast als vrijvervalfilter of als drukfilter. In de laatste uitvoering wordt lucht onder druk boven het filterbed ingebracht, terwijl (een deel van) deze lucht als luchtbellen te zamen met het effluent wordt afgevoerd. Met een dergelijke drukfiltratie kunnen hogere filtratiesnelheden worden bereikt.

Tabel 21. Verschillen tussen nat- en droogfiltratie

| kenmerk                      | natfiltratie   | droogfiltratie  |
|------------------------------|--|---|
| poriën                       | geheel gevuld met water  | voor een belangrijk deel gevuld met lucht   |
| waterstand                   | boven filterbed  | beneden filterbed   |
| inlaatconstructie            | toestroming vanaf de zijkant van het filter  | gelijkmatige verdeling over het filterbed, b.v. door versproeiing                   |
| zuurstofhuishouding          | afname zuurstofgehalte (biologische oxydatie), soms zelfs anaëroob                                   | blijvend hoog zuurstofgehalte door opname uit de poriën, dus extra BZV-verwijdering |
| stroming in bed              | lage snelheid, laminair  | hoge snelheid, turbulent  |
| vuilberging                  | voornamelijk in bovenste deel filterlaag   | dieper in filterlaag vanwege hogere watersnelheid, dus hogere vuilberging           |
| effluentkwaliteit            | goed   | vergelijkbaar met natfiltratie  |
| toepassing op praktijkschaal | ijzerverwijdering bij grondwaterzuivering; effluentpolishing bij rwzi's; vlokkingfiltratie bij rwzi. | ijzerverwijdering bij grondwaterzuivering   |

### 3 VERGELIJKEND ONDERZOEK (Dohman)<sup>1</sup>

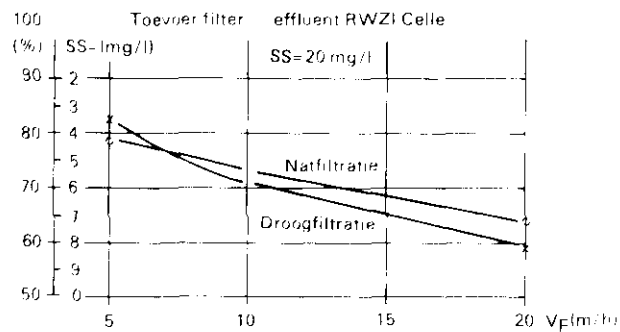
Een goed opgezet en gedocumenteerd onderzoek naar filtratie van effluent van rwzi's is uitgevoerd door Dr. Dohman van de Universiteit van Hannover bij de rwzi Celle in de BRD.

De omstandigheden van het onderzoek waren als volgt:

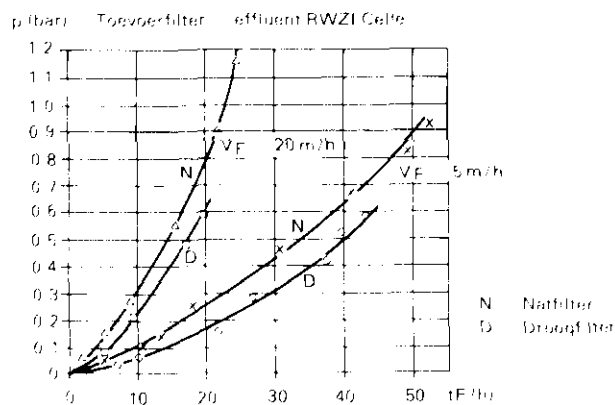
|                       |   |
|-----------------------|---|
| Lokatie               | rwzi Celle  |
| Stromingsrichting     | neerwaarts  |
| Ophouw bed            | tweelaags   |
| Drijvende kracht      | voordruk  |
| Nat/droog             | beide zijn onderzocht   |
| Bedsamenstelling      | I antrac. 1,6-2,5 mm; zand 0,5-1,2 mm<br>II antrac. 2,5-4,0 mm; zand 1,5-2,0 mm<br>met I totaal = I, 1,5 en 2 m |
| Influentsamenstelling | 10-40 mg/l (vnl. organische stoff)  |
| Effluent (bereikt)    | 5-30 mg/l   |
| Reduktie              | 25-80%, afhankelijk proefomstandigheden   |
| Ontwerpsnelheid       | 5-20 m/h  |
| Drukval               | 2-15 mwk  |
| looptijden (I)        | 90-20 h   |

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- \* Droogfiltratie geeft iets gunstiger resultaten dan natfiltratie voor drukopbouw, maar iets slechtere resultaten voor zwevendestofverwijdering; de verschillen zijn echter vrij klein.
- \* Bedsamenstelling II (grove fractie) geeft een zwevendestofverwijdering van 50-60% en zeer goede resultaten met betrekking tot toelaatbare  $v$  (20 m/h), looptijd (70 uur bij  $P = 10$  mWk en  $v = 20$  m/h) en drogestofbelasting ( $18 \text{ kg/m}^3$  bij  $v = 20$  m/h en  $P = 10$  mWk).
- \* Bedsamenstelling I (fijne fractie) geeft een betere zwevendestofverwijdering van 60-80%, maar minder goede resultaten met toelaatbare  $t_p$  (20 uur bij  $P = 10$  mWk en  $v = 20$  m/h) en drogestofbelasting ( $7 \text{ kg/m}^3$  bij  $v = 20$  m/h en  $P = 10$  mWk).
- \* Een filterbedhoogte van 2 m geeft een 50% langere looptijd dan een filterbedhoogte van 1 m.
- \* Een  $P$  van 5 in plaats van 10 mWk verlaagt de toelaatbare drogestofbelasting met 30-40%.
- \* De CZV-verwijdering bedroeg 10-20% van opgeloste CZV en 60-70% van gesuspenderde CZV.



Figuur 28. Zwevende stofverwijdering en zwevende stofgehalte in het effluent van de filters



Figuur 29. Filterweerstand als functie van de looptijd

Tabel 22. De resultaten van het onderzoek in Celle

|                |            | effluent   |           |             |
|----------------|------------|------------|-----------|-------------|
|                |            | rwzi Celle | natfilter | droogfilter |
| $v_F = 5$ m/h  | SS (mg/l)  | 6,6-43,4   | 2,5-16,8  | 2,9-14,7    |
|                | CZV (mg/l) | 11,4-227   | 96 -165   | 88-147      |
| $v_F = 10$ m/h | SS (mg/l)  | 4,3-26,9   | 2,6-8,6   | 3,1-11,9    |
|                | CZV (mg/l) | 109 -179   | 96-125    | 92-139      |
| $v_F = 20$ m/h | SS (mg/l)  | 12,5-38,8  | 6,8-14,5  | 10,6-19,0   |
|                | CZV (mg/l) | 147-221    | 119-158   | 117-166     |

- <sup>1</sup> Dohman M.  
 Abwasserfiltration mit feinporigem Filtermaterial Veröffentlichungen des Institutes Für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Hannover, 1975, Förderkreis Wasser, Abwasser, Abfall der Hannoverschen-Hochschulgemeinschaft.



## Resultaten simultane P-verwijdering

Tabel 23. Samenvatting analyseresultaten eerste periode

| dagnr.<br>na start<br>dosering | debiet<br>[m <sup>3</sup> /h] | Fe 3+<br>dosering<br>[mg/l] | P-totaal<br>influent<br>[mg/l] | P-totaal<br>effluent<br>[mg/l] | Me/P<br>[mol/mol] | rendement<br>P-verwijdering<br>[%] |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 17                             | 2689                          | 8.4                         | 12.4                           | 2.3                            | 0.4               | 81.5                               |
| 18                             | 1229                          | 18.4                        | 13.0                           | 2.5                            | 0.8               | 80.8                               |
| 19/20/21                       | 1524                          | 14.8                        | 16.5                           | 1.6                            | 0.5               | 90.3                               |
| 22                             | 955                           | 23.6                        | 13.9                           | 2.5                            | 0.9               | 82.0                               |
| 23/24                          | 996                           | 22.7                        | 11.7                           | 1.9                            | 1.1               | 83.8                               |
| 25                             | 935                           | 24.2                        | 10.6                           | 2.4                            | 1.3               | 77.4                               |
| 26/27/28                       | 913                           | 24.9                        | 12.8                           | 2.6                            | 1.1               | 79.7                               |
| 29                             | 1066                          | 21.4                        | 18.9                           | 5.9                            | 0.6               | 68.8                               |
| 30                             | 947                           | 24.1                        | 11.8                           | 4.1                            | 1.1               | 65.3                               |
| 31                             | 1113                          | 20.5                        | 9.7                            | 2.2                            | 1.2               | 77.3                               |
| 32                             | 855                           | 26.5                        | 26.5                           | 1.8                            | 0.6               | 93.2                               |
| 33/34/35                       | 2217                          | 10.2                        | 8.8                            | 1.5                            | 0.6               | 83.0                               |
| 36                             | 1052                          | 21.5                        | 13.2                           | 2.0                            | 0.9               | 84.8                               |
| 37                             | 930                           | 24.3                        | 10.0                           | 1.3                            | 1.3               | 87.0                               |
| 38                             | 886                           | 25.5                        | 10.8                           | 1.5                            | 1.3               | 86.1                               |
| 44*                            | 1089                          | 10.5                        | 13.3                           | 4.3                            | 0.4               | 67.7                               |
| 45*                            | 1157                          | 19.8                        | 10.0                           | 3.0                            | 1.1               | 70.0                               |
| 46*                            | 1390                          | 16.4                        | 8.6                            | 2.7                            | 1.1               | 68.6                               |
| 47/48/49                       | 1589                          | 18.0                        | 8.4                            | 2.3                            | 1.2               | 72.6                               |
| 50                             | 1519                          | 22.5                        | 9.6                            | 1.4                            | 1.3               | 85.4                               |
| 51                             | 1465                          | 23.4                        | 8.5                            | 1.3                            | 1.5               | 84.7                               |
| 52/53                          | 1436                          | 18.6                        | 9.6                            | 1.0                            | 1.1               | 89.6                               |
| 54/55/56                       | 1438                          | 9.0                         | 8.6                            | 2.2                            | 0.6               | 74.4                               |
| 57/58                          | 948                           | 23.1                        | 14.2                           | 3.6                            | 0.9               | 74.6                               |
| 59                             | 761                           | 30.7                        | 11.9                           | 3.1                            | 1.4               | 73.9                               |
| 60                             | 782                           | 28.9                        | 14.7                           | 2.7                            | 1.1               | 81.6                               |

\* metingen met verstoorde bedrijfsvoering of afwijkende belasting.  
Deze metingen zijn niet verwerkt in statistische analyses en overzichten.

Tabel 24. Samenvatting en analyseresultaten tweede periode

| dagnr.    | debiet<br>[m <sup>3</sup> /d] | Fe 3+<br>dosering<br>[mg/l] | P-totaal<br>influent<br>[mg/l] | P-totaal<br>effluent<br>[mg/l] | Me/P<br>[mol/mol] | rendement<br>P-verwijdering<br>[%] |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 61/62/63  | 941                           | 45.1                        | 15.8                           | 1.7                            | 1.6               | 89.2                               |
| 64*       | 2384                          | 17.8                        | 13.0                           | 10.5                           | 0.8               | 19.2                               |
| 65*       | 3285                          | 11.2                        | 8.5                            | 18.1                           | 0.7               | -                                  |
| 66*       | 1684                          | 21.3                        | 9.3                            | 0.9                            | 1.3               | 89.9                               |
| 67        | 3337                          | 10.9                        | 7.0                            | 0.9                            | 0.9               | 86.6                               |
| 68/69/70  | 1350                          | 26.8                        | 10.6                           | 0.7                            | 1.4               | 93.2                               |
| 71        | 1092                          | 32.6                        | 13.8                           | 1.0                            | 1.3               | 92.8                               |
| 72        | 904                           | 39.3                        | 13.0                           | 1.4                            | 1.7               | 89.2                               |
| 73        | 1827                          | 19.6                        | 11.4                           | 1.2                            | 1.0               | 89.5                               |
| 74        | 1046                          | 34.8                        | 11.3                           | 1.3                            | 1.7               | 88.3                               |
| 75/76/77  | 1329                          | 29.7                        | 12.1                           | 1.5                            | 1.4               | 87.6                               |
| 78        | 1018                          | 41.3                        | 16.6                           | 1.4                            | 1.4               | 91.6                               |
| 79        | 892                           | 40.4                        | 18.0                           | 3.0                            | 1.2               | 83.3                               |
| 80/81*    | 1450                          | 21.5                        | 16.0                           | 3.2                            | 0.7               | 80.0                               |
| 84*       | 1701                          | 22.9                        | 11.9                           | 3.6                            | 1.1               | 69.7                               |
| 85*       | 1139                          | 33.2                        | 13.7                           | 6.1                            | 1.3               | 55.5                               |
| 86*       | 1805                          | 20.4                        | 8.5                            | 8.3                            | 1.3               | 2.4                                |
| 87*       | 1024                          | 0.0                         | 14.7                           | 7.1                            | 0.0               | 51.7                               |
| 88*       | 659                           | 0.0                         | 40.0                           | 5.7                            | 0.0               | 85.8                               |
| 89/90/91/ |                               |                             |                                |                                |                   |                                    |
| 92        | 2269                          | 14.4                        | 12.5                           | 1.7                            | 0.6               | 86.4                               |
| 93        | 1417                          | 22.5                        | 13.0                           | 1.3                            | 1.0               | 90.0                               |
| 94        | 992                           | 33.7                        | 12.9                           | 1.1                            | 1.4               | 91.5                               |
| 95/96/97/ |                               |                             |                                |                                |                   |                                    |
| 98        | 1551                          | 21.6                        | 0.8                            | 12.0                           | 1.0               | 93.6                               |
| 99        | 1861                          | 18.3                        | 11.0                           | 1.0                            | 0.9               | 91.3                               |
| 100       | 1231                          | 25.0                        | 11.0                           | 0.9                            | 1.3               | 91.8                               |
| 101       | 1050                          | 28.5                        | 9.2                            | 0.9                            | 1.7               | 90.2                               |
| 102       | 1107                          | 26.8                        | 8.0                            | 0.6                            | 1.9               | 92.5                               |
| 103/104/  |                               |                             |                                |                                |                   |                                    |
| 105*      | 1373                          | 22.0                        | 9.2                            | 0.6                            | 1.3               | 93.5                               |
| 106*      | 1342                          | 23.2                        | 58.4                           | 1.6                            | 0.2               | 97.3                               |
| 107*      | 1064                          | 29.6                        | 13.4                           | 1.6                            | 1.2               | 88.1                               |
| 108*      | 1226                          | 25.5                        | 14.0                           | 1.0                            | 1.0               | 92.9                               |
| 109*      | 1134                          | 27.2                        | 50.0                           | 1.2                            | 0.3               | 97.6                               |

\* metingen met verstoorde bedrijfsvoering of afwijkende belasting. Deze metingen zijn niet verwerkt in statistische analyses en overzichten.

## Verzamelde resultaten vlokingsfiltratie

Tabel 25. Resultaten filter 1, eerste periode

| dag nr. | filtratie snelheid [m/h] | dos <sub>3+</sub> Fe [mg/l] | Me/P filter [mol/mol] | P-totaal        |                 |           | troebelheid |             |           |
|---------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
|         |                          |                             |                       | influent [mg/l] | effluent [mg/l] | rend. [%] | infl. [NTU] | effl. [NTU] | rend. [%] |
| 35      | 8.0                      | 0.0                         | 0.00                  | 1.5             | 1.30            | 13        | 3.6         | 2.00        | 44        |
| 46      | 10.1                     | 5.6                         | 1.64                  | 1.9             | 0.60            | 68        | 1.5         | 1.20        | 20        |
| 50      | 8.6                      | 3.6                         | 1.41                  | 1.4             | 0.50            | 64        | 1.6         | 0.97        | 39        |
| 56L     | 17.2                     | 6.6                         | 1.27                  | 2.9             | -               | -         | 1.1         | 0.50        | 55        |
| 58L     | 12.8                     | 7.5                         | 1.96                  | 2.2             | -               | -         | 1.5         | 0.56        | 63        |
| 51      | 8.0                      | 7.1                         | 2.80                  | 1.4             | 0.50            | 64        | 1.2         | 0.90        | 25        |
| 59L     | 9.9                      | 6.1                         | 1.41                  | 2.4             | 0.35            | 85        | 1.7         | 0.57        | 66        |
| 60L     | 17.0                     | 9.4                         | 2.08                  | 2.5             | 0.70            | 72        | 2.2         | 1.40        | 36        |

L = volledige filterproef inclusief looptijdbepaling (overige proeven 2-4 uur).

Tabel 26. Resultaten filter 1, tweede periode

| dag nr. | filtratie snelheid [m/h] | dos <sub>3+</sub> Fe [mg/l] | Me/P filter [mol/mol] | P-totaal        |                 |           | troebelheid |             |           |
|---------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
|         |                          |                             |                       | influent [mg/l] | effluent [mg/l] | rend. [%] | infl. [NTU] | effl. [NTU] | rend. [%] |
| 70L     | 14.9                     | 5.95                        | 5.68                  | 0.6             | 0.00            | 100       | 2.4         | 0.32        | 87        |
| 72L     | 11.1                     | 6.02                        | 4.76                  | 0.7             | 0.04            | 94        | 2.6         | 0.36        | 86        |
| 73/74L  | 15.5                     | 2.56                        | 1.42                  | 1.0             | 0.20            | 80        | 2.1         | 0.87        | 59        |
| 80      | 8.9                      | 0.92                        | 0.24                  | 2.1             | 1.30            | 38        | 3.8         | 1.83        | 52        |
| 81      | 9.4                      | 0.00                        | 0.00                  | 2.7             | 2.30            | 15        | 7.6         | 2.35        | 69        |
| 92      | 9.1                      | 3.96                        | 1.69                  | 1.3             | 0.58            | 55        | 2.2         | 0.27        | 88        |
| 93      | 8.6                      | 3.17                        | 2.19                  | 0.8             | 0.30            | 63        | 1.4         | 1.01        | 28        |
| 93      | 9.2                      | 2.62                        | 1.81                  | 0.8             | 0.44            | 45        | 1.3         | 1.20        | 8         |
| 94      | 9.7                      | 2.41                        | 1.67                  | 0.8             | 0.48            | 40        | 1.1         | 0.86        | 22        |
| 94      | 8.3                      | 0.79                        | 0.55                  | 0.8             | 0.42            | 48        | 1.1         | 0.75        | 32        |
| 98      | 7.7                      | 2.06                        | 1.68                  | 0.7             | 0.33            | 51        | 1.5         | 0.93        | 38        |
| 99      | 8.3                      | 2.50                        | 2.09                  | 0.7             | 0.58            | 12        | 1.5         | 0.98        | 35        |
| 100     | 8.0                      | 2.20                        | 1.74                  | 0.7             | 0.44            | 37        | 1.5         | 0.84        | 44        |
| 101L    | 7.4                      | 1.96                        | 1.43                  | 0.8             | 0.25            | 67        | 1.6         | 0.94        | 43        |
| 104/105 | 18.5                     | 2.16                        | 1.26                  | 1.0             | 0.36            | 62        | 2.0         | 1.37        | 31        |
| 107/108 | 11.9                     | 3.96                        | 1.89                  | 1.2             | 0.31            | 73        | 2.4         | 0.97        | 59        |
| 109     | 5.6                      | 5.64                        | 2.52                  | 1.2             | 0.30            | 76        | 2.6         | 1.00        | 62        |
| 109     | 16.5                     | 8.96                        | 4.28                  | 1.2             | 0.36            | 69        | 2.5         | 1.10        | 56        |
| 109     | 11.8                     | 5.07                        | 2.38                  | 1.2             | 0.30            | 75        | 2.5         | 1.10        | 56        |
| 106**   | 19.2                     | 2.22                        | 1.16                  | 1.2             | 1.13            | 7         | 1.9         | 1.27        | 31        |

\*\* : met polymeer, 0.03 mg/l superfloc N 100

L : volledige filterproef inclusief looptijdbepaling (overige filterproeven gedurende 2-4 uur)

Tabel 27. Resultaten filter 2, eerste periode

| dag nr. | filtratie snelheid [m/h] | dos <sub>3+</sub> Fe <sup>3+</sup> [mg/l] | Me/P filter [mol/mol] | P-totaal        |                 |           | troebelheid |             |           |
|---------|--------------------------|---|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
|         |                          |   |                       | influent [mg/l] | effluent [mg/l] | rend. [%] | infl. [NTU] | effl. [NTU] | rend. [%] |
| 24      | 6.4                      | 0.68                                      | 0.20                  | 1.9             | 1.50            | 21        | 3.3         | 1.60        | 52        |
| 25      | 5.1                      | 0.68                                      | 0.16                  | 2.4             | 1.30            | 46        | 3.3         | 1.60        | 52        |
| 35      | 8.0                      | 0.00                                      | 0.00                  | 1.5             | 0.90            | 40        | 3.5         | 1.80        | 49        |
| 35      | 8.1                      | 2.17                                      | 0.86                  | 1.4             | 0.80            | 43        | 3.6         | 1.30        | 64        |
| 37      | 7.5                      | 8.23                                      | 3.51                  | 1.3             | 0.30            | 77        | 2.4         | 0.55        | 77        |
| 38      | 7.4                      | 7.85                                      | 2.72                  | 1.6             | 0.50            | 69        | 1.9         | 0.40        | 77        |
| 50      | 7.9                      | 3.61                                      | 1.43                  | 1.4             | 0.80            | 43        | 1.6         | 1.00        | 38        |
| 53      | 8.0                      | 0.00                                      | 0.00                  | 0.8             | 0.50            | 38        | 1.3         | 0.77        | 41        |
| 56L     | 17.2                     | 6.65                                      | 1.27                  | 2.9             | 0.10            | 97        | 1.1         | 0.33        | 70        |
| 58L     | 13.1                     | 6.52                                      | 1.64                  | 2.2             | 0.40            | 82        | 1.5         | 0.34        | 77        |
| 59      | 10.0                     | 5.55                                      | 1.34                  | 2.3             | 0.40            | 83        | 1.7         | 0.74        | 56        |
| 60L     | 9.6                      | 5.28                                      | 1.17                  | 2.5             | 0.40            | 84        | 2.2         | 0.46        | 79        |
| 66/67** | 17.3                     | 6.46                                      | 4.41                  | 0.9             | 0.04            | 96        | 2.6         | 0.29        | 89        |

\*\* : Met polymeer: 0.03 mg/l superfloc N 100  
L : volledige filterproef

Tabel 28. Resultaten filter 2, tweede periode

| dag nr.  | filtratie snelheid [m/h] | dos <sub>3+</sub> Fe <sup>3+</sup> [mg/l] | Me/P filter [mol/mol] | P-totaal        |                 |           | troebelheid |             |           |
|----------|--------------------------|---|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
|          |                          |   |                       | influent [mg/l] | effluent [mg/l] | rend. [%] | infl. [NTU] | effl. [NTU] | rend. [%] |
| 70L      | 14.7                     | 5.66                                      | 5.40                  | 0.6             | 0.04            | 93        | 2.4         | 0.37        | 85        |
| 72       | 11.8                     | 5.51                                      | 4.36                  | 0.7             | 0.00            | 100       | 2.6         | 0.21        | 92        |
| 73       | 10.8                     | 5.63                                      | 4.45                  | 0.7             | 0.00            | 100       | 2.6         | 0.34        | 87        |
| 73/74L   | 15.6                     | 2.15                                      | 1.19                  | 1.0             | 0.00            | 100       | 2.1         | 0.78        | 61        |
| 79       | 8.3                      | 3.07                                      | 1.13                  | 1.5             | 0.80            | 47        | 3.1         | 1.84        | 41        |
| 79       | 9.4                      | 1.96                                      | 0.78                  | 1.4             | 0.64            | 54        | 3.6         | 1.73        | 32        |
| 80       | 8.6                      | 1.71                                      | 0.45                  | 2.1             | 1.20            | 43        | 3.8         | 1.66        | 50        |
| 80       | 9.6                      | 3.07                                      | 0.85                  | 2.0             | 1.20            | 40        | 3.4         | 1.40        | 59        |
| 81       | 9.3                      | 1.10                                      | 0.23                  | 2.7             | 2.10            | 22        | 8.1         | 2.50        | 69        |
| 92       | 9.2                      | 3.72                                      | 1.59                  | 1.3             | 0.58            | 55        | 2.4         | 0.29        | 87        |
| 93       | 7.4                      | 2.76                                      | 2.03                  | 0.8             | 0.34            | 55        | 1.4         | 0.84        | 50        |
| 93       | 9.2                      | 2.30                                      | 1.70                  | 0.8             | 0.44            | 41        | 1.3         | 0.93        | 23        |
| 94       | 9.4                      | 1.37                                      | 0.95                  | 0.8             | 0.48            | 40        | 1.1         | 0.85        | 21        |
| 94       | 8.6                      | 0.70                                      | 0.48                  | 0.8             | 0.70            | 13        | 1.1         | 0.83        | 21        |
| 98       | 7.7                      | 1.52                                      | 1.24                  | 0.7             | 0.31            | 54        | 1.5         | 0.92        | 39        |
| 99       | 7.8                      | 1.43                                      | 1.20                  | 0.7             | 0.30            | 55        | 1.5         | 0.82        | 45        |
| 100      | 7.9                      | 1.58                                      | 1.25                  | 0.7             | 0.38            | 46        | 1.5         | 0.65        | 57        |
| 101      | 7.7                      | 1.62                                      | 1.18                  | 0.8             | 0.26            | 66        | 1.7         | 0.71        | 57        |
| 104/106L | 18.6                     | 1.58                                      | 0.92                  | 1.0             | 0.21            | 78        | 2.0         | 0.81        | 60        |
| 107/108L | 11.4                     | 3.61                                      | 1.72                  | 1.2             | 0.26            | 78        | 2.3         | 0.40        | 81        |
| 109      | 3.8                      | 4.62                                      | 2.06                  | 1.2             | 0.50            | 60        | 2.6         | 0.99        | 62        |
| 109      | 13.0                     | 5.42                                      | 2.58                  | 1.2             | 0.21            | 82        | 2.3         | 0.75        | 71        |
| 109      | 10.3                     | 4.21                                      | 1.98                  | 1.2             | 0.50            | 58        | 2.5         | 0.86        | 60        |
| 106**L   | 18.4                     | 1.77                                      | 0.93                  | 1.2             | 0.71            | 42        | 1.9         | 0.50        | 63        |

\*\* : Met polymeer: 0.03 mg/l superfloc N 100  
L : volledige filterproef

Voorbeeldberekening

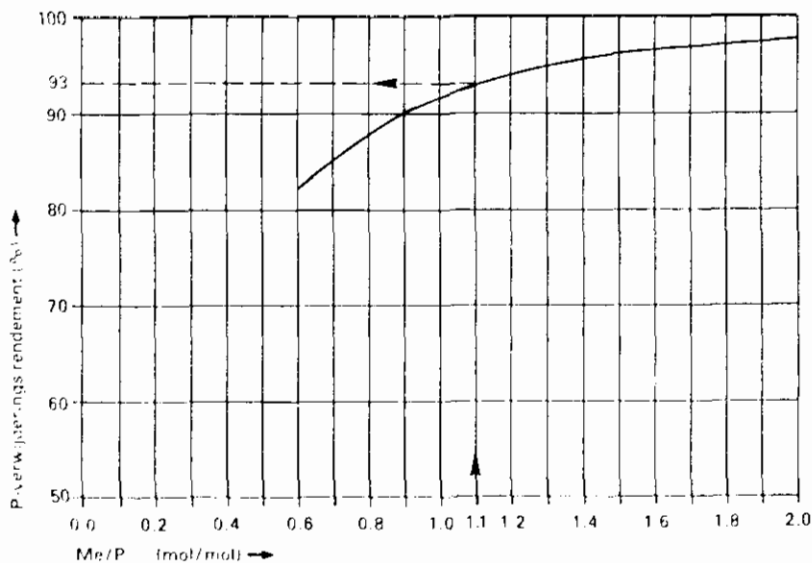
Bepaling benodigde filteroppervlak en globale investeringskosten voor filtratie.

Uitgangspunten

|   |                                  |                                  |
|---|----------------------------------|----------------------------------|
| - | max. toevoer                     | 0,03 m <sup>3</sup> /h per i.e.  |
| - | influent conc.-P rwzi            | 20 mg/l                          |
| - | gewenst P-gehalte toevoer filter | 1,2 mg/l                         |
| - | gewenst P-gehalte afvoer filter  | 0,5 mg/l                         |
| - | gem. DWA                         | 0,150 m <sup>3</sup> /d per i.e. |
| - | investeringskosten filters       | f 10.000,--/m <sup>2</sup>       |
| - | kosten Fe <sup>2+</sup>          | f 0,60/kg                        |
| - | kosten Fe <sup>3+</sup>          | f 2,64/kg                        |
| - | annuïteit                        | 11%                              |
| - | minimale looptijd                | 12 uur                           |

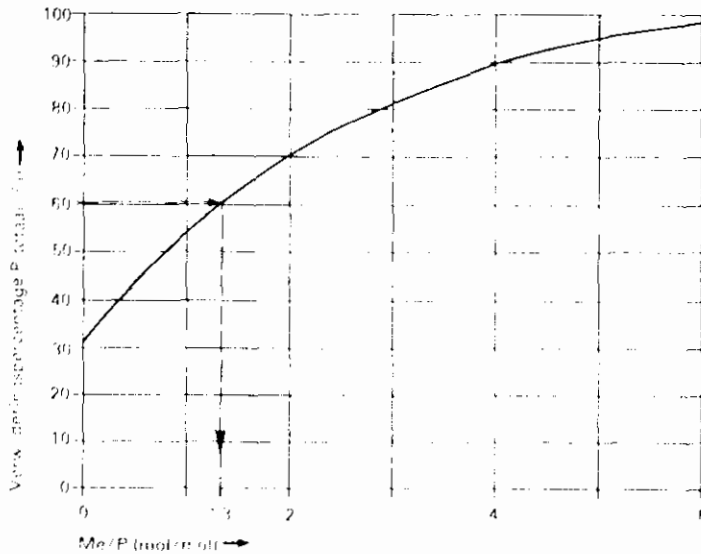
Berekening filtratie-oppervlak

Een influent-P-gehalte van 1,2 mg/l wordt bereikt, indien door simultane defosfatering 93% fosfaat-P wordt verwijderd. Deze verwijdering wordt bereikt bij een Me/P (simultaan) van  $1\frac{1}{2}$ , zoals figuur 30 laat zien. Dit betekent een dosering van 40 mg Fe<sup>2+</sup>/l (FeSO<sub>4</sub>).



Figuur 30. Benodigde Me/P-dosering (simultaan)

Het rendement over het filter bij een influent-P-gehalte van 1,2 mg/l en een effluent-P-gehalte van 0,5 mg/l is 60%. Figuur 31 laat zien dat deze P-verwijdering bereikt wordt bij een dosering  $Me/P$  (filter) = 1,3.

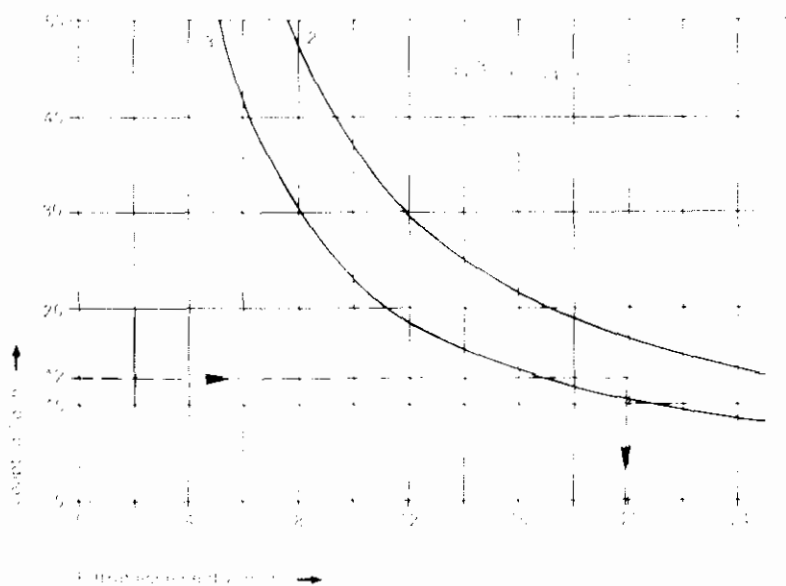


Figuur 31. Benodigde  $Me/P$ -dosering (filter)

Deze dosering komt neer op 2,8 mg  $Fe^{3+}/l$ .

Bij een looptijd van 12 uur en een dosering van 2,8 mg  $Fe^{3+}/l$  kan volgens figuur 32 een filtratiesnelheid van ca. 20 m/h worden toegepast.

Het benodigd filtratie-oppervlak wordt daarbij 0,03 m<sup>2</sup>/h:  
 20 m/h = 0,0015 m<sup>2</sup> per l.e.



Figuur 32. Bereikbare filtratiesnelheid

Globale jaarlijkse kosten van filtratie (inclusief chemicaliën bij simultaan defosfateren)

Op basis van de berekende chemicaliënbehoefte en het vereiste filteroppervlak kunnen de globale kosten worden berekend. Het betreffen niet de investeringskosten voor simultane defosfatering en de kosten voor de overige apparatuur bij filtratie. Deze kosten hebben daarom slechts waarde om diverse combinaties van simultane defosfatering en filtratie te vergelijken.

|   |                 |
|---|-----------------|
| chemicaliënkosten defosfateren (Fe <sup>2+</sup> )      |                 |
| $40 \times 0,15 \times 365 \times 0,001 \times f 0,60$  | = f 1,35/i.e.j. |
| chemicaliënkosten filtratie (Fe <sup>3+</sup> )         |                 |
| $2,8 \times 0,15 \times 365 \times 0,001 \times f 2,64$ | = f 0,40/i.e.j. |
| rente + afschrijving filters                            |                 |
| $0,11 \times f 10.000,-- \times 0,0015$                 | = f 1,65/i.e.j. |
|   | <hr/>           |
| totaal  | f 3,40/i.e.j.   |

Deze kosten hebben slechts waarde voor de vergelijking van de kosten voor filtratie bij variatie van de dosering bij simultaan defosfateren. In de kosten zijn niet verwerkt de investeringskosten voor het simultaan defosfateren en de kosten voor de overige apparatuur bij filtratie.