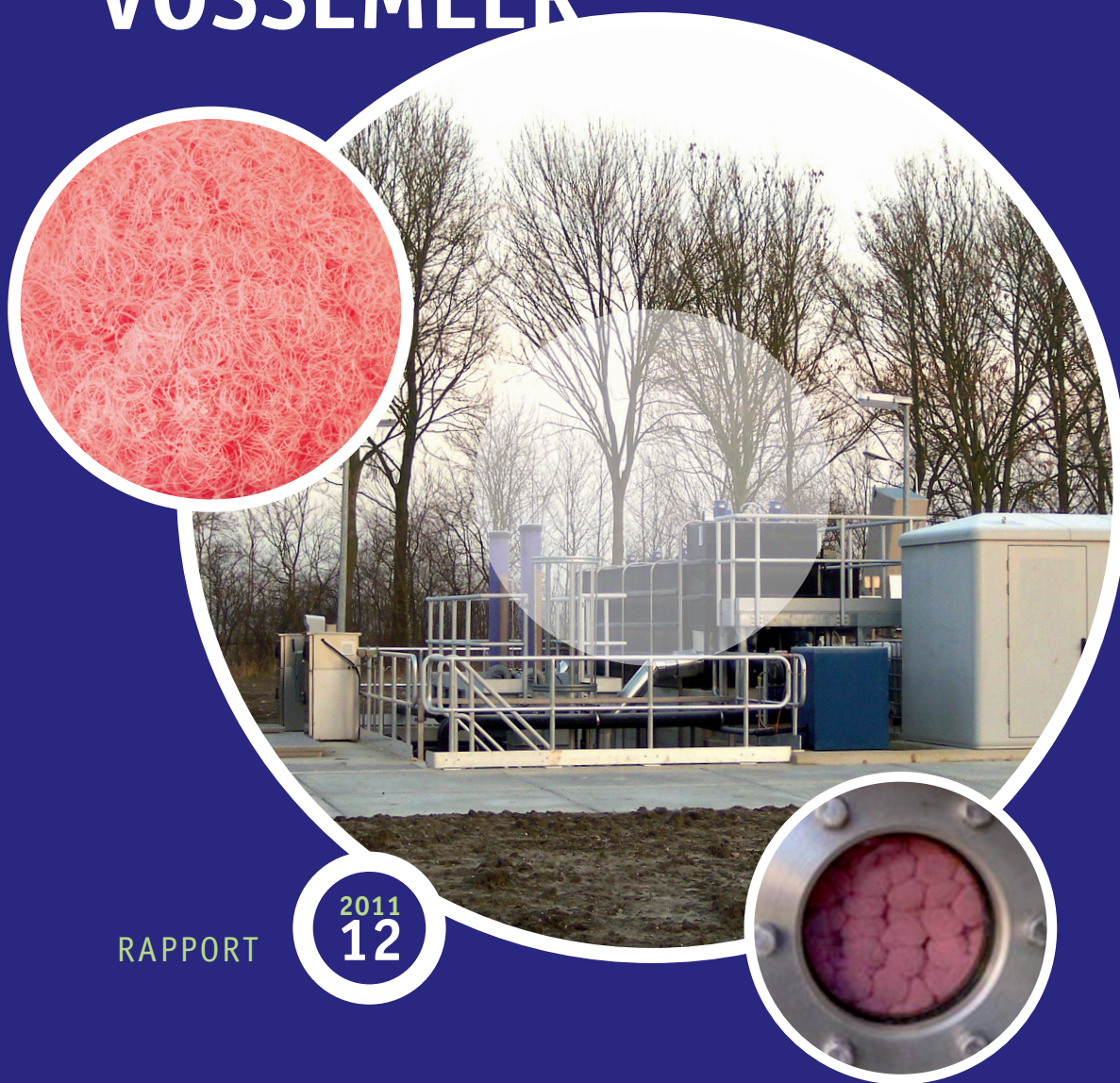


stowa

N- EN P-VERWIJDERING MET FUZZY FILTRATIE OP DE RWZI NIEUW VOSSEMEER



RAPPORT

2011
12

N- EN P-VERWIJDERING MET FUZZY FILTRATIE
OP DE RWZI NIEUW VOSSEMEER

RAPPORT

2011

12



ISBN 978.90.5773.512.7



COLOFON

UITGAVE STOWA, Amersfoort 2011

PROJECTUITVOERING

André Visser, Royal Haskoning
Wouter van Betuw, Royal Haskoning
Alexander Hendriks, Royal Haskoning
Levien van Dixhoorn, Waterschap Brabantse Delta
Henny Bron, Waterschap Brabantse Delta
Sigrid Scherrenberg, Technische Universiteit Delft
Rob Schipper, AquaControl B.V.
Jos de Munck, Bosman Watermanagement B.V.
Rian Govers, Govers vof dienstverlening

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Olaf Duin, Waterschap Hollandse Delta
Jack Jonk, Waterschap Brabantse Delta
Ruud van Dalen, Waterschap Veluwe
Frank Oesterholt, KWR
Sasha Vlaski, Klaren BV
Cora Uijterlinde, STOWA

FOTO OMSLAG

Foto installatie: Waterschap Brabantse Delta

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2011-12
ISBN 978.90.5773.512.7

SAMENVATTING

ACHTERGROND EN DOEL

De waterkwaliteitseisen gesteld aan het effluent van een rioolwaterzuivering kunnen, mede door invoering van de Kaderrichtlijn Water, in de toekomst veranderen. Op verschillende zuiveringen in Nederland zijn al maatregelen genomen om aan deze eisen te gaan voldoen. De maatregelen hebben voornamelijk tot doel het gehalte aan de nutriënten totaalstikstof en totaalfosfor te reduceren.

Waterschap Brabantse Delta heeft samen met STOWA een onderzoekproject gestart naar de haalbaarheid van stikstof- en fosfaatverwijdering met Fuzzy Filtratie als nageschakelde techniek.

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

- vaststellen in hoeverre een vergaande verwijdering van de nutriënten fosfaat en stikstof met standaard Fuzzy Filters realiseerbaar is. Hierbij zijn voor totaalfosfor 0,15 mg P/l en totaalstikstof 2,2 mg N/l als effluentstreefwaarde gedefinieerd;
- vastleggen ontwerp- en dimensioneringsgrondslagen Fuzzy Filtratie voor de verwijdering van stikstof en fosfaat;
- vaststellen investerings- en exploitatie kosten van Fuzzy Filtratie.

Vanuit bovengenoemde doelstellingen kan de technische en economische haalbaarheid van Fuzzy Filtratie voor nutriëntenverwijdering worden bepaald. Fuzzy Filters worden hierbij vergeleken met continue en discontinue zandfilters, momenteel de meest gangbare technieken om nutriënten in het effluent van een rwzi te verwijderen.

HET FUZZY FILTER

Fuzzy Filtratie is een proces waarbij het filterende medium bestaat uit synthetische samendrukbare ballen vervaardigd uit polyvinylideenchloride en bijeengehouden door een monel clip. De balletjes hebben een diameter van 33 mm en een porositeit van 80 - 85%.

FIGUUR 1

SYNTHETISCH FUZZY BALLETJE (LINKS) EN BALLETJES ONDER COMPRESSIE (RECHTS)



De ballen zitten opgesloten tussen een gefixeerde geperforeerde onderplaat en een instelbare geperforeerde bovenplaat waarmee de gewenste compressiegraad ingesteld kan worden. De compressiegraad bepaalt de porositeit en daarmee de filtereigenschappen van het medium.

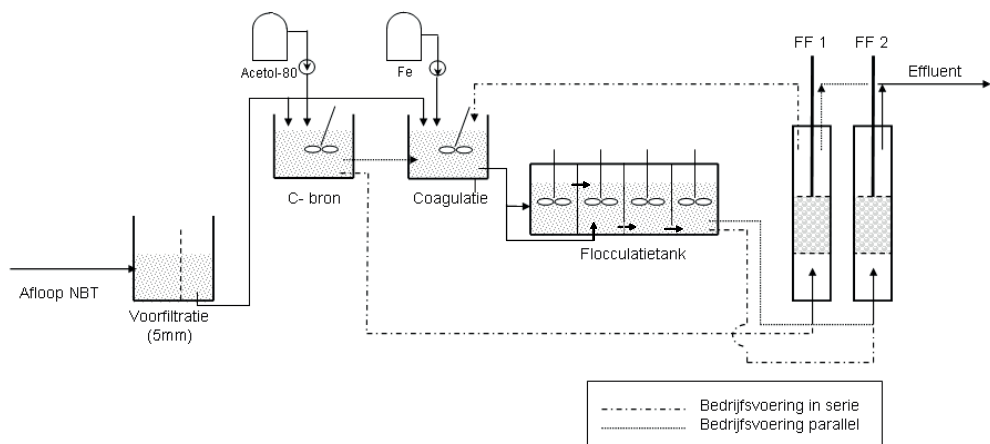
Fuzzy Filters worden inmiddels wereldwijd toegepast voor zwevende stof verwijdering. In deze toepassing blijkt het proces effectief. Hiernaast kunnen Fuzzy Filters hoog belast worden tot 75 - 100 m/h. Toepassen van Fuzzy Filters voor de verwijdering van de nutriënten stikstof en fosfor is nieuw.

DE PROEFINSTALLATIE

De afloop van de nabezinktank wordt naar een opvoergemaal geleidt. Vanuit hier wordt het water naar de proefinstallatie gepompt bestaande uit: coagulatie- en flocculatieruimte, een koolstofbron mengtank, een tussengemaal en twee Fuzzy Filter kolommen.

FIGUUR 2

PROCESSHEMA FUZZY FILTER NIEUW VOSSEMEER



Bij het onderzoek naar fosfaatverwijdering wordt aan de coagulatie ruimte coagulant gedoseerd en opgemengd met de afloop nabezinktank. Het water stroomt hierna via de flocculatie ruimte naar de Fuzzy Filters. Tijdens het onderzoek zijn een drietal coagulanten gebruikt. Bij het onderzoek naar stikstofverwijdering wordt aan een mengtank koolstofbron gedoseerd. Het water stroomt hierna naar de Fuzzy Filters.

RESULTATEN FOSFAATVERWIJDERING

Me/P verhouding

De Me/P verhouding is gevarieerd van 3 tot 8 mol/mol. Uit de resultaten blijkt dat bij een gemiddelde concentratie van circa 0,5 mg P/l een Me/P verhouding van 5 mol/mol voldoende is om orthofosfaat effectief te binden tot metaalgebonden fosfaat.

Vlokvorming en vlokstabiliteit

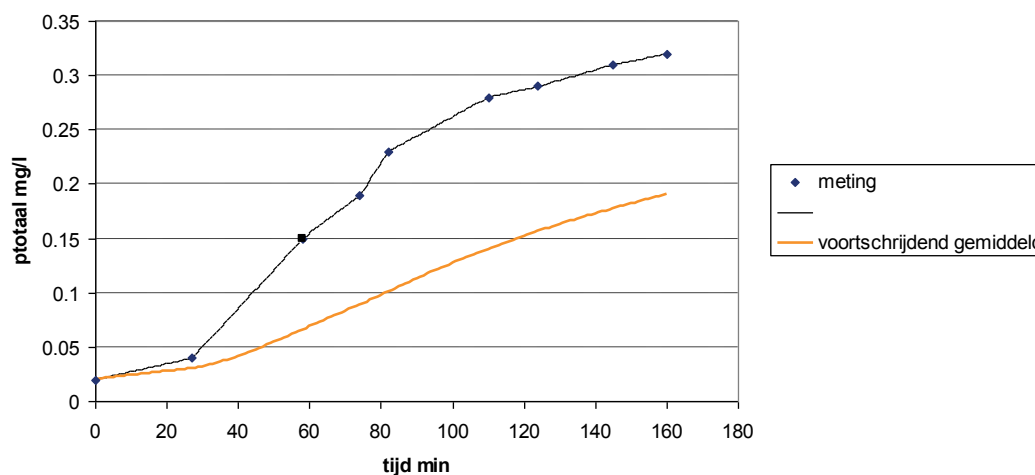
Vlokvorming in de coagulatie-flocculatie ruimte bleek goed te verlopen. Bij de gehanteerde Me/P verhouding 5 mol/mol werden er voornamelijk vlokken gevormd groter dan 5 µm. Dit is geconstateerd voor de coagulanten poly-ijzerchloride, poly-aluminiumchloride en FeCl₃. Bij proeven waarbij aanvullend PE werd gedoseerd bleek de vloggrootte nog verder toe te nemen waarbij circa 80% van de vlokken groter was dan 20 µm.

Er zijn tijdens het onderzoek geen aanwijzingen gevonden dat de vlokken, gevormd in de coagulatieflocculatie ruimte, in het Fuzzy Filter desintegreren. Er was geen verschuiving van grote vlokken voor het Fuzzy Filter naar kleinere vlokken in het filtraat. Ook theoretische berekende G-waarden in het Fuzzy Filter ondersteunen het gegeven dat vlokdesintegratie in het Fuzzy Filter zeer onwaarschijnlijk is.

Filtratie van de gevormde vlokken en drukopbouw in het Fuzzy Filter

Fosfaatverwijdering en het filtratieproces in het Fuzzy Filter wordt gekarakteriseerd door het feit dat fosfaatdoorslag optreedt. Figuur 3 geeft ter illustratie een typisch verloop.

FIGUUR 3 FOSFAATCONCENTRATIE IN HET FILTRAAT VAN HET FUZZY FILTER MET FeCl_3 ALS COAGULANT. TOTAALFOSFAATCONCENTRATIE IN DE AFLOOP NABEZINKTANK BEDROEG 0,4 MG P/L



Aan het begin van de run wordt fosfaat goed verwijderd. Deze fase komt overeen met drukopbouw en afvang van fosfaatvlokken onderin het Fuzzy Filter, circa 20 cm van de bodemplaat. Al naar gelang de run langer duurt, wordt ook in de hogere gedeeltes van het Fuzzy Filter fosfaatvlokken afgevangen. Dit gaat echter gepaard met doorslag van fosfaat en oplopende totaalfosfaatconcentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter.

De resultaten geven aan dat Fuzzy Filtratie een beperkte capaciteit heeft voor de verwijdering en berging van fosfaat in het Fuzzy Filter. Fosfaatfractionering geeft aan dat de doorslag van fosfaat wordt veroorzaakt door oplopende concentraties metaalgebonden fosfaat in het filtraat van het Fuzzy Filter. Organisch gebonden fosfaat blijkt redelijk te worden verwijderd gedurende de run.

Principe fosfaatberging

Het gegeven dat een Fuzzy Filter een beperkte capaciteit heeft voor fosfaatverwijdering en fosfaatberging, betekent dat de looptijd van het filter wordt bepaald door de hoeveelheid fosfaat die gedurende de run wordt verwijderd. Door de juiste looptijd in te stellen is het mogelijk dat het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde totaalfosfaat 0,15 mg P/l. Bij het vastleggen van een ontwerpberging en de daarmee samenhangende looptijd van het Fuzzy Filter is de volgende redenering toegepast. Bij fosfaatverwijdering in een Fuzzy Filter die de afloop van de nabezinktank behandelt kan onderscheid worden gemaakt tussen verwijdering van verschillende fosfaatfracties zijnde: “organisch” gebonden fosfaat en metaalgebonden fosfaat. Orthofosfaat of opgelost organisch fosfaat is met filtratie niet of zeer beperkt verwijderbaar.

Bij het bepalen van de fosfaatberging en looptijd van het Fuzzy Filter is de aanname dat de gelimiteerde fosfaatberging vooral wordt bepaald door de verwijdering van het metaalgebonden fosfaat. Het uitgangspunt voor het vastleggen van de fosfaatberging is daarom gebaseerd op de hoeveelheid orthofosfaat in de afloop nabezinktank die in het Fuzzy Filter kan worden verwijderd. De aanname hierbij is dat dit orthofosfaat in de coagulatie-flocculatie stap effectief wordt omgezet in metaalgebonden fosfaat.

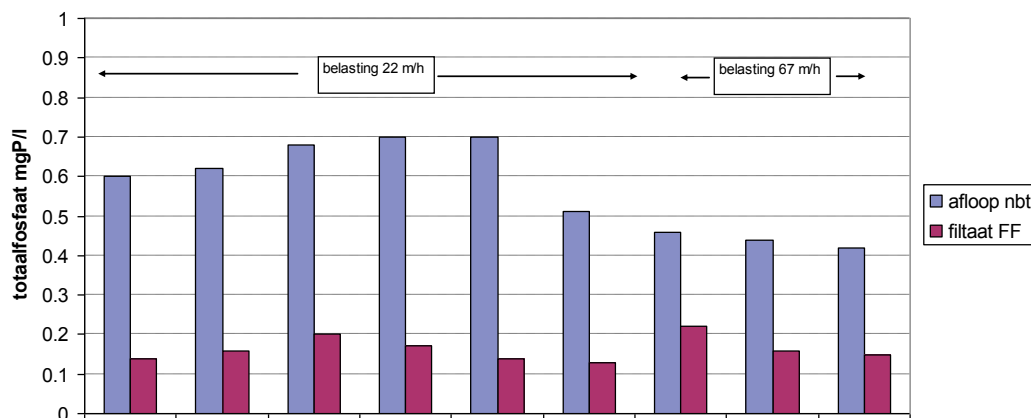
Van de geteste coagulanten in deze studie krijgen we naar afnemende fosfaatbergend vermogen de volgende volgorde: poly-ijzerchloride (een speciaal Nalco product), poly-aluminiumchloride en FeCl_3 . Poly-ijzerchloride is technologisch de meest geschikte coagulant. De kosten voor dit product zijn in vergelijking met poly-aluminiumchloride en FeCl_3 veel hoger, waardoor toepassing economisch niet aantrekkelijk is. De testen zijn daarom voortgezet met poly-aluminiumchloride.

Figuur 4 geeft de resultaten van duurproeven waarbij de looptijd van het Fuzzy Filter werd bepaald door een ontwerpberging van het filter van $7,5 \text{ g o-PO}_4\text{-P/m}^2$ filteroppervlakte. De gekozen ontwerpberging was afgeleid uit diverse runs van het Fuzzy Filter met poly-aluminiumchloride. De looptijd van het Fuzzy Filter kan worden berekend uit de orthofosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank en het te behandelen debiet.

Het blijkt dat bedrijven van een Fuzzy Filter gebaseerd op fosfaatbergend vermogen toepasbaar is waarbij een goede filtraatkwaliteit kan worden gerealiseerd. Verder blijkt dat ook bij fosfaatverwijdering hoge hydraulische belastingen op het Fuzzy Filter kunnen worden toegepast.

FIGUUR 4

RESULTATEN DUURPROEVEN MET POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT



Effect compressie, hydraulische belasting en fosfaatconcentratie afloop nabezinktank

In een Fuzzy Filter is de filtratiegraad instelbaar door de compressie aan te passen. In dit onderzoek bleek er geen significant effect van de compressie op de mate van fosfaatverwijdering in het Fuzzy Filter. De compressie is getest in het gebied 10-40%.

Een belangrijk voordeel van Fuzzy Filters is de potentiële hoge hydraulische belastingen die kunnen worden toegepast. In dit onderzoek bleek dat bij fosfaatverwijdering hoge hydraulische belastingen toepasbaar zijn. De maximaal geteste belasting bedroeg 100 m/h.

Een belangrijke parameter voor de fosfaatverwijdering is de vraag bij welke totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank het filtraat van het Fuzzy Filter nog voldoet aan de effluentstreefwaarde totaalfosfaat $0,15 \text{ mg P/l}$. Uit dit onderzoek blijkt dat de maximale concentratie voor Fuzzy Filtratie circa $0,7 \text{ mg P/l}$ bedraagt.

Ontwerpgroondslagen Fuzzy Filtratie voor fosfaatverwijdering

Voor het ontwerp van een Fuzzy Filter installatie is in deze studie uitgegaan van:

- ontwerpcapaciteit Fuzzy Filtratie 1,5 x DWA en 3 x DWA;
- verhouding orthofosfaat en totaal fosfaat in aanvoer Fuzzy Filter 0,65;
- ontwerpberging orthofosfaat in een Fuzzy Filter 7,5 g o-PO₄-P/m² filteroppervlakte;
- spoeltijd Fuzzy Filter 18 minuten en 7 minuten naspoelen. Naspoelen wordt met verhoogd debiet uitgevoerd om de naspoeltijd te minimaliseren. Naspoel volume bedraagt 2,4 keer volume inhoud Fuzzy Filter;
- maximale hydraulische belasting Fuzzy Filter ca. 75 m/h;
- afhankelijk van de looptijd en het aantal benodigde Fuzzy Filters op basis van de maximale hydraulische belasting, worden indien nodig extra filters bijgeplaatst zodat een normale bedrijfsvoering mogelijk is.

Tabel 1 geeft het ontwerp van een Fuzzy Filter installatie voor een rwzi van 100.000 i.e. à 136 g TZV.

TABEL 1 ONTWERP FUZZY FILTER VOOR NAGESCHAKELDE FOSFAATVERWIJDERING VOOR EEN RWZI VAN 100.000 I.E. À 136 G TZV

Parameter	Ontwerpcapaciteit					
	3 x DWA			1,5 x DWA		
Concentraties afloop nabezinktank						
• totaalfosfaat mg/l	0,7	0,5	0,3	0,7	0,5	0,3
• orthofosfaat mg/l	0,46	0,33	0,2	0,46	0,33	0,2
Ontwerpparameters						
• capaciteit m³/h	2.250			1.687		
• fosfaatberging g o-PO ₄ /m² filteroppervlakte	7,5			7,5		
• maximale belasting m/h	75			75		
Aantal Fuzzy Filters						
• op basis maximale belasting	8	8	8	6	6	6
• extra filters	8	5	2	6	4	1
• totaal aantal filter	16	13	10	12	10	7
Fuzzy Filter karakteristieken						
• filter type [-]	7	7	7	7	7	7
• looptijd bij DWA minuten	63	110	427	31	55	213
	21	37	142	21	37	142
bij RWA minuten	0,57	0,33	0,08	0,57	0,33	0,08
• spoelwaterverbruik m³/m³ gefilterd water	54	35	35	36	16	7
	0,06	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03
• spoelwaterdebiet bij RWA, percentage (%) RWA aanvoer						
• energieverbruik kWh/m³ gefilterd water	23	23	23	47	47	47
• belasting	70	70	70	70	70	70
• nominaal m/h	0,18	0,16	0,13	0,37	0,32	0,27
• maximaal m/h						
• fosfaat kg P/m³ filter.dag *)						

*) De belasting is gebaseerd op de geïnstalleerde filtratiecapaciteit, inclusief extra filters, en een compressie van 30%.

Tabel 1 geeft duidelijk het effect van de te verwachten fosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank weer. De maximale totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank waarbij het Fuzzy Filter kan voldoen aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l, bedraagt 0,7 mg P/l. Dit betekent dat onder normale omstandigheden de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank 0,5 – 0,7 mg P/l zal bedragen. Uit tabel 1 volgt dat onder deze condities de looptijden voor het Fuzzy Filter kort zijn, uiteenlopend van 31 tot 110 minuten onder DWA-condities en slechts 21 tot 37 minuten onder RWA-condities.

De belangrijkste consequenties van de korte looptijden zijn:

- Er zijn continu Fuzzy Filters aan het spoelen en in bedrijf, waardoor continu spoelwater wordt teruggeleid naar de rwzi. Dit spoelwaterdebiet kan onder RWA-condities oplopen tot 54% van de aanvoer. Dit betekent dat naast het plaatsen van een Fuzzy Filter installatie de rwzi waarschijnlijk ook hydraulisch moet worden uitgebreid.
- Spoelwaterproductie is bij Fuzzy Filters hoger dan bij zandfilters. Hierbij kan wel worden aangetekend dat het spoelprogramma mogelijk verder geoptimaliseerd kan worden waardoor spoelwaterproductie mogelijk verlaagd kan worden.
- Er wordt meer filtratieoppervlakte geïnstalleerd dan nodig zou zijn op basis van de maximale toepasbare hydraulische belasting.

RESULTATEN STIKSTOFVERWIJDERING

Uit het onderzoek naar stikstofverwijdering blijkt dat denitrificatie in het Fuzzy Filter optreedt en dat hoge hydraulische belastingen kunnen worden toegepast. Het bleek echter niet mogelijk een volledige denitrificatie te behalen. In het Fuzzy Filter wordt circa 50% van de NO_x aanwezig in de afloop nabezinktank gedenitrificeerd. Deze relatie is gevonden in de concentratiereeks NO_x afloop nabezinktank 1 tot 18 mg N/l.

Verder blijkt dat de maximale denitrificerende capaciteit van het Fuzzy Filter circa 2,5 kg N/m² filter per dag is. Uitbreiding van de hoeveelheid dragermateriaal in het Fuzzy Filter door meer filter ballen te plaatsen leidde niet tot betere resultaten.

VERGELIJKING FUZZY FILTER EN ZANDFILTERS

Fosfaatverwijdering

Bij de vergelijking van Fuzzy Filters en zandfilters blijkt:

- voor kleinere rwzi's zijn Fuzzy Filters duurder zijn dan zandfilters. Voor grotere rwzi's zijn de kosten voor Fuzzy Filters en zandfilters in dezelfde orde van grootte. De kosten voor Fuzzy Filters zijn echter exclusief een eventuele benodigde hydraulische uitbreiding. Mocht dit laatste aan de orde zijn, dan is een nageschakelde trap gebaseerd op Fuzzy Filtratie duurder dan zandfiltratie;
- met beide technieken is een vergaande fosfaatverwijdering mogelijk waarbij wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat 0,15 mg P/l;
- de maximale totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank ligt voor beide systemen in dezelfde orde van grootte en bedraagt circa 0,7 mg P/l;
- chemicaliënverbruik wordt voor beide systemen gelijk verondersteld;
- de belangrijkste nadelen van Fuzzy Filtratie in vergelijking met zandfiltratie zijn:
 - sterke toename van de hydraulische belasting van de rwzi waardoor naast de filtratie een hydraulische uitbreiding van de rwzi wellicht noodzakelijk is;
 - kortere looptijden ten gevolge van fosfaatdoorslag, hogere spoelwaterproductie;
 - minder praktijkervaring waardoor het proces minder zekerheid biedt dan zandfiltratie.
- de belangrijkste voordelen van Fuzzy Filtratie zijn: lager energieverbruik en kleiner ruimtebeslag.

Stikstofverwijdering

Bij een vergelijking tussen Fuzzy Filters en zandfilters kan worden opgemerkt dat stikstofverwijdering in zandfilters al op praktijkschaal wordt toegepast en als bewezen techniek wordt beschouwd. Vergaande stikstofverwijdering wordt hier al toegepast.

Bij Fuzzy Filters lijkt vooralsnog een vergaande stikstofverwijdering nog niet mogelijk. Verder onderzoek zal hier uitsluitsel moeten geven of vergaande stikstofverwijdering met Fuzzy Filters haalbaar is.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

SUMMARY

BACKGROUND AND OBJECTIVE

The water quality requirements of sewage treatment plant effluent will, also as a result of the implementation of the Water Framework Directive, change in the future. On several sewage treatment plants in the Netherlands measures have been taken to comply with these new requirements. These measures mainly aim at reducing the concentration of the nutrients total nitrogen and total phosphorus.

The water board Brabantse Delta and STOWA have started a research project to evaluate the feasibility of Fuzzy Filtration to remove nitrogen and phosphorus in sewage treatment plant effluent.

The objectives of the research are:

- Evaluate the feasibility of Fuzzy Filtration for removal of the nutrients nitrogen and phosphorus. For total phosphorus and total nitrogen the following maximal concentrations have been defined: 0,15 mg P/l and 2,2 mg N/l
- Definition of the basis of design for Fuzzy Filtration for removal of nitrogen and phosphorus.
- To establish investment- and exploitation costs of Fuzzy Filtration.

If the objectives mentioned above are met, the technical and economical feasibility of Fuzzy Filtration for removal of nutrients can be defined. In this study Fuzzy Filters are compared with continuous and discontinuous sand filters, currently the most common technique to remove nutrients in sewage treatment plant effluent.

THE FUZZY FILTER

Fuzzy Filtration is a process in which the filter medium consists of synthetic compressible balls made of polyvinylidene chloride which is held together with a monel clip. The balls have a diameter of 33 mm and a porosity of 80-85%

FIGURE 1

SYNTHETIC FUZZY BALL (LEFT) AND COMPRESSED BALLS (RIGHT)



The balls are entrapped between a fixed perforated bottom plate and an adjustable perforated top plate with which the compression of the Fuzzy Filter can be set. The compression set the porosity and there the filtration properties of the medium.

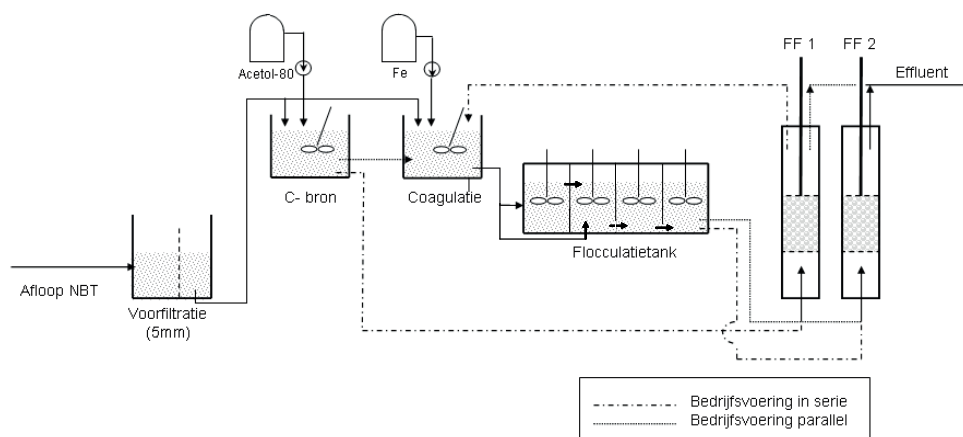
Fuzzy Filters are currently world wide used for removal of suspended solids. In this application the process appear to be effective. The use of Fuzzy Filters for nutrient removal is new.

THE PILOT PLANT

The effluent of the secondary clarifier of the sewage treatment plant is led to pumping station. From here the water is pumped to the pilot plant consisting of: coagulation-flocculation step, mixing tanks for carbon source dosing, an intermediate pumping station and two Fuzzy Filters.

FIGURE 2

PROCESS SCHEME FUZZY FILTER AT THE SEWAGE TREATMENT PLANT OF NIEUW VOSSEMEER



In the phosphate removal research coagulant is dosed to the coagulation tank and mixed with the effluent of the secondary clarifier. From here, the water flows via the flocculation tanks to the Fuzzy Filters. Three types of coagulant were tested in the research. In the nitrogen removal research a carbon source was added to the mixing tank, after which the water flows to the Fuzzy Filters.

RESULTS PHOSPHATE REMOVAL

Me/P ratio

Me/P ratios in the range 3 to 8 mole/mole were used. The results showed that at an average concentration of about 0.5 mg P/l, a Me/P ratio of 5 mole/mole will effectively bind ortho-phosphate into metal bound phosphate.

Floc forming and floc stability

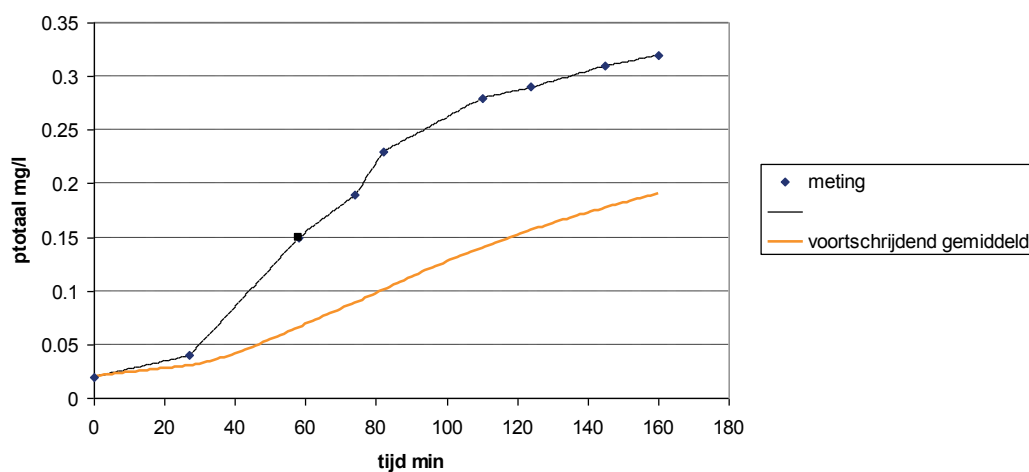
In the coagulation-flocculation step good flocs were formed. At Me/P ratios of 5 mole/mole the majority of the flocs exceeded 5 μm . This was observed for all coagulants tested in this study. In tests where PE was dosed additionally the floc size was further increased up to a situation in which 80% of the flocs were higher than 20 μm .

During the research no indications were found that the flocs formed in the coagulation-flocculation tanks were disintegrating in the Fuzzy Filter. No shift from big floc before the Fuzzy Filter to smaller flocs in the filtrate of the Fuzzy Filter was found. In addition, theoretical calculations support the finding that floc disintegration in the Fuzzy Filter was very unlikely to occur.

Filtration of the flocs and pressure build up in the Fuzzy Filter

The filtration process and the removal of phosphate in the Fuzzy Filter are characterized by the phenomenon of increased phosphate concentrations in the filtrate of the Fuzzy Filter with time. Figure 3 gives a typical example of phosphate removal in the Fuzzy Filters.

FIGURE 3 PHOSPHATE CONCENTRATION IN FUZZY FILTER FILTRATE WITH FeCl_3 AS COAGULANT. TOTAL-PHOSPHATE CONCENTRATION IN THE FEED OF THE FUZZY FILTER WAS 0,4 MG P/L



At the start of a run phosphate is removed well. In this phase pressure build-up and removal of phosphate flocs occur below in the filter, about 20 cm of the bottom plate. As the run continues also phosphate flocs are also removed at higher levels in the Fuzzy Filter. However this process is attended with increase in phosphate concentrations in the Fuzzy Filter filtrate.

The results indicate that Fuzzy Filtration has a limited capacity for removal and storage of phosphate in the Fuzzy Filter. Phosphate fractioning tests showed that the increased phosphate concentration in the Fuzzy Filter filtrate is caused by metal-bound phosphate. Organic phosphate was fairly removed during the whole run.

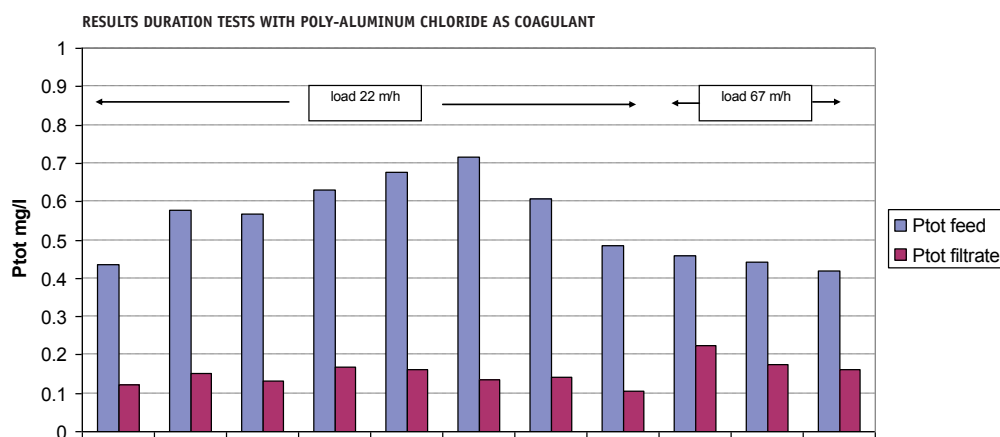
Principle of phosphate storage

The fact that a Fuzzy Filter has a limited capacity for phosphate removal and phosphate storage, indicate that the runtime of the filter is set by the amount of phosphate that can be removed during a run. By setting the proper runtime it is possible that the Fuzzy Filter filtrate comply with the defined effluent target value of 0,15 mg P/l. Definition of the design phosphate storage and the filter runtime is based on the following. In the phosphate removal in Fuzzy Filters treating secondary clarifier effluent of a sewage treatment plant a distinction can be made in the removal of the different phosphate fractions being: organic-bound phosphate and metal-bound phosphate. Ortho-phosphate or dissolved organic phosphate can not be removed via filtration processes. For defining phosphate storage and Fuzzy Filter runtime the assumption has been made that the limited phosphate storage is set by the

removal of metal-bound phosphate. The starting point for definition of the phosphate storage is therefore based on the ortho-phosphate concentration in the secondary clarifier effluent, which is effectively converted into metal-bound phosphate in the coagulation-flocculation step. Of the coagulants tested in this research the highest phosphate storage was realized with poly-iron chloride (a special Nalco product), followed by poly-aluminum chloride. FeCl_3 had the lowest phosphate storage. Although poly-iron chloride was technologically the most suitable product costs for this product are compared to poly-aluminum chloride and FeCl_3 much higher. Application of poly-iron chloride as coagulant for phosphate removal is therefore economically not attractive. The test program was therefore continued with poly-aluminum chloride.

Figure 4 shows the results of duration tests in which the Fuzzy Filter runtime was set by a design phosphate storage capacity of the Fuzzy Filter of $7,5 \text{ g o-PO}_4\text{-P/m}^2$ filtration surface. The storage capacity was derived from several batch runs with poly-aluminum chloride. The runtime of the Fuzzy Filter can then be calculated from the ortho-phosphate concentration in the secondary clarifier effluent and the flow that is treated.

FIGURE 4



It appears that operating a Fuzzy Filter based on phosphate storage capacity is feasible and allows for a good quality of the filtrate. Furthermore phosphate removal was also possible at higher hydraulic loading rates of the Fuzzy Filter.

Effect compression, hydraulic loading and phosphate concentration secondary clarifier effluent

In a Fuzzy Filter the filtration spectrum can be adjusted by adapting the compression. In this research no significant effect of the compression for removal of phosphate was observed. The compression has been tested in the range 10-40%.

An advantage of Fuzzy Filters is the potential high applicable hydraulic loading rates. In this research it appeared that also for phosphate removal high loading rates may be applied. De maximal tested rate was 100 m/h.

Another important parameter for phosphate removal is the maximal phosphate concentration in secondary clarifier effluent that can be applied at which the filtrate of the Fuzzy Filter complies with the set target value 0,15 mg P/l. In this research it was observed that this concentration is about 0,7 mg P/l.

Basis of design phosphate removal with Fuzzy Filtration

For the design of a Fuzzy Filter installation the following starting points were used in this study:

- design capacity Fuzzy filtration 1,5 x DWF and 3 x DWF;
- ratio ortho-phosphate and total-phosphate in Fuzzy Filter feed 0,65;
- storage capacity 7,5 g o-PO₄-P/m² filtration surface;
- washing time Fuzzy Filter 18 minutes and 7 minutes post-washing. Post washing is done with a higher flow to minimize post washing time. The post washing volume is 2,4 times Fuzzy Filter volume;
- maximal hydraulic load 75 m/h;
- dependent of the runtime en the number of Fuzzy Filters needed based on hydraulic loading, extra Fuzzy Filters are installed if needed to allow for a normal operation.

Table 1 shows the design of a Fuzzy Filter installation for sewage treatment plant of 100.000 p.e.

Table 1 clearly shows the effect of the phosphate concentration in secondary clarifier effluent. The maximal total-phosphate concentration in secondary clarifier effluent at which the filtrate of Fuzzy Filters comply with the target value 0,15 mg P/l, is 0,7 mg P/l. So, under normal conditions secondary clarifier effluent phosphate concentrations will be 0,5-0,7 mg P/l. Table 1 shows that under these conditions Fuzzy Filter runtime will be short, ranging from 31 to 110 minutes at DWF and only 21 to 27 minutes at RWF. Consequences of these short run time are:

- There are continuously Fuzzy Filters in operation and rinsing resulting in a continuous production of wash water. The wash water flow can be as high as 54% of the incoming at RWF. As a consequence in addition to the Fuzzy Filter installation the sewage treatment plant likely need to be extended hydraulically.
- Wash water production for Fuzzy Filters is higher than for sand filters. It should be noted however that the washing program may be optimized reducing wash water production.
- More filtration capacity is installed than required on the bases of the allowable maximal load.

TABLE 1 FUZZY FILTER DESIGN FOR PHOSPHATE REMOVAL IN SECONDARY CLARIFIER EFFLUENT FOR A SEWAGE TREATMENT PLANT WITH A CAPACITY OF 100.000 P.E. Å 136 G TZV

Parameter			Design capacity			
			3 x DWF		1,5 x DWF	
Concentrations secondary clarifier effluent						
• total-phosphate	mg/l	0,7	0,5	0,3	0,7	0,3
• ortho-phosphate	mg/l	0,46	0,33	0,2	0,46	0,2
design parameters						
• capacity	m³/h	2.250		1.687		
• phosphate storage	g o-PO ₄ /m² filter surface	7,5		7,5		
• maximal load	m/h	75		75		
Number of Fuzzy Filters						
• based on maximal load		8	8	8	6	6
• extra filters		8	5	2	6	4
• total number of filters		16	13	10	12	10
Fuzzy Filter characteristic						
• filter type	[-]	7	7	7	7	7
• runtime	at DWF minutes	63	110	427	31	55
	at SWF minutes	21	37	142	21	37
• wash water consumption		0,57	0,33	0,08	0,57	0,33
m³/m³ filtered water		54	35	35	36	16
• wash water flow	percentage (%) RWF	0,06	0,04	0,03	0,06	0,04
• energy consumption	kWh/m³ filtered water					
• load		23	23	23	47	47
• nominal	m/h	70	70	70	70	70
• maximal	m/h	0,18	0,16	0,13	0,37	0,32
• phosphate	kg P/m³ filter.day *)					

*) The load is based on the installed filtration capacity, including extra filters, and a compression of 30%.

RESULTS NITROGEN REMOVAL

The research on nitrogen removal showed that denitrification was present in the Fuzzy Filter, and that high hydraulic loading rate could be applied. However, a full denitrification was not accomplished during the tests. In the Fuzzy Filter about 50% of the NO_x present in the secondary clarifier effluent is denitrified. This relationship has been found with NO_x concentrations in secondary clarifier effluent from 1 to 18 mg N/l. Furthermore the maximal denitrification capacity of the Fuzzy Filter was about 2,5 kg N/m² filter per day. Extension of the amount of carrier material in the Fuzzy Filter by adding more filter balls, did not showed better results.

COMPARISON FUZZY FILTERS AND SAND FILTERS

Phosphate removal

Comparing Fuzzy Filters and sand filters showed:

- for small sewage treatment plants Fuzzy Filters are more expensive than sand filters. For bigger sewage treatment plants the costs are comparable. However, the calculated costs for Fuzzy Filtration were excluding costs for a hydraulic extension of the sewage treatment plant. If this is needed, applying Fuzzy Filters for phosphate removal will be more expensive than sand filters.
- both techniques can be used to remove phosphate with a filtrate quality that complies with the target value of 0,15 mg P/l.
- the maximal allowable total-phosphate concentration in secondary effluent to comply with the target value 0,15 mg P/l is for both systems about 0,7 mg P/l.
- chemical consumption is assumed equal for both systems.
- the major disadvantages of Fuzzy Filtration compared with sand filtration are:
 - strong increase of the hydraulic loading of the sewage treatment plant which may result in a hydraulic extension of the sewage treatment plant when Fuzzy Filtration is applied;
 - short runtimes due to limited capacity for phosphate removal, higher wash water production;
 - less experience with the process for phosphate removal.
- the major advantages of Fuzzy Filtration are lower energy consumption and smaller footprint.

Nitrogen removal

Comparing Fuzzy filters and sand filters it can be noted that nitrogen removal with sand filters is a proven technology applied on full scale with low nitrogen concentrations in the sand filter filtrate. For Fuzzy Filters enhanced nitrogen removal is still not possible; a maximal efficiency of 50% nitrogen removal was found. Further research is needed to show if enhanced nitrogen removal with Fuzzy Filter is applicable.

DE STOWA IN BRIEF

The Foundation for Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are all ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater treatment installations and dam inspectors.

The water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative legal and social scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed based on requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as knowledge institutes and consultants, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

The money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some 6,5 million euro.

For telephone contact number is: +31 (0)33 - 460 32 00.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 2180, 3800 CD Amersfoort.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

N- EN P-VERWIJDERING MET FUZZY FILTRATIE OP DE RWZI NIEUW VOSSEMEER

INHOUD

	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
1.1	Onderzoeksdoelstellingen	2
1.2	Projectorganisatie	2
2	ONDERZOEKSOPZET	3
2.1	Fasering van het onderzoek en onderzoeksvragen	3
2.1.1	Vooronderzoek	3
2.1.2	Fase 1. Fosfaatverwijdering	3
2.1.3	Fase 2. Stikstofverwijdering	3
2.2	Financiële en technische evaluatie	4
3	SYSTEEMBESCHRIJVING EN THEORETISCHE BESCHOUWINGEN	5
3.1	Rwzi Nieuw Vossemeer	5
3.2	Systeembeschrijving	5
3.3	Theoretische beschouwing Fuzzy Filtratie	7
3.3.1	Verwijderingsmechanisme	7
3.3.2	Filtermedium	8
3.3.3	Filtratiecyclus	8
3.3.4	Filtratiesnelheid	10
3.4	Verwijdering van fosfaat	10
3.4.1	Stuurvariabelen vlokvorming	10
3.5	Verwijdering van stikstof	12
3.5.1	Berekening doseerhoeveelheid koolstofbron	13

4	ONDERZOEKSSTRATEGIE EN MONITORING	14
4.1	Onderzoekscondities	14
4.2	Onderzoeksstrategie	14
4.2.1	Onderzoeksparemeters	14
4.2.2	Fase 1. Fosfaatverwijdering	14
4.2.3	Fase 2. Stikstofverwijdering	16
4.3	Online metingen	16
4.4	Laboratorium analyses	17
4.4.1	Steekmonsters	17
4.4.2	Verzamelmonsters	17
4.4.3	Spoelwater	17
4.4.4	Aanvullende analyses	17
5	BEKERGLASPROEVEN	18
6	BLANCO PERIODE	19
6.1	Waterkwaliteitsaspecten	19
6.2	Bedrijfsvoeringsaspecten	21
7	RESULTATEN FOSFAATVERWIJDERING	23
7.1	Inleiding	23
7.2	Technische aspecten fosfaatverwijdering met Fuzzy Filters	23
7.3	Resultaten fosfaatverwijdering met Fuzzy Filters	26
7.3.1	Me/P verhouding	26
7.3.2	Vlokvorming in de coagulatie-flocculatieruimte.	27
7.3.3	Vlokstabiliteit	31
7.3.4	Filtratie van de gevormde vlokken.	31
7.3.5	Fosfaatverwijdering bij verschillende totaalfosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank	40
7.3.6	Fosfaatverwijdering bij verschillende hydraulische belastingen	43
7.3.7	Fosfaatverwijdering bij verschillende compressies	45
7.3.8	Fosfaatberging in het Fuzzy Filter	46
7.3.9	Duurproeven fosfaatverwijdering met looptijden gebaseerd op fosfaatberging	48
7.3.10	Evaluatie resultaten fosfaatverwijdering	50
7.4	Ontwerp Fuzzy Filter fosfaatverwijdering	51
7.4.1	Inleiding	51
7.4.2	Ontwerpgrondslagen	51
7.4.3	Ontwerp Fuzzy Filtratie	52
7.5	Eindevaluatie	55
8	RESULTATEN STIKSTOFVERWIJDERING	57
8.1	Inleiding	57
8.2	Randvoorwaarden Stikstofverwijdering met Fuzzy Filters	57
8.2.1	Kinetiek van de denitrificatie	58
8.2.2	Groei van biomassa gedurende denitrificatie	61
8.2.3	Denitrificatiecapaciteit biomassa	61
8.2.4	Technische aspecten denitrificatie in Fuzzy Filters	62

8.3	Resultaten stikstofverwijdering met Fuzzy Filters	63
8.3.1	Opstart Fuzzy Filters	63
8.3.2	Resultaten vervolgonderzoek denitrificatie	64
8.3.3	Zwevende stof balans	71
8.3.4	Evaluatie resultaten stikstofverwijdering	72
9	VERGELIJKING FUZZY FILTERS EN ZANDFILTER	73
9.1	Fosfaatverwijdering	73
9.1.1	Technologische vergelijking	73
9.1.2	Economische vergelijking	76
9.1.3	Eindevaluatie	79
9.2	Stikstofverwijdering	80
10	EINDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	81
10.1	Fosfaatverwijdering	81
10.2	Stikstofverwijdering	82
10.3	Aanbevelingen	82
11	LITERATUUR	84
	BIJLAGEN	
1	LIJST VAN AFKORTINGEN	85
2	METHODIEK FOSFAATVERDELING EN FOSFAATFRACTIONERING	87
3	RESULTATEN FOSFAATFRACTIONERINGSTESTEN	89
4	BEREKENING G-WAARDEN IN FUZZY FILTERS	115
5	RESULTATEN DRUKMETINGEN IN FUZZY FILTERS	119
6	BEREKENDE FOSFAATBERGING IN FUZZY FILTERS	127
7	VOORBEELDBEREKENING ONTWERP FUZZY FILTERS VOOR FOSFAATVERWIJDERING	131
8	SPECIFICATIEBLADEN CHEMICALIËN	135

1

INLEIDING

De waterkwaliteitseisen gesteld aan het effluent van een rioolwaterzuivering kunnen, mede door de invoering van de Kaderrichtlijn Water, in de toekomst veranderen. Op verschillende zuiveringen in Nederland zijn al maatregelen genomen om aan deze toekomstige eisen te gaan voldoen. De maatregelen hebben voornamelijk tot doel het gehalte aan de nutriënten totaalstikstof en totaalfosfor te reduceren.

Het Waterschap Brabantse Delta heeft samen met STOWA een onderzoeksproject gestart naar de haalbaarheid van de effluentstreefwaarde voor totaalstikstof (2,2 mg N/l) en totaalfosfor (0,15 mg P/l) met Fuzzy Filtratie als nageschakelde techniek. Om stikstof, fosfor en zwevende stof vergaand te verwijderen zijn al verschillende (nageschakelde) technieken toegepast zoals membraanbioreactoren, en continue en discontinue zandfilters. Een mogelijk alternatieve techniek is Fuzzy Filtratie. Fuzzy Filtratie maakt gebruik van een synthetisch filtermedium dat samendrukbaar is en daarmee een variabele porositeit heeft. Fuzzy Filtratie onderscheidt zich van zandfiltratie doordat het mogelijk is hoge hydraulische belastingen (tot 100 m/h) toe te passen.

Fuzzy Filters worden inmiddels wereldwijd toegepast voor zwevende stof verwijdering. De prestaties van een tweetal Fuzzy Filters zijn weergegeven in tabel 1. Fuzzy Filtratie is een bewezen techniek voor de verwijdering van zwevende stof. Het oudste Fuzzy Filter is op dit moment 20 jaar in bedrijf; het medium van deze installatie is nog nooit vervangen (persoonlijke mededeling Bosman Watermanagement B.V.). Dit geeft aan dat het medium in principe een lange levensduur heeft.

TABEL 1 PRESTATIES ZWEVENDE STOF VERWIJDERING VAN ENKELE BESTAANDE FUZZY FILTERS

Locatie	Capaciteit (m ³ /d)	Influent (mg/l)	Effluent (mg/l)	Verwijdering (%)	Uitvoering	Operationeel (jaren)
Buford (VS)	22.700	Tot 20	< 2	> 90	Staal	5
Claytown County North East (VS)	56.800	5 - 10	< 2	60 - 80	Staal	10

Toepassen van Fuzzy Filters voor de verwijdering van stikstof en fosfor is nieuw en vormt een onderdeel van deze studie. Hiertoe wordt de filtrerende werking van het Fuzzy Filter gecombineerd met biologische afbraakprocessen en chemische neerslagreacties. In het Fuzzy Filter wordt stikstof verwijderd via denitrificatie in het filterbed. Hiervoor dient een koolstofbron (C-bron) te worden toegevoegd en is het noodzakelijk dat een stabiele denitrificerende biomassa gevormd wordt op het filtermedium. Fosfaat wordt verwijderd door precipitatie met een metaalzout (doorgaans Fe³⁺ of Al³⁺) in een coagulatiestap gevolgd door flocculatie (vlokvorming) en filtratie van de gevormde fosfaatvlokken in het Fuzzy Filter.

Om de stikstof- en fosfaatverwijdering te beproeven en te optimaliseren is een Fuzzy Filter installatie inclusief benodigde randapparatuur gerealiseerd op de rwzi Nieuw Vossemeer. Na afronding van het onderzoek kan, wanneer voldoende stikstof en fosfaat verwijderd wordt, besloten worden het Fuzzy Filter definitief toe te passen als nageschakelde processtap. Met deze optie is rekening gehouden door de proefinstallatie zo uit te voeren dat deze gemakkelijk om is te bouwen naar een definitieve installatie.

1.1 ONDERZOEKSDOELSTELLINGEN

Voor het onderzoek zijn drie doelstellingen gedefinieerd:

- vaststellen in hoeverre een vergaande verwijdering van de nutriënten fosfaat en stikstof realiseerbaar is. Hierbij zijn voor totaalfosfor 0,15 mg P/l en totaalstikstof 2,2 mg N/l als effluentstreefwaarde gedefinieerd;
- de financiële haalbaarheid van het Fuzzy Filter nagaan door de investerings- en exploitatiekosten voor de verwijdering van stikstof en fosfaat van het Fuzzy Filter te vergelijken met die van zandfilters;
- vanuit de onderzoeksresultaten de ontwerp- en dimensioneringsgrondslagen voor het toepassen van Fuzzy Filtratie voor stikstof- en fosfaatverwijdering vastleggen.

1.2 PROJECTORGANISATIE

Het onderzoek is uitgevoerd door het Waterschap Brabantse Delta, Royal Haskoning, TU Delft en Bosman Watermanagement B.V. Het Waterschap Brabantse Delta heeft in het kader van dit onderzoek Royal Haskoning opdracht gegeven voor het verlenen van adviesdiensten voor het ontwerp en de realisatie van de proefinstallatie en de coördinatie en uitvoering van het onderzoek. De Fuzzy Filters die een onderdeel zijn van de proefinstallatie zijn geleverd door Bosman Watermanagement B.V. Daarnaast is door de TU Delft specifiek onderzoek verricht naar de fosfaatverdeling en de fosfaatfractionering.

Voor de dagelijkse bedrijfsvoering van de proefinstallatie en de benodigde bemonstering en analyses is het Waterschap Brabantse Delta verantwoordelijk.

2

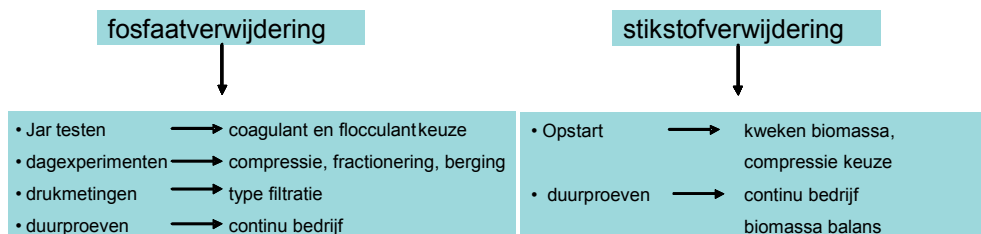
ONDERZOEKSOPZET

2.1 FASERING VAN HET ONDERZOEK EN ONDERZOEKSVRAGEN

In deze paragraaf zijn de verschillende fases van het onderzoek beschreven. Het onderzoek is gestart met een vooronderzoek. Het praktijkonderzoek naar stikstof- en fosfaatverwijdering is uitgevoerd zoals weergegeven in figuur 1.

FIGUUR 1

FASERING VAN HET ONDERZOEK



2.1.1 VOORONDERZOEK

Een belangrijke stap bij fosfaatverwijdering is coagulatie en flocculatie waarbij fosfaatvlokken worden gevormd die via filtratie worden afgescheiden. Beide processen vinden plaats voor de eigenlijke filtratiestap. Omdat de mate waarin fosfaatverwijdering mogelijk is voor een belangrijk deel bepaald wordt door een effectieve coagulatie-flocculatie, is het belangrijk om deze processen te optimaliseren. Voorafgaand aan het praktijkonderzoek is via bekeerglasproeven in een laboratoriumstudie bepaald welk type coagulant het meest geschikt is voor de verwijdering van fosfaat. Tevens is nagegaan of dosering van flocculant nodig is.

2.1.2 FASE 1. FOSFAATVERWIJDERING

Na inbedrijfname van de proefinstallatie is het onderzoek gestart met de initiële instellingen afgeleid uit het vooronderzoek. Deze fase van het onderzoek richtte zich op het afvangen van het gecoaguleerde en geflocculeerde fosfaat in de Fuzzy Filters. Bij het onderzoek zijn verschillende coagulanten, in- en exclusief flocculant dosering, onder verschillende condities getest.

De primaire onderzoeksvraag in deze fase is: kan via de voorgestelde nageschakelde zuiveringstechnieken voldoende fosfaat worden verwijderd, zodat wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l.

2.1.3 FASE 2. STIKSTOFVERWIJDERING

In fase 2 is stikstofverwijdering onderzocht. Door voldoende koolstofbron aan de afloop nabezinktank toe te voegen en anoxische condities in het Fuzzy Filter te creëren, wordt beoogd om nitraat via denitrificatie te verwijderen. Een belangrijk punt in deze fase is de biomassaretentie in relatie tot de bedrijfsvoeringsaspecten van het Fuzzy Filter. De centrale onderzoeksvraag in deze fase luidt: is er een zodanige stikstofverwijdering mogelijk dat wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde 2,2 mg N/l voor totaalstikstof?

2.2 FINANCIËLE EN TECHNISCHE EVALUATIE

Omdat Fuzzy Filters een alternatief zijn voor zandfilters is de toepasbaarheid afhankelijk van de technische en financiële haalbaarheid. Technische haalbaarheid geeft aan of het technisch mogelijk is om aan de gestelde eisen te voldoen. Voor de investeringen en exploitatie zijn onder andere de volgende parameters van belang:

- mogelijke belastingen van het Fuzzy Filter;
- schaalgrootte rwzi;
- investeringen;
- chemicaliënverbruik;
- energieverbruik;
- personele inzet.

Het belangrijkste voordeel bij Fuzzy Filters is dat voor de verwijdering van zwevende stof veel hogere belastingen mogelijk zijn dan bij zandfilters. Fuzzy Filters kunnen met 75 tot 100 m/h worden belast. Bij zandfilters bedraagt dit circa 10 tot 20 m/h. De hogere belastingen bij Fuzzy Filters resulteert in een kleiner filteroppervlak en lagere kosten. Voor fosfaat- en stikstofverwijdering speelt naast de hydraulische belasting ook de maatgevende fosfaat- en de nitraatbelasting een rol. Verder is tijdens het onderzoek nagegaan of eventueel andere parameters bepalend kunnen zijn voor het ontwerp van een Fuzzy Filter installatie.

Het onderzoek richtte zich op het vaststellen van de maatgevende fosfaat- en nitraatbelastingen voor Fuzzy Filters. Afhankelijk hiervan zijn de kosten (investeringen en exploitatie) voor Fuzzy Filters berekend en vergeleken met zandfilters.

Naast de belasting van het Fuzzy Filter speelt ook de schaalgrootte van de rwzi mogelijk een rol. De kosten voor Fuzzy Filtratie zijn daarom berekend voor vier schaalgroottes, te weten 10.000, 50.000, 100.000 en 150.000 i.e. à 136 g TZV. Deze kosten zijn vervolgens vergeleken met de kosten voor zandfilters.

3

SYSTEEMBESCHRIJVING EN THEORETISCHE BESCHOUWINGEN

3.1 RWZI NIEUW VOSSEMEER

De rwzi Nieuw Vossemeer, waar de proefinstallatie is gebouwd, ligt in West Brabant langs het Schelde-Rijnkanaal, gemeente Steenberg. De installatie zuivert het afvalwater van circa 3.361 i.e à 136 g TZV. De installatie bestaat uit een grofvuilrooster, oxidatiesloot met borstelbeluchting en een nabezinktank. De waterkwaliteit van de afloop nabezinktank is gegeven in tabel 2.

TABEL 2 WATERKwaliteit AFLOOP NABEZINKTANK RWZI NIEUW VOSSEMEER¹

Parameter	Waarde	Eenheid
Debieten		
DWA	25	m ³ /h
RWA	135	m ³ /h
Totale aanvoer	730	m ³ /d
Concentraties		
CZV	35	mg/l
BZV	3	mg/l
Totaalstikstof	7,1	mg/l
Totaalfosfor	0,45	mg/l
Onoplosbare bestanddelen (OB)	7	mg/l

De hydraulische capaciteit van de installatie bedraagt 135 m³/h. De aanvoer varieert bij droog weer gedurende de dag en is gemiddeld 25 m³/h.

Op de rwzi Nieuw Vossemeer wordt chemisch gedefosfateerd met poly-aluminiumchloride (PACl). De dosering vindt plaats in de oxidatiesloot. De doseerpomp wordt aangestuurd via een looptijd/wachttijd regeling. Er wordt gedoseerd met een gemiddelde Me/P van 2 mol/mol in de hoofduivering. Deze dosering is gericht op het halen van een jaargemiddelde totaalfosfor van 0,5 mg P/l. Door de looptijd/wachttijd van de doseerpomp te variëren kan de fosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank, en dus de aanvoer naar het Fuzzy Filter, worden gevarieerd.

3.2 SYSTEEMBESCHRIJVING

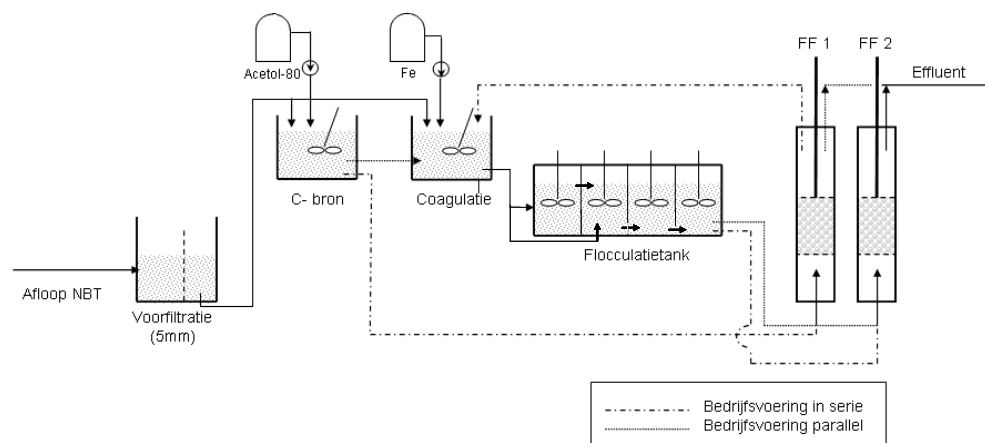
De proefinstallatie bestaat uit een opvoergemaal, coagulatie- (met dynamische menger) en flocculatie-ruimte (met dynamische menger), een koolstofbron mengtank, een tussengemaal en twee Fuzzy Filter kolommen. Voorzieningen zijn aanwezig om de Fuzzy Filters zowel parallel als in serie te bedrijven. Een processchema van de installatie is weergegeven in figuur 2, de belangrijkste dimensies zijn weergegeven in tabel 3.

¹ Bedrijfsresultaten zuiveringstechnische werken 2009, Waterschap Brabantse Delta.

In het opvoergemaal was initieel een geperforeerde plaat met 3 mm perforaties opgenomen om verstopping van het Fuzzy Filter met grove delen te voorkomen. Echter, gedurende het onderzoek bleek deze plaat zeer snel te verstopen en is daarom vervangen door een geperforeerde plaat met 5 mm perforaties.

FIGUUR 2

PROCESSHEMA FUZZY FILTER INSTALLATIE RWZI NIEUW VOSSEMEER



TABEL 3

DIMENSIES FUZZY FILTER INSTALLATIE NIEUW VOSSEMEER

Proceselement	Eenheid	Waarde
Aanvoer		
DWA	m ³ /h	25
RWA	m ³ /h	50
Filterplaat		
Perforatiediameter	mm	5
Coagulatie tank		
Volume	m ³	0,5
Verblijftijd (Q = 25 / 50 m ³ /h)	min	1,2 / 0,6
Mengintensiteit	s ⁻¹	1.000
Me/P verhouding	-	Variabel
Flocculatie tank		
Compartimenten*	-	4
Totaal volume	m ³	10
Verblijftijd (Q = 25 / 50 m ³ /h)	min	24 / 13
Mengintensiteit (15°C)**	s ⁻¹	ca. 100
C-bron tank		
Volume	m ³	0,5
Verblijftijd (Q = 25 / 50 m ³ /h)	min	1,2 / 0,6
Fuzzy Filter		
Aantal	-	2
Oppervlakte per Fuzzy Filter	m ²	0,372
Oppervlaktebelasting DWA	m/h	34
Oppervlaktebelasting RWA	m/h	67

* Bij debieten > 25 m³/h vier compartimenten in bedrijf. Bij andere debieten drie compartimenten in bedrijf.

** De mengintensiteit is regelbaar

Uit onderzoek uitgevoerd op de rwzi Nieuwveer te Breda is gebleken dat de gevormde vlokken na de coagulatie stap konden beschadigen in de aanvoer naar het filterbed van het Fuzzy Filter². Daarom is in het ontwerp van de proefinstallatie uitgegaan van een vrije doorstroming naar de inlaat van het Fuzzy Filter om de gevormde vlokken zo goed mogelijk te behouden. Om de vlokvormingsstap zo optimaal mogelijk te kunnen laten verlopen is ervoor gekozen om dit in een aparte coagulatie en flocculatiestap te laten plaatsvinden (in plaats van in-line dosering).

3.3 THEORETISCHE BESCHOUWING FUZZY FILTRATIE

Er zijn verschillende soorten filtratietechnieken om zwevende stof te verwijderen. Deze kunnen grofweg in drie categorieën ingedeeld worden: diepbedfiltratie, oppervlaktefiltratie en membraanfiltratie. Fuzzy Filtratie is, evenals zandfiltratie, een diepbedfiltratietechniek.

Een Fuzzy Filter is een opwaarts doorstroomd discontinu bedreven filter. Het filtermedium (enkellaag) is opgesloten in een kokerprofiel zodat het mogelijk is het water onder druk door het filtermedium te leiden. Het medium in het filter is homogeen, maar doordat het filtermedium vanaf de bovenkant samengedrukt wordt zijn de poriën onderin (daar waar afloop nabezinktank binnenkomt) wat groter. Er is dus sprake van enige gelaagdheid. De gelaagdheid van het filtermedium is in de meeste gevallen wenselijk. Grote deeltjes kunnen dan in het begin van het Fuzzy Filter, waar het bergende vermogen groot is, worden afgevangen, terwijl fijne deeltjes verderop in het Fuzzy Filter, waar een lagere porositeit heerst, worden afgevangen.

3.3.1 VERWIJDERINGSMECHANISME

Verschillende mechanismen zorgen ervoor dat zwevende stof in het filterbed geborgen wordt. De *zevende werking* van het filterbed is echter het dominante (en principiële) mechanisme verantwoordelijk voor het afvangen van zwevende stof. Alle deeltjes die groter zijn dan de poriegrootte van het filtermedium worden tegengehouden. Bij een toename in berging van zwevende stof, vervuult het filtermedium waardoor de poriegrootte afneemt en kleinere delen gemakkelijk ingevangen kunnen worden.

Naast de zeefwerking vindt ook *sedimentatie* plaats doordat lage stroomsnelheden aanwezig zijn en er een groot oppervlak aanwezig is waarop deeltjes kunnen sedimenteren. Ook treedt *interceptie* en *adhesie* op waardoor deeltjes, wanneer ze in contact komen met het filtermateriaal, hieraan gebonden worden. Bij *flocculatie* klonteren in het filterbed kleine deeltjes samen tot grotere deeltjes welke vervolgens door zeefwerking verwijderd kunnen worden³.

Naast bovengenoemde mechanismen kan door *chemische*- en of *biologische activiteit* opgeloste stoffen omgezet worden in producten die mogelijk niet oplosbaar zijn waardoor deze ingevangen kunnen worden (fosfaatvlokken) of ontwijken naar de gasfase (stikstofgas).

² Werkrapport Toepasbaarheid Fuzzy Filter voor nazuivering rwzi Effluent. Tauw BV, Waterschap Brabantse Delta, Bosman Watermanagement B.V., December 2006.

³ Metcalf & Eddy, Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th edition, McGraw-Hill, 2003.

3.3.2 FILTERMEDIUM

Het medium van een Fuzzy Filter bestaat uit samendrukbare synthetische ballen vervaardigd uit polyvinylideenchloride en bijeengehouden door een monel clip (zie figuur 3). De balletjes hebben een diameter van 33 mm en een porositeit van 80 - 85%.

FIGUUR 3

SYNTHETISCH FUZZY BALLETJE (LINKS) EN BALLETJES ONDER COMPRESSIE (RECHTS)



De ballen zitten opgesloten tussen een gefixeerde perforeerde onderplaat en een instelbare geperforeerde bovenplaat. Door de bovenplaat te verplaatsen kan de gewenste compressiegraad van het Fuzzy Filter ingesteld worden. De compressiegraad bepaalt de porositeit en daarmee de filtereigenschappen van het medium.

Voor zandfilters is de korrelgrootteverdeling van de siliciumdeeltjes de belangrijkste parameter voor de verwijdering van zwevende stof. Bij een kleinere korrelgrootte zullen ook de kleinere deeltjes afgevangen kunnen worden; de energie benodigd om het water door het filterbed te pompen neemt dan wel toe evenals de kans op koekfiltratie. Bij een (te) grote korrelgrootte bestaat het risico dat kleinere deeltjes niet afgevangen kunnen worden.

Doordat het filtermedium in een Fuzzy Filter samendrukbaar is en de poriegrootte aangepast kan worden, heeft een Fuzzy Filter een groter spectrum aan deeltjes die afgevangen kunnen worden in vergelijking tot zandfilters. Het Fuzzy Filter kan tot circa $4\text{ }\mu\text{m}$ filtreren⁴. Zandfiltratie filtreert tot circa $2\text{ }\mu\text{m}$ ⁵.

3.3.3 FILTRATIECYCLUS

Tijdens het filtratieproces neemt de druk in het filterbed toe doordat meer zwevende stof wordt afgevangen. Na verloop van tijd is de druk zo ver toegenomen dat ingevangen deeltjes los kunnen komen ofwel dieper in het filterbed afgevangen worden, of in het filtraat belanden. Er zal dan uiteindelijk doorslag plaatsvinden. Om dit te verhinderen wordt het Fuzzy Filter periodiek teruggespoeld.

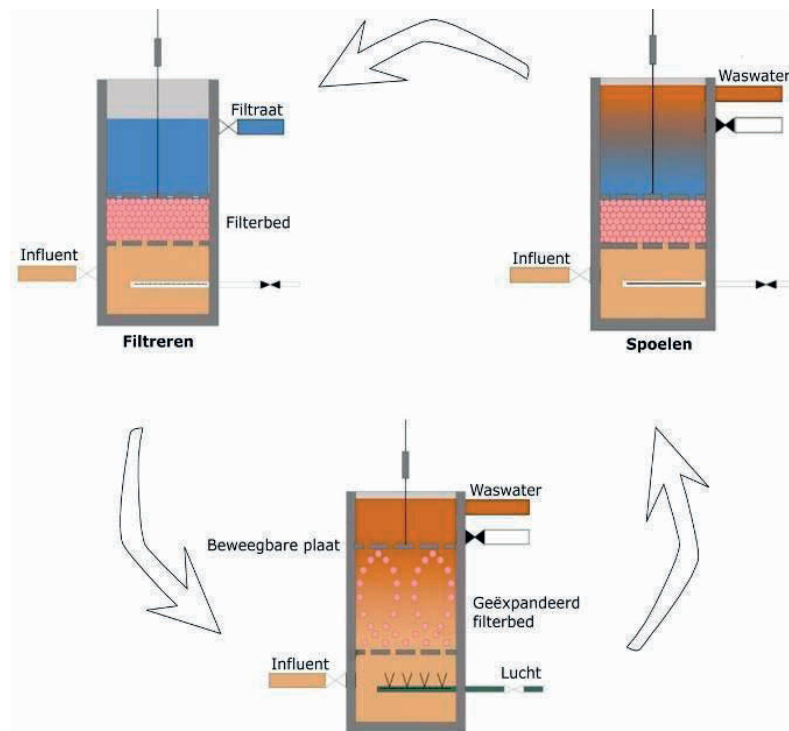
Een Fuzzy Filter wordt gewassen met ruwwater. Hierdoor zijn geen spoelwater buffervoorzieningen nodig. Tijdens het wassen wordt de compressie verwijderd waarna een externe blower lucht toevoert in de bodemsectie. Hierdoor worden de afgevangen vaste delen los geslagen en weggespoeld met waswater, zie figuur 4. Het waswater wordt terug geleid naar de hoofdzuivering.

4 Prediction of filter performance for a filter employing a synthetic compressible medium. O Caliskaner and G Tchobanoglous

5 Filtratietechnieken RWZI's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. Stowa 2006-21.

FIGUUR 4

FILTRATIECYCLUS FUZZY FILTER. (INFORMATIE BROCHURE BOSMAN WATERMANAGEMENT)



Het spoelproces bij een Fuzzy Filter is instelbaar. Op basis van de ervaring van Bosman Watermanagement B.V. zijn bij de proefinstallatie zes stappen opgenomen waarin water van de afloop nabezinktank door het Fuzzy Filter wordt geleid en lucht afwisselend links, rechts en links en rechts wordt ingeblazen (zie tabel 4). Hierna wordt de compressie hersteld en wordt in stap 7 met 2 m³ (later aangepast naar 3 m³) nagespoeld om het waswater voldoende te verwijderen. Het debiet waarmee nagespoeld wordt is standaard hetzelfde als het filtreerdebiet maar kan ook hoger of lager worden ingesteld. Bij de proefinstallatie is uitgegaan van het filtreerdebiet. Na stap 7 kan het filter weer in bedrijf genomen worden. De duur van het totale wasproces is afhankelijk van het naspoeldebiet. Bij een naspoeldebiet van 8 m³/h is de duur 40 minuten. Bij een naspoeldebiet van 25 m³/h is dit 25 minuten.

TABEL 4 SPOELPROGRAMMA PROEFINSTALLATIE FUZZY FILTERS RWZI NIEUW VOSSEMEER

Spoelstap	1	2	3	4	5	6	7 *
Lucht	Links + rechts lucht	Links lucht	Rechts lucht	Links lucht	Rechts lucht	Links + rechts lucht	Naspoelen
Tijd (min)	3	3	3	3	3	3	Afhankelijk van filtreerdebiet
Debiet (m ³ /h)	10	10	10	10	10	10	filtreerdebiet

* Aanvankelijk bedroeg het volume naspoelwater 2 m³. In de loop van het onderzoek is dit verhoogd naar 3 m³.

Het spoelprogramma conform tabel 4 bleek in de praktijk goed te functioneren waarbij het filter goed werd gewassen. Er is geen onderzoek uitgevoerd naar een eventuele optimalisatie van het spoelprogramma.

3.3.4 FILTRATIESNELHEID

Een belangrijke parameter voor een filter is de filtratiesnelheid. De filtratiesnelheid, of ook wel hydraulische belasting of oppervlaktebelasting genoemd, wordt uitgedrukt in $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ of m/h . Het debiet dat door het filter wordt geleid wordt hierbij gedeeld door het filteroppervlak. Op de rwzi Nieuw Vossemeer is het filteroppervlak $0,372 \text{ m}^2$ per Fuzzy Filter. In tabel 5 wordt per filtratiesnelheid het bijbehorende debiet weergegeven.

TABEL 5

RELATIE FILTRATIESNELHEID EN BEHANDELD DEBIET (PER FUZZY FILTER KOLOM)

Filtratiesnelheid (m/h)	Debiet (m^3/h)
11	4
22	8
30	11
40	15
50	19
60	22
70	26

Door de hoge porositeit van de Fuzzy balletjes kan de filtratiesnelheid in vergelijking met zandfilters hoog zijn (tot meer dan $100 \text{ m}/\text{h}$). Voor zandfilters bedraagt de maximale hydraulische belasting circa $15 - 20 \text{ m}/\text{h}$ ⁶.

3.4 VERWIJDERING VAN FOSFAAT

Om fosfaat te verwijderen worden chemicaliën (metaalzout) gedoseerd. Orthofosfaat wordt hierbij gebonden waarna onoplosbare vlokken gevormd en verwijderd kunnen worden in de filtratiestap. Fosfaat kan in verschillende vormen voorkomen: orthofosfaat, metaalgebonden fosfaat, organisch gebonden fosfaat, en opgelost “organisch” fosfaat. Orthofosfaat is via filtratie niet verwijderbaar. Opgelost “organisch” fosfaat slaat maar zeer beperkt chemisch neer en is hierdoor moeilijk via filtratie te verwijderen.

Tijdens de coagulatiestap wordt het te behandelen water en de gedoseerde coagulant (metaalzout) opgemengd en worden de eerste kleine vlokjes gevormd. In de flocculatiestap worden vanuit deze kleine fosfaatvlokken grotere vlokken gevormd om zo de filtreerbaarheid te vergroten. Naast fosfaat kunnen ook andere vervuilingen in de vlok worden ingevangen.

Er zijn verschillende soorten metaalzouten beschikbaar zoals ijzer- of aluminiumzouten om fosfaat te verwijderen. Aangezien de chemicaliën aan het einde van het zuiveringsproces worden toegevoegd is de zuiverheid van de chemicaliën welke gebruikt worden van belang om verontreiniging van het gezuiverde water (met bijvoorbeeld prioritare stoffen) te voorkomen.

3.4.1 STUURVARIABLEN VLOKVORMING

De binding van orthofosfaat is afhankelijk van het type en de hoeveelheid toegevoegde coagulant. De filtreerbaarheid van de gevormde vlok wordt bepaald door onder ander de vloggrootte en vlogsterkte. Vlokvormingstijd en menging (snelheidsgradiënt) zijn parameters die hierbij van invloed zijn.

⁶ Filtratie technieken RWZI's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. Stowa 2006-21.

TYPE COAGULANT

Doorgaans wordt een ijzer- of aluminiumzout toegevoegd waarbij de keuze voornamelijk wordt bepaald door de kostprijs, de pH van het te behandelen water en de effectiviteit van het coagulant. De precipitatie reacties voor de binding van fosfaat aan aluminium en ijzer zijn:

Bij toevoeging van aluminiumzout:



Bij toevoeging van een ijzerzout:



Het theoretisch werkzame pH gebied voor een aluminiumzout ligt lager dan voor een ijzerzout. Het iso-elektrisch punt van Al^{3+} is 6,3. Voor Fe^{3+} is dit 8. In de praktijk kan het werkzame pH gebied echter afwijken van de theoretische waarde⁷.

DOSEERHOEEVEELHEID

Uit reactievergelijking 1 en 2 kan worden opgemaakt dat de benodigde molverhouding metaalzout - fosfaat (Me/P verhouding) 1:1 is. Beide reactievergelijkingen zijn echter een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, niet rekening houdend met concurrerende (neerslag) reacties, alkaliniteit, pH en aanwezigheid van liganten. De werkelijke doseerhoeveelheid is daarom altijd hoger en afhankelijk van de eigenschappen van het afvalwater. De doseerhoeveelheid wordt in de regel proefondervindelijk vastgesteld.

In een nageschakelde zuiveringsstap wordt doorgaans een hogere doseerverhouding gehanteerd dan toegepast in de hoofdzuivering gezien de lagere fosfaatconcentraties in de afloop van de nabezinktank. In de hoofdzuivering is een Me/P verhouding van 1 - 2 mol/mol gangbaar, in de nageschakelde stap kan dit toenemen tot een verhouding van 3 - 15 mol/mol afhankelijk van de fosfaatbelasting en de effluenteis.

Bij zeer lage fosfaatconcentraties in de afloop van de nabezinktank wordt de hoeveelheid metaalzout die gedoseerd moet worden niet meer bepaald door de Me/P verhouding maar door een minimale hoeveelheid metaalzout die nodig is om filtreerbare vlokken te vormen. De doseerhoeveelheid metaalzout wordt bepaald door de gewenste Me/P verhouding, het filtreerdebiet, de orthofosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank en de metaalconcentratie in het doseervat. Op de rwzi Nieuw Vossemeer wordt de orthofosfaatconcentratie in een steekmonster van de afloop van de nabezinktank in de ochtend bepaald met een Dr Lange kit en ingevoerd in de PLC. De PLC berekent vervolgens via onderstaande formule continu het actuele doseerdebiet, rekening houdend met het filtreerdebiet.

$$Q_{Me} = \frac{Q_{\text{afloop nabezinktank}} \cdot 1000 \cdot M \cdot \text{Me/P} \cdot [\text{PO}_4]}{Mp \cdot [\text{me}]}$$

Q_{Me}	debiet metaalzout dosering	l/h
$Q_{\text{afloop nabezinktank}}$	debiet afloop nabezinktank (= toevoer Fuzzy Filter)	m ³ /h
M	molaire massa metaalzout	g/mol
MP	molaire massa fosfaat (P)	g/mol
Me/P	gewenste Me/P verhouding	(-)
$[\text{PO}_4]$	concentratie orthofosfaat afloop nabezinktank	mg P/l
$[\text{me}]$	metaalconcentratie in doseervat	g Me/l

⁷ Pilotonderzoek rwzi Horstermeer, 1-step[®] filter als effluentpolishingstechniek. Stowa 2009-34.

SNELHEIDSGRADIËNT EN VLOKVORMINGSTIJD

Om het vlokformingsproces optimaal te laten verlopen, is naast voldoende dosering van metaalzouten voldoende contacttijd en handhaving van een juiste menging, uitgedrukt in een snelheidsgradiënt (G-waarde), van belang. Om voldoende menging te krijgen kan de waterstroom geroerd worden of kan voldoende turbulentie gecreëerd worden in de waterstroom door bijvoorbeeld een overstort. Om deze stap optimaal te laten verlopen is voor de proefinstallatie een aparte coagulatie- (dynamische menger) en flocculatietank (dynamische menger) gerealiseerd.

De snelheidsgradiënt en verblijftijd worden volgens onderstaande formules berekend⁸.

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \cdot \mu}} \qquad \mu = \nu \cdot \rho \qquad \tau = \frac{V}{Q}$$

G	gemiddelde snelheidsgradiënt	s ⁻¹
P	toegevoegd mengvermogen	W
V	volume	m ³
μ	dynamische viscositeit	kg/m.s of Ns/m ²
ν	kinetische viscositeit	m ² /s
ρ	dichtheid medium	kg/m ³
τ	verblijftijd	s
Q	debiet	m ³ /s

Voor de precipitatie- en coagulatiestap is een hoge G-waarde en een verblijftijd van 10 tot 60 seconden nodig. Bij de proeven op Leiden Zuid-West werd een optimum voor de initiële menging van het metaalzout en het water van 200 s⁻¹ gevonden⁹.

Voor de flocculatiestap wordt een lagere G-waarde gehandhaafd in orde grootte van 10 tot 100 s⁻¹ met een verblijftijd van 1 – 15 minuten¹⁰. Om te voorkomen dat de gevormde vlokken na de flocculatiestap uiteenvallen is het belangrijk dat de G-waarde niet meer te sterk toeneemt. Het opnieuw vormen van uiteengevallen vlokken blijkt in de praktijk lastig.

3.5 VERWIJDERING VAN STIKSTOF

Verwijdering van stikstof wordt in het Fuzzy Filter gerealiseerd door een biologische reactie waarbij nitraat omgezet wordt in stikstofgas, zie reactievergelijking 3. Dit biologische proces vereist zuurstofloze condities en een koolstofbron.



Om de verwijdering van stikstof in de nageschakelde stap niet onnodig complex te maken, richt de hoofdzuivering zich op een zo volledig mogelijke nitrificatie zodat de nageschakelde zuiveringsstap zich uitsluitend hoeft te richten op denitrificatie.

⁸ Pilotonderzoek rwzi Horstermeer, 1-step[®] filter als effluentpolishingstechniek. Stowa 2009-34.

⁹ Demonstratieonderzoek vergaande nutriëntenverwijdering, nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi Leiden Zuid-West. Stowa 2009-32.

¹⁰ Metcalf & Eddy, Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th edition, McGraw-Hill, 2003.

Om effectief nitraat te kunnen verwijderen is aanwezigheid van voldoende (denitrificerende) biomassa op het filtermedium van essentieel belang. Uit ervaringen met de Fuzzy Filter installatie op de rwzi Nieuwveer (Breda) blijkt dat biomassa in staat is zich te hechten aan de Fuzzy Filter balletjes¹¹.

Tijdens het filteren vindt er aanwas van biomassa plaats, tijdens het spoelen wordt een gedeelte van de biomassa, samen met andere vervuiling, afgevoerd. De biomassa hoeveelheid zal daarom fluctueren. Na het wassen is het van belang dat er nog voldoende biomassa op de Fuzzy Filter balletjes aanwezig is zodat de denitrificerende capaciteit van het Fuzzy Filter niet te sterk afgenomen is aan het eind van een spoeling.

3.5.1 BEREKENING DOSEERHOEEVEELHEID KOOLSTOFBRON

Een koolstofbron wordt gedoseerd voor denitrificatie en aërobe respiratie. Tijdens de proeven zijn 10% methanol en acetol als koolstofbron gebruikt.

De berekening van de methanol dosering verloopt volgens de volgende formule:

$$Q_{\text{acetol}} = Q_{\text{afloop nabezinktank}} \cdot \left(\left(\frac{[\text{NO}_3]}{1000} \cdot a \right) + \left(\frac{[\text{O}_2]}{1000} \cdot b \right) \right)$$

Q_{methanol}	doseerdebiet methanol-10%	l/h
$Q_{\text{afloop nabezinktank}}$	debiet afloop nabezinktank (= toevoer Fuzzy Filter)	m ³ /h
$[\text{NO}_3]$	concentratie nitraat in afloop nabezinktank	mg N/l
$[\text{O}_2]$	concentratie zuurstof in afloop nabezinktank	mg O ₂ /l
a	specifieke dosering methanol voor nitraat	kg product/kg N
b	specifieke dosering methanol voor zuurstof	kg product/kg O ₂

Voor methanol is uitgegaan van:

$$\begin{aligned} a &= 3,2 \text{ kg methanol (100\%)/kg N} &= 320 \text{ kg methanol (10\%)/kg N} \\ b &= 1,2 \text{ kg methanol (100\%)/kg O}_2 &= 120 \text{ kg methanol (10\%)/kg O}_2 \end{aligned}$$

Voor acetoldosering is de volgende formule gebruikt.

$$Q_{\text{acetol}} = Q_{\text{afloop nabezinktank}} \cdot \left(\left(\frac{[\text{NO}_3]}{1000} \cdot a \right) + \left(\frac{[\text{O}_2]}{1000} \cdot b \right) \right)$$

Q_{acetol}	doseerdebiet acetol	l/h
a	specifieke dosering acetol voor nitraat	kg product/kg N
b	specifieke dosering acetol voor zuurstof	kg product/kg O ₂

Voor acetol is uitgegaan van:

$$\begin{aligned} a &= 3,5 \text{ kg product/kg N} \\ b &= 1,1 \text{ kg product/kg O}_2 \end{aligned}$$

11 Werkrapport Toepasbaarheid Fuzzy Filter voor nazuivering rwzi Effluent. Tauw BV, Waterschap Brabantse Delta, Bosman Watermanagement B.V., december 2006.

4

ONDERZOEKSSTRATEGIE EN MONITORING

4.1 ONDERZOEKSCONDITIES

Het onderzoek is uitgevoerd op praktijkschaal. Het voordeel hiervan is dat de onderzoeksresultaten direct vertaalbaar zijn naar de praktijk en het relatief eenvoudig is om de proefopstelling om te bouwen naar een permanente opstelling. Het nadeel is dat wisselingen in weersomstandigheden en schommelingen in de zuiveringsprestaties van de hoofdzuivering niet voorkomen kunnen worden waardoor de kwaliteit van de afloop nabezinktank fluctueert. Hiermee moet bij het beoordelen van de resultaten van de verschillende filterinstellingen rekening worden gehouden. Het uitvoeren van duurproeven maakte het mogelijk de prestaties van het Fuzzy Filter ook bij wisselende aanvoercondities te beproeven.

4.2 ONDERZOEKSSTRATEGIE

Om op de verschillende onderzoeksvragen een goed antwoord te kunnen geven zijn per onderzoeksfase verschillende strategieën gedefinieerd. Via dagexperimenten is onderzocht wat de optimale instellingen zijn. Hierna zijn deze instellingen via duurproeven verder beproefd.

4.2.1 ONDERZOEKSPARAMETERS

Om de verwijdering van fosfaat, stikstof en zwevende stof van het Fuzzy Filter te beproeven en te optimaliseren werden de volgende parameters gevarieerd:

- compressie van het filterbed;
- filtratiesnelheid;
- debiet coagulantdosering (Me/P verhouding);
- spoelregime;
- druksetpoint voor spoeling.

Naast de bovengenoemde beïnvloedbare parameters varieerden als gevolg van wisselende zuiveringsprestaties van de hoofdzuivering: pH, temperatuur, fosfaat-, nitraat- en ammoniumconcentratie in de afloop nabezinktank (= toevoer Fuzzy Filter).

4.2.2 FASE 1. FOSFAATVERWIJDERING

Onderzoek naar fosfaatverwijdering omvatte:

- bekerglasproeven;
- dagexperimenten;
- duurproeven.

Alvorens fosfaatverwijdering in de proefinstallatie te testen is via bekerglasproeven bepaald welke coagulant en/of flocculant geschikt waren en in aanmerking kwamen om te worden getest op de proefinstallatie.

Tijdens de dagexperimenten is gezocht naar de optimale instellingen van het Fuzzy Filter. In deze fase is het Fuzzy Filter met verschillende compressies en oppervlaktebelastingen beproefd, waarbij het rendement van zwevende stof en fosfaat over het Fuzzy Filter in de tijd is gemeten. In deze testen is ook bepaald, hoeveel fosfaat in het Fuzzy Filter kan worden verwijderd. De testen zijn uitgevoerd met alleen coagulant dosering, en een combinatie van coagulant en flocculant dosering.

Tabel 6 geeft mogelijke variaties in compressiegraden en belastingen die tijdens de dagexperimenten kunnen worden toegepast.

TABEL 6

MOGELIJKE TESTEN AFHANKELIJK VAN MATE VAN COMPRESSIE EN DE OPPERVLAKTEBELASTING

Oppervlaktebelasting [m/h]	Compressie [%]			
	10	20	30	40
30	# 1	# 6	# 11	# 16
40	# 2	# 7	# 12	# 17
50	# 3	# 8	# 13	# 18
60	# 4	# 9	# 14	# 19
70	# 5	# 10	# 15	# 20

In het verleden zijn dergelijke experimenten voor optimalisatie van de zwevende stof en fosfaatverwijdering op de rwzi Nieuwveer uitgevoerd¹². Hierbij kwam als optimum een compressiegraad van 20% naar voren.

Op basis van de resultaten uit het verleden ligt het niet voor de hand om alle experimenten zoals opgesomd in tabel 6 uit te voeren. De experimenten zijn gestart met 20% compressie – deze compressie gaf in het verleden de beste resultaten - en verschillende filtratiesnelheden. Hierna zijn aanvullende experimenten bij 10, 30 en 40% compressie uitgevoerd. Tijdens de dagexperimenten is ook bepaald hoeveel fosfaat in het Fuzzy Filter kan worden verwijderd waarbij het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l.

Om meer inzicht in het filtratieproces en de vlokvorming te krijgen zijn aanvullende experimenten gedaan. Dit omvatte fosfaatfractioneringsmetingen en drukmetingen aan het Fuzzy Filter op verschillende filterbedhoogtes.

De resultaten van de bekerglasproeven en de dagexperimenten zijn gebruikt om de initiële instellingen van de duurproeven te bepalen. Tijdens de duurproeven wordt gedurende langere tijd nagegaan of via Fuzzy Filtratie de gewenste fosfaatverwijdering kan worden gerealiseerd.

Voor de bepaling van de looptijd van het Fuzzy Filter tijdens de duurproeven zijn twee regelstrategieën gevolgd:

- regeling op maximale druktoename;
- regeling op maximale fosfaatberging.

¹² Werkrapport toepasbaarheid Fuzzy Filter voor nazuivering. Tauw B.V., Waterschap Brabantse Delta, Bosman Watermanagement, december 2006.

4.2.3 FASE 2. STIKSTOFVERWIJDERING

Voor stikstofverwijdering zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- kweken denitrificerende biomassa;
- duurproeven.

In eerste instantie is het Fuzzy Filter opgestart met als voornaamste doel een stabiele denitrificerende biomassa op te bouwen. Voor de initiële parameters compressiegraad, looptijd en spoelregime is uitgegaan van ervaringen uit het verleden. Aanpassingen van één of meerdere van deze parameters zijn tijdens de opstartfase uitgevoerd.

Nadat voldoende biomassa op het Fuzzy Filter aanwezig is, is door variatie van een aantal parameters nagegaan in hoeverre een optimalisatie van de denitrificatie mogelijk is. Deze parameters zijn: filtratiesnelheid, compressiegraad, looptijden, en spoelregime. Deze parameters hebben allen in meer of mindere mate een effect op het denitrificatieproces en de mate van nitraatverwijdering in het Fuzzy Filter. Tijdens duurproeven zijn deze parameters gevarieerd en is gedurende langere tijd nagegaan of via Fuzzy Filtratie de gewenste nitraatverwijdering wordt gerealiseerd, en of er een set ontwerpregels zoals compressiegraad, spoelregime (frequentie/intensiteit) en belasting (hydraulisch, drogestof, nitraat) kan worden vastgelegd.

4.3 ONLINE METINGEN

Diverse meetapparatuur is geïnstalleerd waarvan elke minuut de waarde geregistreerd en opgeslagen is in een databestand. Tabel 7 geeft een overzicht van de verschillende meetapparatuur en hun locatie.

TABEL 7 PARAMETERS WELKE ONLINE GEMETEN ZIJN GEDURENDE HET ONDERZOEK

Parameter	Analyser	Producent	Locatie
Troebelheid	Solitax sc	Hach Lange	opvoergemaal en filtraat put
Orthofosfaat	Phosphax sc	Hach Lange	filtraat put
Nitraat	Nitratax plus sc	Hach Lange	opvoergemaal en filtraat put
Zuurstof	LD0 tm sc100	Lange	opvoergemaal
Temperatuur	LD0 tm sc100	Lange	opvoergemaal

NB. De instrumenten in het opvoergemaal waren oorspronkelijk voor de filterplaat geplaatst. Doordat deze instrumenten in de praktijk hierdoor sterk vervuilde zijn ze later achter de filterplaat geplaatst.

Hiernaast zijn de volgende bedrijfsvoeringsgegevens opgeslagen:

- debiet coagulatie-tank;
- debiet koolstofbrontank;
- debiet Fuzzy Filter 1 + 2;
- druk Fuzzy Filter 1 + 2;
- cumulatief energieverbruik over de gehele installatie.

De druktoename wordt geregistreerd door een drukmeter onderaan het Fuzzy Filter die de druktoename over de gehele filterkolom, dus inclusief de waterkolom boven het filterbed, meet. Om een vergelijking met zandfilters mogelijk te maken is de druk over het Fuzzy Filter gecorrigeerd. De druk gepresenteerd in dit rapport is de druk over het filtermedium.

4.4 LABORATORIUM ANALYSES

Naast online metingen zijn watermonsters genomen en geanalyseerd op waterkwaliteitsparameters. Hiervoor zijn zowel steek- als verzamelmonsters genomen.

4.4.1 STEEKMONSTERS

Minimaal één maal per instelling werd met een Hach Lange meting aan het begin, halverwege en aan het einde van een run een steekmonster genomen en geanalyseerd op totaal- en orthofosfaat. Voor de orthofosfaatanalyse werd het watermonster gefilterd over een 0,45 µm Whatman filter.

Het doel van de steekmonsters was tweeledig. Door de steekmonsters direct op locatie te analyseren kon snel een eerste indruk verkregen worden van de prestaties om zo de vervolgstراتيجية te bepalen. Hiernaast kon de verwijdering gedurende een run inzichtelijk gemaakt worden.

4.4.2 VERZAMELMONSTERS

Naast de steekmonsters zijn ook debietsafhankelijke verzamelmonsters genomen zodat de prestaties over meerdere filtratiecycli en aanvoercondities beproefd konden worden. De verzamelmonsters werden voor transport naar Delta Waterlab aangezuurd en koel bewaard waarna ze geanalyseerd werden op nitraat-, nitriet-, kjeldahl stikstof, totaalfosfaat- (gefilterd en ongefilterd) en orthofosfaatconcentratie.

Voor de orthofosfaatbepalingen werden de watermonsters gefiltreerd over een 0,45 µm Whatman filter. Om de concentratie organisch opgeloste fosfaat te bepalen werd een gefilterd monster geanalyseerd op totaalfosfaat waarvan de orthofosfaatconcentratie afgetrokken werd.

4.4.3 SPOELWATER

Het spoelwater werd enkele malen bemonsterd. Gedurende het wasproces werd om de minuut een watermonster genomen en zowel visueel beoordeeld op troebelheid als met een draagbare NTU meter (Hach-Lange turbiditeitsmeter, model 2100P ISO). Steekproefsgewijs werd de bezinkbaarheid en gehalte aan drogestof bepaald. Hiernaast is het waswater enkele weken debietproportioneel bemonsterd en geanalyseerd bij Delta Waterlab.

4.4.4 AANVULLENDE ANALYSES

Tijdens verschillende runs zijn fosfaatfractionerings- en fosfaatverdelingsmetingen uitgevoerd. Deze metingen geven een inzicht in de verdeling van fosfaat (metaalgebonden, opgelost orthofosfaat, opgelost 'organisch' en gebonden organisch) in de afloop nabezinktank en in het verloop van het coagulatie-, flocculatie- en filtratieproces. De wijze waarop deze metingen worden uitgevoerd staat beschreven bijlage 2.

5

BEKERGLASPROEVEN

Met bekerglasproeven is bepaald welk type coagulant het meest geschikt is voor fosfaatverwijdering, en of flocculantdosering nodig is. De bekerglasproeven zijn uitgevoerd met de afloop nabezinktank van de rwzi Nieuw Vossemeer. In de bekerglasproeven zijn de volgende types coagulant getest:

- aluminiumchloride (23%)
- aluminiumchloride (17%)
- ijzersulfaat (40%)
- natriumaluminaat (30%)
- ijzer / aluminium (24%)
- poly-ijzerchloride (Poly-DADMAC/Acrylic acid) (14%)
- aqualenc F1 Al_2O_3 (9,5%)

De verwijdering van ortho- en totaalfosfaat is bij Me/P verhoudingen tussen 1 en 10 getest. Uit de bekerglasproeven bleek dat bij dosering van poly-ijzerchloride totaalfosfaat tot wel 90% kon worden verwijderd bij een Me/P vanaf 3. Met aluminiumchloride en natriumaluminaat werden mindere resultaten behaald tussen de 40 - 70 % verwijderingsrendement totaalfosfaat. Naast de goede verwijdering van totaalfosfaat bleek bij poly-ijzerchloride dosering sterke en stabiele vlokken te worden gevormd, die niet gevoelig waren voor temperatuurs- (getest bij 10 en 20°C) en pH invloeden. Daarnaast werkte het product effectief in combinatie met een polymeer. Op basis van deze eigenschappen is het product geschikt voor de behandeling van het van samenstelling, pH en temperatuur wisselende afloop nabezinktank van de rwzi Nieuw Vossemeer. In figuur 5 is de vlokvorming van deze coagulant afgebeeld.

FIGUUR 5

FOTO VLOKVORMING MET ORGANISCHE COAGULANT IN BEKERGLASPROEF



De belangrijkste conclusie van de bekerglasproeven is dat poly-ijzerchloride het meest effectief was waarbij flocculantdosering waarschijnlijk achterwege kon blijven. Er is daarom besloten om de experimenten op de proefinstallatie te starten met poly-ijzerchloride om zo de technische haalbaarheid van fosfaatverwijdering met Fuzzy Filters na te gaan. De specificaties van poly-ijzerchloride zijn gegeven in bijlage 8.

6

BLANCO PERIODE

Tijdens de blanco periode (van 17 februari tot 16 maart 2009) werd het Fuzzy Filter opgestart met een debiet van 15 m³/h (= hydraulische belasting 40 m/h) en een filterbedcompressie van 20%. Er werd geen koolstofbron of coagulant gedoseerd. Hiermee kon de werking van het Fuzzy Filter zonder enkele vorm van dosering worden vastgesteld.

6.1 WATERKWALITEITSASPECTEN

Uit de analyses van de verzamelmonsters blijkt dat in de blanco periode orthofosfaat en totaalstikstof nagenoeg niet wordt verwijderd. De zwevende stofconcentratie in de afloop nabezinktank was gedurende deze periode relatief laag circa 3-6 mg/l. Dit werd in het Fuzzy Filter verwijderd tot een concentratie in het filtraat van 1-2 mg/l. De resultaten van de blanco periode zijn samengevat in tabel 8.

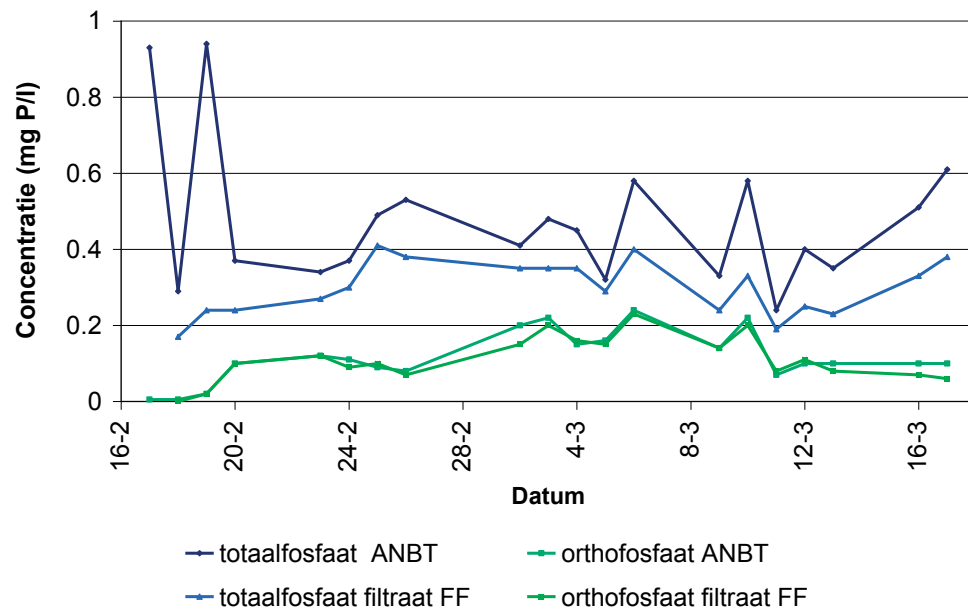
TABEL 8 VERWIJDERING EN CONCENTRATIES VAN WATERKWALITEITSPARAMETERS VAN IN- EN EFFLUENT VAN 17 FEBRUARI TOT 16 MAART 2009. HET AANTAL GEANALYSEERDE MONSTERS IS 10

Parameter	Eenheid	Afloop nabezinktank	Filtraat Fuzzy Filter	Verwijdering (%)
Totaalfosfaat	mg P/l	0,47	0,30	36
Orthofosfaat	mg P/l	0,12	0,12	0
Totaalstikstof	mg N/l	8,05	7,77	3
Kjeldahl	mg N/l	4,08	3,60	12
Nitraat	mg N/l	3,68	3,89	- 5
Nitriet	mg N/l	0,29	0,28	3
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	5,2	2,3	56
Troebelheid	NTU	4,3	1,7	62

In figuur 6, 7 en 8 zijn de fosfaat- en stikstofverwijdering in de tijd weergegeven. Omdat er geen chemicaliëndosering is wordt er nagenoeg geen orthofosfaat of stikstof verwijderd. Wel blijkt uit de analyse van de afloop nabezinktank dat een aanzienlijk deel van het fosfaat (0,47 - 0,12)=0,35 mg P/l niet als orthofosfaat aanwezig is maar als metaalgebonden- (door dosering van metaalzout in de hoofdzuivering), opgelost organisch- of organisch gebonden fosfaat. De verwijdering van 'het niet orthofosfaat' gedurende de blanco periode bedroeg circa 59%.

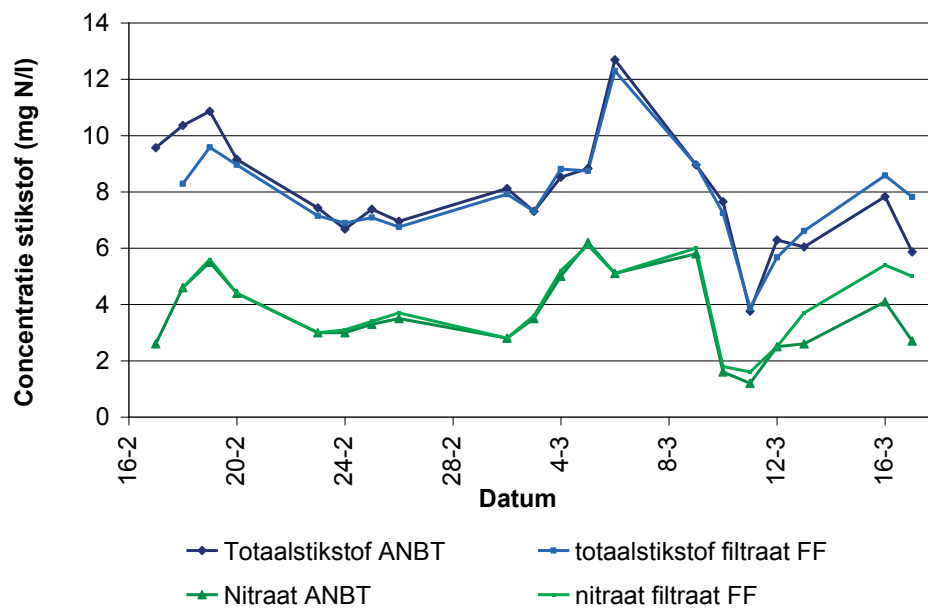
FIGUUR 6

TOTAAL- EN ORTHOFOSFAATCONCENTRATIE VAN DE AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTERS UIT 24 UURS MONSTERS.
PERIODE 17 FEBRUARI TOT 16 MAART 2009



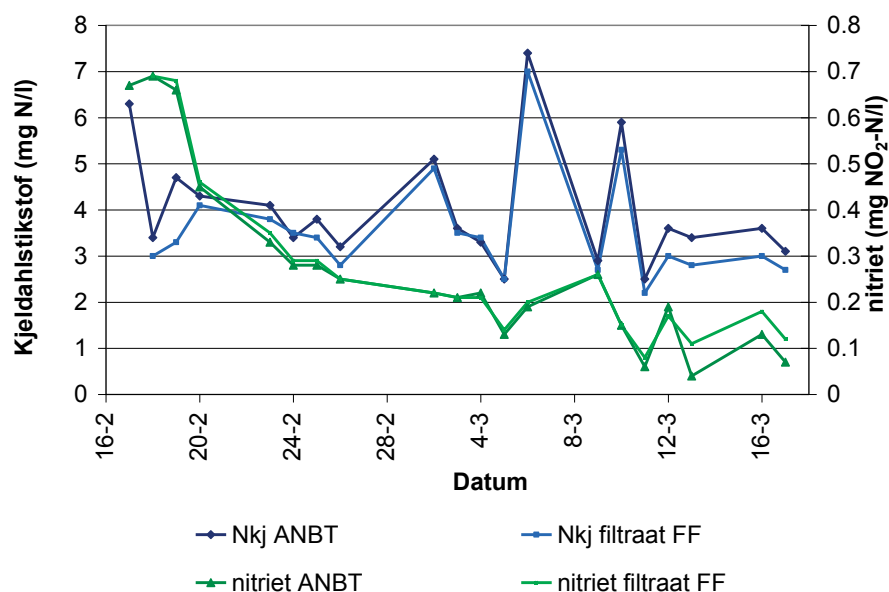
FIGUUR 7

TOTAALSTIKSTOF EN NITRAAT CONCENTRATIE AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTERS. PERIODE VAN 17 FEBRUARI
TOT 16 MAART 2009



FIGUUR 8

KJELDAHLSTIKSTOF EN NITRIET CONCENTRATIE IN AFLOOP NABEZINKTANK EN EFFLUENT FUZZY FILTER. PERIODE VAN 17 FEBRUARI TOT 16 MAART 2009



6.2 BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN

In figuur 9 wordt de drukopbouw over het filterbed en de troebelheid van de afloop nabezinktank en het filtraat van het Fuzzy Filter weergegeven. Een run kan herkend worden aan de druktoename en -terugval na een spoeling. Na elke spoeling zakt de druk weer tot zijn oorspronkelijke waarde wat erop duidt dat het filter niet blijvend vervuild wordt. Direct na een spoeling is nog niet al het vuil uit het Fuzzy Filter gespoeld; zie de pieken in troebelheid van het filtraat. Dit duidt erop dat het volume waarmee nagespoeld wordt na een spoelcyclus verhoogd moet worden.

Uit een analyse van 28 februari tot 5 maart 2009 blijkt dat bij een druktoename van 60 cm waterkolom en een gemiddelde vracht aan troebelheid van 38,6 NTU/h de looptijd gemiddeld 8,5 uur bedraagt. Er kan dus een hoeveelheid zwevende stof overeenkomend met circa 330 NTU in het Fuzzy Filter worden geborgen voordat een spoeling optreedt. Dit komt overeen met circa 900 NTU per Fuzzy Filter per dag.

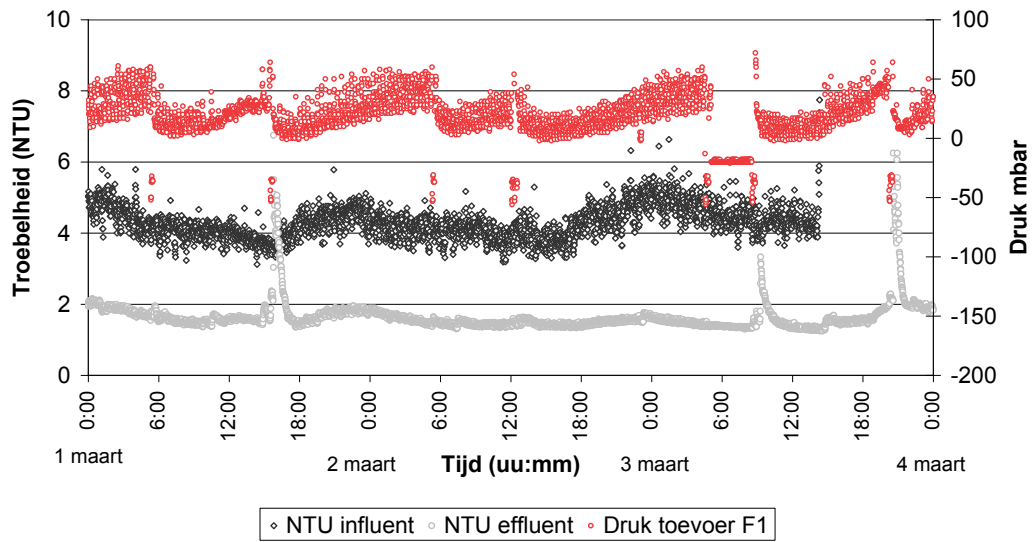
De hoeveelheid zwevende stof die in het Fuzzy Filter werd verwijderd was gemiddeld circa 3 mg/l. De hoeveelheid zwevende stof die in het Fuzzy Filter werd geborgen voordat het Fuzzy Filter werd teruggespoeld bedroeg circa 380 gram per Fuzzy Filter.

In de blanco periode werd in het Fuzzy Filter voornamelijk zwevende stof verwijderd. Voor het aspect zwevende stof verwijdering is er met Fuzzy Filters veel ervaring. Een voorbeeld zijn de proeven uitgevoerd op de rwzi Nieuwveer¹³.

¹³ Werkrapport Toepasbaarheid Fuzzy Filter voor nazuivering rwzi Effluent. Tauw BV, Waterschap Brabantse Delta, Bosman Watermanagement, December 2006.

FIGUUR 9

DRUKVERLOOP (RODE LIJN) EN TROEBELHEID VAN AFLOOP NABEZINKTANK (ZWARTE LIJN) EN FILTRAAT FUZZY FILTERS (GRIJZE LIJN) OVER DE PERIODE 1 TOT EN MET 3 MAART 2009. INSTELLINGEN FILTER: DEBIET = 15 M³/H EN COMPRESSIE VAN 20%



7

RESULTATEN FOSFAATVERWIJDERING

7.1 INLEIDING

Fuzzy Filtratie is mogelijk een alternatief voor zandfiltratie om uit rwzi-effluent vergaand nutriënten (stikstof en fosfaat) te verwijderen. Om Fuzzy Filtratie te beoordelen zijn technische haalbaarheid en financiële haalbaarheid doorslaggevende parameters. Technische haalbaarheid geeft aan of de doelstelling, zijnde vergaande nutriëntenverwijdering bereikt kan worden; financiële haalbaarheid geeft aan of Fuzzy Filtratie economisch (investeringen, exploitatie) competitief is met gangbare processen om nutriënten te verwijderen, te weten continue en discontinue zandfiltratie.

7.2 TECHNISCHE ASPECTEN FOSFAATVERWIJDERING MET FUZZY FILTERS

Een goede fosfaatverwijdering met Fuzzy Filters is mogelijk als:

- 1 Er voldoende coagulant (metaalzout) wordt gedoseerd om alle orthofosfaat als metaalgebonden fosfaat te binden.
- 2 Er door de coagulantdosering, eventueel in combinatie met flocculantdosering, dusdanige fosfaatvlokken worden gevormd dat deze filtreerbaar zijn.
- 3 De gevormde fosfaatvlokken in het Fuzzy Filter daadwerkelijk worden verwijderd.

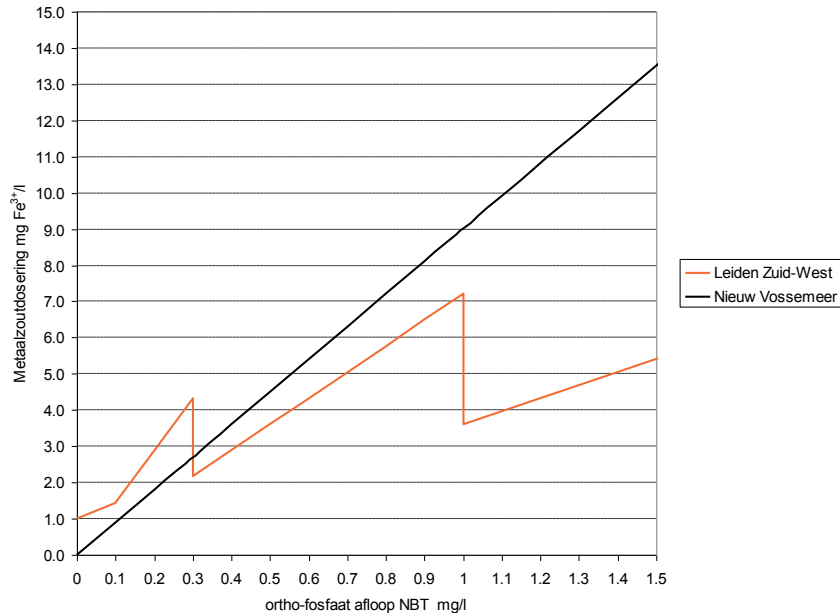
Voor sturing van bovengenoemde randvoorwaarden zijn de volgende instrumenten aanwezig:

- Verhouding metaalzout en orthofosfaat (Me/P). De Me/P verhouding moet voldoende hoog zijn zodat alle orthofosfaat daadwerkelijk precipiteert. Hiernaast moet de hoeveelheid gedoseerde coagulant voldoende zijn om goede vlokken te vormen. Als onvoldoende coagulant wordt gedoseerd zullen slecht filtreerbare vlokken worden gevormd. Als te veel coagulant wordt gedoseerd ontstaan vlokken met een open structuur. Bij extreme overdosering ontstaan helemaal geen vlokken. De werkelijke benodigde coagulant dosering is het maximum van de minimale dosering nodig om vlokken te vormen en de berekende dosering uit de benodigde Me/P verhouding. Bij de proeven in dit onderzoek is uitgegaan van een Me/P verhouding 5 mol/mol. De orthofosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank varieerde tijdens het onderzoek van circa 0,1 tot 1 mg P/l. Onder deze condities werd met de gehanteerde Me/P verhouding een goede vlokvorming en orthofosfaatbinding geconstateerd. De Me/P verhouding is tijdens dit onderzoek constant gehouden. Het is echter goed mogelijk dat bij hogere orthofosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank een lagere Me/P verhouding kan worden toegepast. Een dergelijke regelstrategie is toegepast bij het onderzoek naar fosfaatverwijdering op Leiden Zuid-West¹⁴. Hierbij werd bij orthofosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank van 0-0,3 mg P/l een Me/P verhouding 8 mol/mol toegepast. In het bereik 0,3-1 mg P/l was de verhouding 4 mol/mol. Bij concentraties hoger dan 1 mg P/l was de verhouding 2 mol/mol. De minimale dosering

¹⁴ Demonstratieonderzoek vergaande nutriëntenverwijdering, nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi Leiden Zuid-West. Stowa 2009-32.

in het onderbereik bedroeg 1 mg Fe^{3+} /l. Figuur 10 geeft de metaalzout dosering voor Fe^{3+} als coagulant voor het onderzoek op Nieuw Vossemeer en Leiden Zuid-West. De belangrijkste verschillen zijn bij lage (< 0,3) en hoge (> 1) orthofosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank.

FIGUUR 10 COAGULANTDOSERING TIJDENS DIT ONDERZOEK (NIEUW VOSSEMEER) EN HET ONDERZOEK OP LEIDEN ZUID-WEST¹⁵



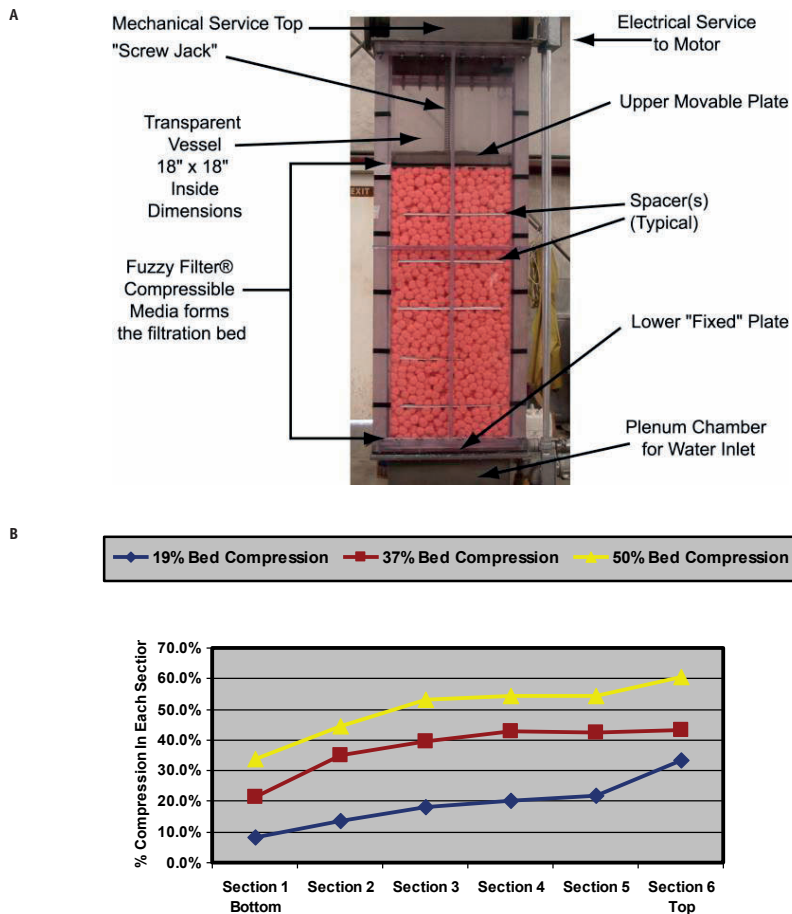
- Type coagulant. Normaliter worden ijzer- of aluminiumzouten gebruikt. Beide type coagulant zullen tot verschillende type vlokken leiden (grootte/sterkte).
- Wel of niet doseren flocculant (PE). Als alleen coagulant toevoeging niet tot de gewenste vlokvorming leidt kan additioneel flocculant worden toegevoegd. Selectie van het type flocculant is hierbij belangrijk.
- Coagulatietijd- en flocculatietijden. De beschikbare tijd voor coagulatie en flocculatie is mede bepalend voor de vlokvorming. In het ontwerp van de installatie is uitgegaan van een coagulatietijd van tenminste 30 seconden en een flocculatietijd van minimaal 10 minuten. De actuele verblijftijden worden bepaald door het aanvoerdebiet. De verblijftijden onder DWA condities (8 m³/h aanvoer op Fuzzy Filter) in de coagulatie en flocculatieluimte bedragen 3,7 en 64 minuten. Onder RWA condities (25 m³/h aanvoer per Fuzzy Filter) is dit 1,2 en 24 minuten.
- Mengintensiteiten in de coagulatie en de flocculatieluimte. Normaliter is er in de coagulatiestap een hoge mengintensiteit ($G = 1.000 \text{ s}^{-1}$) om de initiële vlokken te vormen. In de flocculatieluimte is de mengintensiteit lager om groei van vlokken te bevorderen. De mengintensiteit in de flocculatieluimte van de proefinstallatie is regelbaar. De toegepaste range varieerde van $G = 230 \text{ s}^{-1}$ tot $G = 25 \text{ s}^{-1}$. Naast correcte mengintensiteiten die nodig zijn om goede vlokken te vormen, is het ook van belang dat de condities tijdens de filtratiestap ofwel de G-waarden in het Fuzzy Filter, filtratie en vlokafvang bevorderen. Bij te hoge G-waarden in het Fuzzy Filter is er een gevaar dat de gevormde vlokken desintegreren en uitspoelen.
- Bepalen van het terugspoelmoment door het instellen van het druksetpoint waarop de spoelcyclus wordt gestart of een andere wijze van regeling van het terugspoelmoment.

15 Demonstratieonderzoek vergaande nutriëntenverwijdering, nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi Leiden Zuid-West. Stowa 2009-32

- Compressiegraad van het Fuzzy Filter. De compressie en daarmee de filtratiegraad van het Fuzzy Filter is instelbaar. Van belang hierbij is welke vlok grootte (μm) Fuzzy Filters kunnen verwijderen. Het is bekend dat Fuzzy Filters zwevende stof in de afloop nabezinktank goed verwijderen. Voor de gevormde fosfaatvlokken is het de vraag hoe groot de vlok grootte is, en hoe effectief Fuzzy Filters deze verwijderen. In de praktijk blijkt dat bij een statisch Fuzzy Filter en een ingestelde compressie, er een variatie bestaat in de compressie over het filterbed (zie figuur 11).

FIGUUR 11

RESULTATEN COMPRESSIE GRADIËNT METING BIJ EEN STATISCH FUZZY FILTER. A) OPSTELLING TESTFILTER. B) VERLOOP COMPRESSIE OVER VERSCHILLENDE SECTIES. DE RESULTATEN IN DEZE FIGUUR ZIJN BESCHIKBAAR GESTELD DOOR SCHREIBER



De werkelijke compressie is lager bij de bodemplaat (inlaat Fuzzy Filter) en hoger bij de bovenplaat (aflaat Fuzzy Filter). Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat niet het gehele filtermedium wordt benut, maar slechts dat deel waar de compressie en dus de filtratiegraad optimaal is voor de verwijdering van de gevormde fosfaatvlokken.

Naast de al genoemde technische aspecten, randvoorwaarden en stuurparameters kunnen ook de volgende parameters invloed hebben op de mate van fosfaatverwijdering in Fuzzy Filters:

- type filtratie (koek en of diepbed) in het Fuzzy Filter. Bij koekfiltratie wordt bijna alle vervuiling afgevangen in een klein deel van het Fuzzy Filter. Hierdoor zal deze laag zeer snel vervuilen en de filtratieweerstand toenemen. Koekfiltratie is vooral gunstig voor het verwijderen van kleinere deeltjes. Bij diepfiltratie worden de vlokken gelijkmatig over het filterbed afgevangen;
- hydraulische benutting filterbedcapaciteit. Doordat bij Fuzzy Filters hogere hydraulische belastingen worden toegepast bestaat er de mogelijkheid dat kortsluitstromingen optreden waardoor niet het gehele filtermedium wordt benut. Naast het gedrag van de vloeistof is hierbij ook het gedrag van deeltjes in het Fuzzy Filter belangrijk.

7.3 RESULTATEN FOSFAATVERWIJDERING MET FUZZY FILTERS

Fosfaatverwijdering in Fuzzy Filters is getest met drie verschillende coagulanten:

- poly-ijzerchloride (Nalco 71260), een speciaal product dat door Nalco wordt geleverd, hetgeen dus geen bulkproduct is;
- FeCl_3 met en zonder aanvullende PE dosering (Nalco 71605);
- poly-aluminiumchloride met en zonder aanvullende PE dosering (Nalco 71605).

De gebruikte PE was een kationische PE. De specificaties van bovengenoemde producten zijn gegeven in bijlage 8.

Tijdens het onderzoek is gekeken naar de volgende aspecten:

- Me/P verhouding en binding orthofosfaat;
- vlokvorming in de coagulatieruimte;
- vlokstabiliteit in de filtratieruimte;
- filtratie van de gevormde vlokken in het Fuzzy Filter;
- drukopbouw in het Fuzzy Filter tijdens het filtratieproces;
- relatie tussen totaalfosfaat afloop nabezinktank en filtraat Fuzzy Filters;
- effect van compressiegraad op fosfaatverwijdering;
- effect van hydraulische belasting op fosfaatverwijdering;
- mate van fosfaatberging in het Fuzzy Filter waarbij aan de effluentstreefwaarde, zijnde 0,15 mg P/l, wordt voldaan.

Voor het spoelprogramma van het Fuzzy Filter wordt verwezen naar tabel 4.

7.3.1 ME/P VERHOUDING

De Me/P verhouding moet voldoende hoog zijn om alle orthofosfaat te binden. Bij de beker-glasproeven en experimenten met de proefinstallatie is de Me/P verhouding gevarieerd van 1 tot 5 mol/mol. Uit de beker-glasproeven bleek dat bij een Me/P hoger dan 3 mol/mol een goede fosfaatverwijdering (> 90%) mogelijk is.

Bij batch experimenten in de proefinstallatie bleek echter dat bij deze Me/P verhouding totaal-fosfaat onvoldoende wordt verwijderd om aan de effluenteisen te voldoen. Na verhoging van de Me/P verhouding tot 5 mol/mol werd wel voldoende fosfaat verwijderd. Bij de verschillende experimenten is daarom verder uitgegaan van een Me/P 5 mol/mol. Deze ratio bleek ook voldoende om bij lage totaalfosfaat concentraties in de aanvoer van het Fuzzy Filter (< 0,25 mg P/l) fosfaat goed te verwijderen.

Doordat de metaalzoutdosering één keer per dag werd ingesteld op basis van een gemeten orthofosfaat in een steekmonster van de afloop nabezinktank, is het mogelijk dat gedurende de dag variatie optrad door mogelijke variaties in de orthofosfaat in de afloop nabezinktank.

7.3.2 VLOKVORMING IN DE COAGULATIE-FLOCCULATIERUIMTE.

Een goede vlokvorming waarbij filtreerbare vlokken worden gevormd is essentieel voor een goede fosfaatverwijdering. Type coagulant en mengintensiteit in de flocculatieruimte zijn hierbij parameters waarmee de vlokvorming wordt beïnvloedt. Aanvankelijk zijn de testen uitgevoerd met dezelfde G-waarden (230 s^{-1}) in de flocculatieruimte. Later zijn andere mengintensiteiten getest.

Bij de metingen om vlokvorming te beoordelen is fosfaatverdeling en fosfaatfractionering toegepast. De methodiek van deze metingen is gegeven in bijlage 2.

Bij fosfaatverdeling worden de verschillende vormen waarin fosfaat in afvalwater kan voorkomen bepaald. Deze vormen zijn:

- ‘organisch’ gebonden fosfaat;
- metaalgebonden fosfaat;
- opgelost orthofosfaat (fosfaatfractie kleiner dan $0,45 \mu\text{m}$);
- opgelost ‘organisch’ fosfaat¹⁶.

Bij fosfaatfractionering worden de verschillende fractiegroottes van het metaalgebonden fosfaat en orthofosfaat bepaald. Orthofosfaat is hierbij gedefinieerd als de fractie kleiner dan $0,45 \mu\text{m}$.

De meting is uitgevoerd met de verschillende geteste coagulanten, en met en zonder PE dosering.

RESULTATEN MET POLY-IJZERCHLORIDE

Figuur 12 geeft de resultaten van de testen bij een G-waarde van 230 s^{-1} in de flocculatieruimte, uitgevoerd op 17 juli 2009.

Uit de resultaten blijkt:

- in de afloop nabezinktank is fosfaat voornamelijk als orthofosfaat (70%) aanwezig. Het percentage metaal en organisch gebonden fosfaat is laag. Organisch opgelost fosfaat bedraagt ca 20% van het totaal. Een deel van deze fractie is colloïdaal en een deel is opgelost. De opgeloste fractie is via filtratie niet verwijderbaar;
- na vlokvorming neemt het aandeel metaalgebonden fosfaat sterk toe en het aandeel orthofosfaat navenant af. De gevormde vlokken zijn voornamelijk in de ordegrootte $2-5 \mu\text{m}$, $5-10 \mu\text{m}$ en $> 10 \mu\text{m}$.

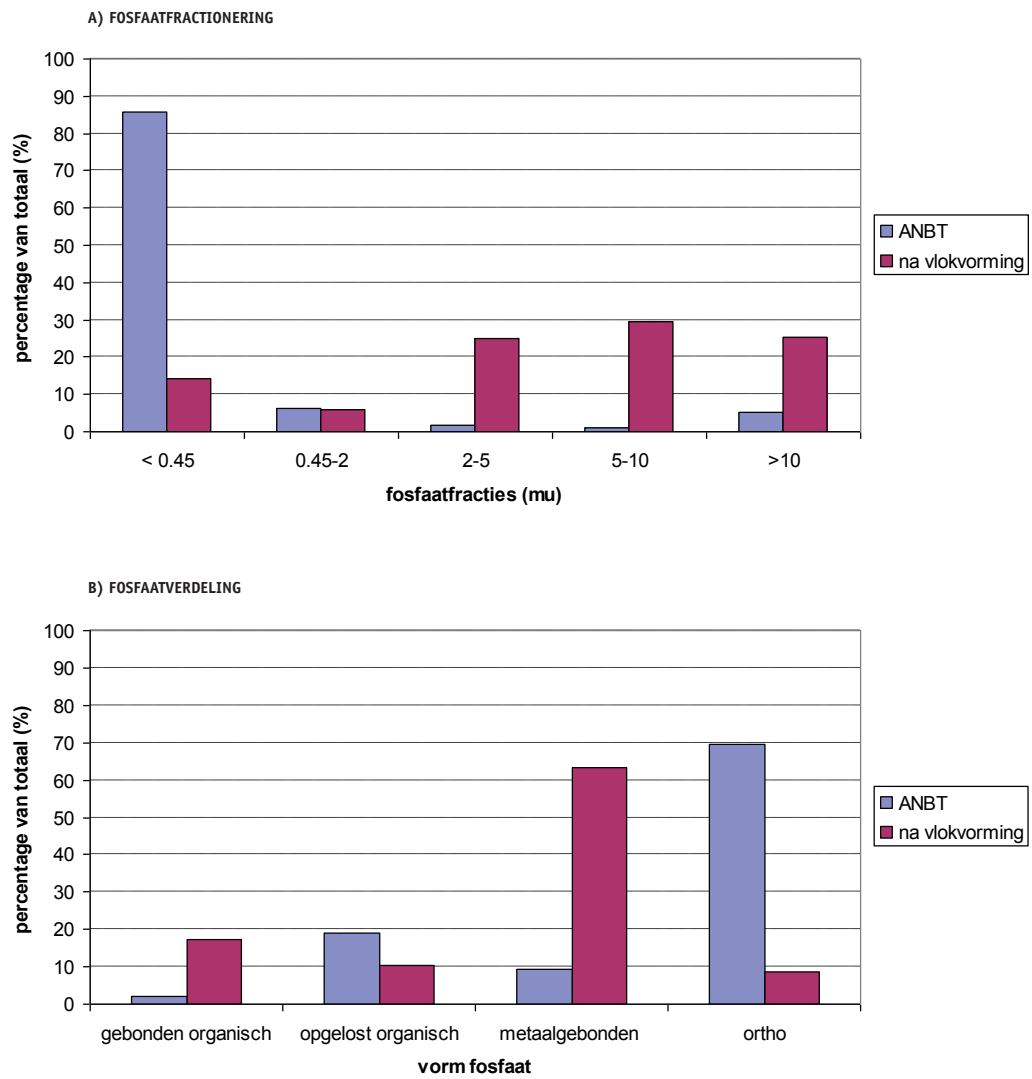
De fractioneringstesten met poly-ijzerchloride zijn drie keer uitgevoerd. Het algemene beeld hierbij was hetzelfde als gegeven in figuur 12. Met poly-ijzerchloride worden vlokken gevormd waarbij 25-50% van de vlokken $> 10 \mu\text{m}$ en 50-75% $< 10 \mu\text{m}$ zijn.

In bijlage 3 zijn alle resultaten van de fractioneringstesten met poly-ijzerchloride gegeven.

¹⁶ De term organisch staat tussen aanhalingstekens omdat een klein deel in werkelijkheid anorganisch is. Bij de meting wordt het zogenaamde “dissolved acid hydrolysable phosphor” bepaald. Hierin worden verbindingen als Poly-fosfaat en pyrofosfaat, die in werkelijkheid anorganisch zijn, als opgelost organisch gemeten (Mededeling S. Scherrenberg).

FIGUUR 12

RESULTATEN FRACTIONERINGTESTEN MET POLY-IJZERCHLORIDE EN MENGINTENSITEIT 230 S-1 ME/P = 5 MOL/MOL. TEMPERATUUR 21,7 OC.
CONCENTRATIES TOTAAL- EN ORTHOFOSFAAT IN DE AFLLOOP NABEZINKTANK BEDROEGEN 0,31 EN 0,28 MG P/L



RESULTATEN MET FeCl_3 EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE

De resultaten met FeCl_3 en poly-aluminiumchloride zijn gegeven in figuur 13. De metingen geven hetzelfde beeld als met poly-ijzerchloride. Na vlokvorming neemt het aandeel metaalgebonden fosfaat toe. Het aandeel fosfaatvlokken $> 10 \mu\text{m}$ bedraagt circa 30%. In bijlage 3 zijn alle resultaten van de fractioneringstesten met FeCl_3 en poly-aluminiumchloride gegeven.

FIGUUR 13

RESULTATEN FRACTIONERINGSTESTEN MET FeCl_3 EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE. ME/P = 5 MOL/MOL. INGAANDE CONCENTRATIES TOTAAL- EN ORTHOFOSFAAT IN DE AFLOOP NABEZINKTANK:

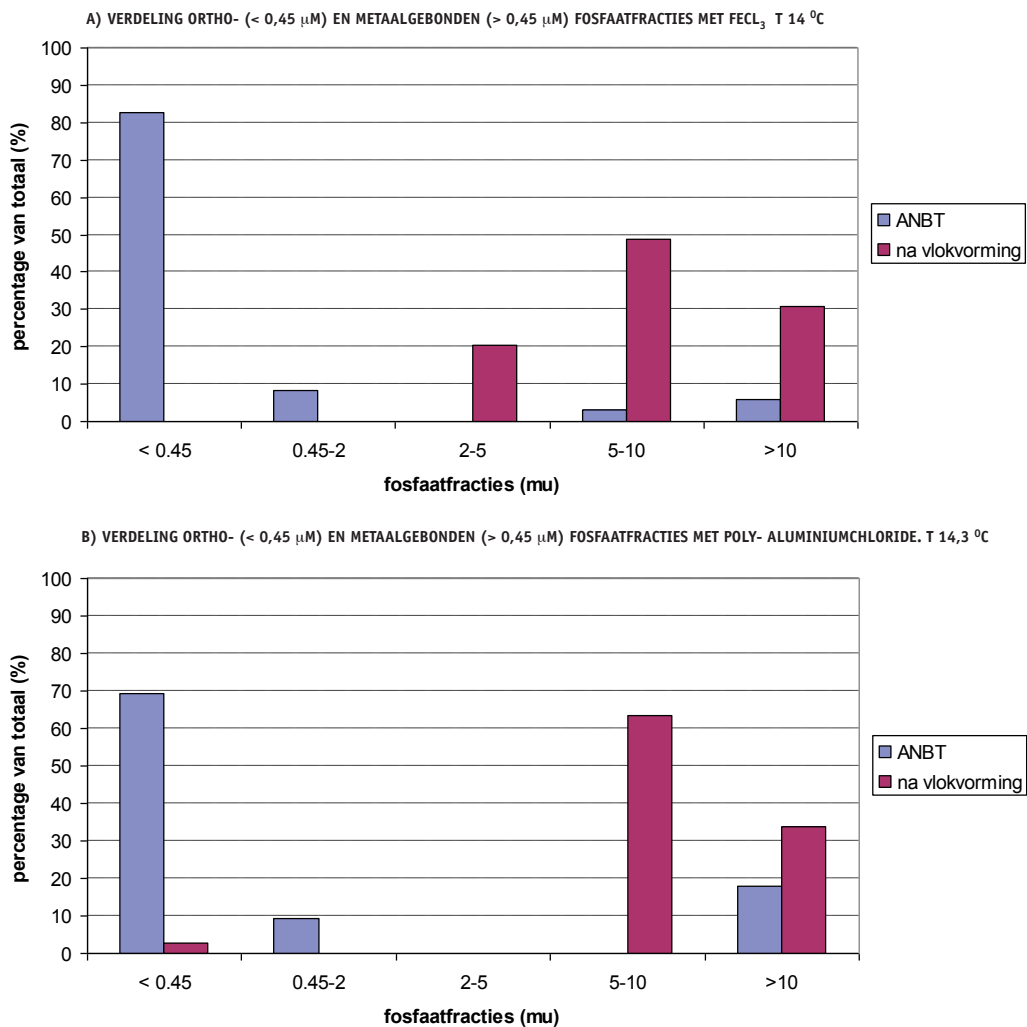
0,48 EN 0,40 MG P/L (FIGUUR 13A);

0,28 EN 0,21 MG P/L (FIGUUR 13B).

INSTELLING MENGINTENSITEITEN COMPARTIMENT 1, 2 EN 3 VAN FLOCCULATIERUIMTE:

45 - 35 - 20 S-1 (FIGUUR 13A);

45 - 35 - 20 S-1 (FIGUUR 13B).



RESULTATEN MET FeCl_3 EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE IN COMBINATIE MET PE DOSERING

De resultaten voor FeCl_3 en poly-aluminiumchloride waarbij aanvullend PE (Nalco 71605) is gedoseerd zijn gegeven in figuur 14.

FIGUUR 14

RESULTATEN FRACTIONERING FeCl_3 EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE IN COMBINATIE MET PE. DE PE DOSERING BEDROEG 1 MG ACTIEF PE/L.

ME/P = 5. T 7,9 OC. INGAANDE CONCENTRATIES TOTAAL- EN ORTHOFOSFAAT IN DE AFLOOP NABEZINKTANK:

0,53 EN 0,48 MG P/L (FIGUUR 14A);

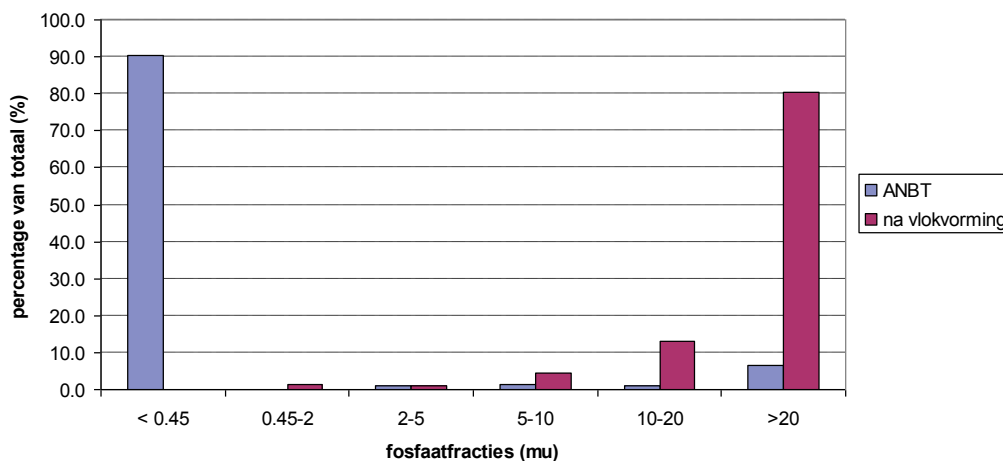
0,25 EN 0,16 MG P/L (FIGUUR 14B).

INSTELLING MENGINTENSITEITEN COMPARTIMENT 1, 2 EN 3 VAN FLOCCULATIE:

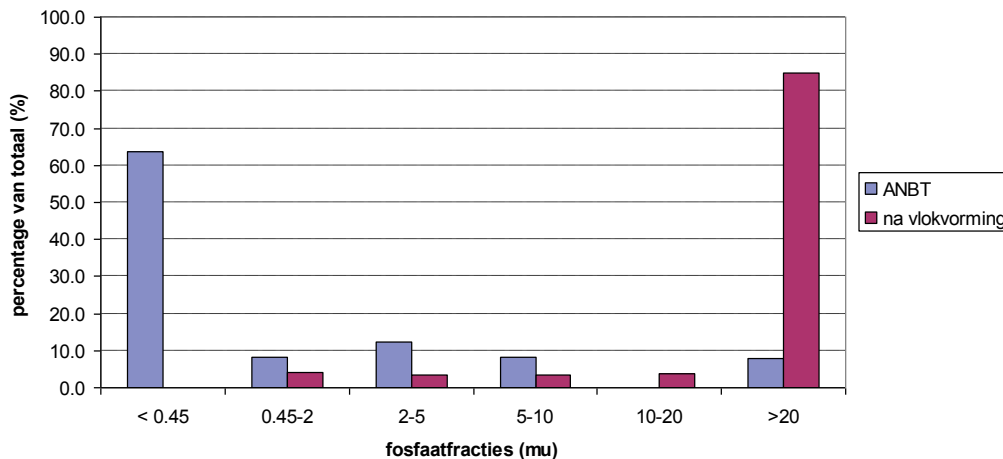
80 - 70 - 60 S-1 (FIGUUR 14A);

80 - 70 - 60 S-1 (FIGUUR 14B).

A) VERDELING ORTHO- (< 0,45 μM) EN METAALGEBONDEN (> 0,45 μM) FOSFAATFRACTIES MET FeCl_3 + PE.



B) VERDELING ORTHO- (< 0,45 μM) EN METAALGEBONDEN (> 0,45 μM) FOSFAATFRACTIES MET POLY-ALUMINIUMCHLORIDE EN PE.



Uit figuur 14 blijkt dat door aanvullende PE dosering er een duidelijke verschuiving in de vloggrootte optreedt in vergelijking met alleen coagulantdosering (zie ook figuur 13). De meeste vlokken zijn > 20 μm . Vlokken < 10 μm komen nagenoeg niet voor.

Uit de resultaten blijkt dat de vlokvorming in de coagulatieflocculatie ruimte goed verliep. Ter vergelijking bleek bij de experimenten in Leiden Zuid-West¹⁷ de deeltjesgrootte 1,5-3 μm (zonder extra vlokvorming) en 3-6 μm (met 24 minuten extra vlokvorming). In termen van vlokvorming zijn de resultaten in Nieuw Vossemeer beter dan in Leiden Zuid-West.

¹⁷ Demonstratieonderzoek vergaande nutriëntenverwijdering nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi leiden Zuid-West, Stowa 2009-31.

7.3.3 VLOKSTABILITEIT

Voor een goede verwijdering van de gevormde fosfaatvlokken is het belangrijk dat:

- de filtratiegraad van het filter voldoende 'fijn' is;
- de eenmaal gevormde vlokken in het filter stabiel zijn en niet desintegreren.

De filtratiegraad van het Fuzzy Filter kan ingesteld worden door de compressiegraad te variëren. Hierop zal later worden ingegaan. Omdat Fuzzy Filters doorgaans hoger belast worden dan zandfilters bestaat er de mogelijkheid dat in het Fuzzy Filter de condities dusdanig zijn dat eenmaal gevormde vlokken instabiel zijn. Om hiervan een inschatting te maken kunnen de mengintensiteiten in het filter worden bepaald. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de geperforeerde bodemplaat (inlaat) en het eigenlijke filtratiecompartment. In bijlage 4 zijn de resultaten van de theoretische berekening van de G-waarden in het Fuzzy Filter gegeven. Uit deze berekeningen blijkt dat hoge G-waarden (groter dan $G=100 \text{ s}^{-1}$) in het Fuzzy Filter zeer onwaarschijnlijk zijn. Dit betekent dat het niet te verwachten is dat de gevormde fosfaatvlokken in het filter weer uiteenvallen in kleinere vlokken.

Naast de theoretisch berekende G-waarden kan ook uit de fractioneringstesten een uitspraak worden gedaan over de vlokstabiliteit in het Fuzzy Filter. Figuur 15 geeft de resultaten van de fosfaatfractionering op 15 oktober 2009 met poly-aluminiumchloride als coagulant. Uit figuur 15 blijkt dat tijdens de run geen doorslag plaatsvindt van vlokken die vallen in de fractie 0,45 tot 5 μm . Doorslag vindt plaats voor vlokken $> 5 \mu\text{m}$. Er kan dus vanuit worden gegaan dat in het Fuzzy Filter geen vlokdesintegratie optreedt. Dit beeld wordt bevestigd door andere uitgevoerde fractioneringsmetingen; er is geen verschuiving van grotere vlokken na vlokvorming naar kleinere vlokken in het filtraat van het Fuzzy Filter.

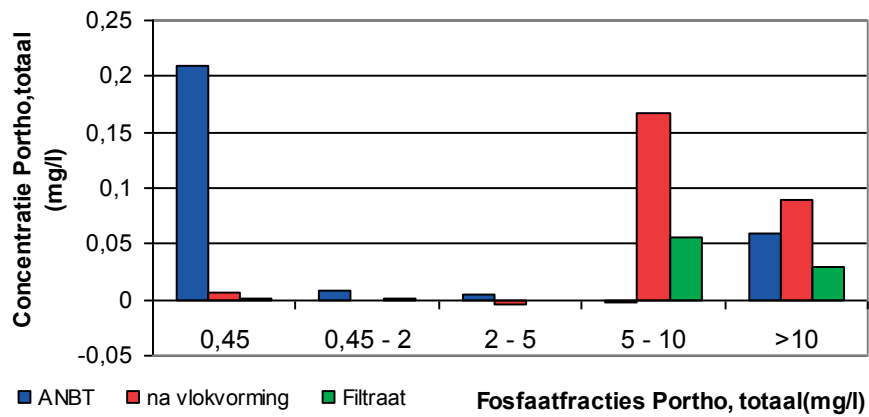
7.3.4 FILTRATIE VAN DE GEVORMDE VLOKKEN.

Eenmaal gevormde fosfaatvlokken worden in het Fuzzy Filter verwijderd via filtratie. De filtratiegraad van het Fuzzy Filter is hierbij belangrijk. Deze is enigszins instelbaar door de compressie te variëren. Bij de beoordeling van de filtratiestap is onder ander gekeken naar de vorm waarin fosfaat kan voorkomen en de fractie metaalgebonden fosfaat die verwijderd wordt.

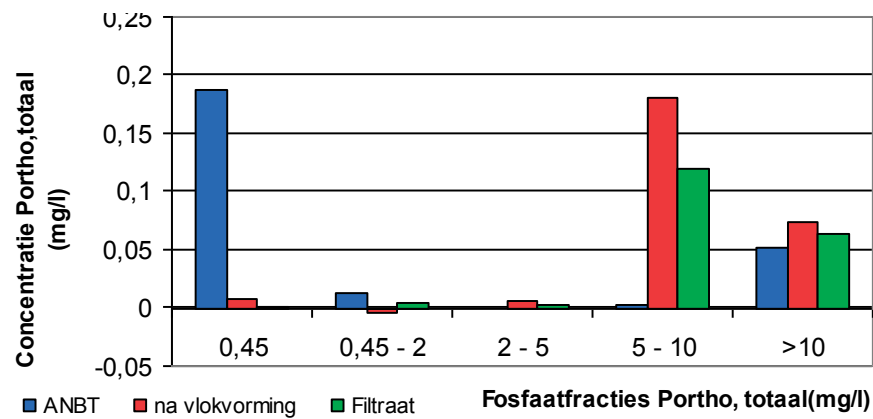
FIGUUR 15

FOSFAATFRACTIONERING MET POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT GEDURENDE EEN RUN. DE TOTALE RUNDUUR WAS 4,5 UUR.
FILTRATIESNELHEID 60 M/H. ME/P 5 MOL/MOL

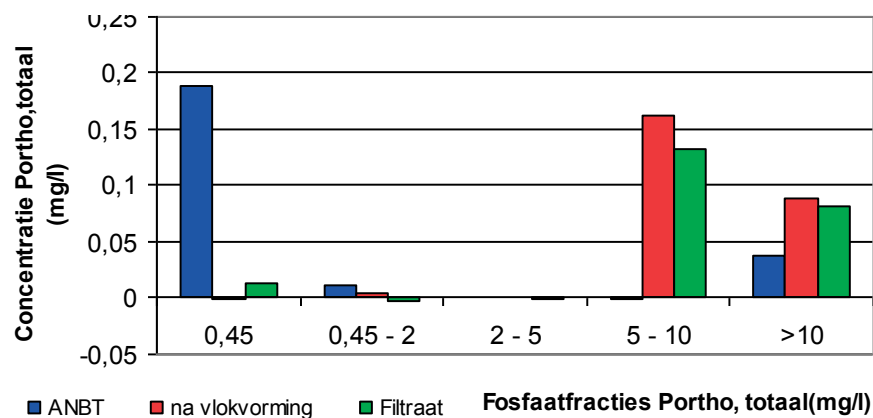
BEGIN RUN, 0 MBAR DRUKOPBOUW



MIDDEN RUN, 24 MBAR DRUKOPBOUW



EINDE RUN, 63 MBAR DRUKOPBOUW



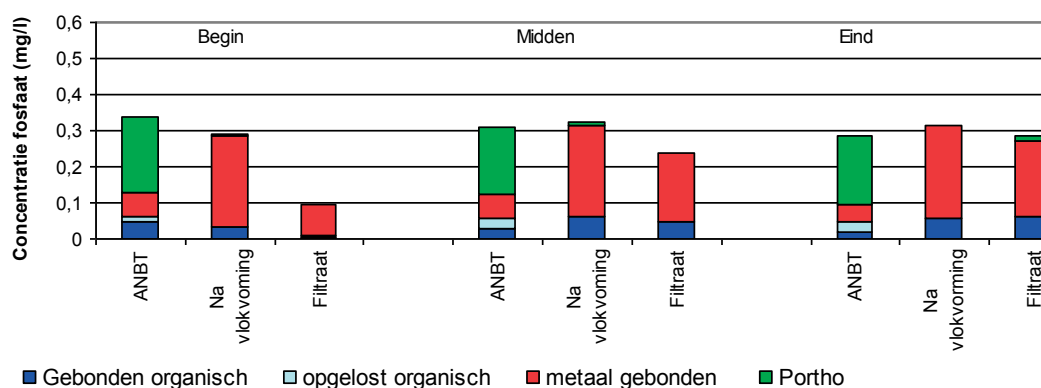
FOSFAATVORM

Fosfaat kan in verschillende vormen voorkomen:

- organisch gebonden fosfaat;
- metaalgebonden fosfaat;
- opgelost orthofosfaat (fosfaatfractie kleiner dan 0,45 µm);
- opgelost organisch fosfaat.

Figuur 16 geeft de fosfaatverdeling tijdens een run op 17 februari 2010 met FeCl₃ als coagulant en met aanvullende PE dosering.

FIGUUR 16 FOSFAATFRACTIES TIJDENS EEN RUN MET FECL₃. FILTRATIESNELHEID 60 M/H. ME/P 5 MOL/MOL. DE VERDELING NA VLOKVORMING EN FILTRAAT IS OP VERSCHILLENDE MOMENTEN TIJDENS DE RUN, NAMELIJK NA 24 MBAR (MIDDEN) EN 40 MBAR (EIND) DRUKOPBOUW GEMETEN. DE RUNDUUR WAS 1 UUR EN 45 MINUTEN



Uit figuur 16 blijkt dat de afloop nabezinktank voornamelijk bestaat uit orthofosfaat. Na vlok-vorming is alle orthofosfaat nagenoeg gebonden als metaalgebonden fosfaat. Verder blijkt dat tijdens het verloop van de run de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter toeneemt.

In bijlage 3 zijn de resultaten van de fosfaatverdelingen met de andere coagulanten en met en zonder aanvullende PE dosering gegeven. Het algemene beeld is hierbij steeds hetzelfde:

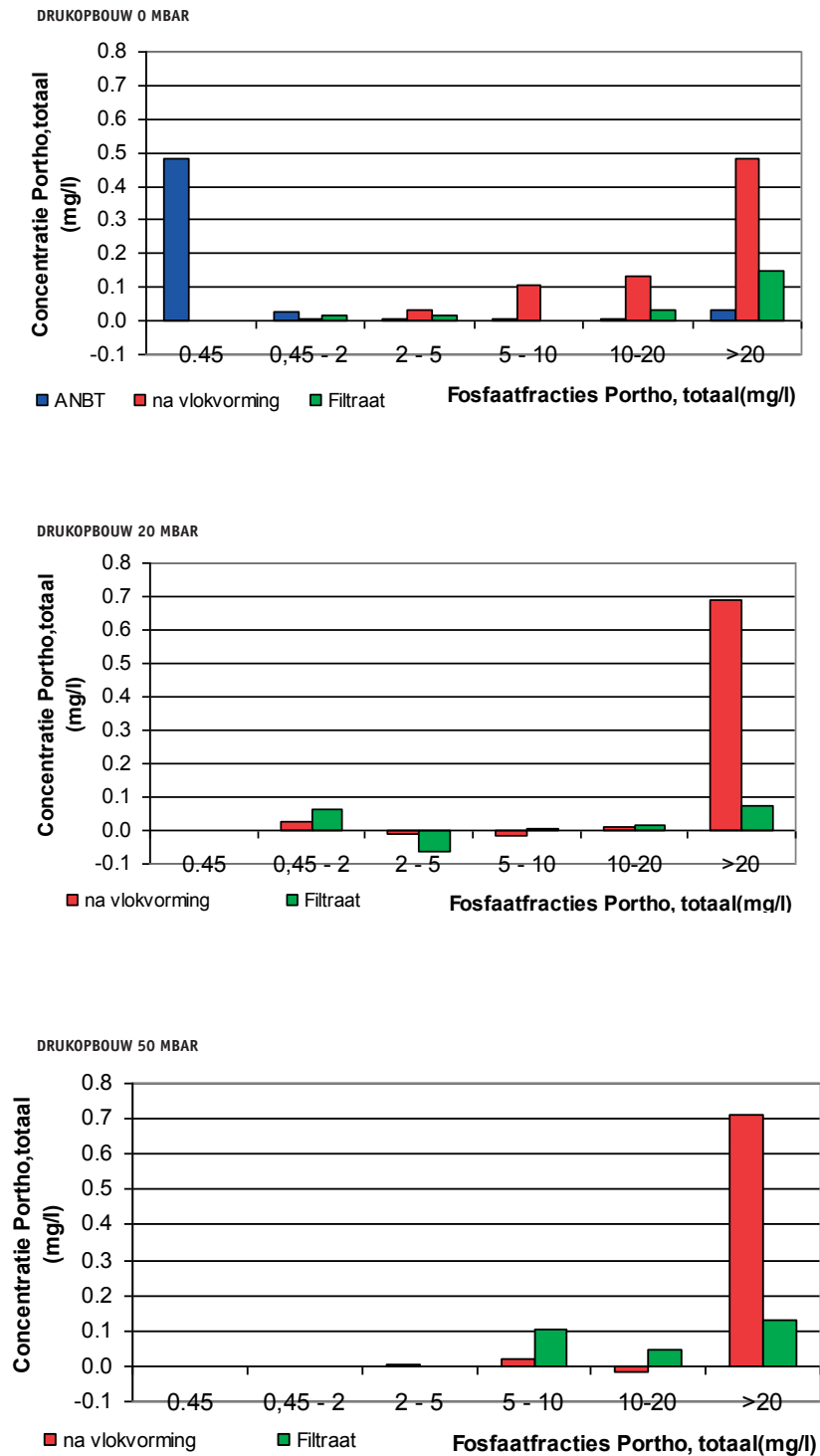
- orthofosfaat wordt in de coagulatie-flocculatieruimte goed gebonden tot metaalgebonden fosfaat;
- toename van de fosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter wordt voornamelijk veroorzaakt door aanwezigheid van metaalgebonden fosfaat.

FOSFAATFRACTIES

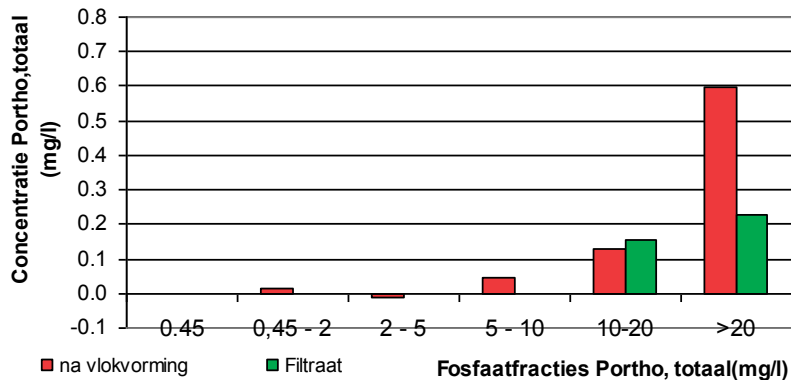
Figuur 17 geeft ter illustratie de verdeling van de verschillende fracties metaalgebonden fosfaat gedurende de run met FeCl_3 als coagulant en aanvullende PE dosering. De resultaten van alle fosfaatfractioneringsmetingen zijn opgenomen in bijlage 3.

FIGUUR 17

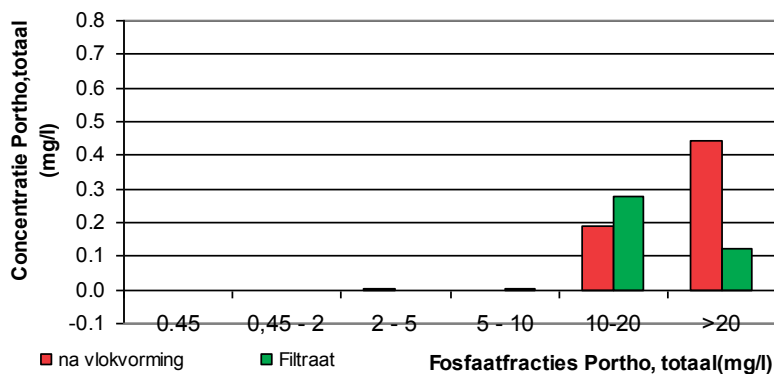
FOSFAATFRACTIONERING TIJDENS EEN RUN OP 17 FEBRUARI 2010, MET FeCl_3 EN PE DOSERING. FILTRATIESNELHEID 22 M/H. ME/P 5 MOL/MOL. CONCENTRATIE PE 1 MG/L ACTIEF. DE TOTALE RUN DUURDE 90 MINUTEN



DRUKOPBOUW 70 MBAR



DRUKOPBOUW 90 MBAR



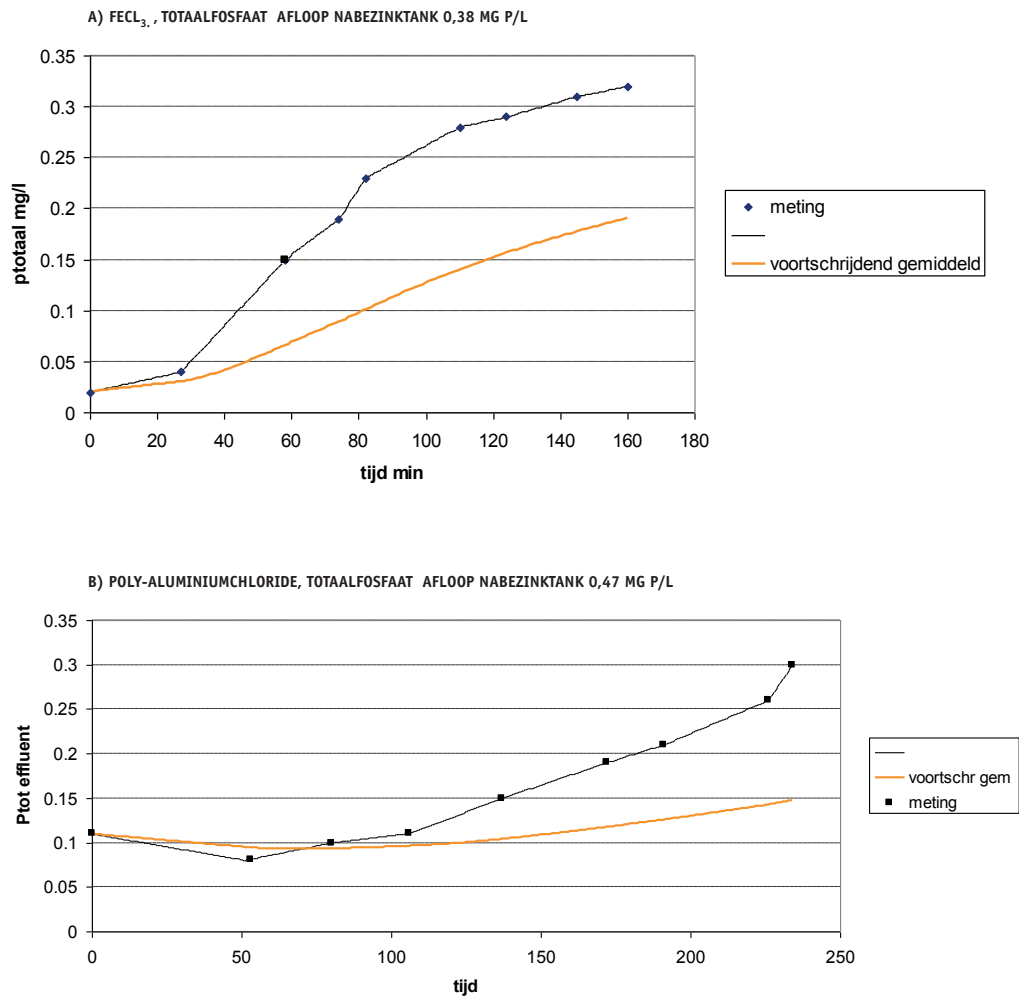
Uit figuur 17 blijkt dat aan het begin van de run alle fosfaatfracties redelijk worden verwijderd. Naarmate de run langer duurt, treedt uitspoeling van kleine, maar ook grotere vlokken op. Aan het einde van run blijkt dat vlokken kleiner dan 20 μm nauwelijks meer worden verwijderd. De verwijdering van vlokken groter dan 20 μm bedraagt dan nog 75%.

FOSFAATVERWIJDERING TIJDENS EEN RUN

Met alle geteste coagulanten met en zonder PE dosering blijkt de fosfaatverwijdering hetzelfde patroon te vertonen. Fosfaat wordt aan het begin van de run goed verwijderd. Naarmate de run vordert loopt de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter op. Figuur 18 geeft een typisch verloop van een run met FeCl_3 en poly-aluminiumchloride als coagulant.

FIGUUR 18

DOORSLAGCURVE TOTAALFOSFAAT MET FeCl_3 EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT. FILTRATIESNELHEID 22 M/H. ME/P = 5 MOL/MOL. HOEVEELHEID VERWIJDERDE TOTAALFOSFAAT WAARBIJ DE CONCENTRATIE VOORTSCHRIJDENDE GEMIDDELTE 0,15 MG P/L IS BEDRAAGT: FeCl_3 3,8 G EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE 10,3 G.



In figuur 18 zijn de meetpunten weergegeven waarop de fosfaatconcentraties zijn gemeten ('meting'). Daarnaast is een concentratie berekend, zijnde het voortschrijdende gemiddelde. Dit is de concentratie die gemeten zou worden in een mengmonster van het Fuzzy Filter tijdens de run op tijdstip T.

De berekening van deze concentratie is als volgt uitgevoerd.

- tussen de meetpunten is uitgegaan van een lineaire toe of afname van de fosfaatconcentratie, zodat de actuele fosfaatconcentratie op ieder moment bekend is;
- het voortschrijdende gemiddelde op tijdstip t is dan als volgt berekend

$$\text{Voortschrijdende gemiddelde concentratie (mg P/l) tijdstip } t = \frac{\text{mg P uit filter op tijdstip } t}{\text{volume (l) uit filter op tijdstip } t}$$

met:

$$\text{mg P uit filter op tijdstip } t = \sum_{0 \text{ min}}^{t \text{ min}} \text{debiet (l/min)} * \text{P-filtraat (mg P/l)}$$

$$\text{volume (l) uit filter op tijdstip } t = \sum_{0 \text{ min}}^{t \text{ min}} \text{debiet (l/min)}$$

Bij de berekeningen is een tijdstap van een minuut gemaakt

Uit figuur 18 kan worden opgemaakt dat de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter tijdens een run steeds verder toeneemt. Dit betekent dat als een run te lang duurt de effluenteis mogelijk wordt overschreden. In de praktijk wordt tot nu toe het terugspoelmoment van Fuzzy Filters bepaald door een instelbare maximale druktoename. Bij het bereiken van het druksetpoint wordt het filter teruggespoeld. Bij toepassen van Fuzzy Filtratie voor fosfaatverwijdering bestaat dan echter het risico dat de effluenteis niet wordt gehaald, omdat eerder had moeten worden teruggespoeld. Voor de bedrijfsvoering in de praktijk betekent dit dat een andere regeling zal moeten worden toegepast om het terugspoelmoment te bepalen.

De vraag die in dit verband gesteld kan worden is hoeveel fosfaat, uitgedrukt als gram totaal-fosfaat, het Fuzzy Filter kan verwijderen waarbij aan de effluentstreefwaarde (totaalfosfaat 0,15 mg P/l) wordt voldaan. Deze hoeveelheid fosfaat wordt dan, afhankelijk van de fosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank, bepalend voor de looptijd van het Fuzzy Filter. Dit kan betekenen dat de looptijd aanzienlijk korter is dan op basis van druktoename zou worden verwacht. In paragraaf 7.3.9 wordt verder ingegaan op het aspect waarbij de looptijd van het Fuzzy Filter wordt bepaald door de mate waarin fosfaat kan worden geborgen.

DRUKOPBOUW IN HET FUZZY FILTER TIJDENS EEN RUN

Uit het verloop van de fosfaatconcentratie in het filtraat van Fuzzy Filters tijdens een run blijkt dat deze niet constant is maar steeds verder toeneemt. Omdat eerder al is aangetoond (zie § 7.3.2 en 7.3.3) dat de vlokvorming voldoende is om filtratie mogelijk te maken, en dat de vlokken in het Fuzzy Filter niet desintegreren, moet de oorzaak waarschijnlijk in het filtratieproces zelf worden gezocht.

Bij filtratie kan sprake zijn van koekfiltratie of diepbedfiltratie. Bij diepbedfiltratie wordt het gehele filterbed gebruikt voor het bergen van af te vangen deeltjes, waardoor de druk relatief langzaam wordt opgebouwd. Omdat ook het laatste deel van het filterbed wordt gebruikt, kan sneller doorslag plaatsvinden.

Bij koekfiltratie wordt bijna alle vervuiling afgevangen in het eerste onderste deel van het Fuzzy Filter. De bedweerstand van filters met koekfiltratie zal sneller toenemen dan bij filters met diepbedfiltratie, waardoor filters teruggespoeld moeten worden zonder dat de waterkwaliteit daar aanleiding toe geeft. Zeer kleine deeltjes worden met koekfiltratie zeer goed afgevangen.

Om na te gaan welk type filtratie optreedt, is bij verschillende aanvoerdebielen de drukopbouw over het Fuzzy Filter gevolgd. Dit is mogelijk gemaakt doordat er 6 manometers zijn geplaatst op een Fuzzy Filter op verschillende hoogtes. Vanaf de bodemplaat van het Fuzzy Filter is op 8-18-28-38-48-58 cm hoogte een manometer geplaatst. De resultaten geven geen eenduidig beeld. Wel kan gesteld worden dat er geen duidelijke koekfiltratie optreedt maar dat de drukopbouw over de hoogte van het Fuzzy Filter wordt verdeeld. Bij een aantal runs is naast de toename van de druk ook de fosfaatconcentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter op de verschillende momenten gemeten. Deze zijn weergegeven in de figuren 19 en 20. De resultaten van alle drukprofielmetingen zijn gegeven in bijlage 5

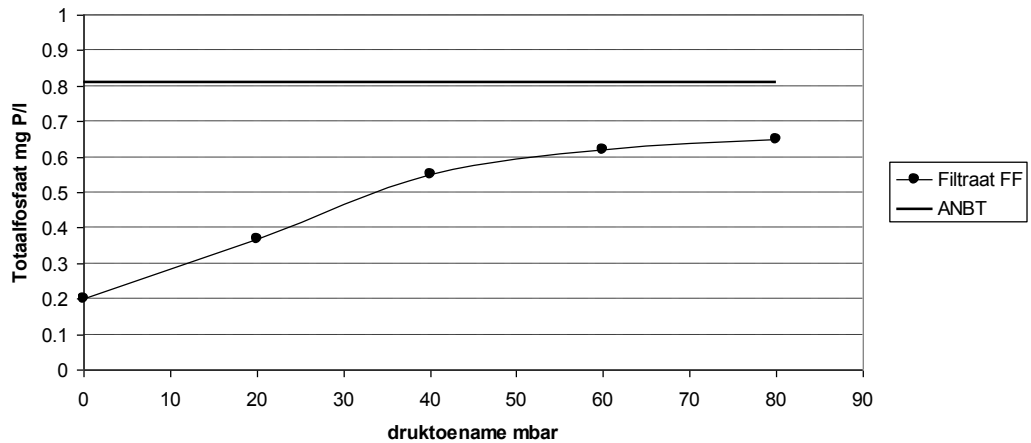
FIGUUR 19

FOSFAATCONCENTRATIE IN AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTER (A) EN DE CORRESPONDERENDE DRUKPROFIEL IN FUZZY FILTER TIJDENS EEN RUN (B). DE TOTAALFOSFAATCONCENTRATIE IN DE AANVOER IS ÉÉNMALIG GEMETEN EN WORDT CONSTANT VERONDERSTELD. DE TOTALE RUNDUUR BEDROEG 45 MINUTEN. COMPRESSIE WAS 30%. DE BELASTING BEDROEG 59 M/H. ALS COAGULANT WERD POLY-ALUMINIUMCHLORIDE GEBRUIKT.

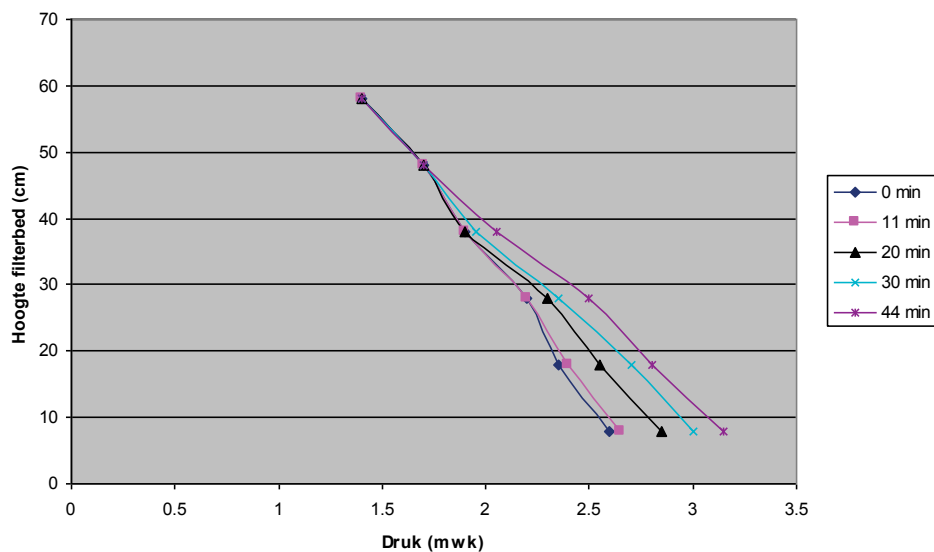
A) Y-AS = CONCENTRATIE, X-AS DRUKTOENAME FUZZY FILTER

B) Y-AS = HOOGTE IN FILTERBED X-AS = DRUK

A) TOTAALFOSFAATCONCENTRATIE BIJ VERSCHILLENDE DRUKTOENAMES. EEN DRUKTOENAME VAN 0, 20, 40, 60 EN 80 MBAR KWAM IN DEZE RUN OVEREEN MET 0, 11, 20, 30, EN 44 MINUTEN LOOPTIJD.



B) DRUKOPBOUW OVER HET FILTERBED BIJ VERSCHILLENDE LOOPTIJDEN.



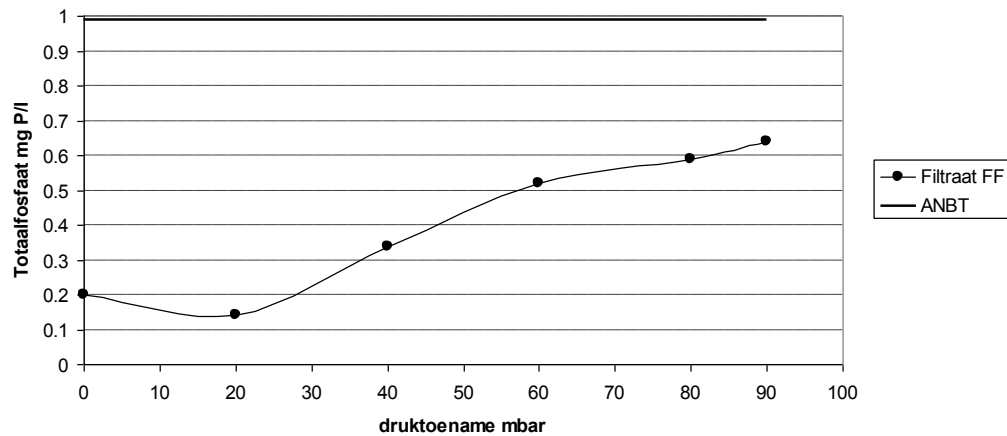
FIGUUR 20

FOSFAATCONCENTRATIE IN AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTER (A) EN DE CORRESPONDERENDE DRUKTOENAME IN FUZZY FILTER TIJDENS EEN RUN (B). DE TOTAALFOSFAATCONCENTRATIE IN DE AANVOER IS ÉÉNMALIG GEMETEN EN WORDT CONSTANT VERONDERSTELD. DE TOTALE RUNDUUR BEDROEG 44 MINUTEN. COMPRESSIE WAS 24%. DE BELASTING BEDROEG 59 M/H. ALS COAGULANT WERD POLY-ALUMINIUMCHLORIDE GEBRUIKT.

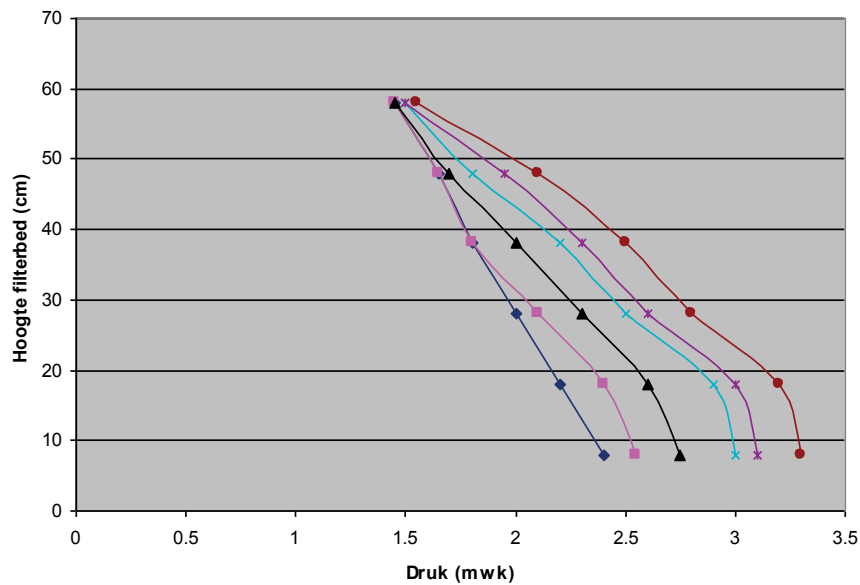
A) Y-AS = CONCENTRATIE, X-AS DRUKTOENAME FUZZY FILTER

B) Y-AS = HOOGTE IN FILTERBED X-AS = DRUK

A) TOTAALFOSFAATCONCENTRATIE BIJ VERSCHILLENDE DRUKTOENAMES. EEN DRUKTOENAME VAN 0, 20, 40, 60, 80 EN 90 MBAR KWAM IN DEZE RUN OVEREEN MET 0, 9, 18, 25, 32 EN 44 MINUTEN LOOPTIJD.



B) DRUKOPBOUW OVER HET FILTERBED BIJ VERSCHILLENDE LOOPTIJDEN.



Bij de runs in figuur 19 en 20 vindt drukopbouw initieel plaats op een hoogte van circa 20 cm, gemeten vanaf de bodemplaat. Dit betekent dat fosfaat en zwevende stof initieel in deze zone worden geborgen. Al naar gelang de run langer duurt wordt ook in de hogere gedeeltes van het Fuzzy Filter fosfaat en zwevende stof geborgen. Deze 'uitbreiding' van het gedeelte van het filtermedium waar fosfaat en zwevende stof wordt geborgen gaat echter gepaard met een toename van de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter. Naarmate de run nog langer duurt, stabiliseert de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat zich en wordt min of meer constant. Uit figuur 19 blijkt dat op dat moment circa 0,1 mg P/l wordt verwijderd. Dit zou mogelijkerwijs een gevolg kunnen zijn van de verwijdering van zwevende stof (slib) uit de afloop nabezinktank. Een concentratie van 0,1 mg P/l komt, uitgaande van een fosfaatgehalte in slibdeeltjes van 2%, overeen met 5 mg zwevende stof/l. Tijdens de blanco periode in 2009 waarbij geen coagulant werd gedoseerd bedroeg de totaalfosfaatverwijdering gemiddeld circa 0,15 mg P/l.

Uit bovenstaande volgt dat het type fosfaat die in een Fuzzy Filter, naarmate een run langer duurt, wordt verwijderd geassocieerd kan worden met fosfaat gebonden aan zwevende stof in de afloop nabezinktank. Metaalgebonden fosfaat wordt naarmate de run langer duurt steeds slechter verwijderd. Dit komt overeen met de resultaten van de fractioneringsmetingen waaruit bleek dat de doorslag van fosfaat vooral wordt veroorzaakt door het metaalgebonden fosfaat. Dit zou betekenen dat Fuzzy Filters slechts beperkt in staat zijn om metaalgebonden fosfaat te verwijderen en te bergen. De bergingscapaciteit voor fosfaat wordt dan bepaald door de concentratie orthofosfaat in de afloop nabezinktank. Immers de aanwezige orthofosfaat in de afloop nabezinktank wordt tijdens de coagulatiestap omgezet in metaalgebonden fosfaat. Dit metaalgebonden fosfaat kan vervolgens slechts beperkt in het Fuzzy Filter worden verwijderd. De looptijd van het Fuzzy Filter wordt dan ook bepaald door de orthofosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank.

Voor de wijze van de drukopbouw in het Fuzzy Filter is er een verschil wijze tussen figuur 19 en 20. Bij figuur 19 komen alle lijnen bij elkaar op een filterbedhoogte van 50 cm, terwijl dit bij figuur 20 niet het geval is. Bij figuur 20 wordt op 50 cm filterbedhoogte druk opgebouwd terwijl dit in figuur 19 niet het geval is. Er is geen duidelijke verklaring gevonden voor de geconstateerde verschillen tussen figuur 19 en 20.

Uit de drukmetingen volgt verder dat er geen koekfiltratie optreedt. Er lijkt eerder sprake te zijn van diepbedfiltratie. Bij zandfiltratie treedt doorgaans wel koekfiltratie op. Voor fosfaat lijkt het wel of de hoogste verwijderingscapaciteit onderin het filtermedium aanwezig is.

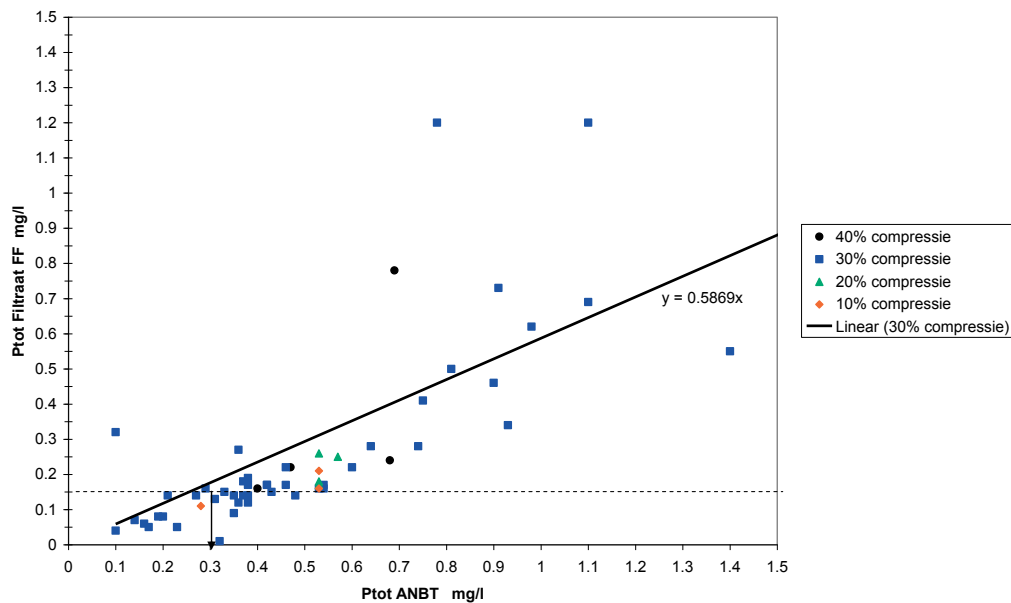
7.3.5 FOSFAATVERWIJDERING BIJ VERSCHILLENDE TOTAALFOSFAATCONCENTRATIES IN DE AFLOOP NABEZINKTANK

Figuur 21 geeft de relatie tussen totaalfosfaat in de afloop nabezinktank en het filtraat van het Fuzzy Filter op basis van 24 uur monsters. Het terugspoelmoment van het Fuzzy Filter werd bij deze metingen bepaald door maximale druktoename in het Fuzzy Filter. Figuur 21 suggereert de volgende relatie: om aan de effluentstreefwaarde totaalfosfaat 0,15 mg P/l te voldoen moet de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank gelijk of lager zijn dan 0,3 à 0,4 mg P/l.

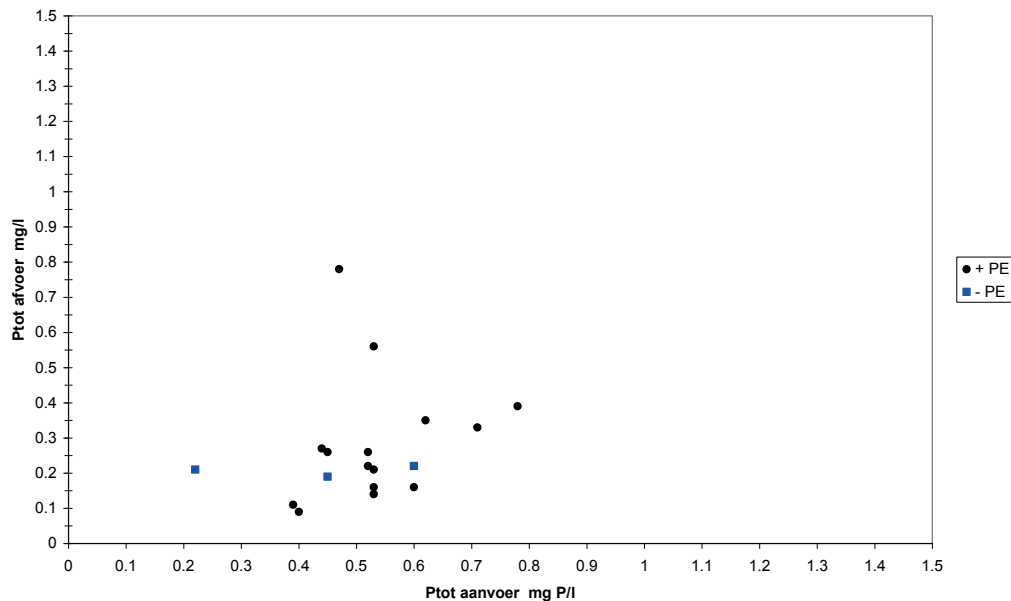
FIGUUR 21

RELATIE TUSSEN TOTAALFOSFAAT AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTER OP BASIS VAN 24 UURMONSTERS VOOR POLY-IJZERCHLORIDE (A) EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT BIJ VERSCHILLENDE COMPRESSIES. PE DOSERING BEDROEG 1 MG ACTIEF PE/L. REGELING TERUGSPOELMOMENT FUZZY FILTERS GESCHIEDDE OP BASIS VAN MAXIMALE DRUKTOENAME.

A) POLY-IJZERCHLORIDE ALS COAGULANT BIJ VERSCHILLENDE COMPRESSIES. OPSTROOMSNELHEDEN VARIEERDEN VAN 30 TOT 80 M/H.



B) POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT MET EN ZONDER PE DOSERING. OPSTROOMSNELHEDEN VARIEERDEN VAN 20 TOT 60 M/H.

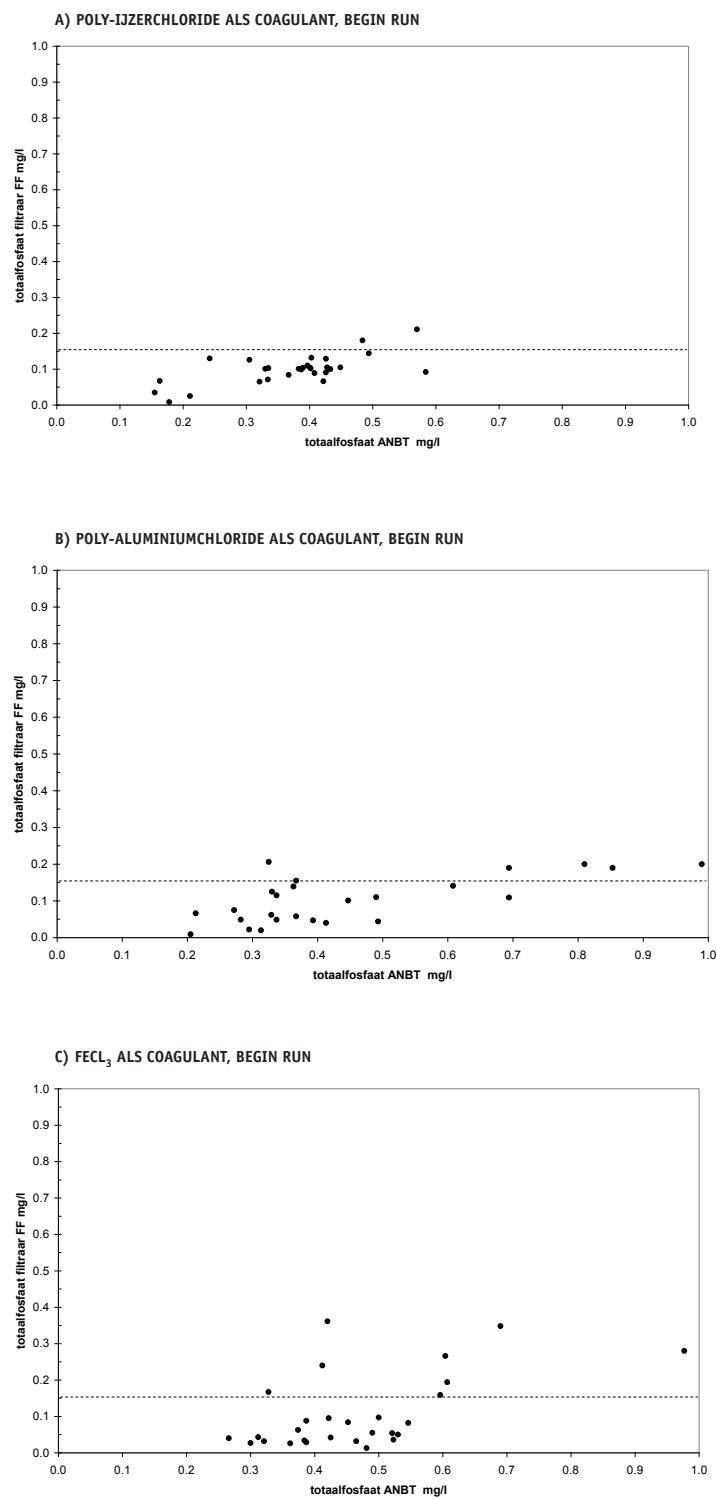


Echter, bij de meetpunten gegeven in figuur 21 werd het terugspoelmoment van het Fuzzy Filter geregeld op een maximale druktoename. Eerder is al aangegeven dat de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter tijdens een run, geleidelijk toeneemt. Dit betekent dat als eerder wordt teruggespoeld dan bij maximale druktoename, er bij hogere concentraties in de afloop nabezinktank aan de effluenteisen kan worden voldaan dan conform de resultaten van figuur 21. De duur van een run bij de meetpunten gegeven in figuur 21 varieerde van 6 tot 10 uur.

In § 7.3.4 is al aangegeven dat de beste fosfaatverwijdering gerealiseerd wordt aan het begin van de run. Figuur 22 geeft de relatie tussen de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank en het filtraat van het Fuzzy Filter aan het begin van de run.

FIGUUR 22

RELATIE TUSSEN TOTAALFOSFAAT AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTER AAN HET BEGIN VAN EEN RUN



Uit figuur 22 blijkt dat met poly-aluminiumchloride als coagulant de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter aan het begin van een run lager is dan 0,15 mg P/l, mits de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank lager is dan circa 0,7 mg P/l. Voor Poly-ijzerchloride en FeCl_3 ligt dit bij circa 0,6 mg P/l.

Uit de resultaten kan het volgende worden afgeleid:

- bij een regeling waarbij de looptijd van Fuzzy Filters wordt bepaald door een maximale druktoename, overeenkomend met een looptijd van circa 6 tot 10 uur, is - bij totaalfosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank lager dan circa 0,3 mg P/l – de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat van het Fuzzy Filter lager dan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l;
- bij een totaalfosfaat in de afloop nabezinktank tussen 0,3 en 0,7 mg P/l zal bij een regeling waarbij de looptijd van het Fuzzy Filter wordt bepaald door een maximale druktoename, het filtraat van het Fuzzy Filter niet meer voldoen aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l. In dit geval zal de looptijd en het terugspoelmoment van het Fuzzy Filter anders moeten worden bepaald, te weten door de hoeveelheid fosfaat die in het Fuzzy Filter kan worden verwijderd waarbij wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l. In § 7.3.4 is al aangegeven dat de bergingscapaciteit voor fosfaat in een Fuzzy Filter wordt bepaald door de hoeveelheid metaalgebonden fosfaat die in het Fuzzy Filter wordt geborgen. Dit metaalgebonden fosfaat wordt tijdens de coagulatie-flocculatie stap gevormd uit het orthofosfaat in de afloop nabezinktank. Uitgaande van een gedefinieerde bergingscapaciteit wordt de looptijd van het Fuzzy Filter dan bepaald door het aanvoerdebiet en de concentratie orthofosfaat in de afloop nabezinktank;
- bij een totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank hoger dan circa 0,7 mg P/l voldoet het filtraat van het Fuzzy Filter, ongeacht de regeling voor de bepaling van de looptijd van het Fuzzy Filter, niet meer aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l.

Bij een vergelijking tussen Fuzzy Filtratie en zandfiltratie kan worden opgemerkt dat bij zandfilters doorgaans wordt uitgegaan van een maximale totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank van 0,8 mg/l¹⁸. Onder deze condities voldoen zandfilters aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l. Voor Fuzzy Filtratie zal deze eis tussen 0,3 en 0,7 mg P/l liggen.

7.3.6 FOSFAATVERWIJDERING BIJ VERSCHILLENDE HYDRAULISCHE BELASTINGEN

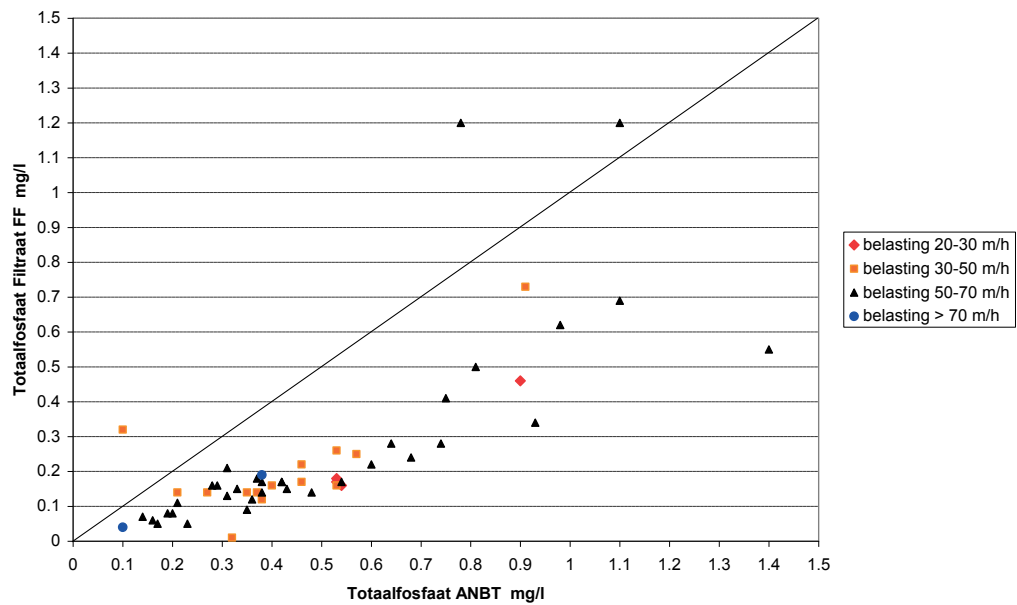
Een belangrijk voordeel van Fuzzy Filtratie zijn de potentiële hogere hydraulische belastingen. Figuur 23 geeft de relatie tussen de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank en het filtraat van de Fuzzy Filters op basis van 24-uurs monsters bij verschillende hydraulische belastingen. Het terugspoelmoment van het Fuzzy Filter werd bij deze metingen bepaald door de maximale druktoename gemeten in het Fuzzy Filter.

18 Filtratietechnieken rwzi's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. Stowa 2006-21.

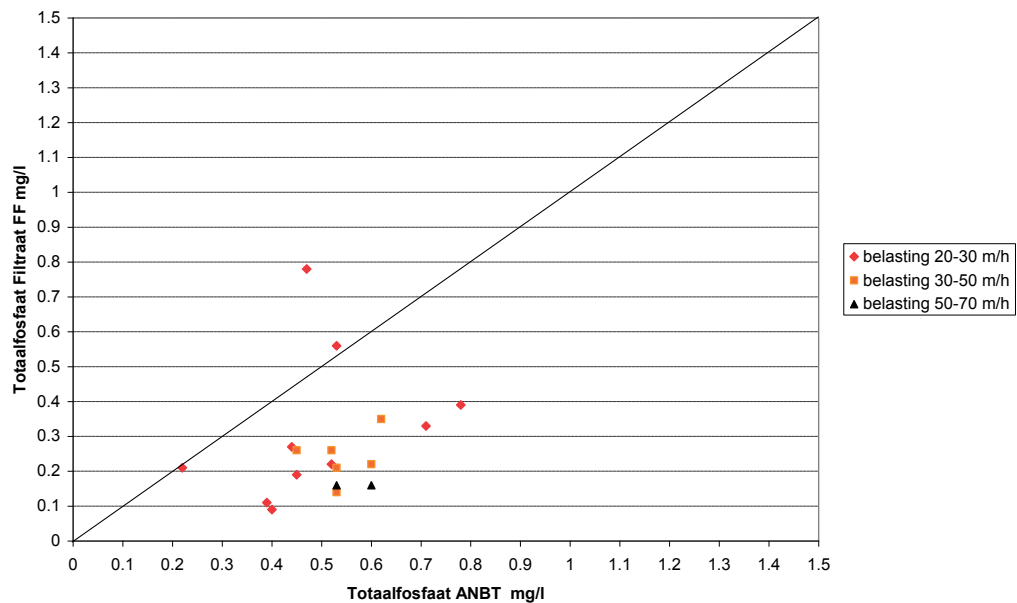
FIGUUR 23

RELATIE TUSSEN TOTAALFOSFAAT IN DE AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTER OP BASIS VAN 24-UURMONSTERS VOOR POLY-IJZERCHLORIDE (A) EN POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT BIJ VERSCHILLENDE HYDRAULISCHE BELASTINGEN. HET TERUGSPOELMOMENT WERD BEPAALD OP BASIS VAN EEN MAXIMALE DRUKTOENAME.

A) POLY-IJZERCHLORIDE ALS COAGULANT BIJ VERSCHILLENDE HYDRAULISCHE BELASTINGEN. DE COMPRESSIE VARIEERDE VAN 10 TOT 40%



B) POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT MET EN ZONDER PE DOSERING BIJ VERSCHILLENDE HYDRAULISCHE BELASTINGEN
DE COMPRESSIE VARIEERDE VAN 20 TOT 30%



Het blijkt dat bij poly-ijzerchloride en poly-aluminiumchloride als coagulant Fuzzy Filters hoge hydraulische belastingen aankunnen. De hoogst geteste belasting bedroeg 100 m/h met poly-ijzerchloride als coagulant. Bij deze belasting verliep de fosfaatverwijdering niet slechter dan bij lagere belastingen. Ook bij de batchexperimenten bleek dat de fosfaatverwijdering bij hoge hydraulische belastingen niet (significant) minder goed verloopt dan bij lagere belastingen. Eenzelfde beeld geldt voor poly-aluminiumchloride als coagulant (zie § 7.3.9)

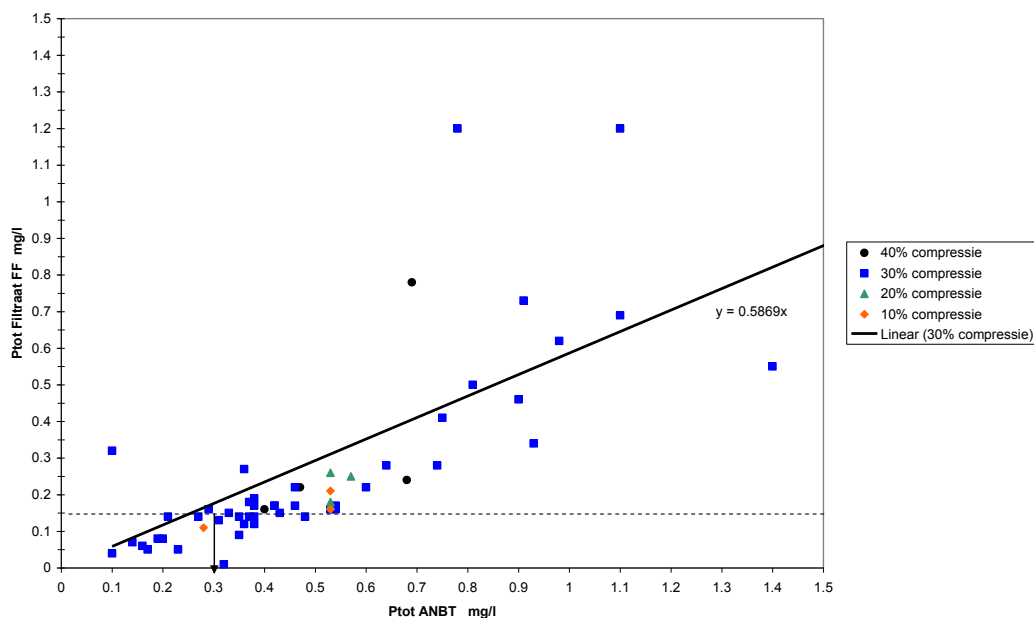
7.3.7 FOSFAATVERWIJDERING BIJ VERSCHILLENDE COMPRESSIES

De compressie in het Fuzzy Filter, en daarmee ook de filtratiegraad, is instelbaar. De compressie is daarom mogelijk van invloed op de effectiviteit van de fosfaatverwijdering.

Figuur 24 geeft de resultaten tussen totaalfosfaatconcentratie gemeten in 24 uur verzamelmonster in de afloop nabezinktank en het filtraat van het Fuzzy Filter.

FIGUUR 24

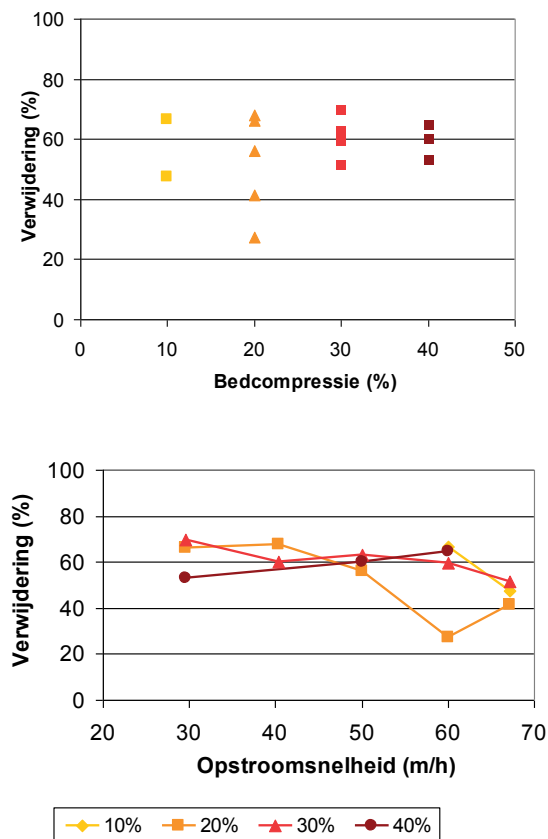
RELATIE TUSSEN TOTAALFOSFAAT IN AAN- EN AFVOER FUZZY FILTER OP BASIS VAN 24- UURMONSTERS. VOOR POLY-IJZERCHLORIDE ALS COAGULANT BIJ VERSCHILLENDE COMPRESSIES. HET TERUGSPOELMOMENT WERD BEPAALD OP BASIS VAN MAXIMALE DRUKTOENAME. DE OPSTROOMSNELHEDEN VARIEERDEN VAN 20 TOT 80 M/H



Uit figuur 24 kan worden afgeleid dat in het bereik 10 - 40% compressie er ogenschijnlijk een gering effect is op de fosfaatverwijdering. Figuur 25 geeft de resultaten van batchexperimenten met poly-ijzerchloride als coagulant. Ook hier lijkt er geen significant effect van de compressiegraad op de mate van fosfaatverwijdering in het Fuzzy Filter. Wel lijkt de verwijdering bij hogere compressie iets stabielier te verlopen.

FIGUUR 25

VERWIJDERING VAN TOTAALFOSFAAT BIJ VERSCHILLENDE FILTERBEDCOMPRESSIE EN FILTRATIESNELHEDEN IN HET FUZZY FILTER



7.3.8 FOSFAATBERGING IN HET FUZZY FILTER

Fosfaatverwijdering in een Fuzzy Filter kan als volgt worden omschreven: aan het begin van een run wordt fosfaat in het Fuzzy Filter goed verwijderd. Al naar gelang de run langer duurt, treedt er steeds meer doorslag van fosfaat op en wordt de fosfaatverwijdering slechter. Uit de testen op de rwzi Nieuw Vossemeer blijkt dat bij een regeling waarbij de looptijd van het Fuzzy Filter bepaald wordt door een maximale toename van de druk over het Fuzzy Filter, het filtraat van het Fuzzy Filter niet voldoet aan de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat (0,15 mg P/l) bij concentraties in de afloop nabezinktank hoger dan 0,3 mg P/l. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van fosfaatdoorslag en een te lange looptijd van het Fuzzy Filter. Om te voldoen aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l moet de looptijd van het Fuzzy Filter korter zijn; dit betekent dat een ander type regeling voor het vaststellen van het terugspoelmoment moet worden toegepast. Uit de testen blijkt dat fosfaatdoorslag in het Fuzzy Filter voornamelijk wordt veroorzaakt door doorslag van metaalgebonden fosfaat. Dit metaalgebonden fosfaat is gevormd tijdens de coagulatieflocculatiestap. Hierbij wordt orthofosfaat aanwezig in de afloop nabezinktank omgezet in metaalgebonden fosfaat.

De maximale looptijd van het Fuzzy Filter waarbij het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat 0,15 mg P/l wordt beperkt door de hoeveelheid metaalgebonden fosfaat die in het Fuzzy Filter kan worden geborgen.

De bergingscapaciteit van Fuzzy Filters is voor diverse runs berekend. De resultaten en de gevolgde methodiek zijn gegeven in bijlage 6. Op hoofdlijnen blijkt:

- De hoogste bergingscapaciteit wordt gerealiseerd met poly-ijzerchloride als coagulant. Bij vele runs was na afloop de maximale berging nog niet gerealiseerd. Dit zou betekenen dat poly-ijzerchloride technologisch de voorkeurs coagulant is. Echter, de kosten voor dosering van poly-ijzerchloride zijn zo hoog dat toepassing van Fuzzy Filtratie significant duurder wordt dan toepassing van zandfiltratie.

De kosten voor Poly-ijzer van Nalco bedragen - uitgaande van bulklevering - € 1.586 per ton product (opgave leverancier). Voor een rwzi van 100.000 i.e.à 136 g TZV, en een ortho-fosfaat concentratie in de afloop van de nabezinktank van 0,5 mg P/l, zouden de kosten voor chemicaliëndosering voor een nageschakelde filtratiestap bij een Me/P verhouding 5 mol/mol circa € 950.000 per jaar bedragen. Ter vergelijking bedragen de kosten voor FeCl₃ dosering circa € 35.000 per jaar.

In de praktijk zal daarom gewerkt worden met FeCl₃ of poly-aluminiumchloride als coagulant. Bij de uitgevoerde testen gaf poly-aluminiumchloride betere resultaten dan FeCl₃.

- Additionele dosering van PE in combinatie met FeCl₃ of poly-aluminiumchloride heeft geen significant effect op de bergingscapaciteit voor fosfaat in het Fuzzy Filter.
- De resultaten van de berekeningen van de bergingscapaciteit laten geen éénduidig beeld zien. De gerealiseerde berging fluctueerde aanzienlijk.

Voor het ontwerp van een nageschakelde Fuzzy Filter installatie voor fosfaatverwijdering zal een ontwerpberging moeten worden vastgesteld. Deze ontwerpberging bepaald het te installeren filteroppervlakte en de looptijd van een Fuzzy Filter. Indien de ontwerpberging bekend is kan de looptijd van een Fuzzy Filter als volgt worden berekend:

$$Looptijd = \frac{B * A}{Q * (P_{tot_{in}} - P_{tot_{uit}})} = \frac{B * \frac{Q}{v}}{Q * (P_{tot_{in}} - P_{tot_{uit}})}$$

met	B	bergend vermogen	g P/m ² filteroppervlakte
	A	filteroppervlakte	m ²
	Q	debiet	m ³ /h
	P _{tot_{in}}	totaalfosfaat in afloop nabezinktank	mg/l
	P _{tot_{uit}}	totaalfosfaat in filtraat Fuzzy Filter	mg/l
	v	filtratiesnelheid	m/h

In bovengenoemde formule is de berging uitgedrukt als g P/m² filteroppervlakte. De reden hiertoe is dat het filtratievolume in een Fuzzy Filter varieert bij verschillende compressies. Als de compressie bekend is kan de berging ook per m³ filter worden berekend. De relatie tussen looptijd en ontwerpberging kan dan als volgt worden berekend:

$$Looptijd = \frac{Bv * V}{Q * (P_{tot_{in}} - P_{tot_{uit}})}$$

met	Bv	bergend vermogen	g P/m ³ filter
	V	filtratievolume in Fuzzy Filter	m ³

Bij het vastleggen van een ontwerpberging en de daarmee samenhangende looptijd van het Fuzzy Filter is de volgende redenering toegepast. Bij fosfaatverwijdering in een Fuzzy Filter die de afloop van de nabezinktank behandelt kan onderscheid worden gemaakt tussen verwijdering van verschillende fosfaatfracties zijnde:

- ‘organisch’ gebonden fosfaat;
- metaalgebonden fosfaat;

Het metaalgebonden fosfaat is deels aanwezig in de afloop nabezinktank doordat op de rwzi Nieuw Vossemeer fosfaat chemisch wordt verwijderd, en ontstaat verder door de dosering van coagulant aan de afloop nabezinktank waardoor orthofosfaat wordt omgezet in metaalgebonden fosfaatvlokken. Nog aanwezige orthofosfaat of opgelost organisch fosfaat na de coagulatie-flocculatiestap is met filtratie niet verwijderbaar. Bij het bepalen van de fosfaatberging en looptijd van het Fuzzy Filter is de aanname dat de gelimiteerde fosfaatberging vooral wordt bepaald door de verwijdering van het metaalgebonden fosfaat. Het uitgangspunt voor het vastleggen van de fosfaatberging is daarom gebaseerd op de hoeveelheid orthofosfaat in de afloop nabezinktank die in het Fuzzy Filter kan worden verwijderd. De aanname hierbij is dat dit orthofosfaat in de coagulatie-flocculatiestap effectief wordt omgezet in metaalgebonden fosfaat.

De berekende bergingscapaciteiten geven geen éénduidig voor het vaststellen van een ontwerpberging vanwege een grote variatie in de berekende capaciteiten. Als richtgetal kan voor de verschillende coagulanten worden uitgegaan van:

- poly-ijzerchloride ontwerpberging 20 g o-PO₄/m² filteroppervlakte
- poly-aluminiumchloride ontwerpberging 7,5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte
- FeCl₃ ontwerpberging 5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte

De genoemde bergingscapaciteiten zijn per m² filteroppervlakte uitgedrukt omdat de hoogte van het filterbed in een Fuzzy Filter varieert met de compressie. De maximale hoogte van het filterbed in het Fuzzy Filter type 2 zoals gebruikt in dit onderzoek bedraagt 1,524 m. Het maximale volume is dan 0,57 m³. Bij het onderzoek is uitgegaan van het standaardontwerp Fuzzy Filter. Er zijn geen aanpassingen aan het ontwerp van het Fuzzy Filter verricht om een andere hoogte van het filterbed toe te passen.

7.3.9 DUURPROEVEN FOSFAATVERWIJDERING MET LOOPTIJDEN GEBASEERD OP FOSFAATBERGING

Uit § 7.3.8 blijkt dat voor Fuzzy Filtratie het terugspoelmoment en daarmee de looptijd moet worden geregeld op de hoeveelheid fosfaat die verwijderd kan worden. Om dit principe te testen is gedurende twee weken een duurproef uitgevoerd waarbij de looptijd werd bepaald door een voorafbepaalde hoeveelheid fosfaat die in het Fuzzy Filter geborgen kan worden. Deze proeven zijn uitgevoerd met poly-aluminiumchloride omdat:

- poly-ijzerchloride te duur is om in de praktijk voor fosfaatverwijdering te worden toegepast;
- poly-aluminiumchloride betere resultaten geeft dan FeCl₃.

Tijdens de duurproeven zijn de volgende condities gehanteerd:

- coagulant is poly-aluminiumchloride;
- geen PE dosering;
- ontwerp bergend vermogen 7,5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte;
- hydraulische belasting 22 en 67 m/h.

De duurproeven zijn als volgt uitgevoerd:

- voordat het Fuzzy Filter werd gestart werd via een steekmonster allereerst de orthofosfaatconcentratie in de toevoer van het Fuzzy Filter gemeten;
- op basis hiervan werd de gewenste looptijd van het filter ingesteld;
- de 24 uren bemonstering toe- en afvoer Fuzzy Filter werd gestart;
- de 24 uren monsters zijn door Delta Waterlab en in het veld geanalyseerd.

De resultaten zijn gegeven in tabel 9 en figuur 26.

TABEL 9 RESULTATEN DUURPROEVEN FOSFAATVERWIJDERING
A) ANALYSES IN HET VELD OP DAGEN DAT GEEN LABANALYSES ZIJN UITGEVOERD

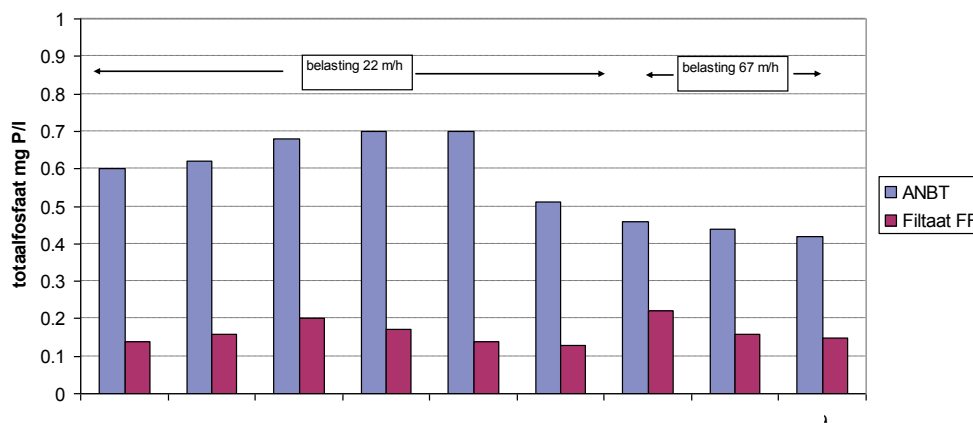
Aanvoerdebiet m ³ /h	Belasting Filter m/h	Afloop nabezinktank (mg P/l)		Filtraat Fuzzy Filter (mg P/l)		Looptijd min	Spoeltijd min
		t-PO ₄	o-PO ₄	t-PO ₄	o-PO ₄		
8	22	0,61	0,49	0,14	0,07	50	40,5
		0,49	0,37	0,11	0,06	81	

B) ANALYSES DOOR DELTA WATERLAB

Aanvoerdebiet m ³ /h	belasting Filter m/h	afloop nabezinktank (mg P/l)		Filtraat Fuzzy Filter (mg P/l)		looptijd min	spoeltijd min
		t-PO ₄	o-PO ₄	t-PO ₄	o-PO ₄		
8	22	0,6	0,35	0,14	0,04	145	40,5
		0,62	0,19	0,16	0,02	112	
		0,68	0,48	0,2	0,07	74	
		0,7	0,48	0,17	0,09	60	
		0,7	0,53	0,14	0,07	55	
		0,51	0,34	0,13	0,05	81	
25	67	0,46	0,3	0,22	0,08	42	25
		0,44	0,27	0,16	0,1	68	
		0,42	0,22	0,15	0,08	64	

FIGUUR 26 RESULTATEN DUURPROEVEN

Labanalyses



Uit tabel 9 blijkt dat de gemeten orthofosfaat in het filtraat van het Fuzzy Filter relatief hoog is in vergelijking met de experimenten die eerder zijn uitgevoerd. Hiervoor is vooralsnog geen verklaring. De Me/P was hoger dan of gelijk aan 5 mol/mol, deze bleek in het verleden voldoende hoog om orthofosfaat efficiënt te binden. Ondanks deze hogere orthofosfaatconcentraties blijkt de fosfaatverwijdering in het Fuzzy Filter bij de gekozen looptijden redelijk goed te verlopen en wordt de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat (0,15 mg P/l) doorgaans gehaald. De duurproeven tonen aan dat Fuzzy Filtratie waarbij de looptijd wordt geregeld uitgaande van een ontwerpfosfaatberging toepasbaar lijkt. De vraag blijft echter wel open staan welke ontwerpberging in de praktijk toegepast kan worden. Met de in deze proeven geteste orthofosfaatberging van 7,5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte kunnen Fuzzy Filters bedreven worden. Gelet op de relatief hoge concentraties orthofosfaat in het filtraat van de Fuzzy Filters is bij een betere orthofosfaat binding wellicht een hogere berging mogelijk dan 7,5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte.

7.3.10 EVALUATIE RESULTATEN FOSFAATVERWIJDERING

Uit de resultaten van het onderzoek naar fosfaatverwijdering blijkt het volgende:

- een Me/P verhouding 5 mol/mol is voldoende hoog om het orthofosfaat in de afloop nabezinktank nagenoeg volledig te binden tot metaalgebonden fosfaat. Bij deze doseerhoeveelheid coagulant worden goede vlokken gevormd die in principe filtreerbaar zijn. Bij lage fosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank wordt de metaalzoutdosering niet meer bepaald worden door de Me/P verhouding maar een minimaal benodigde hoeveelheid coagulant om vlokken te vormen;
- er zijn geen aanwijzingen gevonden dat in het Fuzzy Filter vlokdesintegratie optreedt. Een verschuiving van grote vlokken na coagulatie-flocculatie naar kleiner vlokken na Fuzzy Filtratie is niet waargenomen;
- er zijn geen aanwijzingen dat in het Fuzzy Filter koekfiltratie optreedt. Bij zandfiltratie is doorgaans wel sprake van koekfiltratie.
- bij de start van een run wordt fosfaat voornamelijk in het onderste gedeelte van het Fuzzy Filter, te weten circa 20 cm gemeten vanaf de bodemplaat, afgevangen. Tijdens deze fase is er een goede verwijdering van fosfaat. Al naar gelang de run voortduurt wordt ook in hogere gedeeltes van het Fuzzy Filter fosfaat en zwevende stof geborgen. Dit gaat echter gepaard met oplopende totaalfosfaatconcentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter. Deze oplopende concentraties worden veroorzaakt door doorslag van metaalgebonden fosfaat. Er is geen duidelijke verklaring voor deze constatering gevonden;
- bij totaalfosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank hoger dan 0,3 mg P/l moet, om te voldoen aan de effluentstreefwaarde totaalfosfaat 0,15 mg P/l, de looptijd van het Fuzzy Filter geregeld worden op een maximale ontwerpberging voor fosfaat en niet een maximale drukval over het filterbed. Bij concentraties in de afloop nabezinktank lager dan 0,3 mg P/l kan een regeling op maximale drukval wel worden toegepast.
- door de looptijd van het Fuzzy Filter te baseren op een maximale ontwerpberging voor fosfaat is het mogelijk een goede filtraat kwaliteit, waarbij wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde totaalfosfaat 0,15 mg P/l, te realiseren.

Een belangrijke onbeantwoorde vraag in dit onderzoek is waarom in het Fuzzy Filter metaalgebonden fosfaatvlokken slechts beperkt worden geborgen. Een tweede onbeantwoorde vraag is waarom metaalgebonden fosfaat tijdens een run doorslaat, terwijl het aan het begin van een run goed wordt verwijderd.

De exacte werking van het Fuzzy Filter voor de afvang van metaalgebonden fosfaatvlokken is nog onbekend. Aan het begin van de run wordt het metaalgebonden fosfaat en andere

zwevende stof verwijderd in het onderste gedeelte van het Fuzzy Filter. Fosfaatverwijdering en drukopbouw in dit onderste gedeelte leidt tot een goede fosfaatverwijdering en lage fosfaatconcentraties in het filtraat. Tijdens het verloop van een run blijkt dat ook in hogere gedeeltes van het Fuzzy Filter drukopbouw optreedt en fosfaat en zwevende stof wordt verwijderd. Dit gaat echter gepaard met doorslag van fosfaat en oplopende totaalfosfaatconcentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter. Dit suggereert dat de hoogste verwijderingscapaciteit voor fosfaat onderin het filter aanwezig is. Er zijn hiervoor echter geen harde bewijzen. De doorslag van fosfaat wordt voornamelijk veroorzaakt door het metaalgebonden fosfaat. Organisch gebonden fosfaat lijkt minder door te slaan dan metaalgebonden fosfaat. Naarmate de run van een Fuzzy Filter langer duurt, loopt de totaalfosfaatconcentratie in het filtraat steeds verder op totdat een min of meer constante eindconcentratie is bereikt. De hoeveelheid fosfaat die op dat moment in het Fuzzy Filter wordt verwijderd lijkt redelijk overeen te stemmen met de hoeveelheid fosfaat die wordt verwijderd als er geen chemicaliën wordt gedoseerd. Dit suggereert dat de verwijdering op dat moment geassocieerd kan worden met het fosfaat aanwezig in de zwevende stof (slibdeeltjes) in de afloop nabezinktank. Ondanks het feit dat doorslag van metaalgebonden fosfaatvlokken in het Fuzzy Filter optreedt, is het mogelijk om het Fuzzy Filter zodanig te bedienen dat het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat, 0,15 mg P/l.

7.4 ONTWERP FUZZY FILTER FOSFAATVERWIJDERING

7.4.1 INLEIDING

Uit de resultaten blijkt duidelijk dat de looptijd van een Fuzzy Filter bepaald wordt door de mate waarin fosfaat kan worden geborgen. Bij een beperkte fosfaatberging is de looptijd korter en wordt de geïnstalleerde filtratieoppervlakte niet zozeer hydraulisch bepaald – Fuzzy Filters kunnen hoge hydraulische belastingen aan – maar door het feit dat er voldoende tijd moet zijn voor de bedrijfsvoering en spoelen van het filter.

7.4.2 ONTWERPGRONDSLAGEN

Voor het ontwerp van het Fuzzy Filter is uitgegaan van de volgende uitgangspunten en ontwerpgrondslagen:

- ontwerpcapaciteit Fuzzy Filtratie 1,5 x DWA en 3 x DWA;
- verhouding orthofosfaat en totaalfosfaat in aanvoer Fuzzy Filter 0,65;
- ontwerpberging orthofosfaat in een Fuzzy Filter 7,5 g o-PO₄-P/m² filteroppervlakte;
- spoeltijd Fuzzy Filter 18 minuten en 7 minuten naspoelen. Naspoelen geschiedt met verhoogd debiet om de naspoeltijd te minimaliseren. Naspoelvolumen bedraagt 2,4 keer volume inhoud Fuzzy Filter;
- maximale hydraulische belasting Fuzzy Filter ca. 65 - 75 m/h;
- afhankelijk van de looptijd en het aantal gedimensioneerde Fuzzy Filters op basis van de maximale hydraulische belasting, worden indien nodig extra filters bijgeplaatst zodat een normale bedrijfsvoering mogelijk is.

Voor het ontwerp is uitgegaan van een viertal zuiveringen, te weten 10.000 i.e., 50.000 i.e., 100.000 i.e. en 150.000 i.e. à 136 g TZV. Bij de berekeningen is uitgegaan van een DWA debiet 750 m³/h voor een zuivering van 100.000 i.e.

7.4.3 ONTWERP FUZZY FILTRATIE

Het ontwerp van de Fuzzy Filtratie is weergegeven in tabel 10. Een voorbeeld ontwerpberekening is gegeven in bijlage 8.

Uit tabel 10 blijkt dat afhankelijk van de looptijd van de Fuzzy Filters extra Fuzzy Filters worden bijgeplaatst. Dit betekent dat er meer filtratiecapaciteit wordt geïnstalleerd dan nodig is op basis van een maximale hydraulische belasting.

De fosfaatbelasting varieert afhankelijk van de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank en de ontwerpbelasting van 0,1 tot 0,4 kg P/m³ filter per dag. Deze belasting is gebaseerd op het geïnstalleerde aantal Fuzzy Filters inclusief extra filters. Voor zandfilters wordt doorgaans uitgegaan van een maatgevende fosfaatbelasting van 0,25 (continue filters) tot 0,30 (discontinue filters) kg P/m³ bed per dag¹⁹.

Verder blijkt dat spoelwaterproductie bij Fuzzy Filters hoog is. Bij een totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank van 0,5 en 0,7 mg P/l bedraagt de spoelwaterproductie 0,3 tot 0,6 m³/m³ gefilterd water. Voor zandfilters is dit 0,07 tot 0,1 m³/m³. Alleen bij lage totaalfosfaatconcentraties in de afvoer nabezinktank (0,3 mg P/l) is de spoelwaterproductie bij Fuzzy Filters (0,08 m³/m³) vergelijkbaar met zandfilters. Door de relatief korte looptijden bij Fuzzy Filters zullen onder RWA condities continu Fuzzy Filters worden gespoeld. Dit betekent dat er continue spoelwater wordt terug geleid naar de waterlijn van de rwzi. Hierdoor neemt de hydraulische belasting van de rwzi toe. Deze extra hydraulische belasting bedraagt 30 tot 50% van de afvalwateraanvoer naar de rwzi onder RWA condities.

¹⁹ Filtratie technieken rwzi's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. Stowa 2006-21.

TABEL 10 ONTWERP FUZZY FILTRATIE MET ONTWERPCAPACITEIT

A) 3 X DWA

rwzi	i.e. à 136 g TZV	10.000	50.000	100.000	150.000
fosfaatconcentraties afloop nabezinktank					
totaal fosfaat	mg/l	0,7	0,5	0,3	0,7
ortho fosfaat	mg/l	0,46	0,33	0,2	0,46
ontwerp capaciteit	m ³ /h	225	1.125	2.250	3.375
hydraulische belasting maximaal	m/h	75	75	75	75
Fuzzy Filter type	[-]	4	7	7	7
ontwerp berging fosfaat	g o-PO ₄ /m ² filteroppervlakte	7,5	7,5	7,5	7,5
Dimensionering					
aantal filters – hydraulisch	[-]	2	2	2	2
extra filters	[-]	3	2	1	1
totaal aantal filters geïnstalleerd	[-]	5	4	3	3
filtratie oppervlakte geïnstalleerd	m ²	7,5	6	4,5	3,2
spoelwaterverbruik	m ³ /m ³ gefilterd water	0,57	0,33	0,08	0,08
energieverbruik	kWh/m ³ gefilterd water	0,06	0,04	0,03	0,03
belasting *)	kg P/m ³ dag	0,16	0,14	0,11	0,08
hydraulische belasting **)					
nominaal	m/h	25	25	23	23
maximaal	m/h	75	75	70	70
Looptijden per filter					
- RWA	min	19	34	132	21
- DWA	min	58	102	396	63
spoelwaterdebiet					
- RWA	m ³ /h	165	128	90	680
percentage (%) van RWA aanvoer		72	56	40	39

*) De maatgevende belasting is gebaseerd op de geïnstalleerde filtratiecapaciteit, inclusief extra filters, en een compressie van 30%.

**) De hydraulische belasting is gebaseerd op het aantal filters in bedrijf, exclusief extra filters.

B) 1,5 x DWA

rwzi	i.e. à 136 g TZV	10.000	50.000	100.000	150.000
fosfaatconcentraties afloop nabezinktank					
totaa fosfaat	mg/l	0,7	0,3	0,7	0,3
ortho fosfaat	mg/l	0,46	0,33	0,46	0,33
ontwerp capaciteit	m ³ /h	112,5	562,5	1.125	1.687
hydraulische belasting maximaal	m/h	75	75	75	75
Fuzzy Filter type	[-]	4	7	7	7
ontwerpberging fosfaat	g o-PO ₄ /m ² filteroppervlakte	7,5	7,5	7,5	7,5
Dimensionering					
aantal filters – hydraulisch	[-]	1	1	2	4
extra filters	[-]	2	1	3	4
totaal aantal filters geïnstalleerd	[-]	3	2	5	8
filtratie oppervlakte geïnstalleerd	m ²	4,5	3	20	32
spoelwaterverbruik	m ³ /m ³ gefilterd water	0,55	0,33	0,57	0,33
energieverbruik	kWh/m ³ gefilterd water	0,06	0,04	0,06	0,06
belasting *)	kg P/m ³ dag	0,22	0,24	0,30	0,37
hydraulische belasting **)					
nominaal	m/h	51	51	47	47
maximaal	m/h	76	76	70	70
Looptijden per filter					
- RWA	min	29	51	198	31
- DWA	min	19	34	132	21
spoelwaterdebiet					
- RWA	m ³ /h	127	90	90	540
percentage (%) van RWA aanvoer		56	40	40	36

*) De maatgevende belasting is gebaseerd op de geïnstalleerde filtratiecapaciteit, inclusief extra filters, en een compressie van 30%.

**) De hydraulische belasting is gebaseerd op het aantal filters in bedrijf, exclusief extra filters.

Het energieverbruik bij Fuzzy Filters bedraagt afhankelijk van de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank 0,03 tot 0,06 kWh per m³ gefilterd water. Voor zandfilters is dit circa 0,075 kWh/m³ (continue zandfiltratie) en 0,05 kWh/m³ (discontinue zandfiltratie). Energieverbruik bij Fuzzy Filters is gunstiger dan bij zandfilters.

Bij een ontwerp hogere fosfaatberging dan de 7,5 g o-PO₄-P/m² filteroppervlakte gebruikt in dit ontwerp zal de looptijd van het Fuzzy Filter toenemen. Echter ook bij hogere ontwerpbergingen blijven de looptijden bij totaalfosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank hoger dan 0,5 mg P/l kort. Slechts bij lagere totaalfosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank (lager of gelijk dan 0,3 mg P/l) is er sprake van langere looptijden van meer dan 6 uur.

7.5 EINDEVALUATIE

In deze studie is onderzoek verricht naar de mogelijke toepassing van Fuzzy Filters voor de vergaande verwijdering van fosfaat. De belangrijkste bevindingen zijn:

- Fuzzy Filters hebben een gelimiteerde capaciteit voor de verwijdering van fosfaat. De berekende bergingscapaciteit van het Fuzzy Filter in dit onderzoek fluctueerde echter aanzienlijk. De minimale capaciteit waarbij het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat 0,15 mg P/l bedraagt circa 7,5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte, en kan beschouwd worden als een veilige waarde voor een ontwerp. De looptijd van het Fuzzy Filter wordt bepaald door de orthofosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank, het aanvoerdebiet en het filtratieoppervlakte van de Fuzzy Filters.
- als de looptijd van het Fuzzy Filter gebaseerd wordt op bovengenoemde bergingscapaciteit, is het mogelijk fosfaat zodanig te verwijderen dat het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l. De berekende looptijden variëren afhankelijk van de fosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank. Onder DWA condities variëren de looptijden van 60 (bij 0,7 mg P/l afloop nabezinktank) tot 425 minuten (0,3 mg P/l afloop nabezinktank). Onder RWA condities is dit 20 en 142 minuten;
- door de kortere looptijden bij Fuzzy Filters zullen onder RWA condities continu Fuzzy Filters worden gespoeld. Hierdoor neemt de hydraulische belasting van de rwzi sterk toe. De extra belasting door spoelen van Fuzzy Filters bedraagt, bij een totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank 0,5 – 0,7 mg P/l, circa 30 -50% van de RWA aanvoer bij een ontwerpcapaciteit van de Fuzzy Filters van 3 x DWA. Bij een ontwerpcapaciteit 1,5 x DWA is dit circa 15-40%.
- met Fuzzy Filtratie kunnen hoge hydraulische (tot 70 - 75 m/h) belastingen bij fosfaatverwijdering worden toegepast, waarbij een goede fosfaatverwijdering mogelijk is;
- Fuzzy Filters hebben een lager energieverbruik dan zandfilters;
- Fuzzy Filters hebben een hogere spoelwaterproductie dan zandfilters;
- Fuzzy Filters worden gekarakteriseerd door het gegeven dat tijdens een run fosfaat doorslaat. Aan het begin van een run wordt fosfaat goed verwijderd en zijn de concentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter laag. Fosfaat wordt in deze fase voornamelijk in het onderste gedeelte van het Fuzzy Filter verwijderd. Al naar gelang een run langer duurt wordt fosfaat ook in hogere delen van het Fuzzy Filter verwijderd. Dit laatste gaat echter gepaard met een toenemende doorslag van fosfaat en oplopende fosfaatconcentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter. De doorslag van fosfaat gaat door totdat er een min of meer constante mate van fosfaatverwijdering optreedt. Deze verwijdering lijkt te corresponderen met de te verwachten fosfaatverwijdering op basis van de verwijdering van zwevende stof (slibdeeltjes) in de afloop nabezinktank;

- de doorslag van fosfaat bij Fuzzy Filters wordt voornamelijk veroorzaakt door doorslag van het metaalgebonden fosfaat. Dit metaalgebonden fosfaat wordt gevormd vanuit het orthofosfaat in de afloop nabezinktank tijdens de coagulatie-flocculatiestap en is deels in de afloop nabezinktank aanwezig;
- in dit onderzoek bleek een Me/P (molaire) verhouding 5 voldoende om orthofosfaat goed te verwijderen en om te zetten in metaalgebonden fosfaat. Wel moet bij lage orthofosfaat-concentraties in de afloop nabezinktank rekening worden gehouden met een minimaal benodigde hoeveelheid coagulant om vlokken te vormen. Met de verschillende geteste coagulanten (poly-ijzerchloride, FeCl_3 en poly-aluminiumchloride) verliep de vlokvorming goed. Er worden voornamelijk vlokken groter dan $5\text{ }\mu\text{m}$ gevormd. Indien naast coagulant ook PE wordt gedoseerd worden er zelfs nog grotere vlokken gevormd. Of PE dosering noodzakelijk is om aan de eisen te voldoen is nog niet éénduidig vastgelegd. Bij hogere watertemperaturen is PE dosering niet nodig. Bij lagere watertemperaturen (winterperiode) is dit nog niet duidelijk. Dit zou proefondervindelijk nog moeten worden vastgesteld;
- het exacte filtratiemechanisme in Fuzzy Filters is nog onbekend. Er treedt in ieder geval geen koekfiltratie op;
- er zijn geen aanwijzingen gevonden dat in het Fuzzy Filter vlokdesintegratie optreedt;
- ontwerpgrondslagen voor toepassing van Fuzzy Filters verdienen nog aandacht. Vooral de maatgevende fosfaatbelasting of fosfaatberging in het Fuzzy Filter moet nog beter worden vastgelegd. Deze fosfaatberging is belangrijk omdat deze de looptijd van het filter bepalen. Deze looptijd is van invloed op de geïnstalleerde filtratiecapaciteit. Bij kortere looptijden zal meer filtratiecapaciteit worden geïnstalleerd dan nodig op basis van de hydraulische belastingen;
- de in dit onderzoek geteste ontwerp fosfaatberging $7,5\text{ g o-PO}_4\text{-P/m}^2$ filteroppervlakte blijkt te voldoen. Of een hogere ontwerpberging mogelijk is zal proefondervindelijk worden vastgesteld. Bij de in dit onderzoek geteste fosfaatberging bleek dat de effluentstreefwaarde totaalfosfaat $0,15\text{ mg P/l}$ in het filtraat van het Fuzzy Filter haalbaar is. Verder blijkt dat onder deze condities het spoelwaterverbruik bij Fuzzy Filters aanzienlijk hoger is dan bij zandfilters en dat door de continue spoelwaterproductie de rwzi hydraulische zwaarder wordt belast. Energieverbruik bij Fuzzy Filters is lager dan bij zandfilters.

8

RESULTATEN STIKSTOFVERWIJDERING

8.1 INLEIDING

Fuzzy Filtratie is mogelijk een alternatief voor zandfiltratie om uit rwzi effluent vergaand stikstof te verwijderen. Om Fuzzy Filtratie te beoordelen zijn technische haalbaarheid en financiële haalbaarheid doorslaggevende parameters. Technische haalbaarheid geeft aan of de doelstelling, zijnde vergaande stikstofverwijdering bereikt kan worden; financiële haalbaarheid geeft aan of Fuzzy Filtratie economisch (investeringen, exploitatie) competitief is met gangbare processen om stikstof te verwijderen, te weten discontinue zandfiltratie.

8.2 RANDVOORWAARDEN STIKSTOFVERWIJDERING MET FUZZY FILTERS

Voor een goede denitrificatie in het Fuzzy Filter moet voldaan worden aan de volgende voorwaarden:

- aanwezigheid van nitraat;
- aanwezigheid van een snel afbreekbaar substraat in de vorm van een koolstofbron;
- afwezigheid van zuurstof;
- aanwezigheid van een denitrificerende biomassa (biofilm);
- hechtingsoppervlak voor biofilm.

Naast bovengenoemde voorwaarden moet bij de eerste opstart de watertemperatuur hoger zijn dan circa 15°C om een stabiele initiële hechting van de biomassa te realiseren. Bij lagere temperaturen is er een kans dat er een omkeerbare biomassa hechting optreedt²⁰.

Heterotrofe micro-organismen winnen hun energie uit de oxidatie van organische stof, waarbij onder anoxische omstandigheden nitriet en/of nitraat als elektronenacceptoren kunnen fungeren. Theoretisch is er 2,86 kg CZV nodig voor de reductie van één kg NO₃-N. In dit onderzoek is gewerkt met acetol en methanol als koolstofbron. De methanoldosering bedroeg 3,2 kg methanol per kg N, dit komt overeen met een CZV/N verhouding 4,8.

In het Fuzzy Filter zal biomassa zich hechten aan de Fuzzy bollen en hierbij een biofilm vormen. Deze biofilm zal aangroeien tot een zekere dikte. Dit betekent dat op enig moment een gedeelte van de bacteriën (in de biofilm) geen vrij contact heeft met de langsstromende vloeistof, en dat het substraat naar de bacteriën toe getransporteerd moet worden door diffusie. Voor een uitleg van theorieën aangaande het massatransport in biofilms wordt verwezen naar meer specifieke literatuur²¹.

²⁰ De la Rúa, A., González-López, J., Gómez Nieto, M.A. Influence of temperature on inoculation and startup of a groundwater-denitrifying submerged filter. *Environmental Engineering Science*, vol. 25 (2), 2008

²¹ Harremoës P 1978. Biofilm kinetics. In: *Water Pollution Microbiology*, vol 2 (R Mitchel, ed), pp 82-109. John Wiley & Sons, New York.

De parameters die van invloed zijn op denitrificatie in Fuzzy Filters kunnen worden ingedeeld in twee groepen.

Bij de eerste groep gaat het om de transport- en reactieprocessen in de biofilm op microniveau en bij de tweede groep gaat het om de specifieke reactorcondities van het biofilmsysteem. De belangrijkste parameters zijn weergegeven in tabel 11.

TABEL 11

PARAMETERS VAN INVLOED OP DENITRIFICATIE IN FUZZY FILTERS

Biofilm parameters	Reactorkarakteristieken
Concentraties opgeloste stoffen (CZV, NO _x , O ₂)	Specifiek oppervlak
Concentraties onopgeloste stoffen (droge stof, heterotrofen)	Reactorconfiguratie
Diffusie- en verzadigingscoëfficiënten (CZV, NO _x , O ₂)	Hydraulisch regime
Maximale groeisnelheden van de bacteriën	Biofilmerosie
Biofilmdikte en -dichtheid	Biofilmbegrazing

8.2.1 KINETIEK VAN DE DENITRIFICATIE

In die situatie waarbij methanol als koolstofbron gedoseerd wordt, verloopt de denitrificatie volgens de volgende reactievergelijking:



Monod kinetiek

De kinetiek van denitrificatie kan beschreven worden met de Monodvergelijking voor de microbiële groei:

$$\mu_{\text{NO}_3^-} = \mu_{\text{max}, \text{NO}_3^-} \times \frac{[\text{NO}_3^-]}{K_{\text{NO}_3^-} + [\text{NO}_3^-]} \times \frac{[\text{CZV}]}{K_{\text{CZV}} + [\text{CZV}]} \quad (2)$$

Met	$\mu_{\text{NO}_3^-}$	= specifieke groeisnelheid voor denitrificeerders (dag ⁻¹)
	$\mu_{\text{max}, \text{NO}_3^-}$	= maximale groeisnelheid voor denitrificeerders (dag ⁻¹)
	$[\text{NO}_3^-]$	= nitraatconcentratie (mg NO ₃ -N/l)
	$K_{\text{NO}_3^-}$	= halfverzadigingsconcentratie ²² voor nitraat (mg NO ₃ -N/l)
	$[\text{CZV}]$	= CZV concentratie (mg CZV/l)
	K_{CZV}	= halfverzadigingsconcentratie voor CZV (mg CZV/l)

22 Halfverzadigingsconcentratie is de concentratie van een betreffende stof waarbij de omzettingssnelheid nog maar de helft van de maximale omzettingssnelheid is.

Indien zuurstof aanwezig is, zal het denitrificatieproces hierdoor geremd worden, omdat de oxidatiereactie met zuurstof meer energie oplevert dan met nitriet en/of nitraat als elektronenacceptor. De remming van denitrificatie door de aanwezigheid van zuurstof kan volgens de Monod kinetiek als volgt uitgedrukt worden:

$$\frac{K_{O_2,r}}{K_{O_2,r} + [O_2]} \quad (3)$$

Met $K_{O_2,r}$ = constante voor denitrificatie remming (mg O₂/l)
 $[O_2]$ = zuurstofconcentratie (mg O₂/l)

De totale Monodvergelijking voor de microbiële groei met denitrificatie, inclusief remming door aanwezig zuurstof wordt:

$$\mu_{NO_3^-} = \mu_{\max, NO_3^-} \times \frac{[NO_3^-]}{K_{NO_3^-} + [NO_3^-]} \times \frac{[CZV]}{K_{CZV} + [CZV]} \times \frac{K_{O_2,r}}{K_{O_2,r} + [O_2]} \quad (4)$$

Voor de zuurstoffremmingsconcentratie $K_{O_2,r}$ wordt 0,2 mg O₂/l aangegeven, voor de K_{CZV} 14 mg CZV/l, voor $K_{NO_3^-}$ 0,5 mg NO_x-N/l en voor maximale groeisnelheid van denitrificeerders $\mu_{\max, NO_3^-}$ 0,52 dag⁻¹ bij 10°C en 1,86 dag⁻¹ bij 20°C²³.

De maximale groeisnelheid van denitrificeerders is temperatuursafhankelijk. Deze kan berekend worden met de volgende formule:

$$\mu_{\max, T} = \mu_{\max, 10} \times 1,072^{(T-10)} \quad (5)$$

Met = maximale groeisnelheid bij temperatuur T (°C)
 = maximale groeisnelheid (2,4/dag) bij 10°C

De opgegeven waarden voor de halfverzadigingsconcentraties en remmingsconcentraties zijn voor actief slibsystemen.

BIOFILMKINETIEK

Voor biofilm op dragermateriaal zijn de kinetische parameters vaak anders in verband met de biofilmdikte. In een biofilm wordt de concentratie van een component bepaald door de diffusie van die component in de biofilm en de omzetting ervan door de bacteriën. Samen levert dit een tweede-orde differentiaalvergelijking:

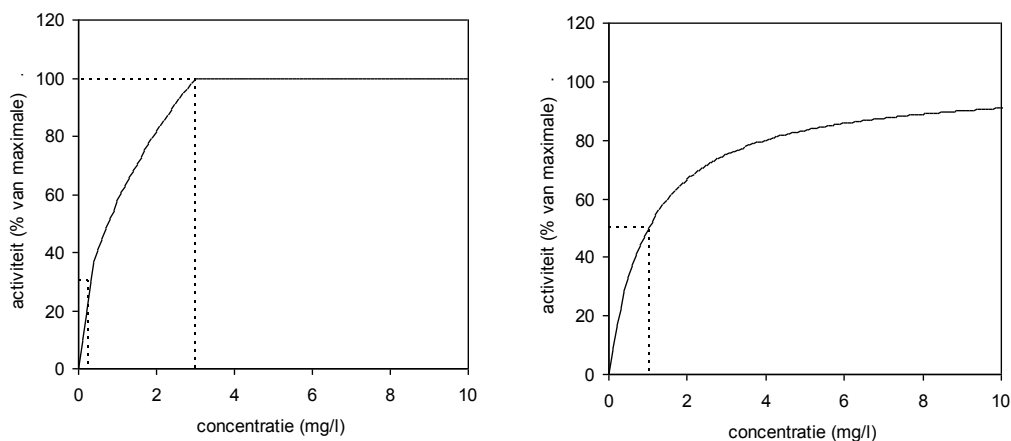
$$\frac{d^2c}{dz^2} = \frac{r_f L^2}{DC^*} \quad (6)$$

23 Henze, M et al., Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3 by IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for design and Operation of Biological Wastewater Treatment. Scientific and Technical Reports no. 9, IAWPRC, London, (2000)

Met	c	= de dimensieloze substraatconcentratie C/C^* in de biofilm (-);
	C	= de substraatconcentratie in de biofilm (kg/m^3);
	C^*	= de substraatconcentratie in de vloeistof (kg/m^3);
	D	= de diffusiecoëfficiënt (m^2/s);
	z	= de dimensieloze afstand x/L tot de rand van de biofilm (-);
	L	= de dikte van de biofilm (m);
	x	= de afstand in de biofilm (m);
	r_f	= de flux van substraat naar de biofilm ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

Het voert te ver om de oplossing van deze vergelijking in detail te bespreken. De oplossing levert voor de verwijderingssnelheid een eerste-orde, een halfde-orde en een nulde-orde gedeelte, met abrupte overgangen tussen de verschillende vergelijkingen. De uitkomst voor de verwijderingssnelheid als functie van de concentratie in de vloeistof is schematisch gegeven in figuur 27.

FIGUUR 27 VERLOOP VAN DE CAPACITEIT ALS FUNCTIE VAN DE INFLUENTCONCENTRATIE VOLGENS EEN GEMENGDE EERSTE-, HALFDE- EN NULDE-ORDEKINETIEK (MET DE MAXIMALE ACTIVITEIT EN DE OVERGANGSCONCENTRATIE ALS BESCHRIJVENDE PARAMETERS) EN DE HYPERBOLISCHE (MONOD-)KINETIEK (MET DE SCHIJNBARE HALFWAARDECONCENTRATIE K_S EN DE MAXIMALE ACTIVITEIT μ_{MAX} ALS BESCHRIJVENDE PARAMETERS)



De verwijderingssnelheid is voor zeer lage concentraties - tot 0,5 - 2,0 maal de halfwaardeconstante K_S uit de Monodvergelijking - recht evenredig met de concentratie (eerste orde). In een bepaald gebied is de verwijderingssnelheid evenredig met de wortel van de concentratie (halfde-orde). Boven een bepaalde concentratie is de verwijderingssnelheid onafhankelijk van de concentratie (nulde orde).

Voor praktijkomstandigheden betekent dit dat onder gebruikelijke condities de biofilm zo dik is, dat in de diepere lagen substraatlimitatie heerst. Onder deze condities is de activiteit van de totale biomassa evenredig met de wortel uit de substraatconcentratie. Is de biofilm minder dik of is de substraatconcentratie hoger, dan is de biofilm volledig voorzien van substraat en bereikt de biomassa zijn maximale activiteit.

Tot aan een bepaalde concentratie is de activiteit van een biofilmreactor evenredig met de wortel uit de influentconcentratie en boven die concentratie is de activiteit constant.

Deze overgangskoncentratie hangt voor verschillende biofilms af van de dikte en dichtheid van de biofilm, de relatieve bijdrage van de voor de betreffende component relevante bacteriën in de biofilm, de halfverzadigingsconcentratie van die component en de diffusiecoëfficiënt van die component in de biofilm. De beschrijving van de activiteit als functie van de concentratie kan ook goed worden benaderd door een hyperbolische functie²⁴. Bij de hyperbolische wordt uitgegaan van een schijnbare halfverzadigingsconstante en wordt verder de Monod systematiek gebruikt. Beide benaderingen zijn schematisch weergegeven in figuur 27.

Uit de gelijkenis tussen de twee curven in figuur 27 blijkt dat het verschil onder de meeste praktijkomstandigheden niet waarneembaar zal zijn. Het verschil in de beschrijving van de capaciteit van biofilmreactoren tussen de beide benaderingen is het grootst rond de overgangskoncentratie en kan dan ongeveer 20% bedragen (zie figuur 27). Een aantal parameters voor een biofilter met een biofilmdikte van 100 - 300 µm, is als voorbeeld gegeven in tabel 12.

TABEL 12

VOORBEELD VAN DE KINETISCHE PARAMETERS VAN EEN BIOFILM (100-300 µM DIK). GEGEVENS ONTLEEND AAN TOETTRUP ET AL²⁵

Component	Denitrificatie		Eenheid
	NO _x -N	CZV	
Reactieconstante	1,2	2,5	g ^{1/2} .m ^{-1/2} .d ⁻¹
Overgangskoncentratie	1,4	9,4	mg/l
Diffusiecoëfficiënt	1,5	1,2	10 ⁻⁹ m ² /s

Voor denitrificatie in een Fuzzy Filter kunnen methanol en nitraat beide limiterend zijn. Omdat gestreefd wordt naar lage effluentconcentraties voor nitraat en overdosering van methanol zoveel mogelijk vermeden wordt, is de verwachting dat het denitrificatieproces nitraat en methanol gelimiteerd zal verlopen. De capaciteit van het filter is dan aanzienlijk lager dan de maximale capaciteit.

8.2.2 GROEI VAN BIOMASSA GEDURENDE DENITRIFICATIE

Tijdens denitrificatie zal groei van biomassa plaatsvinden. De groei zal naast de (maximale) groeisnelheid afhankelijk zijn van de hoeveelheid CZV die geoxideerd wordt met behulp van nitraat. Met methanol als C-bron bedraagt de biomassa-toename circa 0,17-0,18 g organische stof per g CZV. Uitgaande van een methanoldosering van 5 g CZV per kg N is de biomassaopbrengst circa 0,85 - 0,9 g organische stof per g N.

8.2.3 DENITRIFICATIECAPACITEIT BIOMASSA

Het Fuzzy Filter zal in de evenwichtsituatie een bepaalde hoeveelheid biomassa bevatten. Deze biomassa zal een bepaalde denitrificatiecapaciteit bezitten. Bij niet substraatgelimiteerde denitrificatie is de omzettingssnelheid 3,1 (10°C) en 10,3 (20°C) g CZV per g organische stof per dag.

In de praktijk zal deze snelheid niet gerealiseerd worden, omdat in de biofilm in het Fuzzy Filter substraatlimitatie van methanol en nitraat zal optreden.

²⁴ Tschui M, M Boller, W Gujer, J Eugster, C Mäder & C Stengel 1993. Tertiary nitrification in aerated pilot biofilters. Presented 2nd Int Specialized Conf on Biofilm Reactors, 29 september - 1 oktober 1993, Paris, France, pp 109-116.

²⁵ Toettrup H, F Rogalla, A Vodal & P Harremoës 1993. The treatment trilogy of floating filters: from pilot to prototype to plant. Presented 2nd Int Specialized Conf on Biofilm Reactors, 29 september - 1 oktober 1993, Paris, France, pp 51-60.

8.2.4 TECHNISCHE ASPECTEN DENITRIFICATIE IN FUZZY FILTERS

Denitrificatie is een biologisch proces waarbij de snelheid wordt bepaald door de hoeveelheid denitrificerende biomassa die in het Fuzzy Filter kan worden vastgehouden. Omdat het Fuzzy Filter periodiek wordt gewassen, zal slechts die biomassa worden vastgehouden die zich hecht aan het dragermateriaal en bij wassen niet wordt verwijderd. Losliggende biomassa die zich tussen de Fuzzy ballen bevindt, zal tijdens het wasproces (grotendeels) worden verwijderd.

Om denitrificatie in Fuzzy Filters te sturen zijn er de volgende instrumenten:

- *garanderen afwezigheid of minimale aanwezigheid van zuurstof in toevoer van het Fuzzy Filter.* Denitrificatie is een anoxisch proces. In aanwezigheid van zuurstof moet deze eerst worden weg geoxideerd alvorens denitrificatie kan optreden. Oxidatie van zuurstof in het Fuzzy Filter gaat ten koste van de denitrificerende capaciteit van het Fuzzy Filter, immers een deel van de tijd wordt gebruikt voor zuurstofoxidatie en een deel van de biomassa is aërobe biomassa. Om zuurstofinslag voor de filtratiestap te minimaliseren is bij de gravitaire aanvoer gebruik gemaakt van een verdrongen overlaat, zodat er geen cascade werking kon optreden. Tijdens de experimenten bleek dat met deze aanvoerconstructie de zuurstofconcentratie in de aanvoer van het filter lager was dan 0,5 - 1 mg O₂/l;
- *compressiegraad van het Fuzzy Filter.* De compressiegraad bepaalt de mate waarin de Fuzzy ballen worden samengedrukt. Bij een lage compressiegraad liggen de Fuzzy ballen losser tegen elkaar waardoor meer ruimte tussen de Fuzzy ballen ontstaat. Hiernaast zullen bij een lagere compressiegraad de Fuzzy ballen een 'opener' structuur hebben, waardoor er in principe meer ruimte zou moeten ontstaan voor biomassahechting aan het dragermateriaal. Bij een hogere compressie worden de Fuzzy ballen meer samengedrukt. Het effect van de compressiegraad op biomassahechting is moeilijk voorspelbaar. Om het effect van compressiegraad op de biomassaontwikkeling en de denitrificatie in het Fuzzy Filter na te gaan zijn twee Fuzzy Filters opgestart met een lage (10%) en een hogere (30%) compressie;
- *wasprogramma.* Fuzzy Filters worden periodiek teruggespoeld. Tijdens dit terugspoelen zal naast afgevangen zwevende stof ook zich ontwikkelde biomassa deels worden weggespoeld. Om tijdens de opstartfase zoveel mogelijk biomassa in het filter vast te houden en de mogelijkheid te geven zich aan het dragermateriaal te hechten, is gekozen voor een mild wasprogramma bestaande uit de volgende stappen:
 - lucht en waterspoeling (10 m³/h) links en rechts 90 seconden;
 - lucht en waterspoeling (10 m³/h) links 90 seconden;
 - lucht en waterspoeling (10 m³/h) rechts 90 seconden;
 - lucht en waterspoeling (10 m³/h) links 90 seconden;
 - lucht en waterspoeling (10 m³/h) rechts 90 seconden;
 - lucht en waterspoeling (10 m³/h) links en rechts 90 seconden;
 - 2 m³ naspoeling met gekozen aanvoerdebiet.
- Tijdens het wasproces (eerste 6 stappen) gaat de stempel in het Fuzzy Filter 20 cm omhoog. De laatste stap (naspoeling) duurt 3 minuten bij een debiet van 25 m³/h en 15 minuten bij een debiet van 8 m³/h.
- *hydraulische belasting van het Fuzzy Filter.* De hydraulische belasting van het Fuzzy Filter bepaalt de beschikbare denitrificatietijd in het Fuzzy Filter. Hiernaast kan niet worden uitgesloten dat bij zeer hoge belastingen mogelijkwerwijs kortsluitstromingen optreden, zodat niet het gehele Fuzzy Filter wordt benut. Een hoge hydraulische belasting is echter een belangrijk voordeel van Fuzzy Filters in vergelijking met zandfilters;

- *nitraatbelasting van het Fuzzy Filter.* De maximale nitraatbelasting die kan worden toegepast hangt samen met de hoeveelheid biomassa die in het filter kan worden vastgehouden. Belangrijke parameters voor de vraag hoeveel biomassa in het filter wordt vastgehouden hangt samen met het gebruikte dragermateriaal voor biomassa hechting en het beschikbare volume. Bij zandfilters (dragermateriaal zand) wordt uitgegaan van een maximale nitraatbelasting van 2 kg N/m³.dag²⁶. In de praktijk blijkt doorgaans dat voor rwzi effluent het ontwerp van denitrificerende zandfilters bepaald wordt door de maximale hydraulische belasting en niet de nitraatbelasting. Voor het onderzoek naar denitrificatie in Fuzzy Filters is in eerste instantie uitgegaan van het standaard ontwerp met de standaard hoeveelheid Fuzzy ballen (= 80 cm ballenbed = 14.688 ballen) zoals deze ontwikkeld is voor de verwijdering van zwevende stof. Het is dus de vraag of hiermee voldoende biomassa in het Fuzzy Filter kan worden vastgehouden om een goede denitrificatie te krijgen waarbij (zeer) lage nitraatconcentraties in het effluent van het filter wordt gerealiseerd.

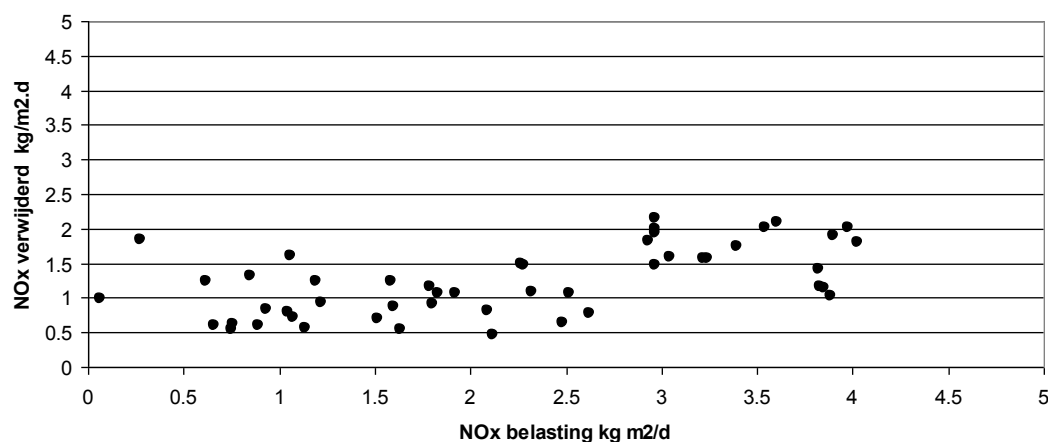
8.3 RESULTATEN STIKSTOFVERWIJDERING MET FUZZY FILTERS

8.3.1 OPSTART FUZZY FILTERS

De Fuzzy Filters zijn twee keer opgestart. In 2009 is een Fuzzy Filter zonder problemen opgestart met acetol als koolstofbron. Deze opstart verliep parallel aan het toen uitgevoerde onderzoek naar fosfaatverwijdering en had als doel om biomassa te kweken voor verder onderzoek naar denitrificatie. De belangrijkste resultaten tijdens dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 28. In 2009 werd een maximale capaciteit gehaald van circa 2 kg N/m² filteroppervlakte.dag.

FIGUUR 28

RESULTATEN OPSTART FUZZY FILTER VOOR DENITRIFICATIE IN 2009



Tijdens de winterperiode 2009 - 2010 zijn de Fuzzy Filters uit bedrijf genomen om vorstschade te voorkomen. Omdat daarna de watertemperaturen te laag waren om het Fuzzy Filter opnieuw op te starten, is het filter eind maart weer opgestart voor denitrificatie.

Bij deze heropstart, wederom met acetol als koolstofbron, bleek dit echter te leiden tot excessieve schimmeligroei waardoor denitrificatie in het Fuzzy Filter niet mogelijk bleek. Het optreden van schimmeligroei is indertijd ook geconstateerd bij het 1-step filter onderzoek in Horstermeer²⁷. Bij het 1-step filter onderzoek bleek dat schimmeligroei alleen voorkomen werd door methanol als koolstofbron toe te passen. De rest van de proeven zijn daarom uitgevoerd

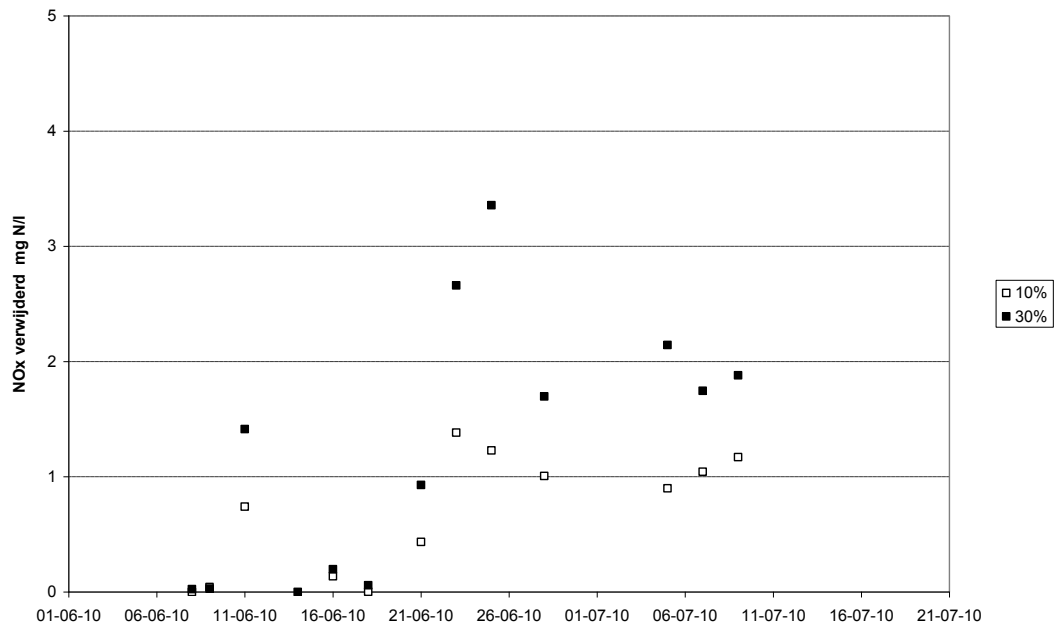
²⁶ Filtratietechnieken RWZI's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. STOWA 2006-21.

²⁷ Persoonlijke mededeling S. Scherrenberg.

met 10% methanol als koolstofbron. Er is echter geen verklaring gevonden waarom in 2009 een opstart met acetol wel mogelijk was en in 2010 niet.

Figuur 29 geeft de resultaten van de heropstart met 10 en 30% compressie in 2010.

FIGUUR 29 RESULTATEN OPSTART FUZZY FILTER VOOR DENITRIFICATIE IN 2010 BIJ 10 EN 30% COMPRESSIE EN 10% METHANOL ALS KOOLSTOFBRON



Uit figuur 29 blijkt dat bij 30% compressie een betere denitrificatie werd verkregen dan bij 10% compressie. Blijkbaar hecht zich meer biomassa bij 30% dan bij 10% compressie. Er zijn echter geen biomassadata of een biomassabalans tijdens deze periode gemaakt om de stelling te onderschrijven.

Het verdere onderzoek naar denitrificatie is uitgevoerd met 30% compressie in het Fuzzy Filter. Hierbij is getracht een antwoord te krijgen op de volgende onderzoeksvragen:

- wat is de denitrificerende capaciteit van het Fuzzy Filter;
- welke NOx-effluentconcentraties zijn realiseerbaar;
- wat is de maximale hydraulische en nitraatbelasting;
- hoeveel biomassa kan in het Fuzzy Filter worden vastgehouden.

De resultaten van dit vervolgonderzoek zijn in de volgende paragraaf gegeven.

8.3.2 RESULTATEN VERVOLGONDERZOEK DENITRIFICATIE

De testcondities tijdens het vervolgonderzoek zijn gegeven in tabel 13.

TABEL 13 TESTCONDITIES VERVOLGONDERZOEK DENITRIFICATIE IN FUZZY FILTER

Datum	Debiet (m ³ /h)	Compressie (%)	Onderzoeksaspect
9- 27 juli	8	25%	testen Fuzzy Filter onder ontwerpcondities Nieuw Vossemeer (22 m/h).
27-30 juli	15	22%	testen maximale hydraulische belasting.
30 juli – 4 augustus	4 – 6	20 %	testen haalbare concentratie NOx effluent.
12 augustus – 30 september	4 - 6	20 %	testen haalbare concentratie NOx effluent na verhoging hoeveelheid dragermateriaal; opstellen biomassabalans; vaststellen biomassahoeveelheid in Fuzzy Filter.

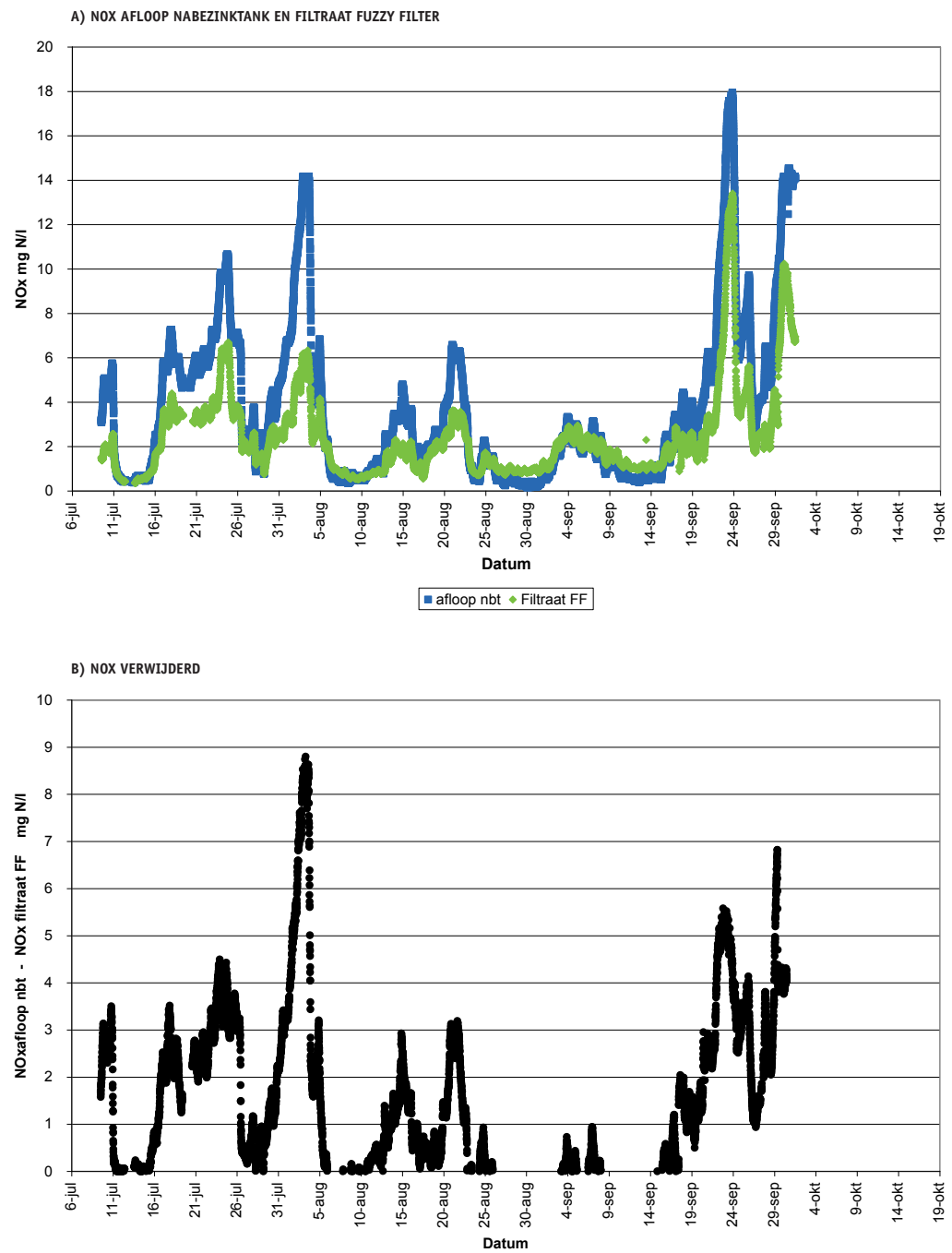
Uit tabel 13 blijkt dat aanvankelijk het onderzoek zich toespitste op denitrificatie onder ontwerpomstandigheden en vaststellen maximale hydraulische belastingen. Tijdens dit onderzoek bleek echter dat de denitrificatie onvoldoende verliep en voldoende lage NOx concentraties niet werden gerealiseerd. Er is daarop besloten om het debiet te verlagen om na te gaan of bij lagere belastingen de denitrificatie beter verliep waarbij zou worden voldaan aan de effluentstreefwaarde (totaalstikstof 2,2 mg N/l). Gedurende deze periode (30 juli - 14 augustus) bleek dat er geen significante verbetering van de denitrificatie waarneembaar was. Omdat de denitrificerende capaciteit van het Fuzzy Filter samenhangt met de hoeveelheid biomassa in het Fuzzy Filter is de hoeveelheid dragermateriaal verhoogd. De hoeveelheid Fuzzy ballen is op 12 augustus verhoogd van circa 15.000 ballen naar 26.000 ballen.

Figuur 30 geeft het verloop van de in- en uitgaande NOx concentraties gedurende de gehele periode weer.

Uit figuur 30 blijkt op hoofdlijnen:

- er is slechts een beperkte denitrificatie in het Fuzzy Filter;
- bij lagere NOx concentraties in de aanvoer naar het Fuzzy Filter wordt nitraat bijna niet meer verwijderd;
- bij hogere concentraties in de aanvoer naar het Fuzzy Filter wordt nitraat niet volledig verwijderd.

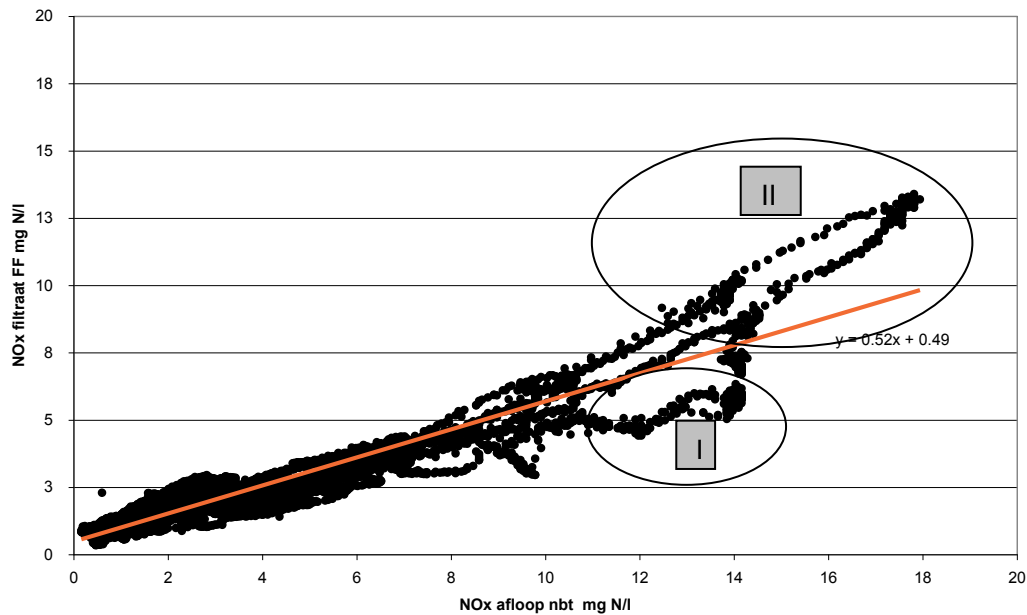
FIGUUR 30

VERLOOP NO_x AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT FUZZY FILTER, EN DE NO_x VERWIJDERD GEDURENDE DE GEHELE MEETPERIODE

Figuur 31 geeft de relatie tussen NO_x -in en NO_x -uit gedurende de gehele meetperiode.

FIGUUR 31

RELATIE NOX IN EN NOX UIT. I = ZONDER EXTRA DRAGERMATERIAAL, II = MET EXTRA DRAGERMATERIAAL



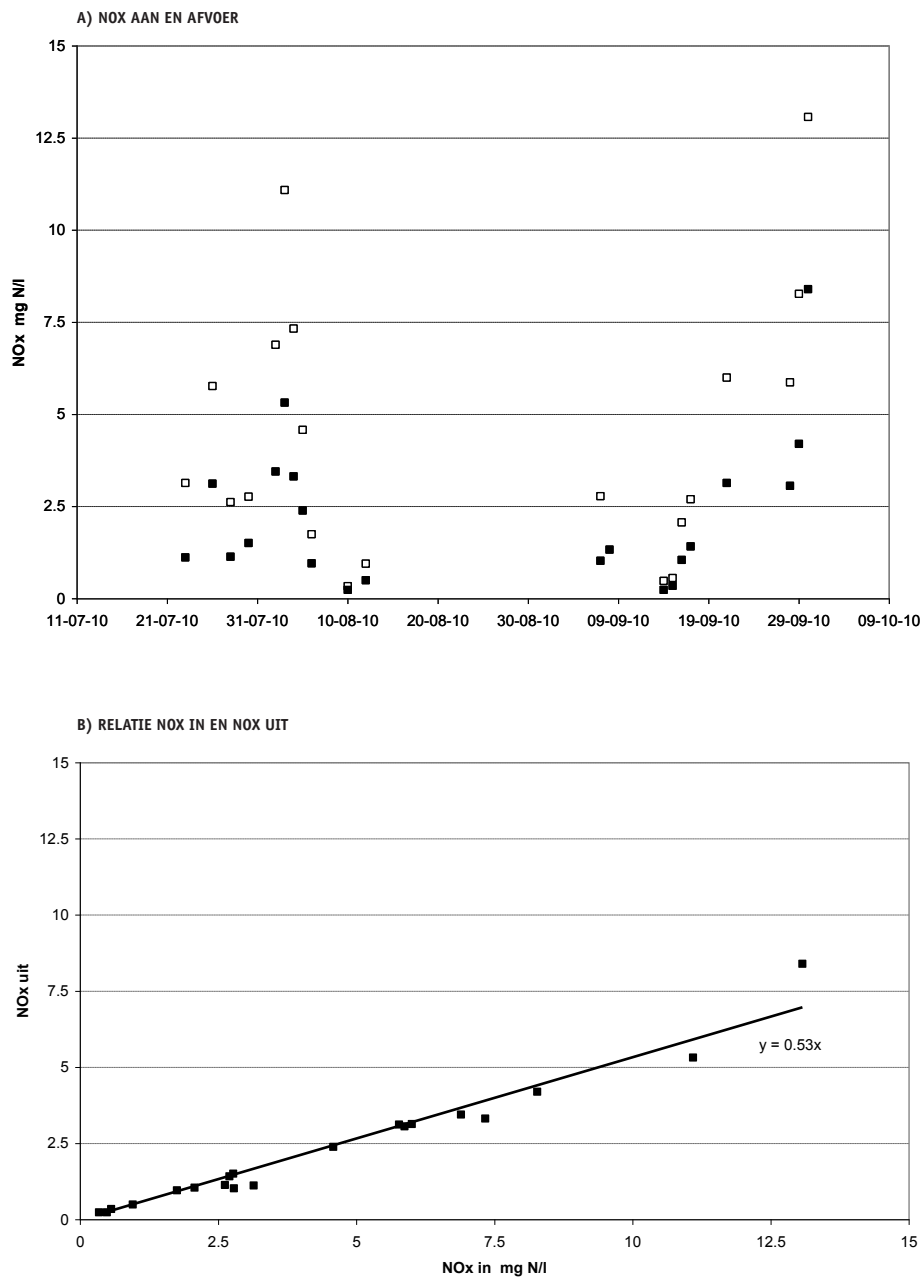
Figuur 31 suggereert dat circa de helft van de NOx in de toevoer van het Fuzzy Filter wordt verwijderd. De spreiding bij hogere NOx concentraties in de aanvoer is echter groot. Gedurende de periode rondom eind juli/begin augustus (= I in figuur 31) was de verwijdering van NOx bij hogere aanvoerconcentraties beter dan halverwege/eind september (= II in figuur 31). Het belangrijkste verschil tussen deze twee periodes is de aanwezigheid van extra dragermateriaal (Fuzzy bollen) tijdens de tweede periode.

Zowel uit figuur 30 als 31 blijkt dat het aanbrengen van extra Fuzzy ballen in het Fuzzy Filter (uitgevoerd 12 augustus) niet leidde tot een verbetering van de prestatie van het Fuzzy Filter. Het lijkt er zelfs op dat de prestaties minder waren dan in de voorgaande periode. De vraag kan daarom gesteld worden in hoeverre biomassa op de extra aangebrachte Fuzzy ballen is gegroeid.

De relatie tussen NOx in en NOx uit zoals weergegeven in figuur 31 is ook berekend voor de verschillende testcondities zoals vermeld in tabel 13. Hierbij bleek de relatie op hoofdlijnen gelijk aan dit gegeven in figuur 31. Bij hogere NOx concentraties in de aanvoer wordt circa 50% van de aangevoerd NOx verwijderd. Bij concentraties in de aanvoer lager dan circa 5 mg NOx/l loopt het rendement iets terug.

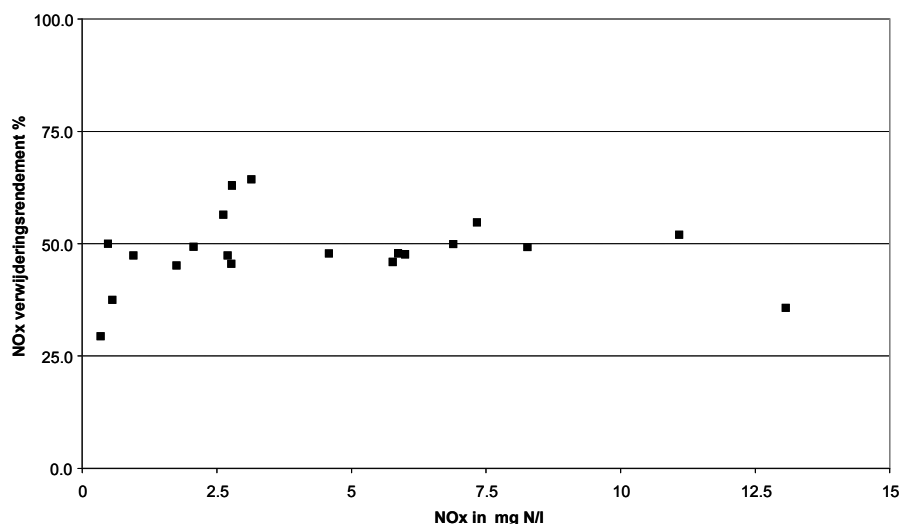
Tijdens de proeven bleek dat de nauwkeurigheid van de NOx-analyser in de afvoer (NOx uit) beperkt was en dat de analyser tot 0,5 mg N/l hoger aangaf dan controlemonsters die werden genomen. Dit verklaart ook de hogere gemeten NOx in de afvoer dan in de aanvoer van het Fuzzy Filter bij lagere aanvoerconcentraties (zie ook figuur 30). Naast de monitoring van het Fuzzy Filter op basis van de NOx analysers zijn ook 24-uurs verzamelmonsters van de toe- en afvoer van het Fuzzy Filter genomen en geanalyseerd. De resultaten hiervan zijn gegeven in figuur 32.

FIGUUR 32

VERLOOP NO_x-IN EN NO_x-UIT EN DE RELATIE NOX-IN VERSUS NOX-UIT GEDURENDE DE GEHELE MEETPERIODE

De resultaten met de verzamelmonsters bevestigen het beeld van NOx-analysers. In het Fuzzy Filter wordt, mits de concentratie in de aanvoer voldoende hoog is, circa de helft van de aangevoerde NOx verwijderd. Figuur 33 geeft de verwijderingsrendementen als functie van de NOx in de aanvoer.

FIGUUR 33 VERWIJDERINGSRENDEMENT ALS FUNCTIE NOX IN AFLOOP NABEZINKTANK



Uit figuur 33 kan worden opgemaakt dat het verwijderingsrendement circa 50% bedraagt.

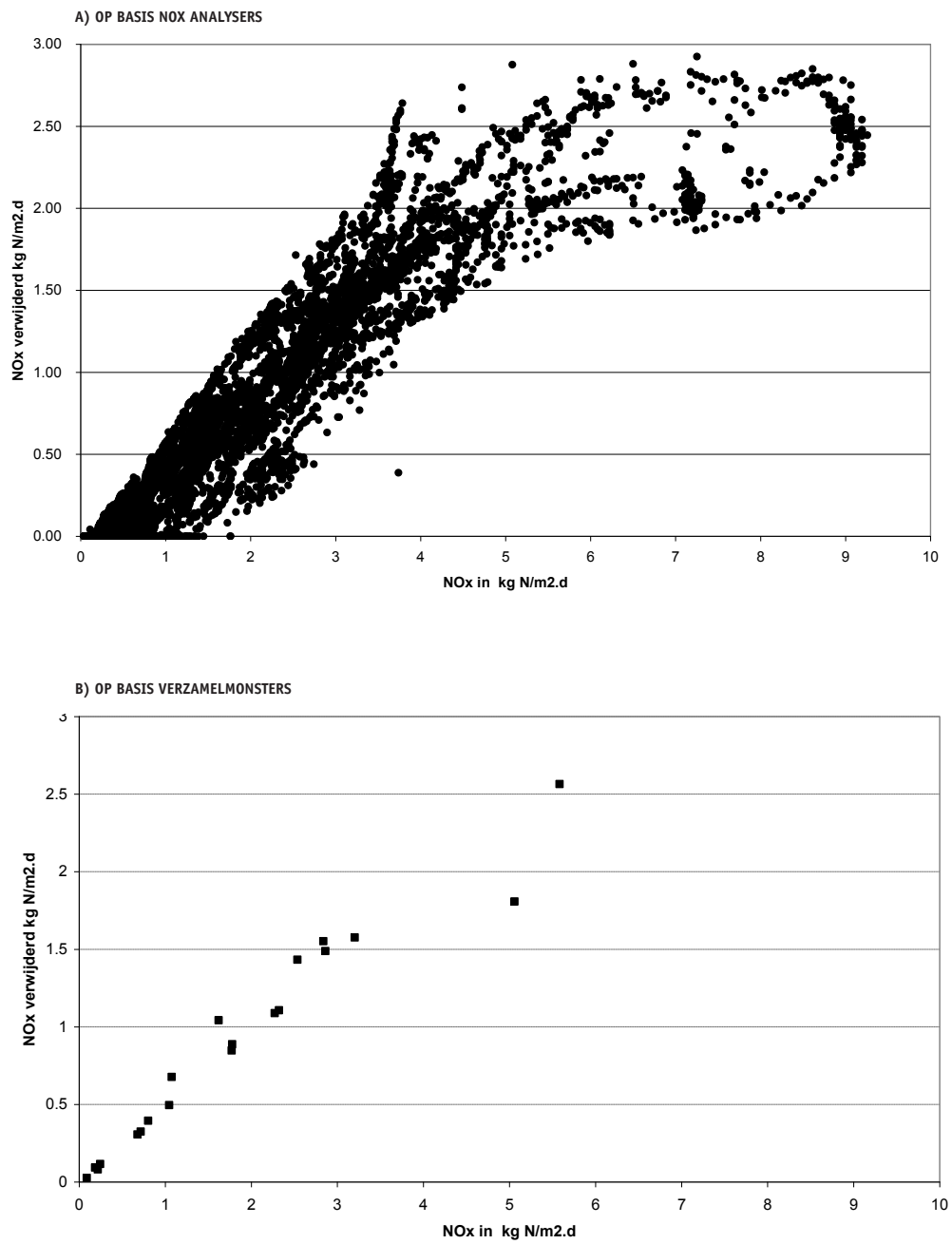
Op basis van de kinetiek van denitrificatie in een biofilm (zie ook paragraaf 8.2.1) zou verwacht worden dat met toenemende concentratie NOx in de afloop nabezinktank, de denitrificatiesnelheid in het Fuzzy Filter toeneemt tot een zeker maximum. Bij nog hogere NOx concentraties zal de denitrificatiesnelheid dan niet meer verder toenemen, omdat NOx niet meer limiterend is. Deze relatie is niet teruggevonden in de figuren 32, 33 en 34. Immers, als bij hogere NOx-concentraties de maximale denitrificatiesnelheid is bereikt zou verwacht worden dat het rendement van de denitrificatie bij toenemend NOx-concentratie afneemt. Dit zou kunnen betekenen dat bij de in dit onderzoek geteste NOx-concentraties nog steeds NOx-limitatie optrad.

Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat met Fuzzy Filtratie maximaal circa de helft van de aangevoerde NOx kan worden verwijderd. Voor het ontwerp van een Fuzzy Filter voor denitrificatie is naast de maximale hydraulische belasting ook de maximale nitraatbelasting een belangrijke parameter. Figuur 34 geeft de relatie tussen de aangevoerde- en de verwijderde NOx in een Fuzzy Filter.

Uit figuur 34 kan worden opgemaakt dat de verwijderingscapaciteit toeneemt met een toenemende NOx vracht tot een maximale capaciteit van circa 2,5 kg N/m² filteroppervlakte. dag. Dit komt voor de situatie met 0 en 30% compressie overeen met 1,7 en 2,4 kg N/m³ filter. dag.

FIGUUR 34

AANGEVOERDE EN VERWIJDERDE NOX IN FUZZY FILTERS



8.3.3 ZWEVENDE STOF BALANS

Omdat de hoeveelheid biomassa in een Fuzzy Filter bepalend zal zijn voor de denitrificatie-capaciteit is getracht een zwevende stof balans op te stellen en de hoeveelheid biomassa die in het Fuzzy Filter aanwezig is te meten. Uit de zwevende stof balans kan worden afgeleid of in de tijd een accumulatie van zwevende stof in het Fuzzy Filter optreedt, of dat de hoeveelheid zwevende stof constant blijft of juist afneemt. De zwevende stof is hierbij een maat voor biomassa.

ZWEVENDE STOF BALANS

De zwevende stof balans is opgesteld door de zwevende stof in de aan- en afvoer van het Fuzzy Filter en het waswater te bemonsteren. Hierdoor ontstaat inzicht in hoeveel zwevende stof wordt aangevoerd en hoeveel het Fuzzy Filter weer verlaat met filtraat en waswater. Dit geeft inzicht in de vraag of er zwevende stof (= slibdeeltjes) achterblijft. Deze metingen zijn uitgevoerd na de opstartfase en geven daarom geen informatie over de biomassaontwikkeling tijdens de opstartfase.

Tabel 14 geeft de resultaten van de zwevende stof balans

TABEL 14 ZWEVENDE STOF BALANS IN FUZZY FILTER

datum	ZS mg/l			ZS kg/d			accumulatie in filter
	toevoer	afvoer	waswater	toevoer	afvoer	waswater	kg ZS/d
2010-09-07	9	4	55	0,84	0,37	0,19	0,3
2010-09-14	13	2	75	1,21	0,19	0,26	0,8
2010-09-15	14	2	70	1,31	0,19	0,25	0,9
2010-09-16	11	2	80	1,03	0,19	0,28	0,6
2010-09-17	43	3	80	4,02	0,28	0,28	3,5
2010-09-21	39	2	65	3,64	0,19	0,23	3,2
2010-09-22	44	2	70	4,11	0,19	0,25	3,7
2010-09-23	26	2	65	2,43	0,19	0,23	2,0
2010-09-24	18	3	75	1,68	0,28	0,26	1,1
2010-09-30	9	4	140	0,84	0,37	0,49	0,0

Uit tabel 14 kan worden afgeleid dat er netto sprake was van een toename van afgevangen zwevende stof in het Fuzzy Filter. Bij lagere zwevende stof concentraties in de aanvoer (< 20 mg/l) blijft circa 50 tot 60% van de aangevoerde zwevende stof in het filter achter. Bij hogere aanvoer loopt dit zelfs op tot 85 - 90%. Dit zou erop kunnen duiden dat de hoeveelheid biomassa in het filter verder toeneemt en er nog geen evenwichtssituatie is bereikt. Een eventuele toename van biomassa is echter niet teruggevonden in een toename van de denitrificatiecapaciteit van het Fuzzy Filter.

Aan het einde van het onderzoek is van een aantal Fuzzy ballen uit het Fuzzy Filter en van een aantal schone Fuzzy ballen bepaald hoeveel droge stof en organische stof hierin aanwezig is. Hierdoor ontstaat inzicht in de hoeveelheid biomassa in het Fuzzy Filter. De hoeveelheid droge stof gemeten op een Fuzzy bal bedroeg 0,37 gram. Dit komt overeen met circa 0,27 gram organische droge stof. In het Fuzzy Filter waren 25.862 bollen aanwezig. De totale hoeveelheid organische stof in het Fuzzy Filter was circa 6,9 kg. Er zijn echter geen gegevens bekend van de hoeveelheid organische droge stof in denitrificerende zandfilters waardoor een vergelijking moeilijk is.

8.3.4 EVALUATIE RESULTATEN STIKSTOFVERWIJDERING

Uit de resultaten kan het volgende worden opgemaakt:

- de maximale denitrificatiecapaciteit bedraagt circa 2,5 kg N/m² filteroppervlakte.dag;
- de looptijd van een denitrificerend Fuzzy Filter bedraagt circa 24 uur. De spoeltijd bedraagt circa 25 minuten;
- in het Fuzzy Filter wordt circa 50% van de aangevoerde NO_x verwijderd;
- een volledige denitrificatie waarbij zeer lage NO_x-N concentraties (< 1 mg NO_x-N/l) in het filtraat van het Fuzzy Filter worden gerealiseerd, is tot nu toe nog niet mogelijk gebleken;
- bij toepassing van denitrificatie in het Fuzzy Filter zijn hoge belastingen mogelijk;
- voor het ontwerp van een Fuzzy Filter kan worden uitgegaan van de maximale denitrificerende capaciteit en de maximale hydraulische belasting. Een van beide criteria zal het ontwerp bepalen.

De waarschijnlijke oorzaak voor bovengenoemde constatering hangt samen met de kinetiek van denitrificatie in combinatie met biofilmkinetiek. Bij lage concentraties van substraat (methanol) en nitraat zal er limitatie van deze componenten in de biofilm optreden. Hierdoor is het mogelijk dat slechts een gedeelte van de biomassa wordt gebruikt omdat het substraat onvoldoende diep kan diffunderen. Bij hogere substraatconcentraties wordt de dikte van de biofilm beter benut en is er meer denitrificatiecapaciteit aanwezig. In termen van kinetiek betekent dit dat bij lage NO_x-concentraties in de aanvoer van het Fuzzy Filter er een eerste orde reactie is waarbij de capaciteit toeneemt met een hogere concentratie.

Vooralsnog is de belangrijkste conclusie uit dit onderzoek dat denitrificatie in Fuzzy Filters mogelijk is waarbij een verwijderingsrendement van circa 50% mag worden verwacht.

9

VERGELIJKING FUZZY FILTERS EN ZANDFILTER

9.1 FOSFAATVERWIJDERING

9.1.1 TECHNOLOGISCHE VERGELIJKING

Fuzzy Filtratie is mogelijk een alternatief voor zandfiltratie om vergaand fosfaat te verwijderen. Fosfaatverwijdering met zandfiltratie wordt momenteel op praktijkschaal toegepast. De techniek wordt verondersteld bewezen te zijn.

De mogelijkheden om Fuzzy Filtratie toe te passen zijn in dit onderzoek bekeken. Tabel 15 vergelijkt zandfiltratie en Fuzzy Filtratie. Uit tabel 15 kan worden geconcludeerd dat met beide technieken het mogelijk is fosfaat uit de afloop nabezinktank te verwijderen waarbij wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l. Bij een Fuzzy Filter is dit alleen mogelijk als de looptijd wordt gebaseerd op een maximale fosfaatberging die in het Fuzzy Filter mogelijk is.

Het belangrijkste verschil tussen beide technieken is dat Fuzzy Filtratie wordt gekarakteriseerd door fosfaatdoorslag waardoor de looptijd van het filter beperkt is. Bij zandfiltratie is er drukopbouw waarbij de filtraatkwaliteit min of meer constant blijft. Door de kortere looptijd bij Fuzzy Filters is de spoelwaterproductie aanzienlijk hoger dan bij zandfilters, en wordt meer filtratiecapaciteit geïnstalleerd dan strikt nodig zou zijn op basis van de maatgevende hydraulische belasting. Het voordeel dat bij Fuzzy Filters hogere belastingen mogelijk zijn, wat zou moeten resulteren in kleiner ruimtebeslag en lagere investeringen, wordt hiermee deels teniet gedaan.

Door de korte looptijd bij Fuzzy Filters zijn er continu filters aan het spoelen en filters in bedrijf. Omdat spoelwater wordt teruggevoerd naar de waterlijn van de rwzi neemt de hydraulische belasting van de rwzi onder RWA condities sterk toe. De extra hydraulische belasting ligt, afhankelijk van de ontwerpcapaciteit van het Fuzzy Filter in de orde grootte 20 tot 55 % van de RWA aanvoer. Dit aspect zal bij het ontwerp van een nageschakelde Fuzzy Filtratie voor fosfaatverwijdering moeten worden meegenomen en leidt mogelijk tot een benodigde hydraulische uitbreiding van de rwzi.

In termen van energieverbruik zijn Fuzzy Filters gunstiger dan zandfilters. Chemicaliënverbruik wordt bij beide technieken gelijk verondersteld. Hierbij is de aanname dat aanvullende PE-dosering bij Fuzzy Filters niet nodig is.

TABEL 15 TECHNOLOGISCHE VERGELIJKING ZAND- EN FUZZY FILTRATIE VOOR FOSFAATVERWIJDERING

Parameter	Fuzzy Filtratie	Zandfiltratie	Opmerkingen
vergaande fosfaatverwijdering?	ja	ja	Geen
effluentstreefwaarde haalbaar?	ja	ja	Geen
maximale hydraulische belasting	ca. 65 - 75 m/h	ca. 10 - 15 m/h	Hoewel Fuzzy Filters hoger belast kunnen worden, wordt omdat de looptijd van Fuzzy Filters kort is, extra filtratiecapaciteit bijgeplaatst zodat meer m ² filtratieoppervlakte wordt geïnstalleerd dan nodig op basis van maximale hydraulische belasting.
maatgevende fosfaatbelasting	0,2 - 0,4 kg P/m ³ .d	0,25 - 0,3 kg P/m ³ .d ²⁸	Fuzzy Filtratie wordt beperkt door een maximale hoeveelheid fosfaat die in het filter verwijderd wordt. Deze maximale fosfaatberging is niet gerelateerd aan drukopbouw in het filter, maar aan de filtratie eigenschappen voor verwijdering van metaalgebonden fosfaatvlokken. Bij de geteste ontwerpberging 7,5 g o-PO ₄ /m ² filteroppervlakte per dag was de fosfaatbelasting 0,2 tot 0,4 kg P/m ³ .d bij 30 % compressie
maximale fosfaatconcentratie in aanvoer filtratie	ca. 0,7 mg P/l	ca. 0,8 mg P/l	Geen
looptijden filter	kort	lang	De looptijd van discontinue zandfilters bedraagt normaliter meer dan 12 uur. Bij Fuzzy Filters is de looptijd aanzienlijk korter. Bij totaalfosfaatconcentraties in de afloop nabezinktank van 0,7 en 0,5 mg P/l is de looptijd van het Fuzzy Filter ongeveer één tot twee uur onder DWA condities en 20 tot 40 minuten onder RWA condities.
filtratiekarakteristiek	geen koekfiltratie fosfaatdoorslag	koekfiltratie geen fosfaatdoorslag	Bij Fuzzy Filtratie is geen duidelijke koekfiltratie maar worden de fosfaatvlokken in een groter deel van het filterbed afgevangen. Een filtratierun wordt gekenmerkt door een goede fosfaatverwijdering aan het begin, gevolgd door oplopende fosfaatconcentraties (fosfaatdoorslag) in het filtraat. De fosfaatdoorslag beperkt de looptijd van het filter.
energieverbruik	0,02 - 0,04	0,05 - 0,075 ²⁹	geen
chemicaliënverbruik coagulant	niet onderscheidend	niet onderscheidend	Coagulant (metaalzout)dosering is voor beide technieken gelijk. In beide gevallen moet orthofosfaat worden gebonden als metaalgebonden fosfaat en voldoende vlokvorming optreden.
flocculant	onzeker	geen	Aanvullende Flocculant dosering gedurende de winterperiode is bij Fuzzy Filtratie misschien nodig. Dit is echter nog onzeker, Verder onderzoek hierna moet uitsluitsel geven.
spoelwaterverbruik	0,3 - 0,6 m ³ /m ³	0,05 - 0,1 m ³ /m ³	Door de kortere looptijden bij Fuzzy Filters is de spoelwaterproductie aanzienlijk hoger dan bij zandfilters
eenvoud	0	+	Procesregelingen zijn meer gecompliceerd dan bij zandfiltratie omdat de looptijd van het filter afhankelijk is van de fosfaatconcentratie in de filteraanvoer.
hydraulisch effect op rwzi	-	+	Fuzzy Filters hebben een korter looptijd dan zandfilters. Er zal daarom vaker gespoeld worden. Het spoelwater wordt teruggeleid naar de rwzi. Door het vaker spoelen is er onder RWA condities bij Fuzzy Filters een sterke toename van de hydraulische belasting van de rwzi. De extra belasting bedraagt 20 tot 55% van de RWA aanvoer.
ruimtebeslag	+/-0	0	Door de mogelijke hogere hydraulische belasting bij Fuzzy Filters zal het ruimtebeslag kleiner zijn. Echter vanwege de kortere looptijden bij Fuzzy Filters wordt extra filtratiecapaciteit geïnstalleerd. Hierdoor wordt het voordeel deels teniet gedaan.
robuustheid	0	0	Bij een goed ontwerp zullen beide systemen even robuust zijn.
personele inzet	0	0	Bij een goed ontwerp zal personele inzet gelijk zijn.
praktijkervaring	nee	ja	Praktijkschaal ervaring met Fuzzy Filters is beperkt zich tot zwevende stof verwijdering. Voor fosfaatverwijdering is de ervaring beperkt tot dit onderzoek.
zekerheid	0	+	Zandfiltratie wordt beschouwd als een bewezen techniek waarmee ruime ervaring is opgedaan. Fuzzy Filtratie zal verder geoptimaliseerd moeten worden.

²⁸ Filtratie technieken RWZI's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. STOWA 2006-21.

²⁹ Demonstratieonderzoek vergaanDe nutriëntenverwijdering nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi leiden zuid-west. STOWA 2009-32

Tot slot kan worden gesteld dat zandfiltratie als een bewezen techniek voor fosfaatverwijdering wordt beschouwd. Het proces is uitgebreid onderzocht en wordt op praktijkschaal toegepast. Voor Fuzzy Filtratie zijn de ervaringen voor fosfaatverwijdering op afloop nabezinktank beperkt tot dit onderzoek. Hoewel dit onderzoek aantoont dat Fuzzy Filtratie kan worden toegepast voor fosfaatverwijdering zijn er nog wel een aantal vragen, dat via verder onderzoek opgelost moeten worden. De belangrijkste hierbij is de vraag waarom bij Fuzzy Filtratie fosfaatvlokken in het begin van een run goed worden afgevangen, waarna vervolgens doorslag van fosfaat optreedt. Het gevolg hiervan is relatief korte looptijden voor het Fuzzy Filter. Het lijkt erop dat Fuzzy Filtratie minder effectief is voor de afvang van fosfaatvlokken dan voor zwevende stof. De grootte en/of sterkte van de vlokken speelt hierbij mogelijk een rol. Aanvullend onderzoek kan zich hierbij richten op deeltjesgedrag in het Fuzzy Filter. Voor de praktijk betekent dit dat de looptijd van Fuzzy Filters niet wordt bepaald door drukopbouw maar door de hoeveelheid fosfaat die kan worden verwijderd. Dit betekent een andere wijze van procesregeling bij Fuzzy Filters in vergelijking met zandfilters waarbij de looptijd wordt bepaald door een maximale drukopbouw in het filter. Bij Fuzzy Filters zal de looptijd bepaald worden door de hoeveelheid fosfaat die is verwijderd. De looptijd varieert hierbij met fosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank.

Samenvattend kan worden gesteld dat fosfaatverwijdering met Fuzzy Filter mogelijk is. Om aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l te voldoen moet de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank lager zijn dan circa 0,7 mg P/l, en moet de looptijd van het filter worden geregeld op de hoeveelheid verwijderde fosfaat.

De belangrijkste nadelen van Fuzzy Filtratie in vergelijking met zandfiltratie zijn:

- sterker toename van de hydraulische belasting van de rwzi waardoor naast de filtratiestap een hydraulische uitbreiding van de rwzi wellicht noodzakelijk is;
- kortere looptijden ten gevolge van fosfaatdoorslag;
- hogere spoelwaterproductie;
- minder praktijkervaring waardoor het proces minder zekerheid biedt dan zandfiltratie.

Dit laatste aspect zal als verder onderzoek wordt verricht en meer ervaring wordt opgedaan minder worden.

De belangrijkste voordelen van Fuzzy Filtratie zijn:

- lager energieverbruik;
- kleiner ruimtebeslag.

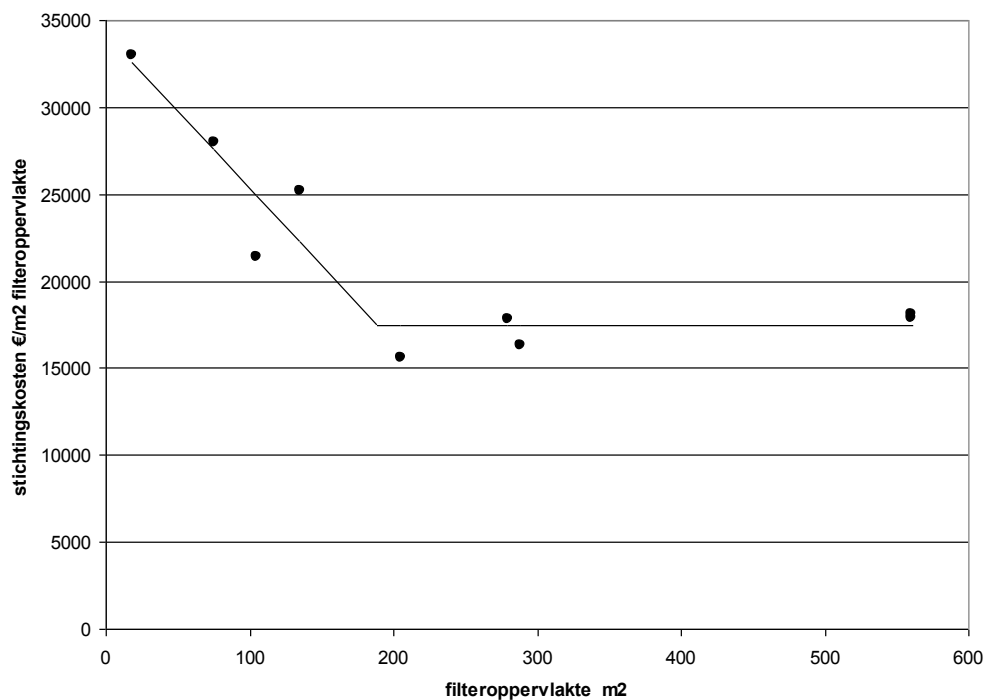
Dit laatste kan belangrijk zijn als de beschikbare ruimte een knelpunt is.

In dit onderzoek is uitgegaan van het standaard Fuzzy Filter ontwerp zoals dit door Bosman Watermanagement wordt geleverd. Ten aanzien van het energieverbruik kan worden opgemerkt dat de spoelwaterafvoer in het Fuzzy Filter relatief hoog is geplaatst. Verlaging van het spoelwaterafvoerpunt zal het energieverbruik van een Fuzzy Filter verder reduceren. Gelet op het feit dat Fuzzy Filters vaak spoelen kan dit effect aanzienlijk zijn. Hiernaast kan gekeken worden of een hoger filterbed dan nu wordt toegepast tot betere resultaten voor fosfaatverwijdering leidt. Het advies is om dit eerst op laboratoriumschaal na te gaan.

9.1.2 ECONOMISCHE VERGELIJKING

De potentie van Fuzzy Filters wordt naast technologische haalbaarheid ook bepaald door kosten. De kosten voor zandfiltratie zijn gebaseerd op eenheidsprijzen per m² zandfilter, uitgaande van de relatie gegeven in figuur 35.

FIGUUR 35 EENHEIDSPRIJZEN ZANDFILTRATIE (€/M² FILTEROPPERVLAKTE). BULLETS ZIJN PRIJZEN VAN GEREALISEERDE PROJECTEN (AANNEEM SOM EXCL. BTW). LIJNEN ZIJN PRIJZEN WAARMEE INVESTERING IN DEZE RAPPORTAGE WORDT BEREKEND

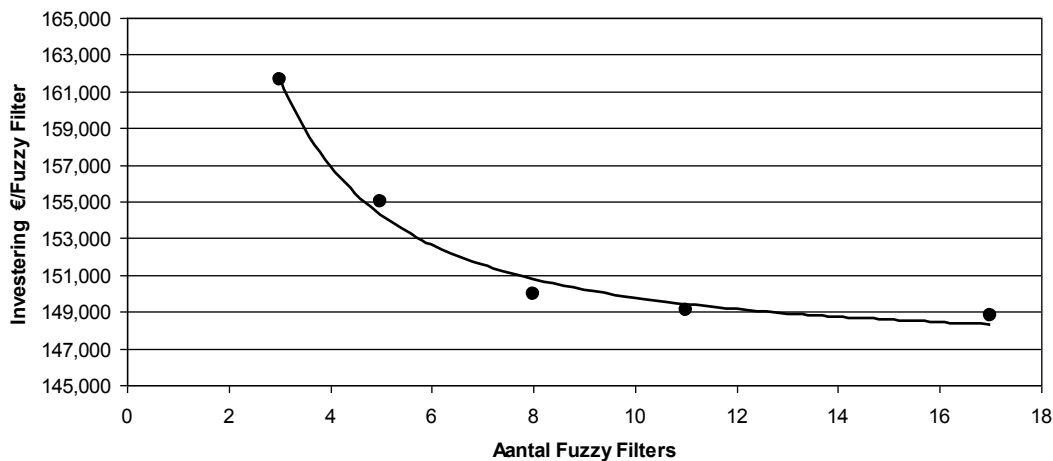


Bij het ontwerp van zandfilters is uitgegaan van een maximale belasting van het zandfilter van 15 m/h. Deze is uiteindelijk bepalend voor de geïnstalleerde filtratie capaciteit.

Voor de investeringen van Fuzzy filtratie is voor de verschillende ontwerpen (zie ook hoofdstuk 7) uitgegaan van budget prijsopgaven van Bosman Watermanagement voor de Fuzzy Filters. Uit deze prijsopgave is een eenheidsprijs vastgesteld per Fuzzy Filter (zie figuur 36.).

FIGUUR 36

EENHEIDSPRIJZEN FUZZY FILTRATIE VOOR FUZZY FILTER TYPE 7 (€/FUZZY FILTER). BULLETS ZIJN BUDGETPRIJZEN BOSMAN WATERMANAGEMENT (AANNEEM SOM EXCL. BTW). LIJN ZIJN DE PRIJZEN WAARMEER INVESTERING IN DEZE RAPPORTAGE WORDT BEREKEND



Bovenop de berekende investering voor de Fuzzy Filters zijn op basis van kentallen de kosten voor de volgende posten geraamd: opvoergemaal, doseerinstallatie coagulant, coagulatie-flocculatie eenheid, civiele werkzaamheden niet opgenomen in de prijsopgave van Bosman Watermanagement.

Tabel 16 vergelijkt de investerings- en exploitatiekosten voor Fuzzy Filters en zandfilters. Uit tabel 16 blijkt:

- voor kleinere rwzi's is Fuzzy Filtratie duurder dan zandfiltratie;
- voor grotere rwzi's (> 50.000 i.e. à 136 g TZV) zijn de kosten voor Fuzzy en zandfiltratie in dezelfde orde van grootte.

De berekende investeringen voor Fuzzy Filtratie is echter exclusief een eventuele benodigde hydraulische aanpassing van de rwzi. Indien dit aan de orde is zal Fuzzy Filtratie duurder zijn dan zandfiltratie.

Wel blijkt dat ondanks het feit dat meer Fuzzy Filtratie oppervlakte wordt geïnstalleerd dan nodig op basis van de hydraulische belasting de kosten voor een nageschakelde Fuzzy Filter niet echt duurder is dan voor zandfilters. Indien het mogelijk zou zijn om de looptijden van het Fuzzy Filter aanzienlijk te verlengen waardoor (i) minder Fuzzy Filtratie oppervlakte moet worden gebouwd en (ii) er geen significante verhoogde hydraulische belasting van de rwzi is, mag verwacht worden dat Fuzzy Filters een aantrekkelijk alternatief zijn. De investeringen zullen dan immers lager zijn dan voor zandfilters.

TABEL 16 INVESTERINGEN (€) EN EXPLOITATIEKOSTEN (€/J) VOOR ZAND- EN FUZZY FILTERS

ONTWERPCAPACITEIT FILTRATIE 3 X DWA

Investerings		ontwerp capaciteit 3 x dwa								Eenheid
grootte rwzi	10.000	50.000	100.000	150.000						ie à 136 g TZV
Ptot aanvoer	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5		mg/l
Investering Fuzzy Filters										
- ontwerp berging 7,5 g o-PO ₄ /m ²	1.044.000	948.000	2.484.000	2.276.000	3.735.000	3.213.000	4.816.000	4.188.000	€	
Investering zandfilters	600.000		2.450.000		3.730.000		4.686.000		€	

Exploitatie		ontwerp capaciteit 3 x dwa								Eenheid
grootte rwzi	10.000	50.000	100.000	150.000						ie à 136 g TZV
Ptot aanvoer	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5		mg/l
Fuzzy Filters berging 7,5 g o-PO ₄ /m ²										
- afschrijven	70.358	63.888	167.404	153.386	251.713	216.533	324.564	282.242	€/j	
- onderhoud	18.270	16.590	43.470	39.830	65.363	56.228	84.280	73.290	€/j	
- energie	300	300	1.500	1.500	3.000	3.000	4.600	4.600	€/j	
- chemicalien	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	€/j	
- totaal	88.928	80.778	212.374	194.716	320.075	275.761	413.444	360.132	€/j	
Zandfilters										
- afschrijven	40.436		165.113		251.376		315.803		€/j	
- onderhoud	10.500		42.875		65.275		82.005		€/j	
- energie	500		2.300		4.600		6.900		€/j	
- chemicalien	pm		pm		pm		pm		€/j	
- totaal	51.436		210.288		321.251		404.708		€/j	

ONTWERPCAPACITEIT FILTRATIE 1,5 X DWA

Investerings		1,5 x dwa								Eenheid
grootte rwzi	10.000	50.000	100.000	150.000						ie à 136 g TZV
Ptot aanvoer	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5		mg/l
Investering Fuzzy Filters										
- ontwerp berging 7,5 g o-PO ₄ /m ²	804.639	709.439	1.758.482	1.553.327	2.196.902	2.023.945	2.948.017	2.600.526	€	
Investering zandfilters	350.000		1.378.000		2.458.000		3.242.000		€	

Exploitatie		1,5 x dwa								Eenheid
grootte rwzi	10.000	50.000	100.000	150.000						ie à 136 g TZV
Ptot aanvoer	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5		mg/l
Fuzzy Filters berging 7,5 g o-PO ₄ /m ²										
- afschrijven	54.227	47.811	118.509	104.683	148.056	136.400	198.676	175.257	€/j	
- onderhoud	14.081	12.415	30.773	27.183	38.446	35.419	51.590	45.509	€/j	
- energie	300	300	1.300	1.300	2.600	2.600	3.900	3.900	€/j	
- chemicalien	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	pm	€/j	
- totaal	68.608	60.526	150.583	133.167	189.101	174.419	254.166	224.666	€/j	
Zandfilters										
- afschrijven	23.588		92.867		165.652		218.488		€/j	
- onderhoud	6.125		24.115		43.015		56.735		€/j	
- energie	400		1.900		3.900		5.800		€/j	
- chemicalien	pm		pm		pm		pm		€/j	
- totaal	30.113		118.882		212.567		281.023		€/j	

Noot:

afschrijven Civiel 30 jaar; W/E/M 15 jaar. rente 3%.

onderhoud 0,5% van de civiele investering en 3% van de W/E/M investering.

energie 0,12 €/kWh.

9.1.3 EINDEVALUATIE

Bij een vergelijking tussen Fuzzy- en zandfilters kan het volgende worden opgemerkt:

- met beide technieken is een vergaande fosfaatverwijdering mogelijk waarbij wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde voor totaalfosfaat 0,15 mg P/l;
- de maximale totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank ligt voor beide systemen in dezelfde orde van grootte en bedraagt circa 0,7 mg P/l;
- chemicaliënverbruik wordt voor beide systemen gelijk verondersteld. Hoewel zandfiltratie niet in deze proef parallel is getest, is de gehanteerde Me/P verhouding 5 bij het Fuzzy Filter een normale verhouding die valt binnen de range die gangbaar is voor zandfiltratie;
- energieverbruik is voor Fuzzy Filtratie lager dan voor zandfilters;
- de belangrijkste nadelen van Fuzzy Filtratie in vergelijking met zandfiltratie zijn:
 - sterke toename van de hydraulische belasting van de rwzi waardoor naast de filtratiestap een hydraulische uitbreiding van de rwzi wellicht noodzakelijk is;
 - kortere looptijden ten gevolge van fosfaattoorslag en hogere spoelwaterproductie;
 - minder praktijkervaring waardoor het proces minder zekerheid biedt dan zandfiltratie.
- de belangrijkste voordelen van Fuzzy Filtratie zijn: lager energieverbruik en kleiner ruimtebeslag;
- voor Fuzzy Filtratie zijn nog geen éénduidige ontwerpregels beschikbaar. De in dit onderzoek gebruikte ontwerputgangspunten zijn een eerste aanzet die volgen uit dit onderzoek.

Bij een financiële vergelijking kan worden geconcludeerd dat voor kleinere rwzi's Fuzzy Filters duurder zijn dan zandfilters. Voor grotere rwzi's zijn de kosten voor Fuzzy Filters en zandfilters in dezelfde orde van grootte. De kosten voor Fuzzy Filters zijn echter exclusief een eventuele benodigde hydraulische uitbreiding van een rwzi. Mocht dit laatste aan de orde zijn, dan is een nageschakelde trap gebaseerd op Fuzzy Filtratie duurder dan zandfiltratie.

Tot slot kan worden geconcludeerd dat uit het onderzoek blijkt dat Fuzzy Filtratie potentie heeft om ingezet te worden voor fosfaatverwijdering. Verder onderzoek is nodig om enerzijds het fosfaatverwijderingsmechanisme in Fuzzy Filters verder te doorgronden en de ontwerpregels verder aan te scherpen zodat het competitieve vermogen van het systeem kan worden verbeterd.

9.2 STIKSTOFVERWIJDERING

Bij een vergelijking tussen Fuzzy Filters en zandfilters kan worden opgemerkt dat stikstofverwijdering in zandfilters al op praktijkschaal wordt toegepast en als bewezen techniek wordt beschouwd. Vergaande stikstofverwijdering wordt hier al toegepast.

Bij Fuzzy Filters lijkt vooralsnog een vergaande stikstofverwijdering niet mogelijk. Op basis van dit onderzoek mag een verwijderingsrendement circa 50% worden verwacht. Verder onderzoek zal hier uitsluitsel moeten geven of stikstofverwijdering met Fuzzy Filters haalbaar is. Directe denitrificatie in Fuzzy Filters lijkt uitgaande van bestaande Fuzzy Filter ontwerpen vooralsnog niet haalbaar. Dit hangt waarschijnlijk samen met de hoeveelheid biomassa die in een Fuzzy Filter kan worden gehandhaafd. Bij zandfiltratie is de biomassahoeveelheid niet beperkend. Verder onderzoek kan zich hierop richten. In dit onderzoek is al gekeken of door meer dragermateriaal in het Fuzzy Filter aan te brengen de hoeveelheid denitrificerende biomassa in het Fuzzy Filter kon worden verhoogd. Ook een scheiding van denitrificatie en filtratie kan worden overwogen. Hierbij vindt de denitrificatie plaats in een aparte denitrificatie reactor. Het effluent van deze denitrificatie reactor wordt dan gefiltreerd in een Fuzzy Filter om te verhinderen dat biomassa uitspoelt. In dit geval dient Fuzzy Filtratie weer om zwevende stof (biomassa) te verwijderen.

10

EINDCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

10.1 FOSFAATVERWIJDERING

Voor fosfaatverwijdering met Fuzzy Filters kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- met Fuzzy Filtratie is vergaande fosfaatverwijdering mogelijk waarbij wordt voldaan aan de effluentstreefwaarde (0,15 mg P_{tot}/l), mits de totaalfosfaatconcentratie in de afloop nabezinktank lager is dan circa 0,7 mg P/l en de looptijd wordt gebaseerd op de hoeveelheid fosfaat die in een Fuzzy Filter kan worden verwijderd om aan de genoemde effluentstreefwaarde te voldoen;
- met Fuzzy Filtratie zijn hoge hydraulische (tot 70 - 75 m/h) belastingen mogelijk;
- het exacte filtratiemechanisme in Fuzzy Filters is nog onbekend. Er treedt geen koekfiltratie op;
- Fuzzy Filters hebben een gelimiteerde capaciteit voor de verwijdering van fosfaat. De in dit onderzoek gerealiseerde capaciteit bedraagt circa 7,5 g o-PO₄/m² filteroppervlakte;
- Fuzzy Filters worden gekarakteriseerd door een goede fosfaatverwijdering aan het begin van een run, waarbij fosfaat voornamelijk in het onderste gedeelte van het Filter wordt verwijderd. Al naar gelang een run langer duurt wordt fosfaat ook in hogere delen van het filter verwijderd. Dit laatste gaat echter gepaard met een toenemende uitspoeling van fosfaat en oplopende fosfaatconcentraties in het filtraat;
- een Me/P (molaire) verhouding 5 is voldoende om fosfaat goed te verwijderen. Bij deze verhouding worden naast binding van orthofosfaat ook goede vlokken gevormd. Het is nog onzeker of naast coagulantdosering PE dosering nodig is. Dit laatste zou dan gelden voor de winterperiode waarbij watertemperaturen lager zijn;
- er zijn geen aanwijzingen dat in het Fuzzy Filter vlokdesintegratie optreedt;
- ontwerpgrondslagen voor toepassing van Fuzzy Filters verdienen nog aandacht. Vooral de maatgevende fosfaatbelasting of fosfaatberging in het Fuzzy Filter moet nog beter worden vastgelegd. Deze fosfaatberging is belangrijk omdat deze de looptijd van het filter bepaalt. Deze looptijd is van invloed op de geïnstalleerde filtratiecapaciteit. Bij kortere looptijden zal meer filtratiecapaciteit worden geïnstalleerd dan nodig op basis van de hydraulische belastingen.

Als Fuzzy Filters en zandfilters technologisch worden vergeleken blijkt:

- met beide technieken is een vergaande fosfaatverwijdering mogelijk;
- de maximale fosfaatconcentratie in de aanvoer ligt voor beide systemen in dezelfde orde van grootte en bedraagt circa 0,7 mg P/l;
- chemicaliënverbruik wordt voor beide systemen gelijk verondersteld;
- energieverbruik is voor Fuzzy Filtratie lager dan voor zandfilters;
- de belangrijkste nadelen van Fuzzy Filtratie in vergelijking met zandfiltratie zijn:
 - kortere looptijden ten gevolge van fosfaatdoorslag;
 - hogere spoelwaterproductie;
 - sterk hydraulische effect op de rwzi waarbij onder RWA condities de hydraulische belasting van de rwzi tot 50% van de RWA aanvoer kan toenemen;

- minder praktijkervaring waardoor het proces minder zekerheid biedt dan zandfiltratie;
- de belangrijkste voordelen van Fuzzy Filtratie zijn:
- lager energieverbruik;
- kleiner ruimtebeslag;

Als Fuzzy Filters en zandfilters economisch worden vergeleken blijkt dat voor kleinere rwzi's Fuzzy Filters duurder zijn dan zandfilters. Voor grotere rwzi's zijn de kosten van Fuzzy Filters en zandfilters in dezelfde orde van grootte. Bij de investeringen is echter geen rekening gehouden met een eventuele hydraulische uitbreiding van de rwzi bij toepassing van Fuzzy Filtratie. Als dit het geval is, zijn Fuzzy Filters duurder dan zandfilters.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat het belangrijkste nadeel van Fuzzy Filters de korte looptijden zijn waardoor continu wordt gespoeld en de hydraulische belasting van de rwzi aanzienlijk kan toenemen. Dit lijkt voornamelijk de belangrijkste belemmering voor introductie van Fuzzy Filtratie als nageschakelde techniek op de afloop nabezinktank voor vergaande verwijdering van fosfaat. Als men in de toekomst zou slagen om de looptijden aanzienlijk te verlengen liggen er kansen voor Fuzzy Filtratie.

10.2 STIKSTOFVERWIJDERING

Voor stikstofverwijdering met Fuzzy Filters kan het volgende worden geconcludeerd:

- denitrificatie in Fuzzy Filters is mogelijk;
- de maximale denitrificatiecapaciteit in dit onderzoek bedraagt circa 2,5 kg N/m² filteroppervlakte.dag;
- bij denitrificatie in Fuzzy Filters wordt circa 50% van de aangevoerde NOx verwijderd;
- een volledige denitrificatie waarbij zeer lage NOx-N concentraties in het effluent worden gerealiseerd is tot nu toe nog niet mogelijk gebleken. De mogelijke oorzaak hiervoor hangt waarschijnlijk samen met de denitrificatie- en biofilmkinetiek;
- bij toepassing denitrificatie in het Fuzzy Filter zijn hoge belastingen mogelijk;
- voor het ontwerp van een Fuzzy Filter kan worden uitgegaan van de maximale denitrificerende capaciteit en de maximale hydraulische belasting. Een van beide criteria zal het ontwerp bepalen.

10.3 AANBEVELINGEN

Verder onderzoek naar de toepassing van Fuzzy Filtratie voor nutriëntenverwijdering is nodig om de volle potentie van het systeem beter in kaart te brengen.

Voor fosfaatverwijdering is de grootste uitdaging om de looptijden van Fuzzy Filters aanzienlijk te verlengen zodat minder frequent hoeft te worden gespoeld en de extra hydraulische belasting van de rwzi geminimaliseerd kan worden. Hiervoor is verder inzicht in het filtratiemechanisme, en vooral voor de vraag waarom fosfaat doorslaat, gewenst.

Bij het onderzoek kan specifiek worden gekeken naar het gedrag van deeltjes in het Fuzzy Filter tijdens het filtratieproces. Hiernaast kan gekeken worden naar het effect van zwevende stof op het filtratieproces. In het onderzoek op Nieuw Vossemeer is het Fuzzy Filter getest op de afloop nabezinktank; een waterstroom met lage concentraties aan zwevende stof. Het Fuzzy Filter had in deze opzet tot doel de gevormde fosfaatvlokken efficiënt te verwijderen. Een belangrijk aspect van Fuzzy Filtratie is echter dat het zwevende stof goed verwijderd,

waarbij hoge concentraties in de toevoer van het Fuzzy Filter mogen worden toegepast. Het is wellicht mogelijk om zwevende stof verwijdering te combineren met afvang van fosfaatvlokken in het Fuzzy Filter. Er zou onderzocht kunnen worden hoe effectief een Fuzzy Filter fosfaatvlokken afvangt bij verschillende concentraties zwevende stof in de aanvoer van het Fuzzy Filter. Afvang en berging van grotere hoeveelheden zwevende stof in het Fuzzy Filter resulteert mogelijk in een ander filtratieproces waarbij de afgevangen zwevende stof in het Fuzzy Filter een extra filtrerend medium vormt voor de afvang van fosfaatvlokken. Als fosfaatverwijdering bij hogere concentraties zwevende stof in de toevoer van het Fuzzy Filter beter en effectief verloopt, zou overwogen kunnen worden om het Fuzzy Filter op een andere plaats in het proces, bijvoorbeeld op de afloop voorbezinktank, te plaatsen.

Verder kan toekomstig onderzoek zich richten op aanscherpen van de ontwerpregels. Vooral de hoeveelheid fosfaat die in het filter kan worden verwijderd is hierbij belangrijk. Controle of een verhoging van het filterbed in een Fuzzy Filter dan toegepast in het standaardontwerp tot betere resultaten leidt verdient de aandacht om te worden nagegaan.

Bij het onderzoek in Nieuw Vossemeer is gebruik gemaakt van het standaard Fuzzy Filter en het standaard spoelprogramma zoals dit wordt toegepast. Vervolgonderzoek kan zich richten op optimalisatie van het spoelprogramma om na te gaan of de spoeltijd verkort kan worden zodat spoelwaterproductie geminimaliseerd kan worden. Verder wordt in het Fuzzy Filter na de hoofdspoeling vrij veel water nagespoeld. Dit laatste is nodig omdat het afvoerpunt van het spoelwater in het standaard Fuzzy Filter hoog is aangebracht. Verlaging van dit afvoerpunt zal leiden tot korte naspoeltijden en minder spoelwaterproductie. Hoewel met dit onderzoek spoeltijden, spoelwaterproductie en spoelwaterdebieten verder geoptimaliseerd kunnen worden blijft de uitdaging voor vervolgonderzoek gelegen in het zoeken naar condities waarbij de looptijden in Fuzzy Filters kunnen worden verlengd zodat spoeling minder frequent nodig is.

Voor stikstofverwijdering is verder inzicht in de biomassaontwikkeling in het Fuzzy Filter in combinatie met de kinetiek van het denitrificatieproces wenselijk. Ook kan gekeken worden of stikstofverwijdering mogelijk is in een systeem waarin de denitrificatie- en de filtratiestap worden gescheiden.

Tot slot moet worden opgemerkt dat het onderzoek op één rwzi is uitgevoerd. De hier verkregen resultaten geven daarom een eerste inzicht in de mogelijkheden van Fuzzy Filtratie voor de verwijdering van nutriënten. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of deze eerste inzichten algemeen geldig zijn.

11

LITERATUUR

Bedrijfsresultaten zuiveringstechnische werken 2009, Waterschap Brabantse Delta.

Filtratie technieken rwzi's. Stand van zaken en ervaringen met zandfiltratie. Stowa 2006-21

Werkrapport Toepasbaarheid Fuzzy Filter voor nazuivering rwzi Effluent. Tauw BV, Waterschap Brabantse Delta, Bosman Watermanagement, December 2006.

Metcalf & Eddy, Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th edition, McGraw-Hill, 2003

Pilotonderzoek rwzi Horstermeer, 1-step® filter als effluentpolishingstechniek. Stowa 2009-34

Demonstratieonderzoek vergaande nutriëntenverwijdering, nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi Leiden Zuid-West. Stowa 2009-32

De la Rúa, A., González-López, J., Gómez Nieto, M.A. Influence of temperature on inoculation and startup of a groundwater-denitrifying submerged filter. Environmental Engineering Science, vol 25 (2), 2008

Harremoës P 1978. Biofilm kinetics. In: Water Pollution Microbiology, vol 2 (R Mitchel, ed), pp 82-109. John Wiley & Sons, New York

Henze, M et al., Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3 by IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for design and Operation of Biological Wastewater Treatment. Scientific and Technical Reports no. 9, IAWPRC, London, (2000

Tschui M, M Boller, W Gujer, J Eugster, C Mäder & C Stengel 1993. Tertiary nitrification in aerated pilot biofilters. Presented 2nd Int Specialized Conf on Biofilm Reactors, 29 september - 1 october 1993, Paris, France, pp 109-116.

Toettrup H, F Rogalla, A Vodal & P Harremoës 1993. The treatment trilogy of floating filters: from pilot to prototype to plant. Presented 2nd Int Specialized Conf on Biofilm Reactors, 29 september - 1 october 1993, Paris, France, pp 51-60.

BIJLAGE 1

LIJST VAN AFKORTINGEN

ANBT	Afloop nabezinktank
BZV	Biologisch zuurstofverbruik
CZV	Chemisch zuurstofverbruik
C-bron	Koolstofbron
DWA	Droogweer aanvoer
Filtraat FF	Filtraat Fuzzy Filter
G-waarde	snellheidsgradient
Me/P	Metaal – fosfaatverhouding op mol basis
NBT	nabezinktank
NKj	Kjeldahl stikstof
NO ₃ -N	Nitraatstikstof
NO _x -N	Som nitriet- en nitraatstikstof
o-PO ₄	orthofosfaat
PE	Poly-electrolyet
Q	debiet
t-PO ₄	totaalfosfaat
RWA	Regenweeraanvoer
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
STOWA	Stichting toegepast onderzoek waterbeheer
TU Delft	technische Universiteit Delft
TZV	Totaal zuurstofverbruik

BIJLAGE 2

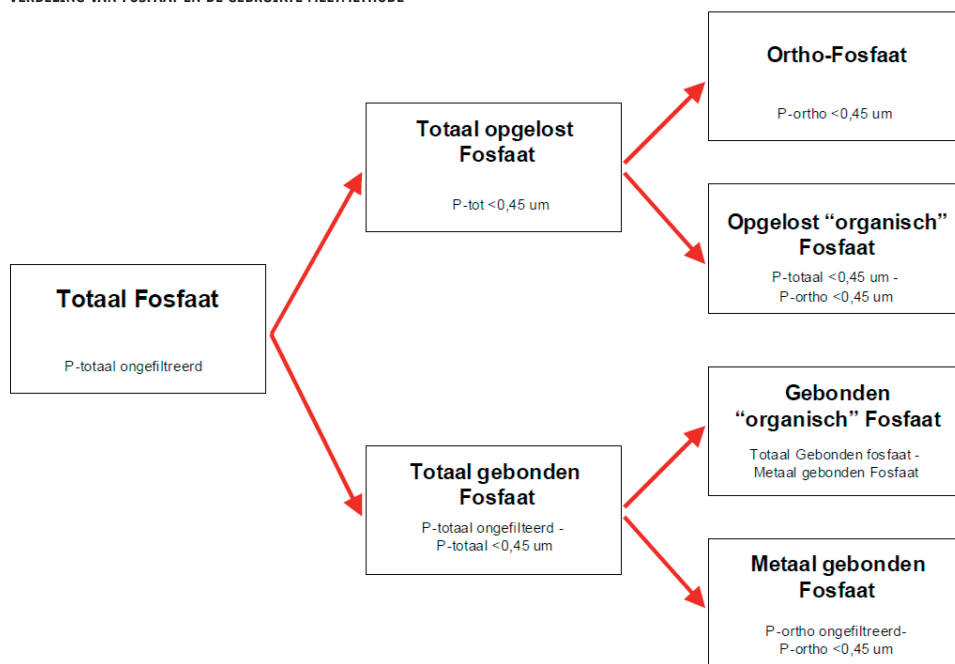
METHODIEK FOSFAATVERDELING EN FOSFAATFRACTIONERING

Totaalfosfaat kan worden onderverdeeld in vier meetbare fracties, dit zijn orthofosfaat, metaalgebonden fosfaat, opgelost 'organisch' fosfaat en gebonden 'organisch' fosfaat³⁰. Organisch wordt tussen aanhalingstekens geschreven omdat dit eigenlijk de som is van anorganisch zuur hydrolyseerbaar fosfaat (polyfosfaten en pyrofosfaten) en organisch fosfaat. Deze verdeling naar fosfaattype wordt aangeduid als fosfaatverdeling¹.

Voor het bepalen van de fosfaatverdeling, zie figuur 38, zijn vier metingen nodig.

FIGUUR 38

VERDELING VAN FOSFAAT EN DE GEBRUIKTE MEETMETHODE



Deze metingen zijn orthofosfaat in een ongefiltreerd monster, orthofosfaat in een monster gefiltreerd over 0,45 µm, totaalfosfaat in een ongefiltreerd monster en totaalfosfaat in een monster gefiltreerd over 0,45 µm. Voor de filtratie over 0,45 µm worden cellulose-acetaatfilters gebruikt. Er wordt 10 ml gefiltreerd met een onderdruk van 50 mbar. Bij een groter volume of hoger vacuüm kunnen afwijkingen in de meting ontstaan, als gevolg van koekfiltratie of doordat deeltjes afbreken en door het filter heen worden getrokken. De fosfaatconcentraties worden gemeten met Hach-Lange cuvettesten. De fracties gebonden fosfaat kunnen worden gescheiden door middel van filtratie. De afmeting en de sterkte van de metaalgebonden vlokken

30 s.m. scherrenberg, a.f. van nieuwenhuijzen, h.w.h. menkeld, j.j.m. den elzen, j.h.j.m. van der graaf, innovative phosphorus distribution method to achieve advanced chemical phosphorus removal, proceedings zurich, leading edge technology, june 2008.

en deeltjes is hierbij van belang. De verdeling van de deeltjesgrootte van metaalgebonden fosfaat kan worden bepaald door het monster te filtreren over filters met een poriegrootte van 0,45, 2 en 10 μm . Dit resulteert in concentratiegebieden behorend bij metaalgebonden fosfaatdeeltjes voor: < 0,45 μm (= orthofosfaat), 0,45-2 μm , 2-10 μm en > 10 μm . Deze verdeling wordt aangeduid als fractionering. In principe kan elke willekeurige afscheidingsdiameter in de fosfaatfractionering worden toegepast om specifieke deeltjesgroottefractioneringen te bepalen.

BIJLAGE 3

RESULTATEN

FOSFAATFRACTIONERINGSTESTEN

FOSFAATFRACTIONERING 17 JULI 2009

Instellingen

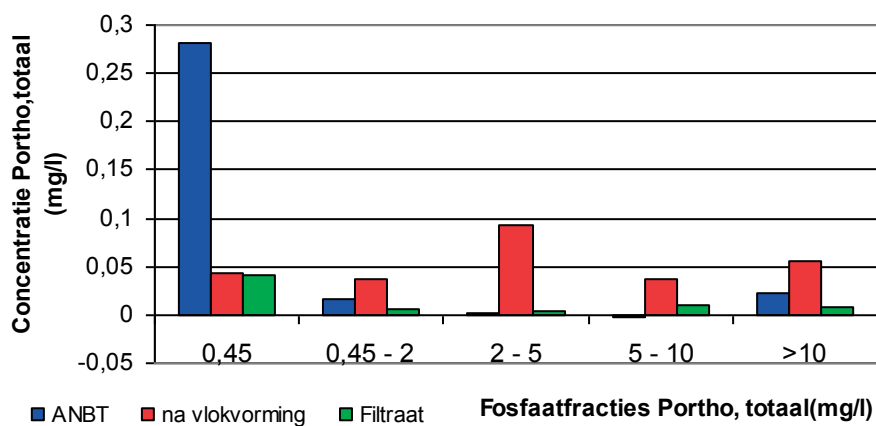
Debiet	22	m3/h
Filtratiesnelheid	60	m/h
Compressie	30	%
Beginndruk	276	mbar
Middendruk	314	mbar
Einddruk	350	mbar
Me/PO4-P	5	mol/mol
Looptijd	3	uur
Temperatuur	21,7	C

Coagulant: poly-ijzerchloride

Resultaten

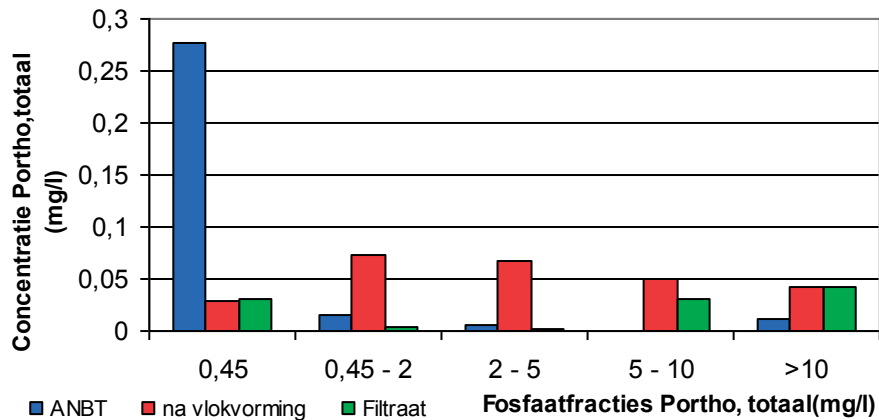
Datum	Run	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
17-jul-09	Begin	ANBT	0,426	0,32	0,298	0,3	0,299	0,39	0,282
		Na vlokvorming (via kraantje)	0,345	0,264	0,209	0,173	0,08	0,094	0,044
		Filtraat	0,091	0,069	0,061	0,051	0,048	0,069	0,042
	Midden	ANBT	0,393	0,311	0,299	0,299	0,293	0,334	0,277
		Na vlokvorming (via kraantje)	0,367	0,264	0,221	0,171	0,103	0,061	0,029
		Filtraat	0,133	0,108	0,066	0,035	0,034	0,053	0,030
	Eind	ANBT	0,376	0,311	0,294	0,293	0,299	0,334	0,27
		Na vlokvorming (uit vloktank)	0,382	0,266	0,184	0,058	0,045	0,057	0,027
		Filtraat	0,215	0,156	0,11	0,04	0,043	0,05	0,023

FIGUUR 39 FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN



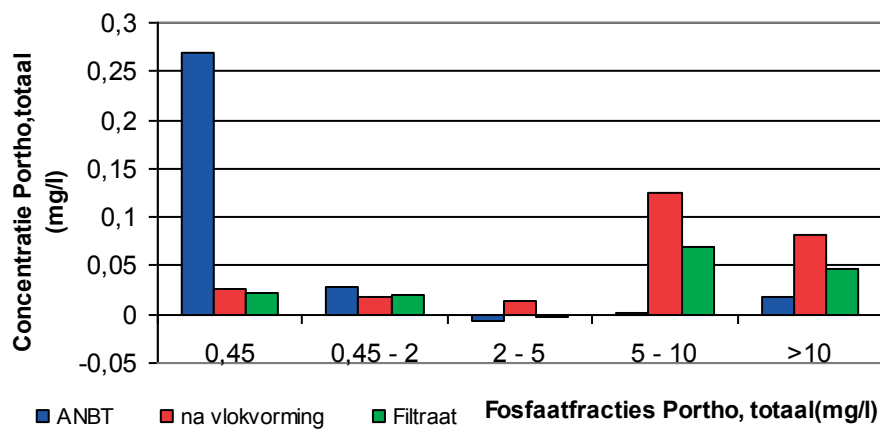
FIGUUR 40

FOSFAATFRACTIONERING MIDDEN VAN DE RUN



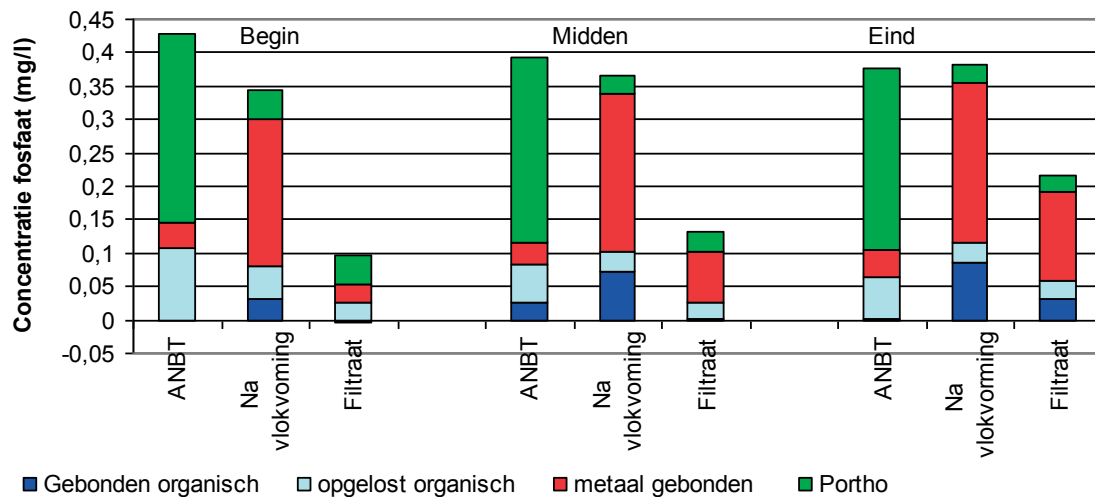
FIGUUR 41

FOSFAATFRACTIONERING EIND VAN DE RUN



FIGUUR 42

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD



FOSFAATFRACTIONERING 23 JULI 2009

Instellingen

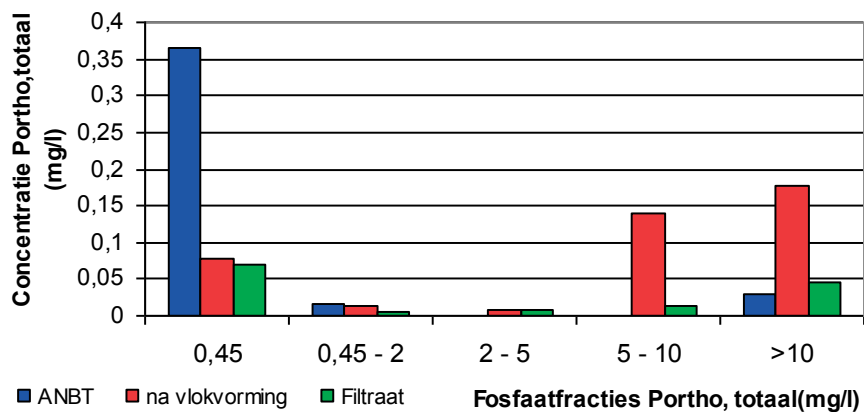
Debiet	19	m3/h
Filtratiesnelheid	51	m/h
Compressie	20	%
Begindruk	252	mbar
Middendruk	280	mbar
Einddruk	315	mbar
Me/PO4-P	5	mol/mol
Looptijd	4:30	uur
Temperatuur	19,4	C

Resultaten

Datum	Druk mbar	Run	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
23-jul-09	252	Begin	ANBT	0,484	0,409	0,38	0,38	0,379	0,403	0,364
			Na vlokvorming	0,511	0,413	0,237	0,098	0,091	0,085	0,077
			Filtraat	0,18	0,143	0,097	0,083	0,076	0,084	0,07
	280	Midden	ANBT	0,508	0,432	0,407	0,408	0,404	0,431	0,397
			Na vlokvorming	0,504	0,413	0,251	0,128	0,125	0,119	0,108
			Filtraat	0,28	0,221	0,171	0,093	0,091	0,098	0,085
	315	Eind	ANBT	0,497	0,427	0,403	0,398	0,394	0,42	0,386
			Na vlokvorming	0,626	0,507	0,198	0,086	0,086	0,086	0,073
			Filtraat	0,237	0,243	0,183	0,078	0,072	0,063	0,053

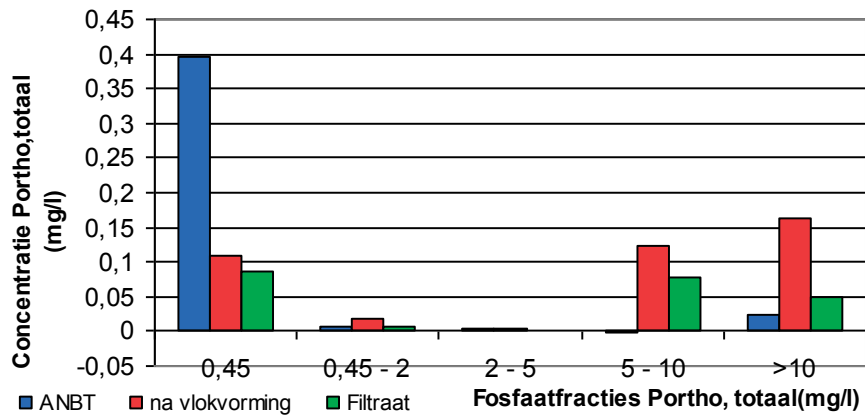
FIGUUR 43

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 4,8 MOL/MOL)



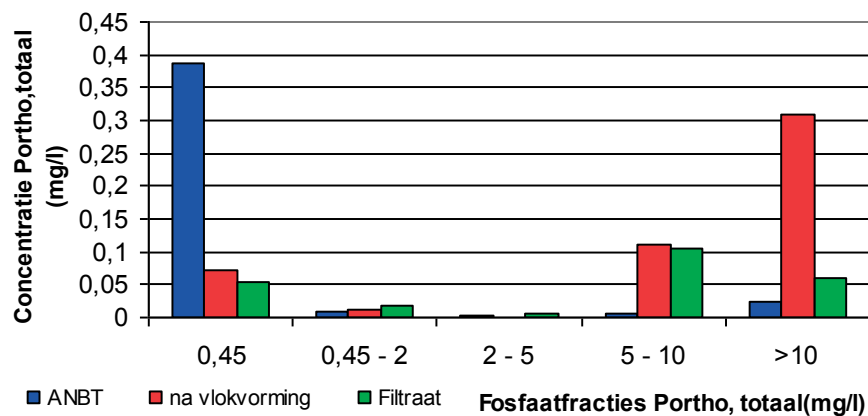
FIGUUR 44

FOSFAATFRACTIONERING MIDDEN VAN DE RUN (MEP 4,4 MOL/MOL)



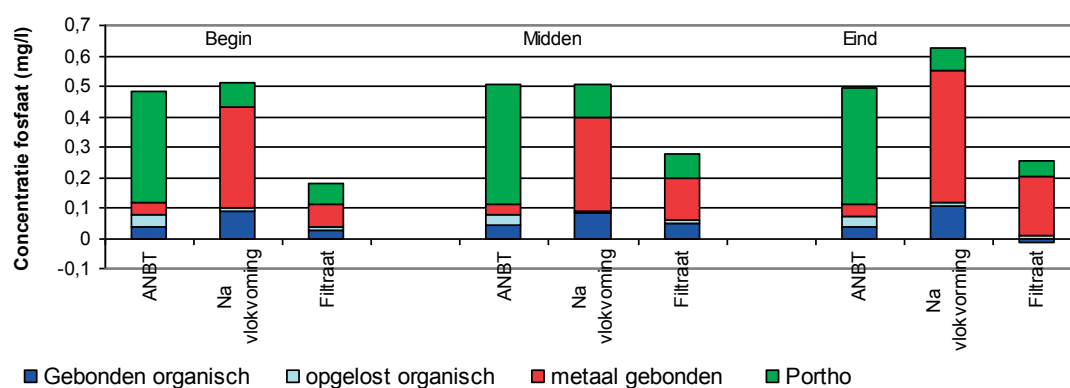
FIGUUR 45

FOSFAATFRACTIONERING EIND VAN DE RUN (MEP 4,5 MOL/MOL)



FIGUUR 46

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD



FOSFAATFRACTIONERING 24 JULI 2009

Instellingen

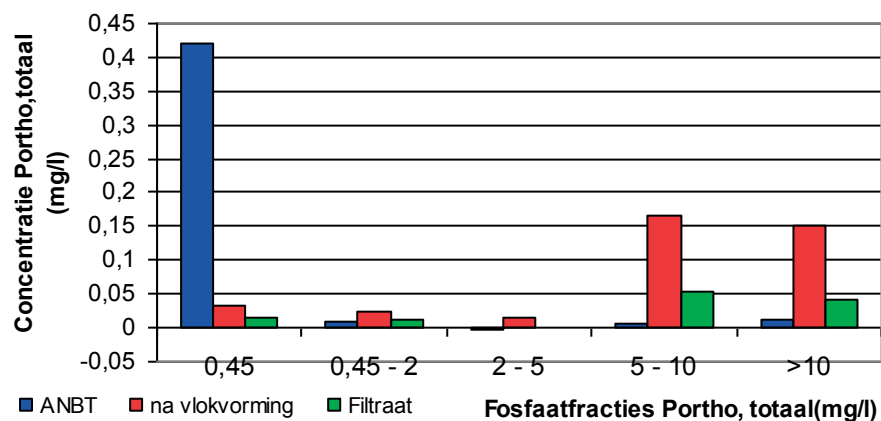
Debiet	19	m3/h
Filtratiesnelheid	51	m/h
Compressie	35	%
Begindruk	314	mbar
Middendruk	356	mbar
Einddruk	390	mbar
Me/PO4-P	5	mol/mol
Looptijd	2:25	uur
Temperatuur	19,2	C

Resultaten

Datum	Druk mbar	Run	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
24-jul-09		Begin	ANBT	0,505	0,443	0,432	0,427	0,429	0,458	0,421
			Na vlokvorming	0,479	0,387	0,237	0,071	0,055	0,040	0,032
			Filtraat	0,159	0,124	0,082	0,028	0,028	0,033	0,016
		Midden	ANBT	0,491	0,441	0,43	0,439	0,433	0,452	0,419
			Na vlokvorming	0,477	0,412	0,253	0,099	0,063	0,059	0,037
			Filtraat	0,245	0,183	0,135	0,035	0,041	0,046	0,027
		Eind	ANBT	0,492	0,45	0,436	0,435	0,436	0,444	0,435
			Na vlokvorming	0,505	0,438	0,278	0,061	0,06	0,044	0,032
			Filtraat	0,286	0,245	0,198	0,079	0,039	0,035	0,023

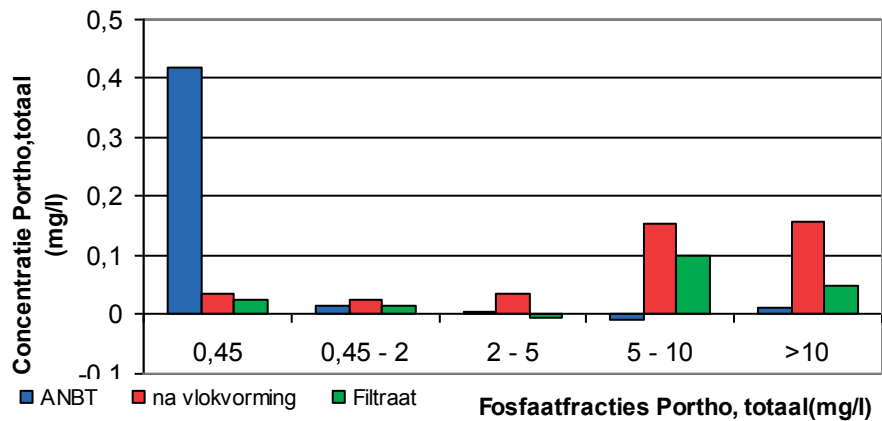
FIGUUR 47

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 5,4 MOL/MOL)



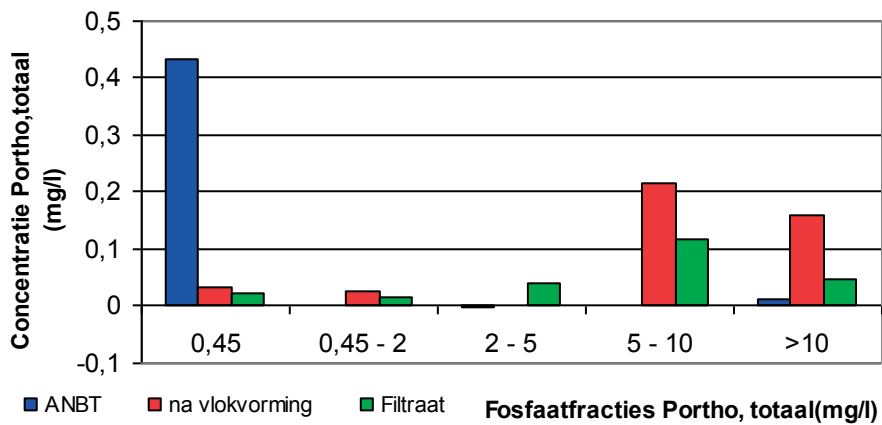
FIGUUR 48

FOSFAATFRACTIONERING MIDDEN VAN DE RUN (MEP 5,5 MOL/MOL)



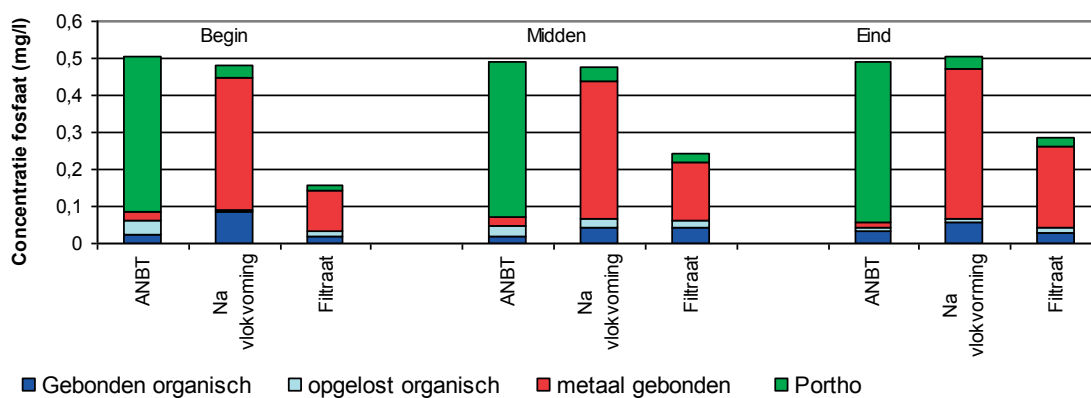
FIGUUR 49

FOSFAATFRACTIONERING EIND VAN DE RUN (MEP 5,3 MOL/MOL)



FIGUUR 50

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD



FOSFAATFRACTIONERING 10 AUGUSTUS 2009

Instellingen

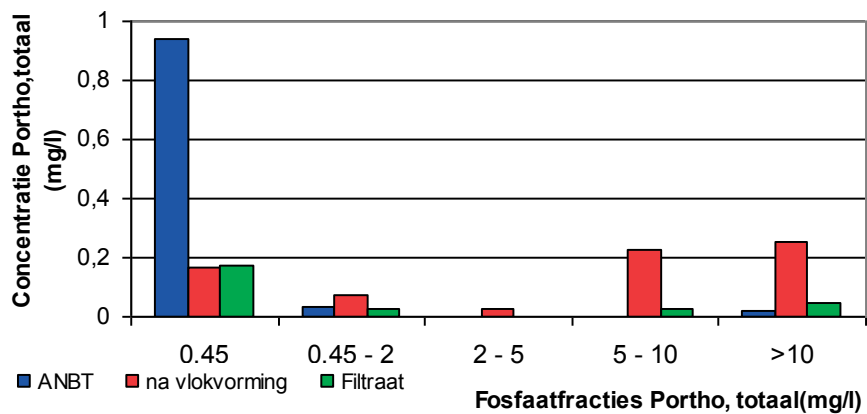
Debiet	22	m3/h
Filtratiesnelheid	60	m/h
Compressie	30	%
Begindruk	276	mbar
Middendruk	307	mbar
Einddruk	330	mbar
Me/PO4-P	5	mol/mol
Looptijd	2:05	uur
Temperatuur		C

Resultaten

Datum	Druk mbar	Run	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
10-aug-09	276	Begin	ANBT	1,060	0,991	0,971	0,973	0,973	1,010	0,942
			Na vlokvorming	0,828	0,746	0,492	0,268	0,244	0,205	0,169
			Filtraat	0,313	0,277	0,229	0,202	0,201	0,223	0,176
	307	Midden	ANBT	1,010	0,951	0,908	0,924	0,922	0,948	0,896
			Na vlokvorming	1,140	1,000	0,633	0,239	0,221	0,205	0,175
			Filtraat	0,491	0,440	0,354	0,186	0,185	0,191	0,162
	330	Eind	ANBT	1,010	0,953	0,928	0,927	0,924	0,964	0,900
			Na vlokvorming	1,340	1,160	0,627	0,492	0,241	0,217	0,177
			Filtraat	0,615	0,545	0,444	0,175	0,181	0,183	0,152

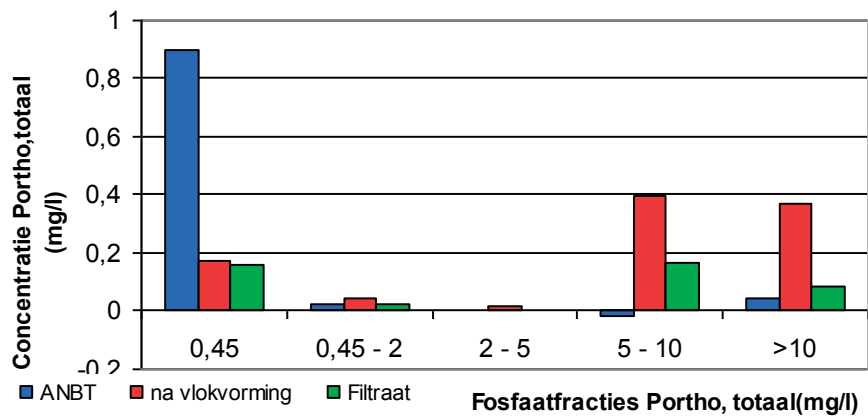
FIGUUR 51

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN



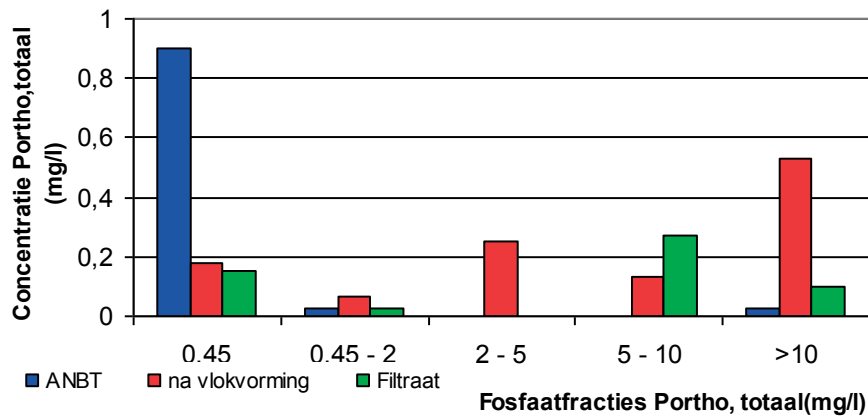
FIGUUR 52

FOSFAATFRACTIONERING MIDDEN VAN DE RUN



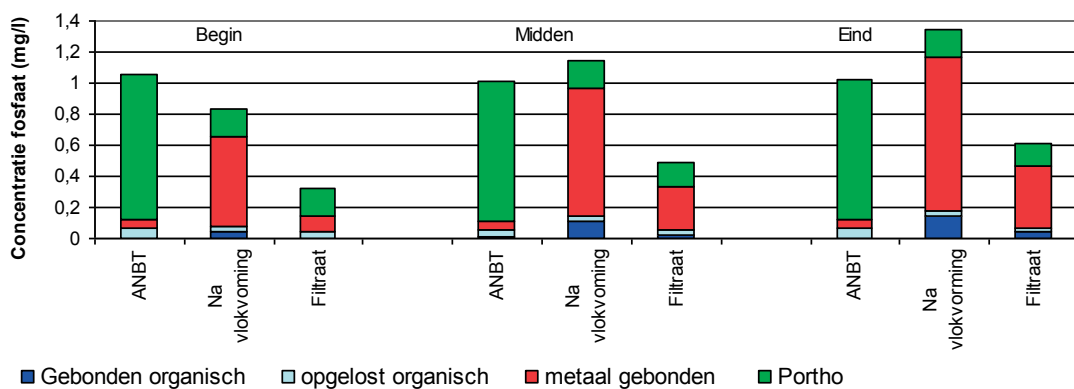
FIGUUR 53

FOSFAATFRACTIONERING EIND VAN DE RUN



FIGUUR 54

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD



FOSFAATFRACTIONERING 15 OKTOBER 2009

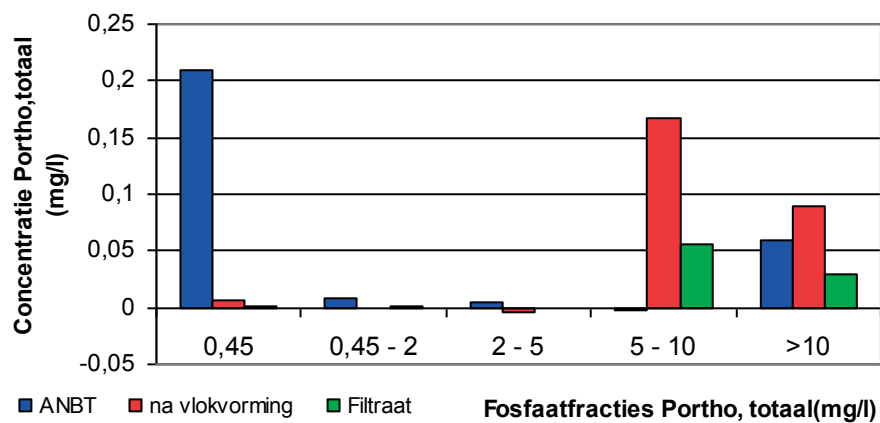
Instellingen

Debiet	22	m3/h
Filtratiesnelheid	60	m/h
Compressie	30	%
Begindruk	284	mbar
Middendruk	308	mbar
Einddruk	324	mbar
Me/PO4-P	5	mol/mol
Looptijd	1:45	uur
Temperatuur	14,3	C

Resultaten

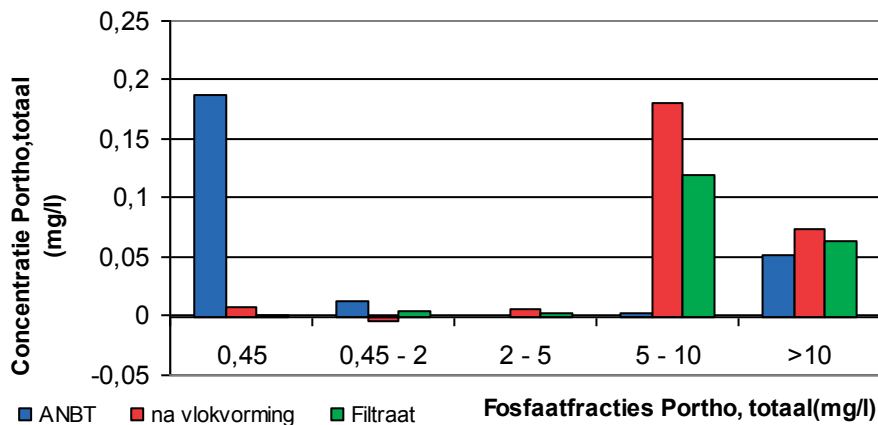
Datum	Druk mbar	Run	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
15-okt-09		Begin	ANBT	0,339	0,278	0,219	0,222	0,218	0,223	0,210
			Na vlokvorming	0,292	0,257	0,168	0,001	0,006	0,007	0,007
			Filtraat	0,097	0,086	0,057	0,002	0,003	0,007	0,001
		Midden	ANBT	0,310	0,253	0,202	0,200	0,200	0,217	0,188
			Na vlokvorming	0,320	0,263	0,19	0,009	0,003	0,004	0,008
			Filtraat	0,240	0,190	0,127	0,008	0,005	0,001	0,001
		Eind	ANBT	0,286	0,237	0,200	0,201	0,200	0,221	0,189
			Na vlokvorming	0,316	0,257	0,169	0,006	0,005	0,003	0,000
			Filtraat	0,275	0,224	0,143	0,011	0,011	0,003	0,014

FIGUUR 55 FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 4,8 MOL/MOL)



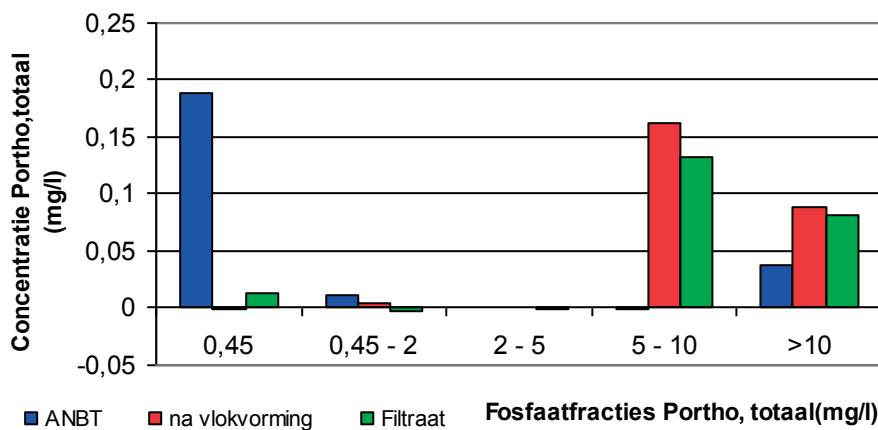
FIGUUR 56

FOSFAATFRACTIONERING MIDDEN VAN DE RUN (MEP 5,3 MOL/MOL)



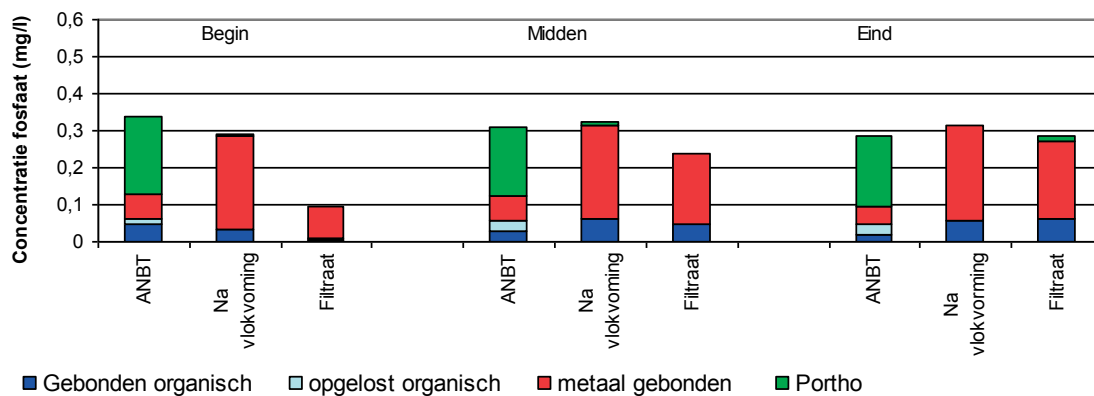
FIGUUR 57

FOSFAATFRACTIONERING EIND VAN DE RUN (MEP 5,2 MOL/MOL)



FIGUUR 58

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD



FOSFAATFRACTIONERING 16 NOVEMBER 2009

Instellingen

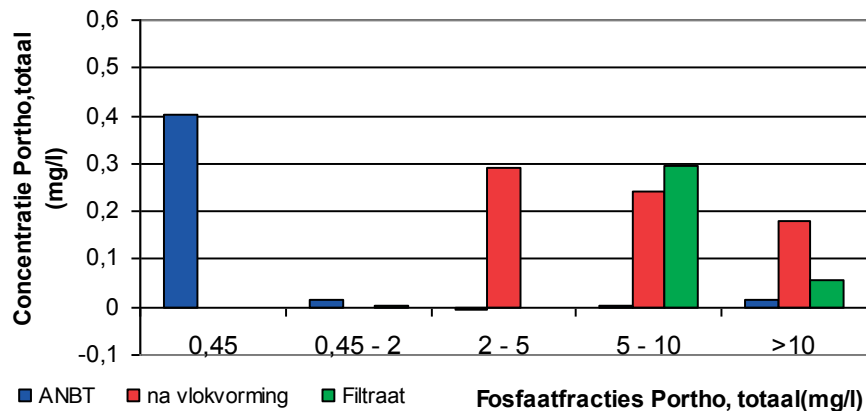
Debiet	8	m3/h
Filtratiesnelheid	21	m/h
Compressie	30	%
Begindruk	245	mbar
Middendruk	256	mbar
Einddruk	gestopt	mbar
Me/PO4-P	5	mol/mol
Looptijd	gestopt	uur
Temperatuur	14	C

Resultaten

Datum	Druk mbar	Run	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
16-nov-09	245	Begin	ANBT	0,511	0,433	0,417	0,414	0,418	0,437	0,404
			Na vlokvorming	0,813	0,715	0,534	0,293	0,000	0,001	0,000
			Filtraat	0,388	0,351	0,294	0,000	0,001	0,000	0,000
	256	Midden	ANBT	0,511	0,445	0,406	0,409	0,408	0,432	0,386
			Na vlokvorming	0,776	0,774	0,493	0,000	0,000	0,000	0,000
			Filtraat	0,608	0,558	0,462	0,130	0,000	0,000	0,000
		Eind	ANBT							
			Na vlokvorming							
			Filtraat							

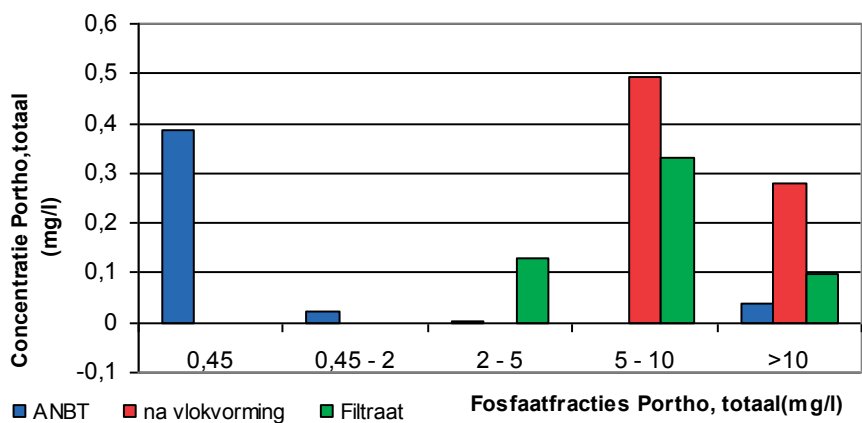
FIGUUR 59

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 5,3 MOL/MOL)



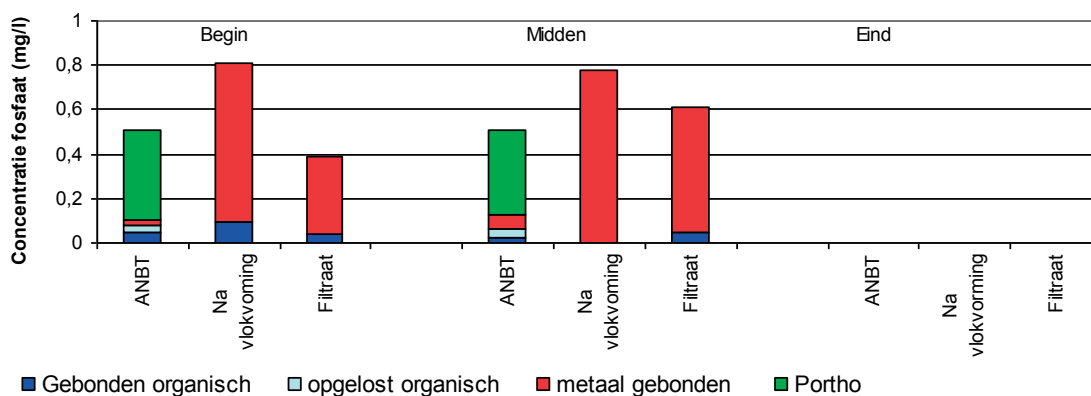
FIGUUR 60

FOSFAATFRACTIONERING MIDDEN VAN DE RUN (MEP 5,6 MOL/MOL)



FIGUUR 61

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD



FOSFAATFRACTIONERING 17 FEBRUARI 2010

Instellingen

Debiet	8	m ³ /h
Filtratiesnelheid	21	m/h
Compressie	30	%
Begindruk	301	mbar
Einddruk	392	mbar
Me/PO ₄ -P	5	mol/mol
Looptijd	1:30	uur
Coagulant	FeCl ₃ + PE	
Temperatuur	7,9	°C

Resultaten

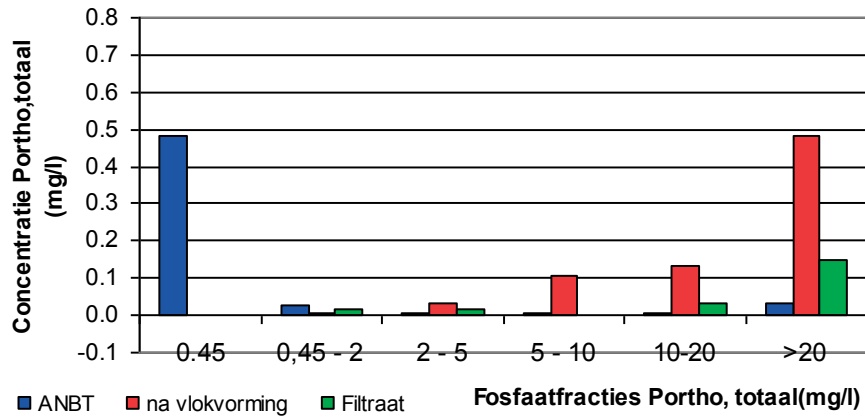
Datum	Druk mbar	Druk toename	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<20	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
17-feb-10	301	0	ANBT	0,628	0,557	0,523	0,518	0,511	0,506	0,544	0,481
			Na vlokvorming	0,977	0,754	0,274	0,142	0,038	0,008	0,016	0,000*
			Filtraat	0,280	0,213	0,065	0,031	0,032	0,015	0,019	0,000
	321	20	ANBT								0,516
			Na vlokvorming	0,910	0,701	0,011	0,002	0,017	0,027	0,004	0,000*
			Filtraat	0,126	0,097	0,021	0,005	0,000	0,065	0,008	0,000*
	351	50	ANBT								0,507
			Na vlokvorming	0,891	0,718	0,007	0,025	0,005	0,000*	0,000*	0,000*
			Filtraat	0,332	0,284	0,153	0,105	0,000*	0.289	0,004	0,000*
	372	70	ANBT								0,511
			Na vlokvorming	1,060	0,774	0,179	0,049	0,005	0,015	0,001	0,000*
			Filtraat	0,475	0,385	0,156	0,000*	0,000*	0,000*	0,004	0,000*
	392	90	ANBT								0,508
			Na vlokvorming	0,960	0,637	0,193	0,004	0,004	0,000	0,003	0,000*
			Filtraat	0,477	0,404	0,281	0,004	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

* Waarde op 0,000 mg/l gezet, omdat het meetresultaat negatief was.

* Waarde op 0,000 mg/l gezet, omdat het meetresultaat negatief was.

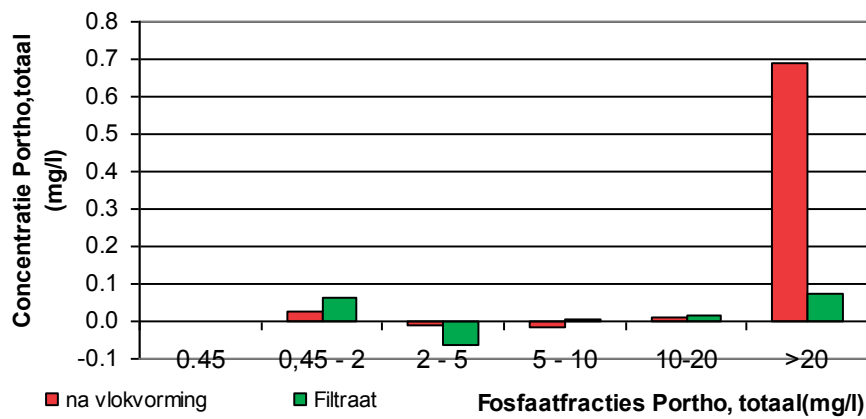
FIGUUR 62

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 5,4 MOL/MOL). 0 MBAR DRUKOPBOUW



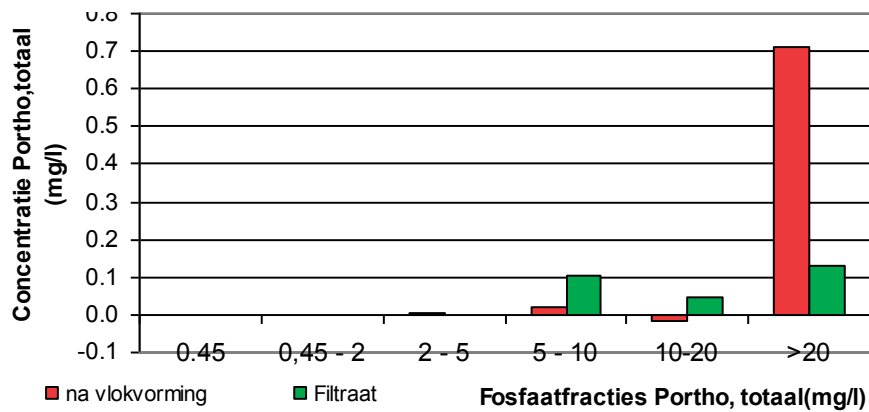
FIGUUR 63

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 20 MBAR (MEP 5,0 MOL/MOL)



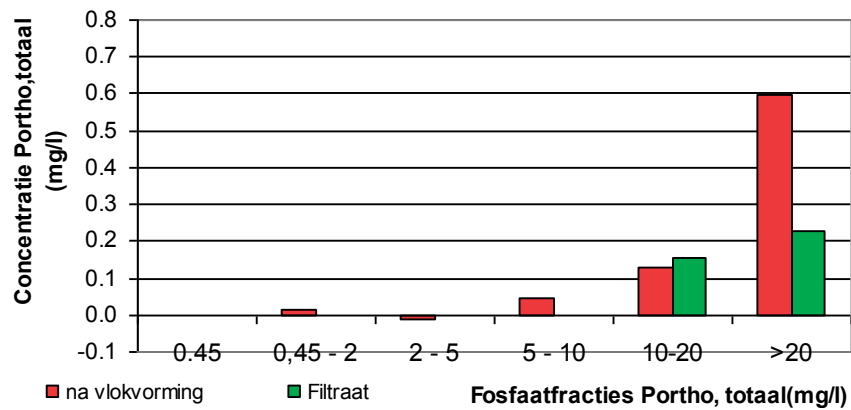
FIGUUR 64

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 50 MBAR (MEP 5,1 MOL/MOL)



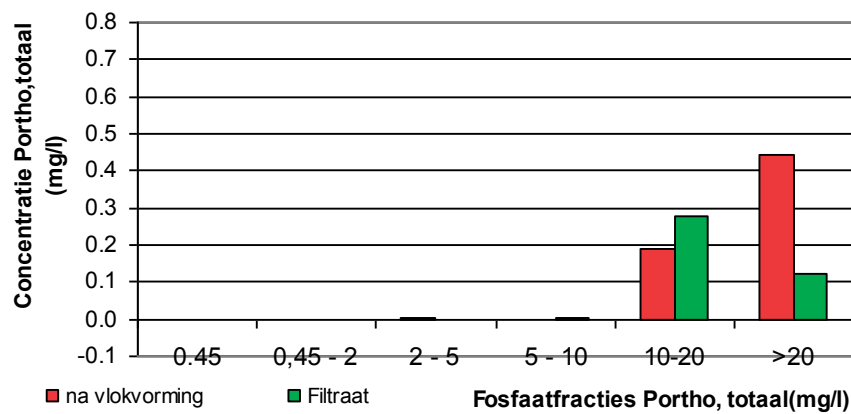
FIGUUR 65

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 70 MBAR (MEP 5,1 MOL/MOL)



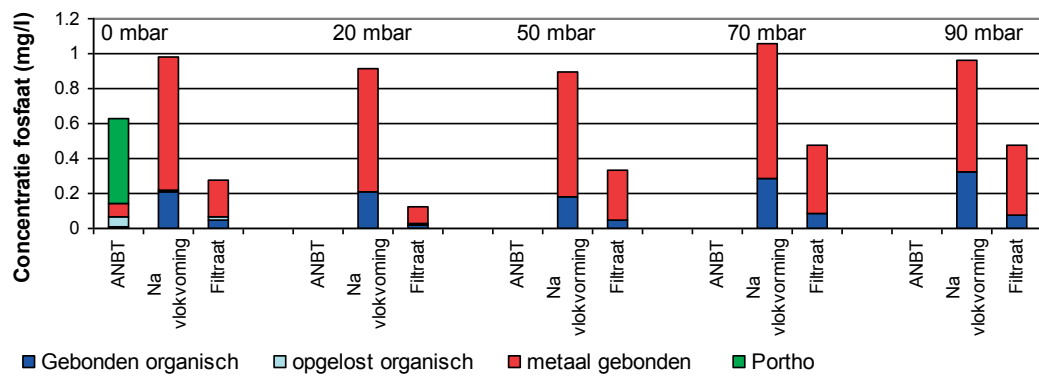
FIGUUR 66

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 90 MBAR (MEP 5,1 MOL/MOL). EINDE VAN DE RUN

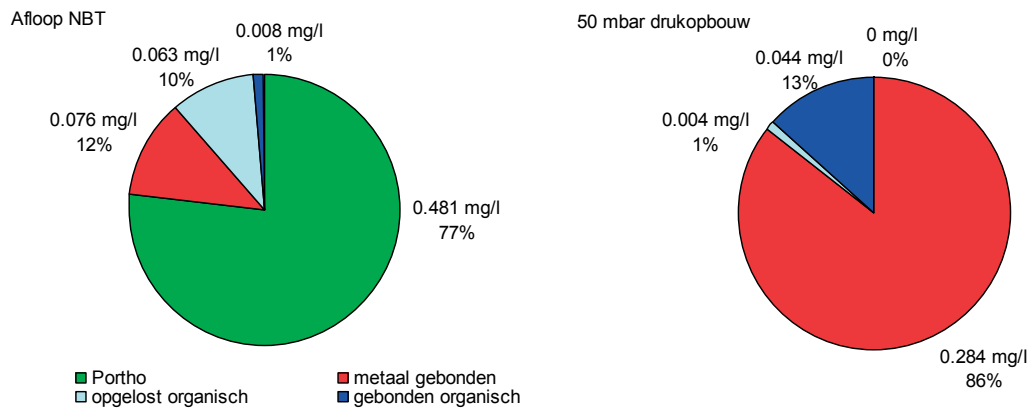


FIGUUR 67

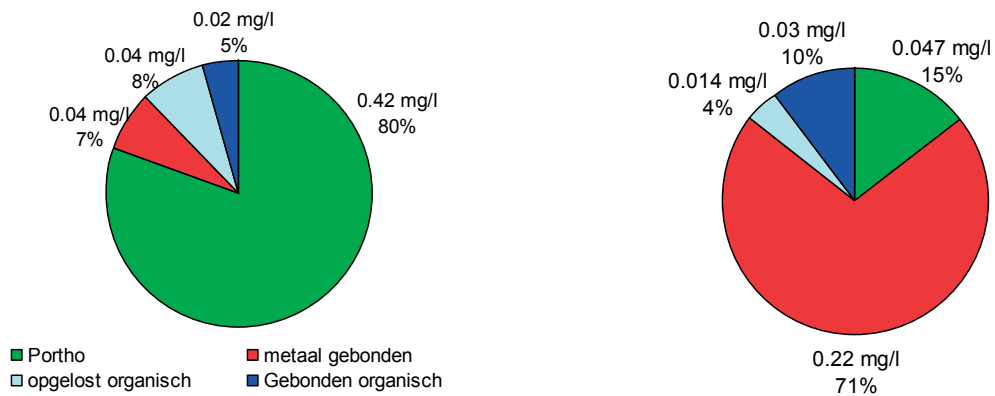
FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD (90 MIN)



FIGUUR 68 FOSFAATVERDELING (PROCENTUEEL) IN DE AFLOOP NBT EN NA 50 MBAR DRUKOPBOUW



FIGUUR 69 GEMIDDELTE (6 VOORGAANDE METINGEN) FOSFAATVERDELING (PROCENTUEEL) IN DE AFLOOP NBT EN NA 40 MBAR DRUKOPBOUW



FOSFAATFRACTIONERING 1 MAART 2010

Instellingen

Debiet	8	m ³ /h
Filtratiesnelheid	21	m/h
Compressie	34	%
Begindruk	270	mbar
Einddruk	370	mbar
Me/PO ₄ -P	5	mol/mol
Looptijd	1:28	uur
Coagulant	PAX-18 + PE	
Temperatuur	6.6	°C

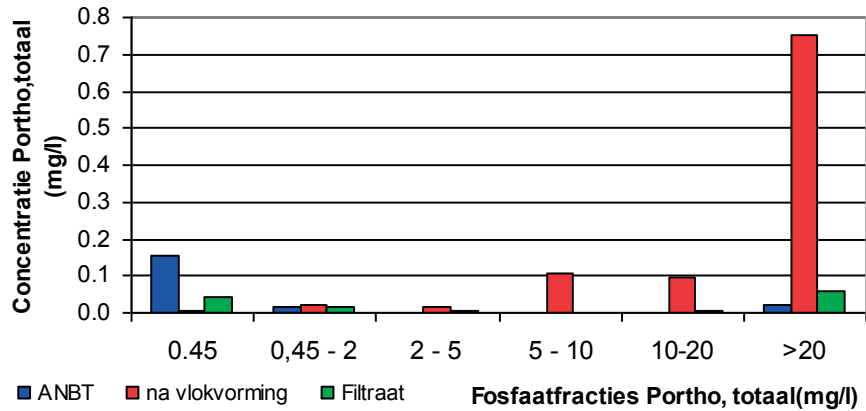
Resultaten fosfaatmetingen

Datum	Druk mbar	Druk toename	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<20	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
1-mrt-10	270	0	ANBT	0.234	0.194	0.175	0.175	0.173	0.171	0.181	0.156
			Na vlokvorming	1.440	0.999	0.247	0.150	0.044	0.026	0.007	0.005
			Filtraat	0.183	0.124	0.064	0.060	0.060	0.057	0.046	0.042
	290	20	ANBT								0.135
			Na vlokvorming	0.995	0.634	0.034	0.068	0.031	0.535	0.000	0.000*
			Filtraat	0.083	0.057	0.048	0.041	0.046	0.040	0.034	0.028
	310	40	ANBT								0.136
			Na vlokvorming	0.749	0.484	0.029	0.025	0.108	0.019	0.000*	0.002
			Filtraat	0.067	0.045	0.032	0.027	0.031	0.028	0.024	0.000*
	330	60	ANBT								0.143
			Na vlokvorming	0.517	0.362	0.026	0.027	0.022	0.017	0.000	0.000*
			Filtraat	0.090	0.063	0.033	0.026	0.029	0.026	0.022	0.022
	350	80	ANBT								0.139
			Na vlokvorming	0.826	0.472	0.040	0.016	0.048	0.013	0.000*	0.000*
			Filtraat	0.068	0.053	0.023	0.023	0.018	0.021	0.023	0.016
	370	100	ANBT								0.152
			Na vlokvorming	0.624	0.420	0.023	0.014	0.012	0.012	0.001	0.000*
			Filtraat	0.073	0.048	0.021	0.013	0.012	0.011	0.020	0.010

* Waarde op 0,000 mg/l gezet, omdat het meetresultaat negatief was.

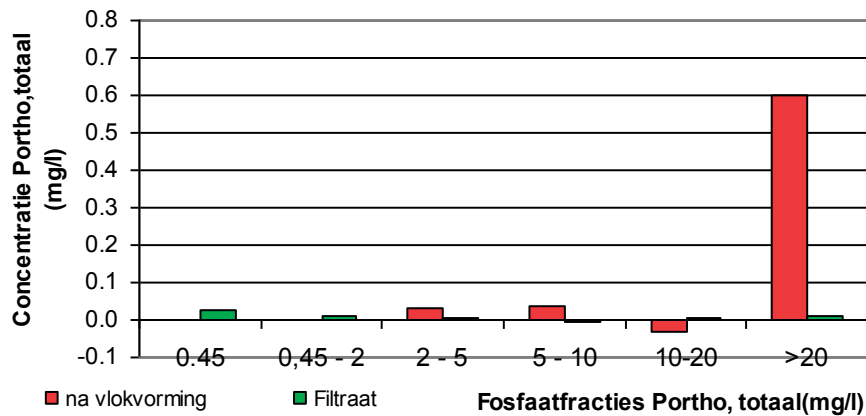
FIGUUR 70

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 6,1 MOL/MOL). 0 MBAR DRUKOPBOUW



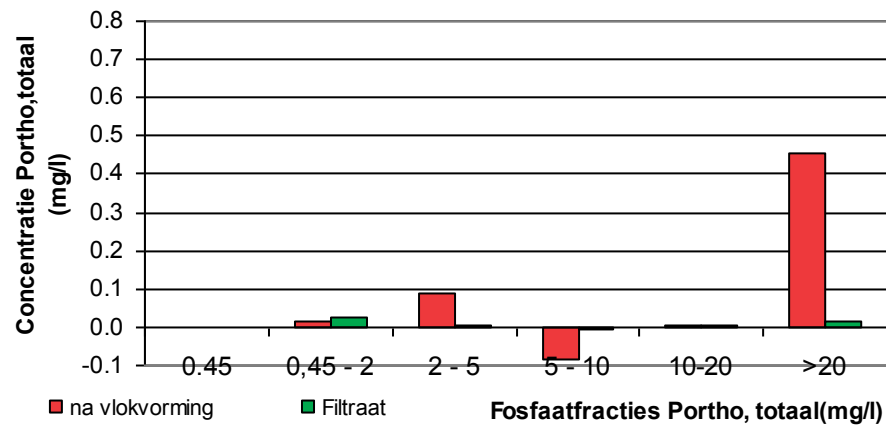
FIGUUR 71

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 20 MBAR (MEP 7,0 MOL/MOL)



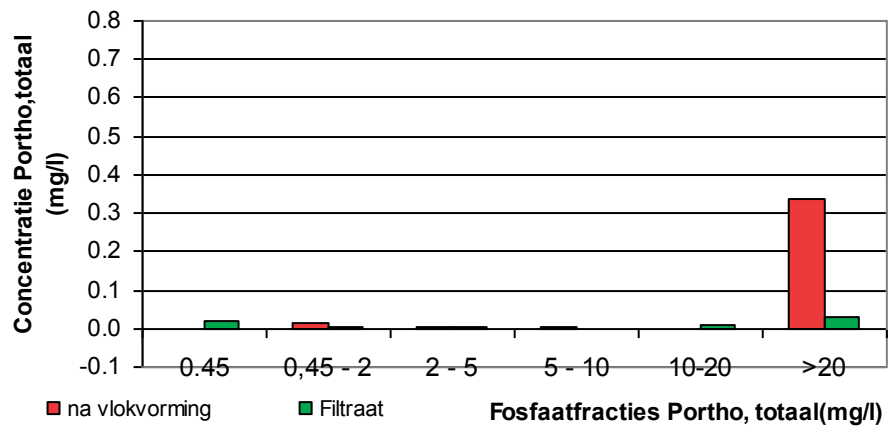
FIGUUR 72

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 40 MBAR (MEP 7,0 MOL/MOL)



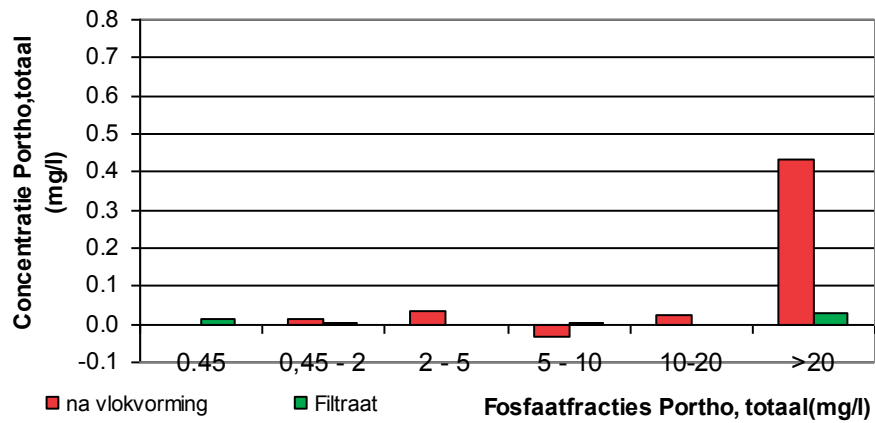
FIGUUR 73

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 60 MBAR (MEP 6,6 MOL/MOL)

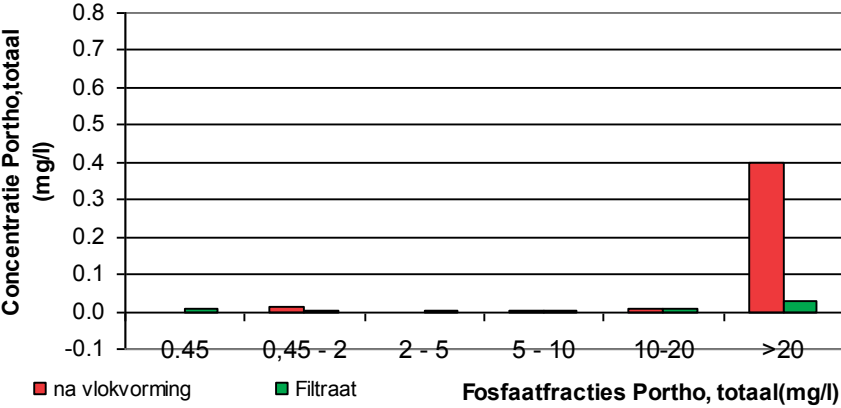


FIGUUR 74

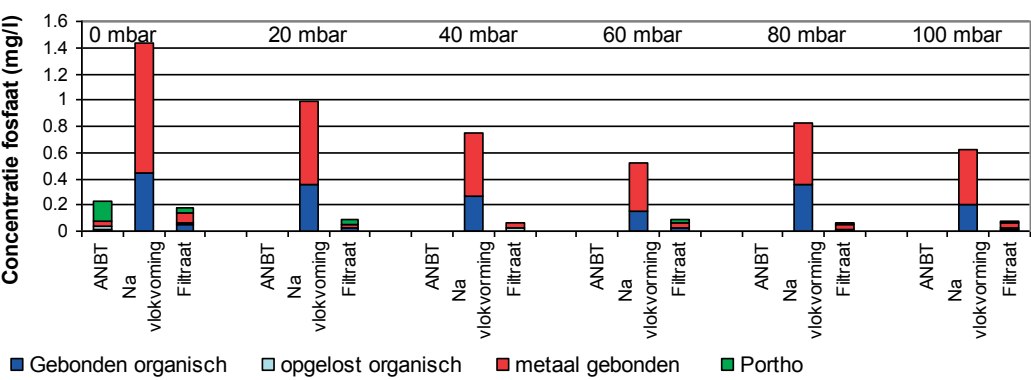
FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 80 MBAR (MEP 6,8 MOL/MOL). EINDE VAN DE RUN



FIGUUR 75 FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 100 MBAR (MEP 6,8 MOL/MOL). EINDE VAN DE RUN



FIGUUR 76 FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD (88 MIN)



FOSFAATFRACTIONERING 11 OKTOBER 2010

Instellingen

Debiet	16,8	m ³ /h
Filtratiesnelheid	?	m/h
Compressie	?	%
Begindruk	244	mbar
Einddruk	264	mbar
Me/PO ₄ -P	7	mol/mol
Looptijd	47	min.
Coagulant	Poly aluminium	
Temperatuur	15,3	°C

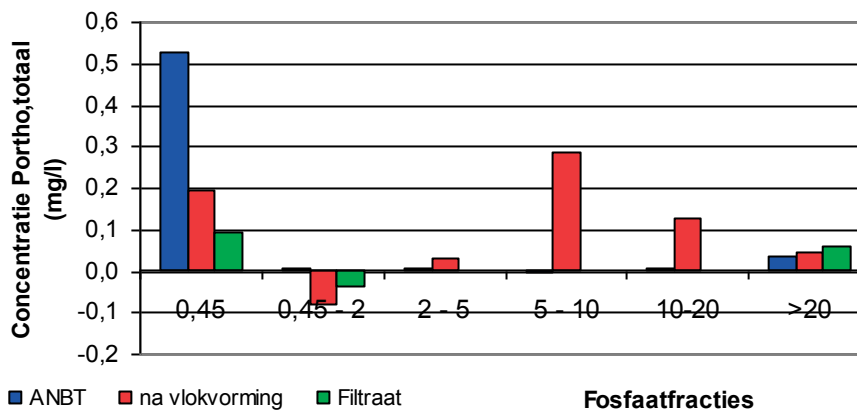
Resultaten fosfaatmetingen

Datum	Druk	Runtijd	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<20	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45
08-okt-10	mbar	min.									
begin	244	5	ANBT	0,638	0,584	0,546	0,541	0,542	0,533	0,555	0,528
			Na vlokvorming	0,669	0,605	0,559	0,433	0,148	0,115	0,447	0,195
			Filtraat	0,142	0,122	0,064	0,060	0,060	0,057	0,122	0,095
midden	246	25	ANBT	0,613	0,569	0,527	0,535	0,534	0,532	0,541	0,511
			Na vlokvorming	0,653	0,601	0,560	0,510	0,157	0,120	0,098	0,074
			Filtraat	0,120	0,101	0,095	0,093	0,093	0,087	0,103	0,079
eind		47	ANBT	0,628	0,571	0,534	0,531	0,530	0,527	0,544	0,501
			Na vlokvorming	0,635	0,580	0,480	0,434	0,133	0,097	0,082	0,062
			Filtraat	0,131	0,109	0,099	0,095	0,091	0,092	0,107	0,081

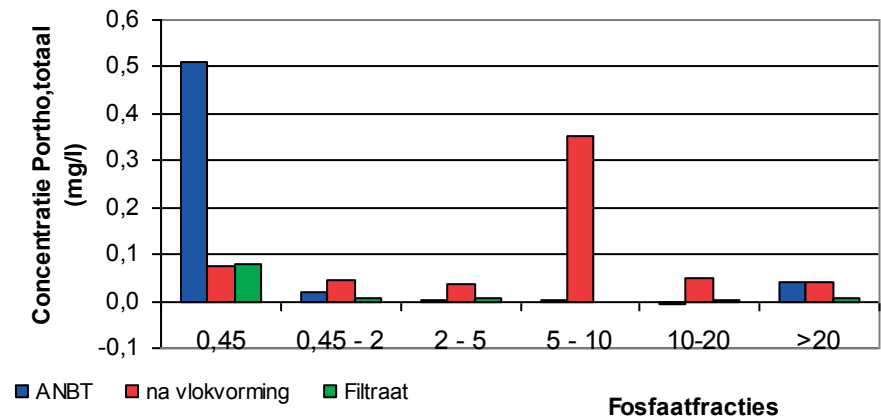
* Waarde op 0,000 mg/l gezet, omdat het meetresultaat negatief was.

FIGUUR 77

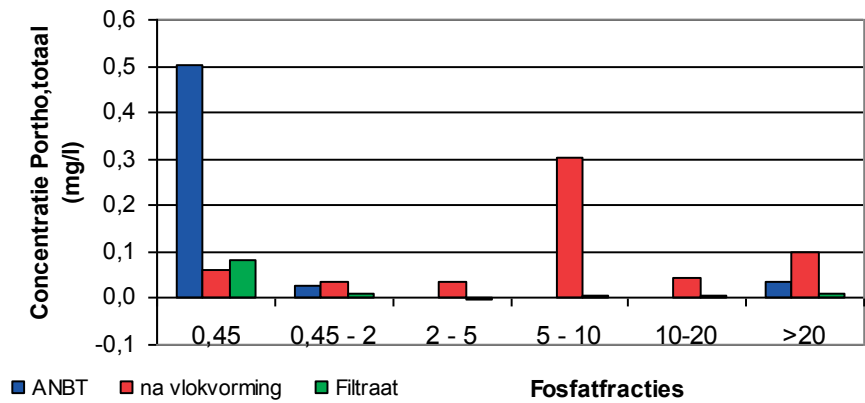
FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 7,1 MOL/MOL). 0 MBAR DRUKOPBOUW



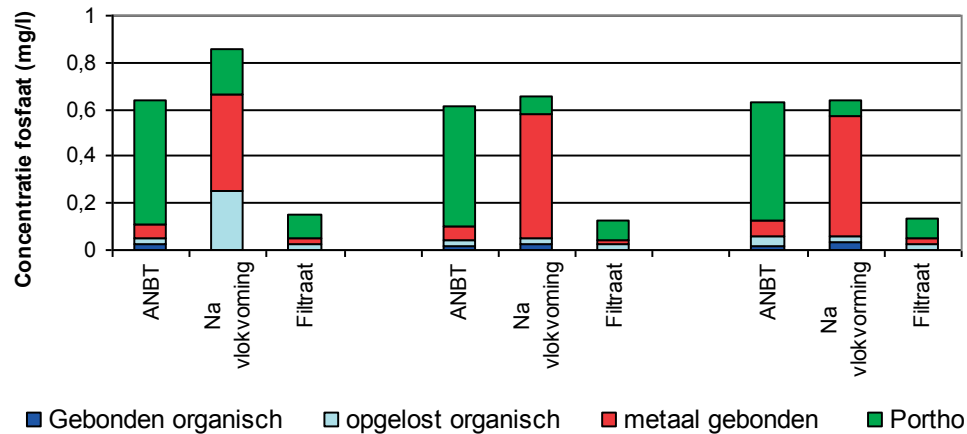
FIGUUR 78 FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 4 MBAR (MEP 6,8 MOL/MOL)



FIGUUR 79 FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 20 MBAR (MEP 7,1 MOL/MOL)



FIGUUR 80 FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD (47 MIN)



FOSFAATFRACTIONERING 11 OKTOBER 2010

Debiet	16	m ³ /h
Filtratiesnelheid	?	m/h
Compressie	?	%
Begindruk	261	mbar
Einddruk	270	mbar
Me/PO ₄ -P	7	mol/mol
Looptijd	83	min.
Coagulant	poly-aluminium	
Temperatuur	13,7	°C

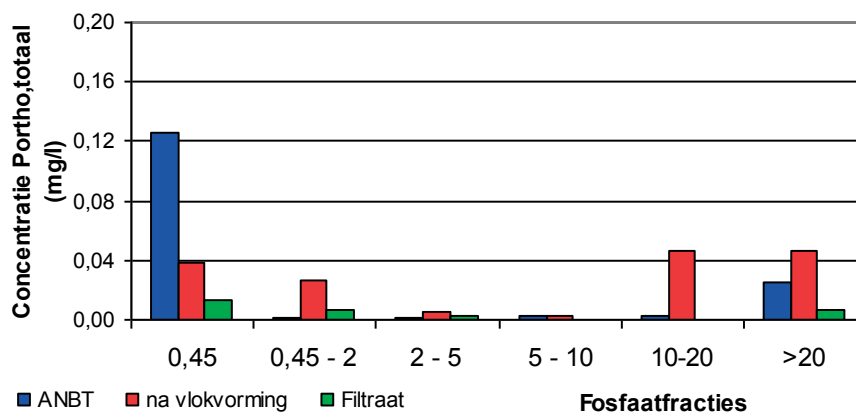
Resultaten

				Q: 16 m ³ /h	MeP 7	Coagulant: Ekofix			T: 13,7°C	pH anbt: 7,44	pH filtr.: 7,45	
Datum	Druk	Runtijd	Monsterpunt	Ptotaal	Portho	Portho<20	Portho<10	Portho<5	Portho<2	Ptotaal<0,45	Portho<0,45	
18-okt-10	mbar	min.										
begin	261	9	ANBT	0,203	0,157	0,132	0,130	0,128	0,127	0,136	0,126	
			Na vlokvorming	0,244	0,166	0,119	0,072	0,069	0,064	0,062	0,038	
			Filtraat	0,048	0,028	0,022	0,022	0,022	0,020	0,028	0,013	
midden	264	45	ANBT	0,203	0,157	0,132	0,130	0,128	0,127	0,136	0,126	
			Na vlokvorming	0,227	0,169	0,121	0,102	0,090	0,086	0,039	0,028	
			Filtraat	0,060	0,037	0,036	0,033	0,030	0,031	0,035	0,021	
eind	270	83	ANBT	0,203	0,157	0,132	0,130	0,128	0,127	0,136	0,126	
			Na vlokvorming	0,224	0,184	0,133	0,119	0,086	0,089	0,033	0,024	
			Filtraat	0,064	0,037	0,031	0,029	0,030	0,030	0,039	0,019	

* Waarde op 0,000 mg/l gezet, omdat het meetresultaat negatief was.

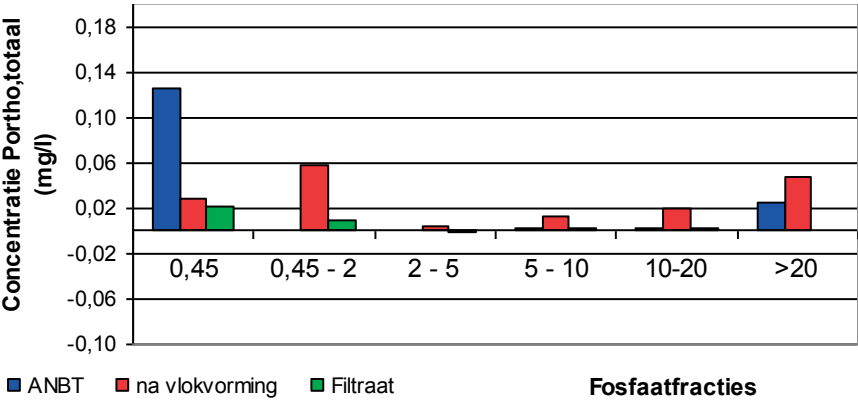
FIGUUR 81

FOSFAATFRACTIONERING BEGIN VAN DE RUN (MEP 6,8 MOL/MOL). 0 MBAR DRUKOPBOUW



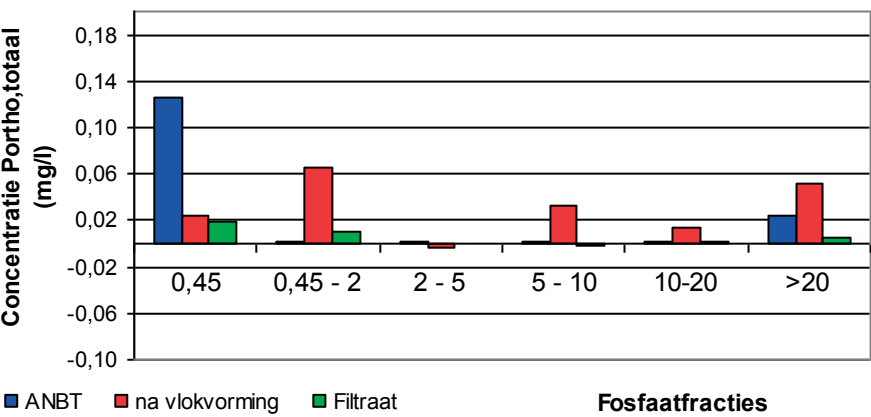
FIGUUR 82

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 3 MBAR (MEP 7,0 MOL/MOL)



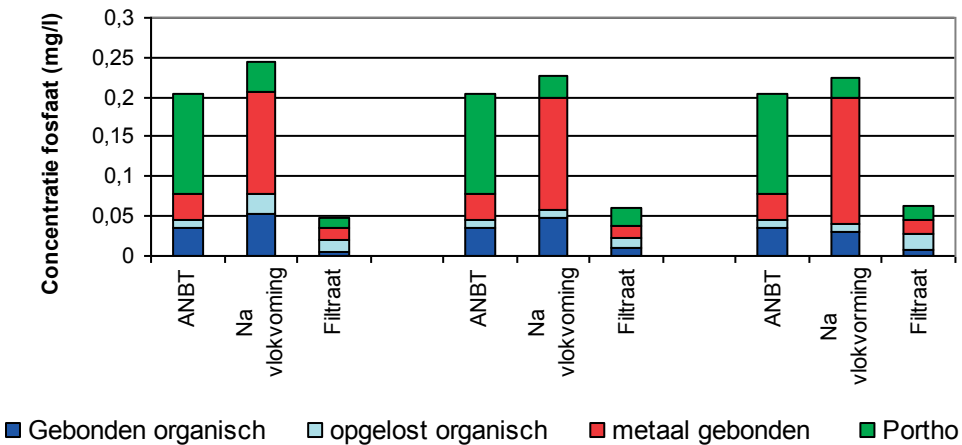
FIGUUR 83

FOSFAATFRACTIONERING BIJ EEN DRUKOPBOUW VAN 9 MBAR (MEP 7,1 MOL/MOL)



FIGUUR 84

FOSFAATVERDELING GEDURENDE DE LOOPTIJD (83 MIN)



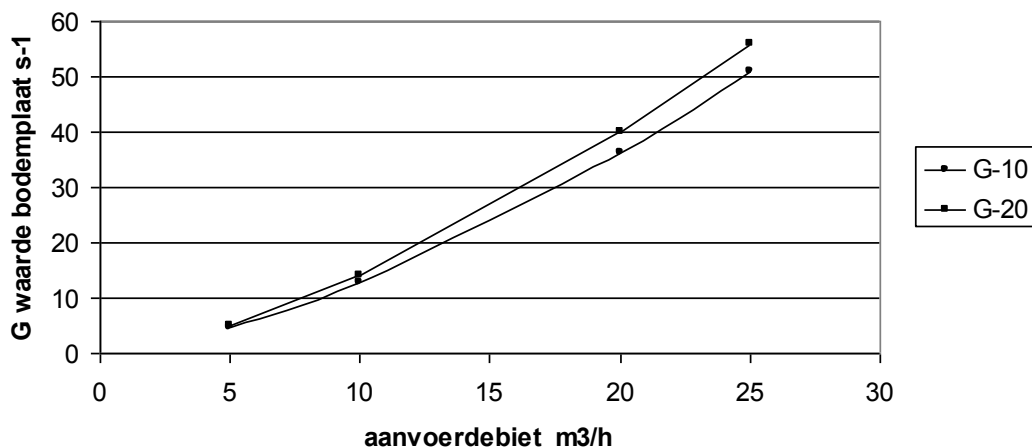
BIJLAGE 4

BEREKENING G-WAARDEN IN FUZZY FILTERS

Omdat Fuzzy Filters doorgaans hoger belast worden dan zandfilters bestaat er de mogelijkheid dat in het Fuzzy Filter de condities dusdanig zijn dat de eenmaal gevormde vlokken instabiel zijn. Om hiervan een inschatting te maken kunnen de mengintensiteiten in het filter worden bepaald. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de geperforeerde bodemplaat (inlaat) en het eigenlijke filtratiecompartiment.

De berekende G-waarde over de bodemplaat van het Fuzzy Filter is gegeven in figuur 85.

FIGUUR 85 **BEREKENDE G-WAARDEN OVER BODEMPLAAT FUZZY FILTER BIJ 10 (G-10) EN 20 °C (G-20). DE BEREKENING IS GEBASEERD OP BODEMPLAAT FUZZY FILTER TYPE 2, PLAATDIKTE 5 MM. DOORSTROOMD OPPERVLAKTE 0,15 M². EEN DEBIET VAN 25 M³/H KOMT VOOR DIT FILTER OVEREEN MET EEN FILTRATIESNELHEID 70 M/H**



Uit de berekeningen blijkt dat er geen extreme G-waarden optreden die aanleiding zouden geven tot vlokdesintegratie.

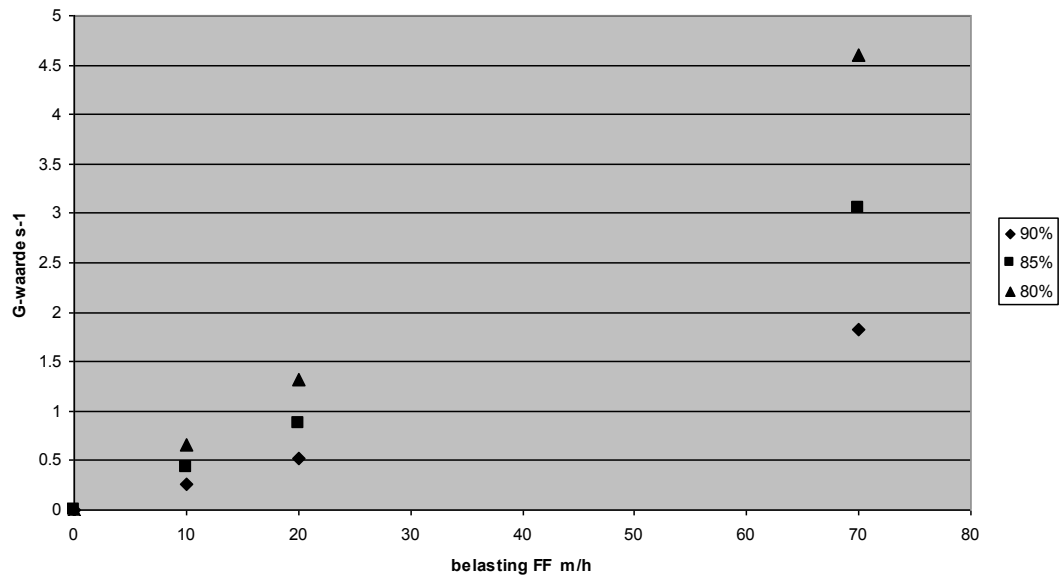
De berekende G-waarden in het filtratiegedeelte zijn afhankelijk van de porositeit in het filter. Deze wordt bepaald door de compressiegraad en de mate van vervuiling van het filter. Voor een schoon filter geldt:

- | | |
|------------------|-----------------|
| • compressie 0% | porositeit 90 % |
| • compressie 15% | porositeit 88 % |
| • compressie 30% | porositeit 86 % |
| • compressie 40% | porositeit 83 % |

De toegepaste compressiegraad in het Fuzzy Filter voor fosfaatverwijdering bedroeg 20 tot 40%. De meeste experimenten zijn uitgevoerd met een compressie van circa 30%. In de praktijk varieert de compressie over het Fuzzy Filter dan van ca 20% (bodem) tot 40% (top). De porositeit bij 20, 30 en 40% compressie bedraagt 88, 86 en 83%. De berekende G-waarden bij de genoemde porositeiten zijn gegeven in figuur 86.

FIGUUR 86

BEREKENDE G-WAARDEN IN FUZZY FILTER BIJ VERSCHILLENDE FILTRATIESNELHEDEN EN 90, 85 EN 80% POROSITEIT



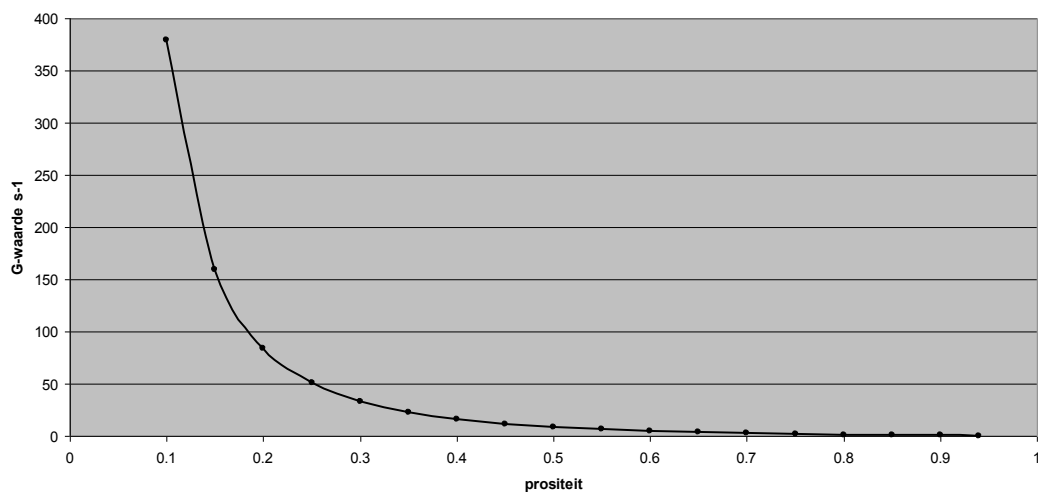
Uit figuur 86 blijkt dat in een schoon filterbed de berekende G-waarden geen aanleiding geven tot de veronderstelling dat fosfaatvlokken desintegreren. Naarmate een filterbed meer vervuild raakt zal de porositeit verder afnemen. Figuur 87 geeft de relatie tussen porositeit en G waarde voor een Fuzzy Filter met een belasting van 20 m/h.

Bij een porositeit lager dan 0.2 neemt de G-waarde snel toe. Het is echter niet bekend hoe de porositeit tijdens een run zal afnemen.

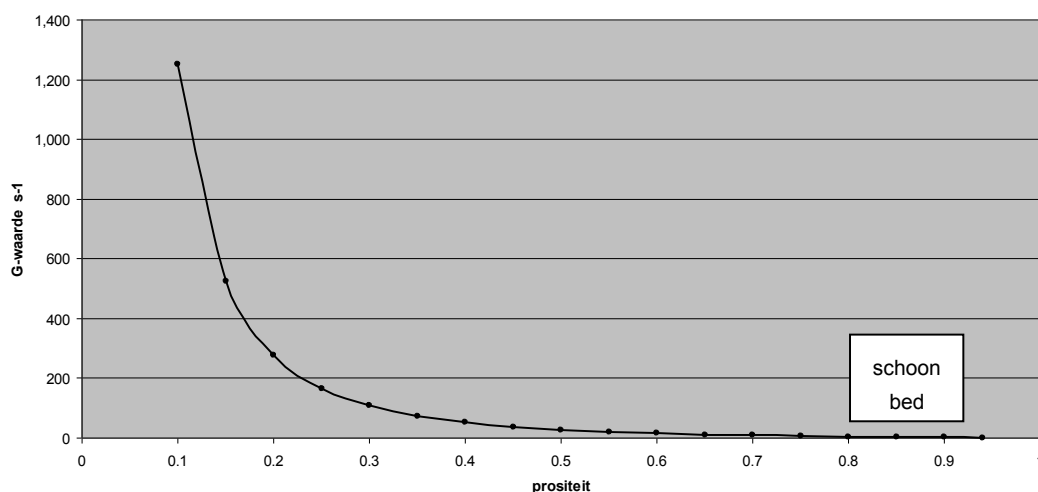
FIGUUR 87

BEREKENDE G-WAARDEN IN FUZZY FILTER BIJ VERSCHILLENDE POROSITEITEN EN EEN FILTRATIESNELHEID 20 M/H. DE G WAARDE IS BEREKEND MET DE VOLGENDE FORMULE: $G = 25 \left(\frac{(1-P)}{P} \right) \cdot \left(\frac{V}{(SPHERICITEIT \cdot DP)} \right)$ MET SPHERICITEIT = $\left(\frac{PI^{1/3} \cdot (6 \cdot VP)^{2/3}}{AP} \right)^{31}$.
 P = POROSITEIT, V = FILTRATIESNELHEID, DP = DIAMETER FUZZY BOL, VP = VOLUME FUZZY BOL, AP = OPPERVLAKTE FUZZY BOL. DE DIAMETER VAN EEN FUZZY BAL IS 3,3 CM. IN GECOMPRIEERDE TOESTAND KAN DIT AFNEMEN. FIGUUR B LAAT HET EFFECT ZIEN VAN EEN KLEINERE DIAMETER

a diameter Fuzzy bol 3,3 cm



b diameter Fuzzy bol 1 cm



31 Demonstratieonderzoek vergaande nutriëntenverwijdering, nageschakelde zuiveringstechnieken op de awzi leiden zuid-west. Stowa 2009-32.

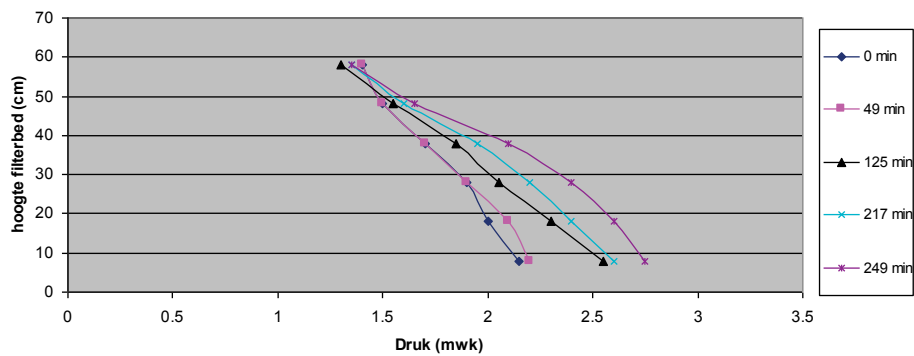
BIJLAGE 5

RESULTATEN DRUKMETINGEN IN FUZZY FILTERS

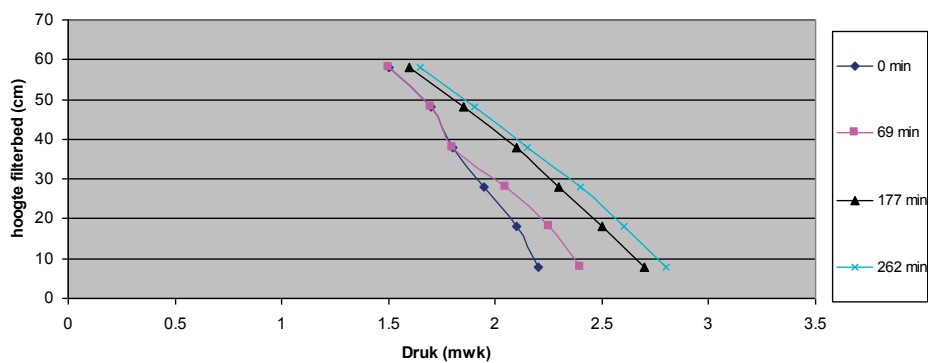
Bij verschillende aanvoerdebieten is de drukopbouw over het Fuzzy Filter gevolgd. Dit is mogelijk gemaakt doordat er 6 manometers zijn geplaatst op een FF op verschillende hoogtes. Vanaf de bodemplaat van het FF is op 8 – 18-28-38-48-58 cm hoogte een manometer geplaatst.

AANVOERDEBIET 8 M³/H; FILTRATIESNELHEID 22 M/H. DE CURVES ZIJN BIJ VERSCHILLENDE LOOPTIJDEN

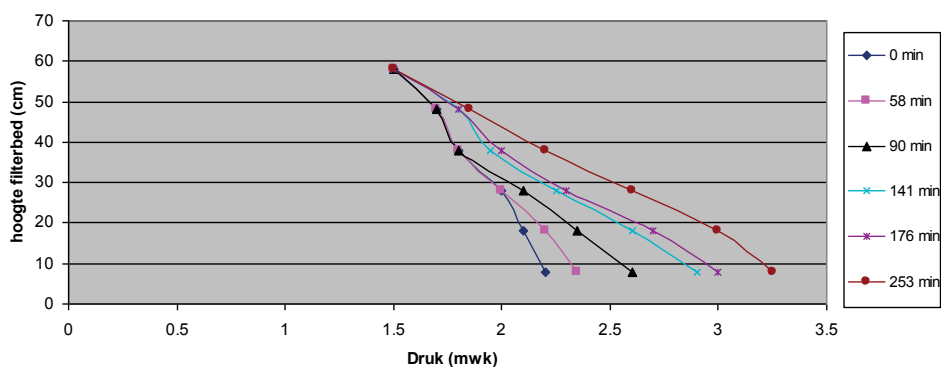
filtratiesnelheid 22 m/h, 24% compressie



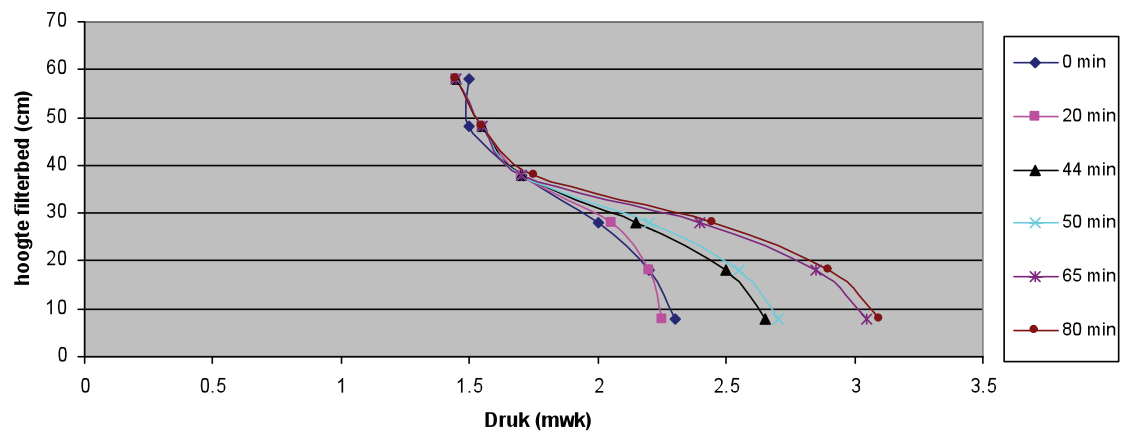
filtratiesnelheid 22 m/h, 24% compressie



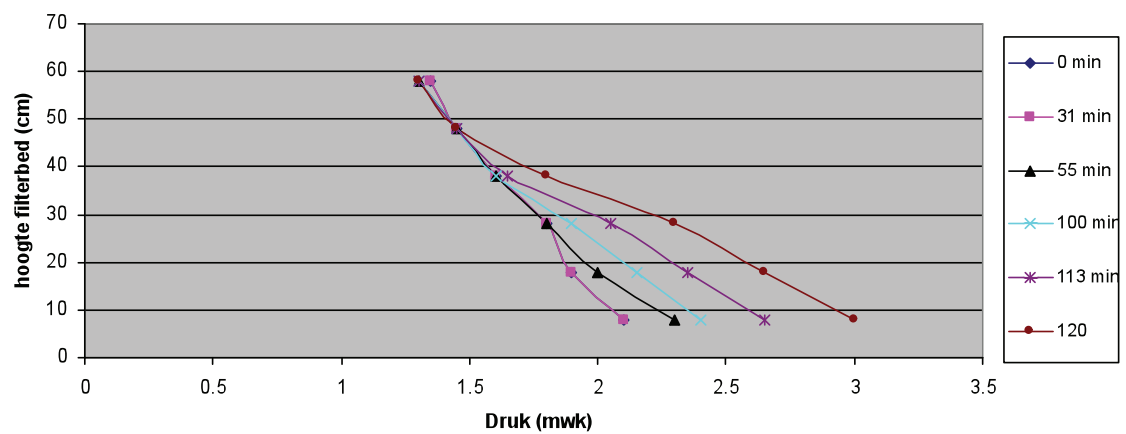
filtratiesnelheid 22 m/h, 28% compressie



filtratiesnelheid 22 m/h, 32% compressie

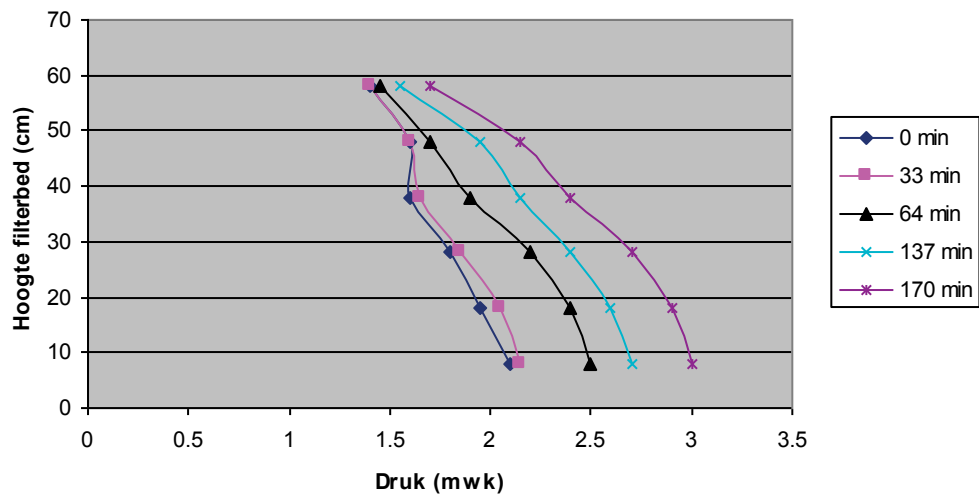


filtratiesnelheid 22 m/h, 32% compressie

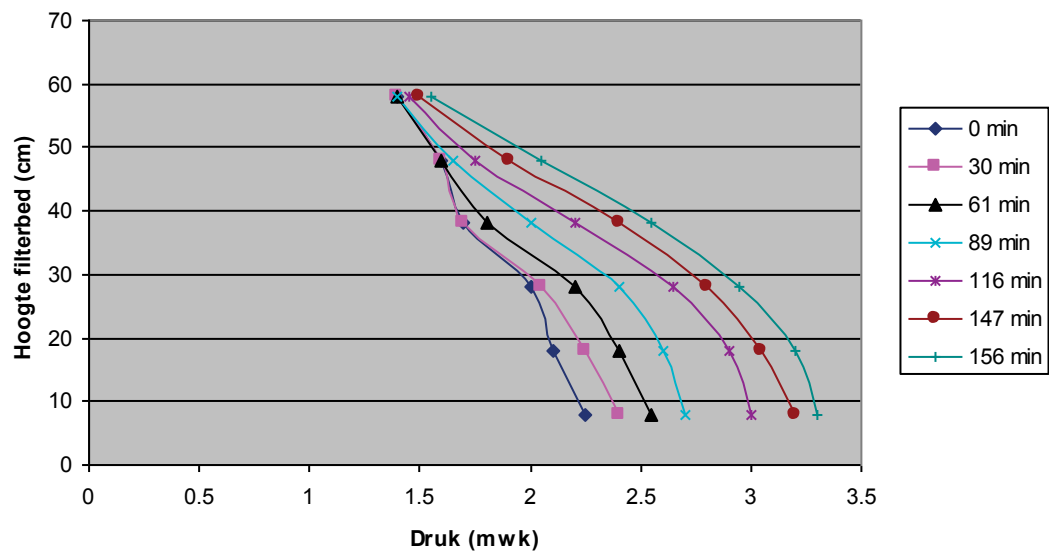


AANVOERDEBIET 15 M³/H; FILTRATIESNELHEID 40 M/H. DE CURVES ZIJN BIJ VERSCHILLENDE LOOPTIJDEN

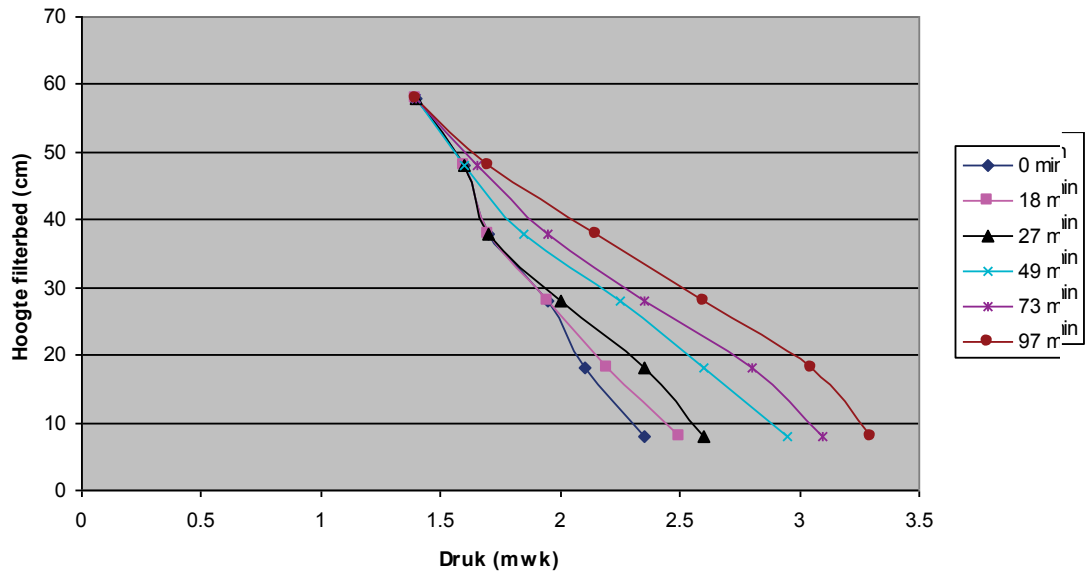
filtratiesnelheid 40 m/h, 20% compressie



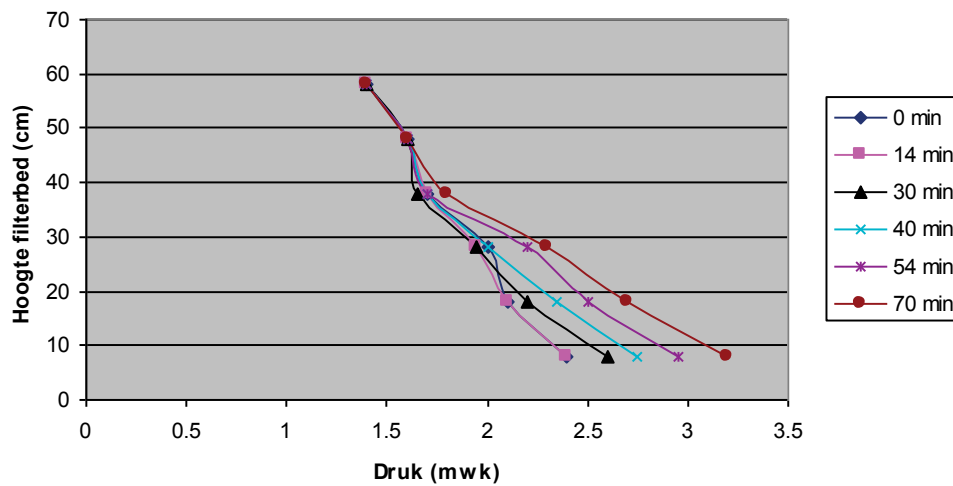
filtratiesnelheid 40 m/h, 24% compressie



filtratiesnelheid 40 m/h, 28% compressie

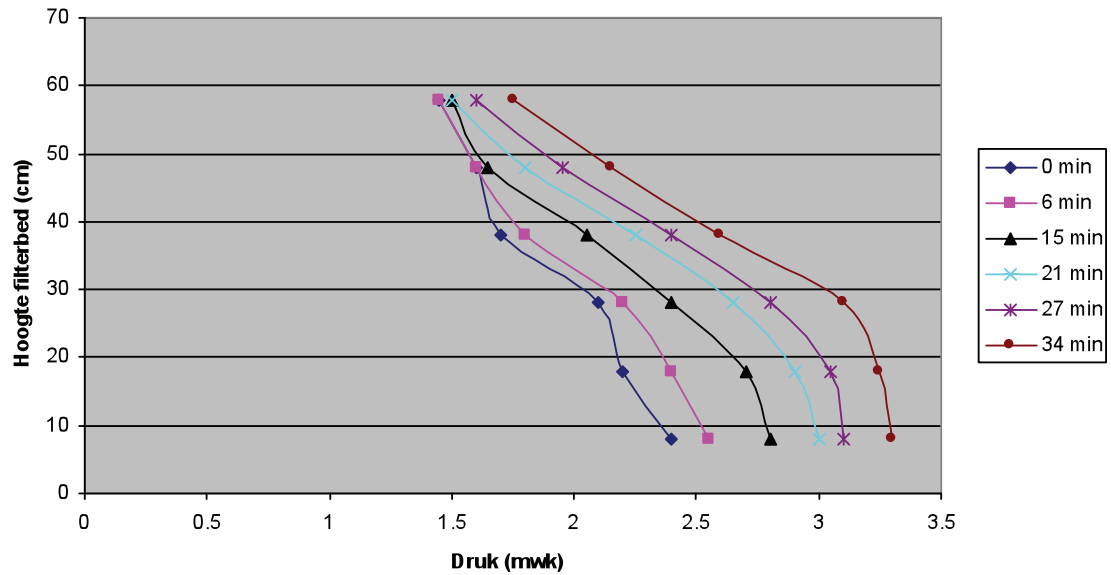


filtratiesnelheid 40 m/h, 32% compressie

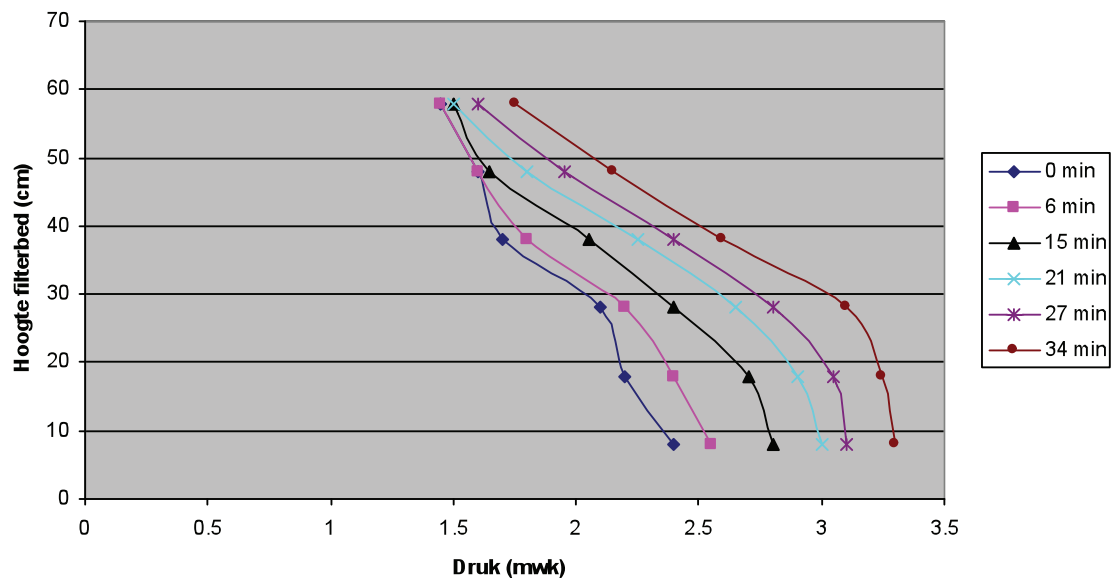


AANVOERDEBIET 22 M³/H; FILTRATIESNELHEID 59 M/H. DE CURVES ZIJN BIJ VERSCHILLENDE LOOPTIJDEN

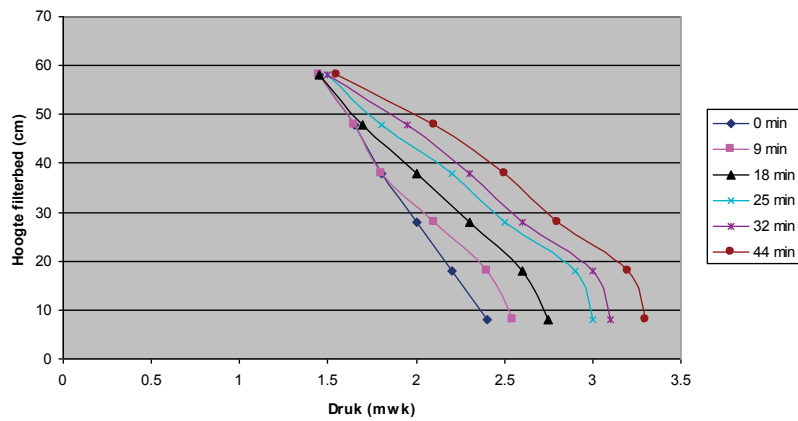
filtratiesnelheid 40 m/h, compressie 20%



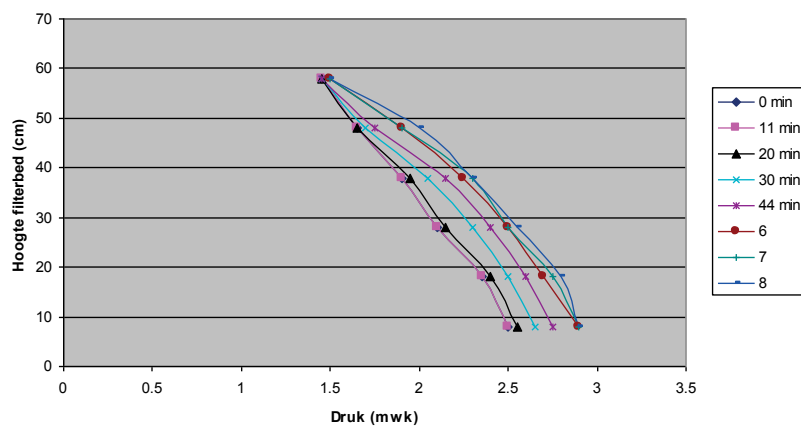
filtratiesnelheid 40 m/h, compressie 20%



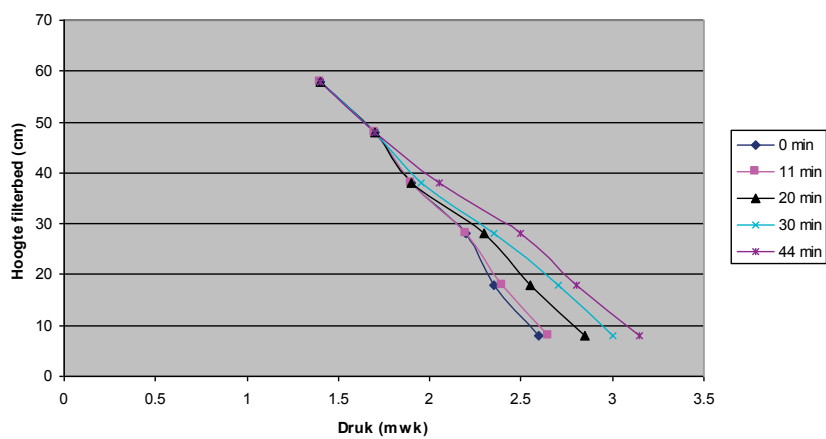
filtratiesnelheid 40 m/h, compressie 24%



filtratiesnelheid 40 m/h, compressie 24%



filtratiesnelheid 40 m/h, compressie 30%



BIJLAGE 6

BEREKENDE FOSFAATBERGING IN FUZZY FILTERS

Fosfaatverwijdering in Fuzzy Filters wordt gekenmerkt door doorslag van fosfaatvlokken gedurende een run. Aan het begin van de run wordt fosfaat goed verwijderd. Naarmate de run langer duurt, lopen de concentraties in het filtraat van het Fuzzy Filter steeds verder op. Om te garanderen dat het filtraat van het Fuzzy Filter voldoet aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg P/l, moet de duur van de run worden gebaseerd op de hoeveelheid fosfaat die in het Fuzzy Filter kan worden verwijderd waarbij het filtraat voldoet aan de effluenteisen.

In de volgende tabellen wordt de berekende fosfaatberging (g Ptot/m² filteroppervlakte) in het Fuzzy Filter waarbij het filtraat van het Fuzzy Filter voldeed aan de effluentstreefwaarde 0,15 mg Ptot/l gegeven. Daar waar “>” staat voldeed aan het einde van de run het filtraat nog steeds aan de effluentstreefwaarde en was de maximale berging nog niet bereikt.

POLY-IJZERCHLORIDE ALS COAGULANT

Berging	Ptot ANBT	Ptot filtraat FF mg P/l	
g Ptot/m ²	mg P/l	start	eind
>18	0,155	0,04	0,07
>20	0,178	0,01	0,05
>10	0,211	0,03	0,09
>35	0,242	0,13	0,13
>57	0,32	0,07	0,17
29	0,33	0,10	0,19
>36	0,33	0,07	0,16
>48	0,34	0,10	0,15
>42	0,37	0,08	0,16
>18	0,383	0,10	0,13
>25	0,387	0,10	0,13
>44	0,390	0,10	0,19
24	0,397	0,11	0,20
31	0,401	0,10	0,19
33	0,40	0,10	0,22
15	0,403	0,13	0,23
>27	0,408	0,09	0,18
>32	0,422	0,07	0,13
>27	0,426	0,13	0,12
30	0,43	0,091	0,215
>22	0,428	0,11	0,15
28	0,43	0,10	0,23
37	0,449	0,11	0,23
>47	0,494	0,14	0,17
0	0,57	0,21	0,35
5	0,584	0,15	0,37
>32	0,584	0,09	0,17
0	0,603	0,15	0,14
0	1	0,40	0,46
0	1,010	0,24	0,36

POLY-ALUMINIUMCHLORIDE ALS COAGULANT MET EN ZONDER AANVULLENDE PE DOSERING

Berging g Ptot/m ²	Ptot ANBT mg P/l	Ptot filtraat FF mg P/l		PE?
		start	eind	
>12	0,205	0,009	0,079	nee
>16	0,213	0,066	0,124	nee
>17	0,272	0,075	0,18	nee
>18	0,282	0,049	0,182	nee
>18	0,295	0,022	0,115	nee
>20	0,313	0,02	0,165	nee
0	0,325	0,206	0,264	nee
>16	0,329	0,062	0,169	nee
8	0,33	0,125	0,242	nee
>18	0,337	0,115	0,2	nee
5	0,363	0,139	0,191	nee
0	0,367	0,155	0,244	nee
>11	0,393	0,047	0,07	nee
15	0,447	0,101	0,386	nee
>11	0,267	0,02	0,089	ja
>8	0,34	0,049	0,053	ja
>7	0,37	0,058	0,04	ja
10	0,39	0,02	0,32	ja
>12	0,4	0,04	0,102	ja
27	0,49	0,11	0,3	ja
16	0,5	0,044	0,263	ja
>18	0,55	0,1	0,208	ja
18	0,69	0,109	0,403	ja
>15	0,75	0,073	0,183	ja
0	0,85	0,19	0,542	ja

FeCl₃ ALS COAGULANT MET EN ZONDER AANVULLENDE PE DOSERING

Berging g Ptot/m ²	Ptot ANBT mg P/l	Ptot filtraat FF mg P/l		PE?
		start	eind	
0	0,32	0,17	0,38	nee
16	0,35	0,03	0,33	nee
>11	0,36	0,03	0,21	nee
>18	0,37	0,03	0,20	nee
10	0,38	0,02	0,32	nee
12	0,39	0,03	0,20	nee
0	0,41	0,36	0,34	nee
10	0,47	0,06	0,37	nee
16	0,48	0,10	0,28	nee
15	0,5	0,01	0,41	nee
11	0,55	0,05	0,33	nee
7	0,46	0,08	0,35	ja
0	0,61	0,19	0,43	ja
1	0,55	0,08	0,39	ja
5	0,48	0,10	0,32	ja
13	0,63	0,05	0,47	ja
<10	0,33	0,04	0,15	ja
>10	0,37	0,06	0,20	ja
>5	0,31	0,03	0,02	ja
>6	0,39	0,03	0,02	ja
>7	0,39	0,09	0,03	ja
>8	0,51	0,04	0,27	ja
>9	0,43	0,04	0,08	ja

BIJLAGE 7

VOORBEELDBEREKENING ONTWERP FUZZY FILTERS VOOR FOSFAATVERWIJDERING

De volgende uitgangspunten en ontwerpgrondslagen voor Fuzzy Filtratie als nageschakelde techniek voor fosfaatverwijdering zijn gebruikt.

- Verhouding orthofosfaat en totaal fosfaat in aanvoer Fuzzy Filter 0,65.
- Ontwerpberging orthofosfaat in een Fuzzy Filter 7,5 g o-PO₄-P/m² filteroppervlakte.
- Spoeltijd Fuzzy Filter 18 minuten en 7 minuten naspoelen. Naspoelen geschiedt met verhoogd debiet om de naspoeltijd te minimaliseren. Naspoel volume bedraagt 2,4 keer volume inhoud Fuzzy Filter.
- Het spoelwaterdebiet tijdens de hoofdspoeling is gebaseerd op een belasting van het Fuzzy Filter van 25 m/h. Bij naspoelen wordt uitgegaan van 60 m/h.
- maximale hydraulische belasting Fuzzy Filter ca. 65 - 75 m/h;
- afhankelijk van de looptijd en het aantal gedimensioneerde Fuzzy Filters op basis van de maximale hydraulische belasting, worden indien nodig extra filters bijgeplaatst zodat een normale bedrijfsvoering mogelijk is.

Uitgangspunten van de berekeningen

- Verhouding orthofosfaat en totaal fosfaat in afloop nabezinktank 0,65.
- Ontwerpberging orthofosfaat in Fuzzy Filter 7,5 g o-PO₄-P/m² filteroppervlakte.
- Spoeltijd Fuzzy Filter 18 minuten en 7 minuten naspoelen. Naspoelen geschiedt met verhoogd debiet om de naspoeltijd te minimaliseren. Naspoelvolumen bedraagt 2,4 keer volume inhoud Fuzzy Filter.
- Het spoelwaterdebiet tijdens de hoofdspoeling is gebaseerd op een belasting van het Fuzzy Filter van 25 m/h. Bij naspoelen wordt uitgegaan van 60 m/h.
- Maximale hydraulische belasting Fuzzy Filter ca. 65 - 75 m/h.
- Afhankelijk van de looptijd en het aantal gedimensioneerde Fuzzy Filters op basis van de maximale hydraulische belasting, worden indien nodig extra filters bijgeplaatst zodat een normale bedrijfsvoering mogelijk is.

Berekening

• grootte rwzi	100.000	i.e. à 136 g TZV.
• DWA debiet	750	m ³ /h
• RWA debiet		
• ontwerpcapaciteit filtratie	2.250	m ³ /h (3xDWA)
• totaal fosfaat afloop nabezinktank	0,5	mg/l
• orthofosfaat afloop nabezinktank	0,3	mg/l
• Selectie type Fuzzy Filter	7	[-]
• Filtratie oppervlakte	4	m ² per Fuzzy Filter
• benodigd filtratieoppervlakte: 2250/75=	30	m ²
• benodigd aantal Fuzzy Filters	8	[-]
• geïnstalleerd filtratieoppervlakte	32	m ²

Op basis van maximale hydraulische belasting zou de installatie bestaan uit 8 Fuzzy Filters type 7. Bij maximale aanvoer - 2.250 m³/h - krijgen we de volgende situatie.

• aanvoer maximaal per Fuzzy Filter	281	m ³ /h
	25	g totaalfosfaat/h
	91	g orthofosfaat/h
• berekende looptijd Fuzzy Filter	37	minuten

De vraag kan gesteld worden of een normale bedrijfsvoering gelet op de korte looptijd mogelijk is. Theoretisch zal 37/8 is circa iedere 4,5 minuut een filter spoelen. De actuele vracht op de resterende in bedrijf zijnde filters neemt dan toe. Aangezien een spoeling 25 minuten duurt, komt een filter wat gespoeld wordt pas weer na 25 minuten beschikbaar voor normaal bedrijf. Het is duidelijk dat bijplaatsing van extra filters nodig is zodat er voldoende filters in bedrijf zijn en een normale bedrijfsvoering mogelijk is.

In dit geval moeten 5 Fuzzy Filters type 7 worden bijgeplaatst. Dit leidt tot een situatie waarbij 8 filters in bedrijf zijn en 5 filters worden gespoeld. De installatie wordt dus gekenmerkt door een continue productie van gefilterd water en spoelwater. Doordat continu wordt gespoeld wordt de rwzi hydraulisch hoger belast; immers het spoelwater wordt teruggeleid naar de waterlijn van de rwzi.

Berekening extra hydraulische belasting rwzi onder RWA condities.

• aantal filters aan het spoelen	5	[-]
• aantal filters in hoofdspoeling	3	[-]
• aantal filters in naspoeling	2	[-]
• spoelwater debiet	$3 * 25 * 4 + 2 * 60 * 4 =$	780 m ³ /h

Als wordt uitgegaan van een RWA/DWA verhouding van circa 3 is het RWA debiet naar de zuivering $3 * 750 = 2.250$ m³/h. De extra hydraulische belasting door het spoelwater bedraagt $780/2.250 * 100 = 35\%$ van de aanvoer. Dit is een aanzienlijke verhoging. In de praktijk zal dit doorgaans betekenen dat naast de investeringen in het Fuzzy Filter additionele investeringen nodig zijn om het aangevoerd ruwe afvalwater inclusief spoelwater van de Fuzzy Filters hydraulisch te verwerken.

Berekening spoelwaterproductie

• looptijd Fuzzy Filter	37	minuten
• aanvoer Fuzzy Filter	281	m ³ /h
• productie gefilterd water	281 * 37/60 =	173 m ³
• spoelwaterproductie per spoeling		
• hoofdspoeling	30	m ³
• naspoeling	26	m ³
• totaal	56	m ³
• spoelwaterproductie	0,33	m ³ /m ³ gefilterd water

Berekening Energieverbruik (DWA condities, nominale aanvoer)

• looptijd Fuzzy Filter	110	minuten
• aanvoer Fuzzy Filter	94	m ³ /h
• energieverbruik aanvoerpompen	2,42	kWh per 110 minuten
• energieverbruik mixers	1,58	kWh per 110 minuten

Noot

- Pompenergie is gebaseerd op een opvoerhoogte van 4 m waterkolom.
- Mengenergie is gebaseerd op een G-waarde 500 s⁻¹ in de coagulatieruimte en 50, 30 en 20 s⁻¹ in de drie compartimenten van de flocculatieruimte.

• energieverbruik spoelwaterpompen	0,9	kWh per spoeling
• energieverbruik blower	1,73	kWh per spoeling

- Pompenergie is gebaseerd op een opvoerhoogte van 4 m waterkolom. Spoeling wordt uitgevoerd met aparte spoelwaterpompen.
- Spoelblower is gebaseerd op een snelheid 50 m/h en 4 m opvoerhoogte.

• totaal energieverbruik	6,64	kWh per cyclus
• productie gefilterd water	94 * 110/60	171 m ³
• specifiek energieverbruik	0,04	kWh/m ³ gefilterd water

BIJLAGE 8

SPECIFICATIEBLADEN CHEMICALIËN

PRODUCT NAME**NALCO[®] 71260**
CATIONIC COAGULANT**PRODUCT DESCRIPTION AND APPLICATION**

NALCO 71260 is a cationic coagulant, based upon an aqueous solution of ferric salt and copolymerized quarternary amine. **Nalco 71260** is fully water-soluble. The product is designed to coagulate colloidal and suspended solids, and is recommended for the following applications : non-potable raw water clarification, primary and secondary effluent clarification, oily wastewater clarification, enhanced organics removal, removing of organic colour and filtration.

PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

Refer to the Material Safety Data Sheet for the most current data.

Appearance	Red liquid
Odor:	slight
Viscosity (neat) at 20°C (68°F)	30 cPs
	(# 2 spindle, 30 rpm)
S.G. (neat) at 20°C (68°F)	1.13
pH (neat) at 20°C (68°F)	0.9
Freezing point	-16°C (3.2°F)
Boiling point	100°C (212°F)
Solubility	completely water soluble

ACTIVE CONSTITUENTS

Iron salt with polyamines

-> Ferric Chloride with copolymerized DADMAC/Acrylic Acid

REGULATORY APPROVALS

Please refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for the most recent approval information. **NALCO 71260** is not approved for use in potable water treatment.

MATERIALS OF COMPATIBILITY

Compatible		Non-compatible
Polyvinyl Chloride	Teflon	Aluminium
Polypropylene	Viton	Brass
Polyurethane		Mild Steel
Polyethylene		S.S. 304
Hypalon		S.S. 316
Rubber		Nickel
		Carbon Steel
		Copper Alloys

Testing was completed as per ASTM standard methodology.

Should actual conditions vary from test conditions, compatibility may not be accurate.

DOSAGE AND FEEDING

Dosage

The required dosage quantities can only be determined by laboratory tests or directly carrying out plant trials in each individual case.

Feeding

The feed point in a typical clarification application should be selected to achieve maximum mixing and product dispersion. Do not store product diluted since with ageing it hydrolyses and loses activity.

Additional Recommendations

In general, the feed point should be as far upstream as possible and preferably on the suction side of the low lift pump or some other point of violent agitation. If there is not enough turbulence then dilution water and an in-line mixer should be used.

Dosage is highly dependent upon the application and system. On-site jar tests are necessary to determine the optimum rate. A 1 % **NALCO 71260** solution should be used for bench testing.

Typical dosages are : -

For in-line filtration	1 to 200 ppm
Wastewater clarification	10 to 100 ppm
Emulsification	10 to 1000 ppm

The required dosage quantities can only be determined by laboratory tests or directly carrying out plant trials in each individual case.

ROI CRITICAL SUCCESS FACTORS

Success in selling coagulants is dependent on your ability to show the customer a **reduction in total operating cost** by using Nalco's product vs. the competition. In many cases, Nalco's product might be part of total solution-providing offering and we should be able to differentiate ourselves in the total cost of treatment for the process. As the representative for Nalco, you should know more about your customer's process and where they spend their money than they do. You need to understand where the system bottlenecks are and what those bottlenecks cost the customer. If you can identify what the customer's total cost of operation is for a given system and you can understand where they are having difficulties, you should be able to use Nalco's Technology to help them improve their current total cost situation or improve their production situation.

Some areas to improve performance with coagulants are:

- Clarifier, filter, dewatering equipment performance vs. specifications for that equipment. Look for under- or over-utilization or inappropriate operation by operations staff.
- Check all current chemical feed points against recommended feed points from CPPs, PAC-1 Manual, Pre-sections, and Value Added Troubleshooting Guide.
- Check all current feed systems for appropriate operation vs. recommended specs. and feedrates.
- Check for control and automation equipment to smooth out cycles and water or wastewater changes through the system.
- Use a combination of coagulants and/or flocculants to outperform the competition.
- Understand how the customer disposes of sludge from clarification or other processes and what costs they experience. Reduction in sludge volume can generate huge savings and benefits for the customer.
- How does the customer currently receive, store, and handle their current product? Improvements in this area can reduce costs and improve safety.
- Who currently pays for freight on the product received by your customer? If the customer is covering the cost of freight, a reduction in the amount of chemical shipped to the site could yield large freight savings that could be shared between Nalco and the customer.
- Who does your customer call if they need assistance or help with their system?
- How often does your customer get someone to check to see if they are using the best technology for their process or if they are possibly "leaving money on the table" so to speak?

These are just a few key things to be thinking about as you make calls on potential coagulant customers.

Mode of Operation

NALCO 71260 works by the absorption of the organic molecule on to the surface of colloidal and suspended solids during charge neutralisation. The active polymer should then no longer be a component of the supernatant. In most treatment systems, any active residual organic polymer is further absorbed on to solids during the biological stage, further in the humus tanks, and is finally diluted by the receiving water course, yielding a level of polymer which cannot usually be detected by colloidal titration.

Additional Information on Product Characteristics

- | | | | |
|-------|-------------------------------------|-----|--|
| (i) | Is effective over a broad pH range | (i) | More quantities of product are required then with an organic coagulant |
| (ii) | Reduces the need for pH adjustments | | |
| (iii) | Is effective at low temperatures | | |

- (iv) Forms large rapid-settling flocs
- (ii) Increase of the total dissolved solids in the waste stream
- (v) Easy to handle, feed and store
- (vi) Effective in removing organic colour

ENVIRONMENTAL AND TOXICITY DATA

Please refer to the products' Material Safety Data Sheet (MSDS)

SAFETY AND HANDLING

Ensure compliance with all local/plant safety & handling requirements. Please read the product label & Material Safety Data Sheet (MSDS) prior to using this product.

STORAGE

Keep containers closed and protect from frost and high temperatures. Low temperatures should be avoided since viscosity increases and pumping problems can occur. High temperatures may evolve acid fumes. Shelf life is up to 12 months at 20-30°C (68-86°F). Store separately from bases, oxidisers and sulphite.

REMARKS

If you need assistance or more information on this product, please call your nearest Nalco Representative. For more news about Nalco Company, visit our website at www.nalco.com.

For **Medical and Transportation Emergencies** involving Nalco products, please see the Material Safety Data Sheet for the phone number.

ADDITIONAL INFORMATION

Nalco and the logo are registered trademarks of Nalco Company (9/6/05)

ENVIRONMENTAL INFORMATION

This product is toxic to fish and wildlife. Do not discharge directly into lakes, streams, ponds or other surface waters unless in accordance with local environmental laws and guidelines. When used in accordance with recommended dose rates appropriate to the application concerned, this product should not present any environmental problems. However, customers should notify the local water company or environmental agency if a spillage to sewer or surface water occurs.

COMPETITIVE INFORMATION

Several competitors sell a product similar but not equal to **NALCO 71260**.

INDUSTRY INFORMATION

NALCO 71260 is proven in, but not limited to a variety of industries and markets such as:

- Power
- Refinery
- Institutional
- Manufacturing

- Primary Metal

Fosfaat verwijdering

==> een zeer uitgebreid document =

1. Chemical Treatment

The chemicals commonly used are forms of aluminum, iron and calcium (lime). Chemical precipitation is the most common technique used and using lime or aluminum chemistry such as sodium aluminate are the most common. While alum can be used to form the insoluble aluminum phosphate complex, alum also forms aluminum hydroxide. Alkalinity is reduced and dissolved sulfates are increased. In waters with low alkalinity, the pH can be lowered significantly.

Sodium aluminate is unique because it is an alkaline metal salt and reacts differently than alum and iron salts. When sodium aluminate is added to the water, instead of adding positively charged cations, Al^{+3} , sodium aluminate is initially available as $Al_2O_3(-2)$. Because of the reduced tendency to form aluminum hydroxide, the aluminum has more time to react with the phosphorus. Thus, less hydroxide is formed, the pH is not depressed, the solids removal and settling will be excellent. **The optimum pH for P removal using alum ranges from 5.5 to 6.5.** In practice, sodium aluminate can and will cause the pH to increase where the solubility of the phosphate complex will be greater. Thus, you may need to adjust the pH back into the 5.5 to 6.5 range to afford efficient removal.

Iron salts like ferric chloride and ferric sulfate can be used but, as with alum, ferric hydroxide is formed producing hydroxide solids that are more difficult to settle and dewater. With low alkalinity waters, the pH can be lowered significantly. **Ferric is most effective in removing P when the pH ranges from 4.5 to 5.0.**

Lime precipitation can be used, but for it to be effective, the pH generally needs to be above 10.5. Lime tends to be slightly soluble in water and as the pH increases, the solubility decreases. Thus, the effectiveness of this treatment is dependent on plant mixing and flocculation conditions.

Table 1 : ppm change per ppm of metal (as Al or Fe)

	Dissolved	Fe ₂ (SO ₄) ₃	FeCl ₃	FeSO ₄	Alum	Na ₂ Al ₂ O ₄
Alkalinity (as CaCO ₃)		-5.5		-2.7	-2.7	-5.6
Sulfate (as SO ₄ (-2))		+2.6		+1.7	+5.3	
Chloride (as Cl ⁻)			+1.9			
Sodium (as Na ⁺)				+1.0		



Product Bulletin

NALCO[®] 71605

ANIONIC LATEX FLOCCULANT

PRODUCT DESCRIPTION AND APPLICATION

NALCO 71605 is an anionic liquid latex emulsion polymer of high molecular weight. The product is designed to flocculate suspended solids, and is recommended for the following applications : non-potable raw water clarification, primary and secondary effluent clarification, oily wastewater clarification and filtration.

PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS), SECTION 9, for the most current data.

liquid	Appearance:	Off- white
	Odor:	Neutral
	Solubility in water:	Emulsifiable
	Viscosity (neat) at 20°C (68°F):	300-1700(# 2
spindle, 30 rpm)	as 1% solution at 20°C (68°F):	1000 - 1350 cp
	Specific Gravity (neat) at 20°C (68°F):	1.03
	pH (1% sol.) at 25°C (77°F):	7 - 8
	Flashpoint:	> 100°C
(>212°F)		

ACTIVE CONSTITUENTS

Co-polymer of acrylamide, medium charge with high molecular weight.

REGULATORY APPROVALS

Please refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS), SECTION 15 for the most recent information on approvals.

NALCO 71605 is not approved for use in potable water treatment.

MATERIALS OF COMPATIBILITY

Compatible	Not Compatible
Cast iron	Polyester elastomers
Acrylic resin	Galvanised metals
Polyvinyl Chloride	Epoxy resin
Viton	Butyl rubber
Polyethylene	Nitrile rubber
Stainless steels	Natural rubber
Mild steel	Carbon steel

Copper	
--------	--

Testing was completed as per ASTM standard methodology.
Should actual conditions vary from test conditions, compatibility may not be accurate.

DOSAGE AND FEEDING

The required dosage quantities can only be determined by laboratory tests or directly carrying out plant trials in each individual case.

The feed point in a typical application should be selected to achieve maximum mixing and product dispersion. In general, the feed point should be as far upstream as possible. **NALCO 71605** is best applied as a solution in water at a concentration in the range of 0.01% to 0.05%.

NALCO 71605 is resistant to chemicals such as chlorine and potassium permanganates, but should not be mixed with or fed close to any other chemicals.

ENVIRONMENTAL AND TOXICITY DATA

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS), SECTIONS 11 and 12, for the most current data.

SAFETY AND HANDLING

As with any chemical, **NALCO 71605** should be handled with responsible care. Ensure compliance with all local/plant safety & handling requirements.

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS), SECTIONS 3 and 8, for the most current data.

STORAGE

Keep containers closed in a cool, well-ventilated place, protect from frost and moisture. Low temperatures should be avoided since viscosity increases and pumping problems can occur. When frozen warm the product slowly to ambient temperature and agitate with a low (<200) RPM mixer. After warming-up to 8-10°C (46-50°F) and re-homogenisation by gentle agitation for about 2 hrs, the product can be used without loss in efficiency. Nevertheless freezing should be avoided.

When the product has been exposed to heat, the product should be gently agitated while its temperature is allowed to lower to room temperature. After the product is back to room temperature, about 2 hrs of gentle agitation should be sufficient to make the product ready for use. While the product should not be effected if the product freezes or warms up, some loss in physical stability should be expected. Shelf life is up to 6 months at -10-40°C (14 - 104°F) and 1-2 months at above 40°C (104°F). It is essential to homogenise the product before use. Mixing once a day for 15 minutes is recommended. Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS), SECTION 7, for the most current data.

REMARKS

If you need assistance or more information on this product, please call your nearest Nalco Representative. For more news about Nalco Company, visit our website at www.nalco.com.

For **Medical and Transportation Emergencies** involving Nalco products, please see the Material Safety Data Sheet for the phone number.

ADDITIONAL INFORMATION

NALCO and the Logo are registered trademarks of Nalco Company (7-10-2006)

Nalco Europe B.V. * IR.G.Tjalmaweg * 2342 BV Oegstgeest * P.O. Box 627 * 2300 AP Leiden * The Netherlands

Subsidiaries and Affiliates in Principal Locations Around the World
©2006 Nalco Company All Rights Reserved