

stowa

FILTRATIE- TECHNIEKEN RWZI'S



RAPPORT

2006

21

FILTRATIETECHNIEKEN RWZI'S

STAND VAN ZAKEN EN ERVARINGEN MET ZANDFILTRATIE

RAPPORT

2006

21

ISBN 90.5773.341.2



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL **078 623 05 00** FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

Utrecht, 2006

UITGAVE STOWA, Utrecht

AUTEURS

ir. P.M.J. Janssen DHV bv
dr. Ir. A.F. van Nieuwenhuijzen Witteveen + Bos
ir. P. van der Pijl Tauw
ir. P.J. Roeleveld Grontmij Nederland bv
dr. Ir. A. Visser Royal Haskonng bv
ir. N. Wortel Grontmij Nederland bv

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

ir. B.A. Bult, Wetterskip Fryslân
ing. R. van Dalen, Waterschap Veluwe
ing. L.A. van Efferen, Waterschap Zuiderzeeland
ing. G.A.P. van Geest, Hoogheemraadschap van Rijnland
ir. E. Majoor, Waterschap Velt en Vecht
ing. J.G. Segers, Waterschap Rivierenland
ir. C.A. Uijterlinde, STOWA

AFBEELDING VOORPAGINA

Van links naar rechts van plano omslag:

- 1 filterinstallatie rwzi Kaatsheuvel (foto Waterschap Brabantse Delta)
- 2 filterinstallatie rwzi Steenwijk (foto Waterschap Reest en Wieden)
- 3 onderzijde filterbodem zandfilter rwzi Nijmegen (foto Waterschap Rivierenland)
- 4 filtergebouw rwzi De Groote Lucht (foto Hoogheemraadschap van Delfland)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2006-21
ISBN 90.5773.341.2

TEN GELEIDE

Het toepassen van technieken van nageschakelde filtratie van rwzi-effluent is een betrekkelijk nieuwe ontwikkeling in de afvalwaterzuivering. De belangstelling voor deze techniek, van oudsher veel toegepast in de drinkwaterbereiding, komt de laatste jaren in een stroomversnelling voor wat betreft de ontwikkeling en toepassing.

Directe aanleiding voor het opstellen van het rapport filtratietechnieken is het verschijnen van het STOWA rapport 'Verkenningen Zuiveringstechnieken en KRW' in 2005. Dit rapport geeft in het kader van de implementatie van de Kaderrichtlijn Water (KRW) actuele informatie over een heel scala aan zuiveringstechnieken waarmee de kwaliteit van het rwzi-effluent kan worden verbeterd.

In de rapportage is filtratie als één van de kansrijke technieken (h)erkend. Binnen vrijwel alle toekomstige zuiveringsscenario's neemt filtratie een centrale plaats in.

Het opstellen van een rapport filtratie op basis van een inventarisatie van de huidige stand der techniek kan als eerste stap en als een noodzakelijke verdiepingslag worden gezien om binnen de toekomstige zuiveringsscenario's het onderwerp filtratie in te vullen.

De totstandkoming van dit rapport kan als noviteit worden gezien. Vijf adviesbureaus hebben het project gezamenlijk uitgevoerd. De afgelopen jaren hebben deze bureaus kennis opgebouwd ten aanzien van het onderwerp nageschakelde filtratie van rwzi-effluent. Dit betreft zowel kennis en ervaring met pilot-onderzoek als ervaringen met ontwerp en engineering van filterinstallaties. Deze kennis en ervaring is tijdens de gezamenlijke uitvoering gebundeld en beschreven in dit rapport. Ook de ervaringen van binnen- en buitenlandse waterbeheerders met de bedrijfsvoering van dergelijke installaties is geïnventariseerd en weergegeven in dit rapport.

Utrecht, januari 2007

De directeur van de STOWA
ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

INLEIDING

Voor een verdere kwaliteitsverbetering van het effluent van rwzi's is filtratie één van de kansrijke technieken en neemt binnen toekomstige zuiveringsscenario's een centrale plaats in. Het afvangen van deeltjes, al of niet gevormd door een voorafgaande coagulatie/flocculatiestap, en het biologisch verwijderen van componenten via een biomassa aanwezig in het filter zijn twee belangrijke voorbeelden van verwijderingsprincipes die binnen de techniek filtratie vallen.

Op basis van een inventarisatie van de huidige stand der techniek biedt dit rapport "filtratietechnieken" een zo actueel en volledig mogelijk inzicht in relevante toepassingsaspecten van nageschakelde zandfiltratie voor vergaande zuivering van rwzi-effluent, richting een N-totaalgehalte $< 5 \text{ mg/l}$ en een P-totaalgehalte $< 0,5 \text{ mg/l}$. Op basis van theorie, binnenlandse en buitenlandse ervaringen wordt een overzicht gegeven van uitvoeringsvormen, dimensioneringsgrondslagen, prestaties en kostenramingen van zandfilterinstallaties voor vergaande zuivering.

NIEUWE INVULLING VAN TERM "EFFLUENT"

De introductie van nageschakelde technieken voor het vergaand zuiveren van communaal afvalwater brengt een herdefiniëring van term "effluent" met zich mee. Binnen de huidige context wordt met deze term de afloop van het nabezinkproces bedoeld.

Met de intrede van nageschakelde zandfiltratie zal het huidige effluent als ingaande stroom voor de filters dienen, die daarna een uitgaande filtraatstroom oplevert. Daarnaast zal in veel praktijktoepassingen niet de totale afloop van de nabezinktanks via de filters worden verwerkt. Boven een bepaald maximum debiet zal een deel via een bypass lopen. De bypass vormt dan tezamen met het filtraat het effluent van de rwzi.

BESCHRIJVING EN THEORIE VAN ZANDBEDFILTRATIE

Bij zandbedfiltratie worden de deeltjes >1 tot $1,5 \mu\text{m}$ verwijderd uit de waterfase terwijl het water door poriën tussen de mediumdeeltjes stroomt. Processen als zeefwerking, sedimentatie, adhesie, fysisch/chemische adsorptie en biologische activiteit kunnen hieraan ten grondslag liggen.

Belangrijk onderscheidend kenmerk bij filtratie is de filtratiesnelheid, ook wel filtersnelheid, hydraulische belasting of oppervlaktebelasting van een filter genoemd. Bij zandbedfiltratie ligt de snelheid waarmee het water door het filterbed gaat meestal tussen de 5 en $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ($= \text{m/h}$). Voor filters die stikstof en/of fosfaat verwijderen is het maximum normaliter 20 m/h .

Er zijn verschillende typen of uitvoeringsvormen van bedfiltratie als nageschakelde techniek beschikbaar, die ieder een eigen doel en werking hebben.

Snelle zandfiltratie is de meest voorkomende vorm van filtratie. Het filterbed bestaat uit zandkorrels met diameters tussen de $0,5$ en 5 à 6 mm .

Er zijn zowel neerwaarts als opwaartse doorstroomde filters. Het neerwaarts doorstroomde filter is veelal als discontinu filter uitgevoerd, waarbij het filter periodiek van beneden naar boven wordt gespoeld en waar bij de ingevangen verontreinigingen worden verwijderd. Het opwaarts doorstroomde filter is vaak uitgevoerd als continu filter waar een continue

spoeling van een deel van het filtermedium plaatsvindt, waardoor het filter niet uit bedrijf hoeft te worden genomen en er geen sprake is van een loop- en spoeltijd.

Verscheidenheid in filters ontstaat ook door het toegepaste filtermedium. In een enkellaagsfilter wordt veelal zand toegepast. In multimedia- of meerlaagsfilters is dit meestal een combinatie van antraciet (grove fractie) en zand (fijne fractie).

De verscheidenheid in het type en grootte van het filtermateriaal en de opbouw daarvan in het filter heeft invloed op de werking en bedrijfsvoering van het filter. Eigenschappen zoals korrelgrootte, uniformiteit, poriegrootte en adsorptiecapaciteit van het filtermateriaal spelen daarbij een rol.

Met een multimedia-filter kan met een fijne en een grove fractie een hoog afscheidingsrendement met een groot vuilbergend vermogen worden gecombineerd.

Twee belangrijke fenomenen bij filtratie in relatie tot het filtermateriaal zijn koekfiltratie en diepfiltratie. Bij koekfiltratie zal door toepassing van (te) fijn filtermateriaal bijna alle vervuiling worden afgevangen in het bovenste deel van het filter. Tegenover de (sterke) weerstandverhoging en daarmee verkorting van de looptijd staat dat juist hele kleine deeltjes goed worden afgevangen.

Bij diepfiltratie wordt de vervuiling gelijkmatig over het filterbed afgevangen. De poriën van het filter verstoppert niet snel en wanneer het vuilfront de onderkant van het discontinue filter bereikt, dient met terugspoelen begonnen te worden.

Biologische verwijdering van stikstofcomponenten door nitrificatie en/of denitrificatie is een belangrijk proces dat met filtratie als nageschakelde techniek kan worden gecombineerd. De benodigde biomassa is in de regel aanwezig als biofilm in een bed met korrels tot enkele millimeters doorsnede. Bij nitrificatie wordt de ingaande waterstroom van zuurstof voorzien; bij denitrificatie wordt een koolstofbron toegevoegd. Een gebruikelijk uitvoering van nitraatverwijdering in een nageschakeld filter is het opwaarts doorstroomde continue filter. Het ligt in de verwachting dat in het hoofdproces, het actiefslibstelsysteem, voorrang wordt gegeven aan een zo volledig mogelijke nitrificatie, zodat de nabehandeling zich slechts op nitraatverwijdering hoeft te richten.

Nageschakelde filtratie voor deeltjesverwijdering wordt vaak gecombineerd met precipitatie en coagulatie/flocculatie (vlokvorming) waarbij aan het water ijzer- of aluminiumzouten worden toegevoegd, waardoor verontreinigingen, bijvoorbeeld fosfaat, binden in de vorm van een neerslag, die vervolgens wordt verwijderd.

Wanneer de filtraatkwaliteit te laag wordt of wanneer de bedweerstand te hoog wordt, zal een discontinue filter teruggespoeld worden met lucht en/of water. Bij een continue filter zal de spoelintensiteit worden geïntensiveerd door de continu onttrekking en wassing van vervuild zand te laten toenemen. Spoelwater is bij beide filtersystemen in principe filtraat. In tegenstelling tot continue filtratie is bij discontinue filtratie een spoelwaterreservoir noodzakelijk. Bij continue filtratie is wel een grotere spoelwaterhoeveelheid benodigd.

In de afvalwaterbehandeling kan het spoelwater, dat een veel hogere vervuilingsgraad heeft dan de afloop van de nabezinktank, in het algemeen in het hoofdproces; de waterlijn, worden teruggeleid, eventueel via een spoelwaterreservoir.

Voor de terugvoer komen diverse plaatsen in de waterlijn in aanmerking, zoals het ontvangstwerk, de voorbezinktanks, de toevoer of afloop van de actiefslibtanks. Diverse overwegingen spelen hierbij een rol.

Voor alle plaatsen geldt dat de hydraulische belasting van het nabezinkproces wordt verhoogd. Dit kan bij maximale aanvoersomstandigheden leiden tot een (hydraulische) overbelasting van de waterlijn.

BINNENLANDSE ERVARINGEN MET ZANDFILTRATIE

Binnen Nederland zijn 30 praktijk- en pilotschaal toepassingen in beschouwing genomen. Voor een aantal geselecteerde relevante zandfiltratietoepassingen is een meer gedetailleerd onderzoek uitgevoerd, waarbij onder andere bedrijfsvoeringsaspecten, kosten en opgetreden knelpunten nader zijn beschouwd.

ERVARINGEN EN EVALUATIE CONTINU FILTRATIE

Uit de inventarisatie van continue zandfilters in Nederland blijkt de mate waarin stikstof en fosfaat wordt verwijderd aanzienlijk te variëren. Het P_{totaal} verwijderingsrendement varieert van 20% (bij een Me/P van 0,4) tot 90% (bij een Me/P van 2,9). Wel blijkt dat een hoger rendement en een lager fosfaateffluentgehalte wordt verkregen bij hogere Me/P verhoudingen en lagere hydraulische belastingen. Bij continue filtratie in dit onderzoek varieerde de hydraulische belasting van 5,6 tot 20 m/h. De zwevende stof belasting varieerde van 0,2 tot 38,4 kg DS/m².d.

Het hoogste P_{totaal} verwijderingsrendement is gerealiseerd op de rwzi Kaatsheuvel. Mogelijke redenen hiervoor zijn de constante hydraulische aanvoer, de relatief lage hydraulische belasting van het zandfilter (6-9 m/h) en de voldoende hoge toegepaste Me/P-verhouding (ca. 3 mol/mol).

Het rendement voor N_{totaal} verwijdering op de verschillende continue filtraties varieert van 43 tot 92 %. De hydraulische belasting varieert van 5 tot 20 m/h. De nitraatbelasting varieert van 0,07 tot 2,88 kg NO₃/m³.d. Het rendement bij rwzi Uithoorn en rwzi De Groote Lucht zijn het hoogst. Dit wordt mede bepaald door een hoge ingaande nitraatconcentratie van > 15 mg NO₃-N/l.

Voor zowel stikstof als fosfaat blijkt dat het continu bereiken van zeer lage concentraties (respectievelijk < 2,2 mg/l en < 0,15 mg/l) moeilijk realiseerbaar is. Voor het bereiken van de zeer lage concentraties op een (jaar)gemiddelde basis lijkt er meer perspectief te zijn. Een relatief hoog gehalte aan zwevende stof in het filtraat (> 3 mg/l) en de achtergrond concentraties aan ammonium- en Kjeldahlstikstof lijken knelpunten te zijn voor het bereiken van de zeer lage concentraties.

Uit de onderzochte cases blijkt dat de toegepaste filtratiesystemen veelal op basis van dezelfde grondslagen zijn gedimensioneerd. Belangrijkste verschillen betreffen de toegepaste procesregelingen waarbij vooral de mate van automatisering verschilt. Voor chemicaliëndosering kan worden gesteld dat een automatische dosering gebaseerd op voldoende on-line metingen een voorwaarde is om een goed en stabiel verwijderingsrendement te garanderen.

Knelpunten in de bedrijfsvoering hebben, naast normale storingen, veelal betrekking op de regeling van de chemicaliëndosering, de regeling van de filterbedweerstand en zanduitspoeling via de wasser bij continue filtratie.

ERVARINGEN EN EVALUATIE DISCONTINU FILTRATIE

In vergelijking met continue filtratie is er in Nederland veel minder ervaring met discontinue neerwaarts doorstroomde filters op praktijkschaal. Deze installaties zijn of (net) in opstart of nog in de ontwerpfase zodat een evaluatie van de prestaties en specifieke bedrijfsvoerings-ervaringen nog niet goed mogelijk is. Wel zijn er een aantal pilotstudies uitgevoerd. Hieruit kan worden afgeleid dat het rendement voor fosfaatverwijdering varieert tussen de 37% (Me/P van 0,5 – 5,5) en 89% (Me/P van 0,5 – 1,5).

De beschikbare gegevens geven een aanwijzing dat met discontinue filterinstallaties lagere zwevende stof concentraties en enigszins lagere fosfaatconcentraties kunnen worden gerealiseerd in vergelijking met continue filterinstallaties.

BUITENLANDSE ERVARINGEN

Ervaring met filtratie als vergaande zuivering is vooral aanwezig in Duitsland en Zwitserland (ca. 200 installaties) en de Verenigde Staten (enkele honderden installaties). Verder zijn in Scandinavië en in Engeland meerdere installaties aanwezig.

Het doel van het gebruik van zandfilters is divers. In Engeland en de VS worden filters voornamelijk voor zwevende stofverwijdering ingezet. Daar waar het de verwijdering van stikstof(nitraat) betreft, zijn het met name filterinstallaties waarbij stikstofverwijdering tot een effluentgehalte van 10 à 15 mg N-totaal/l het doel is. In Duitsland en Zwitserland zijn de filterinstallaties gerealiseerd voor zwevende stof en fosfaatverwijdering.

De ervaringen van een viertal continue en een tweetal discontinue praktijkinstallaties zijn beschreven. Bij variërende (nominale) filtersnelheden (1,25 – 5,3 m/h) worden variërende gemiddelde verwijderingpercentages voor zwevende stof (42 - 82%) en P_{totaal} behaald (10 - 85%).

Diverse ontwerptechnische, uitvoeringstechnische en bedrijfsmatige ervaringen en aandachtspunten met Duitse en Zwitserse filtratieprojecten zijn opgetekend door de Duitse Arbeitsgruppe 8.3 filtratie” en weergegeven in dit rapport.

TECHNOLOGISCHE ONTWERPGRONDSLAGEN

Ontwerp, realisatie en bedrijfsvoering van filterinstallaties voor de nabehandeling van rwzi-effluent kunnen maar beperkt worden gebaseerd op ervaringen en ontwerpgrondslagen van filtratie van oppervlaktewater voor de drinkwaterproductie. Andere filtratie-eigenschappen, debietvariëaties als gevolg van DWA en RWA, en een hogere en variërende drogestofbelasting van het filter als gevolg van de uitspoeling van zwevende stof uit het nabezinkproces, zijn de belangrijkste verschillen.

UITVOEREN PROEFONDERZOEK

In het algemeen is het aan te bevelen om voorafgaande aan de realisatie van met name de grotere filterinstallaties proefonderzoek uit te voeren. Risicobeperking en kostenoptimalisatie zijn de belangrijkste redenen. Proefonderzoek varieert van bekeerglasexperimenten tot enkele maanden semi-technisch filtratieonderzoek op locatie.

Voorafgaande aan proefonderzoek is het zinvol inzicht te verkrijgen in de variaties van zwevende stof, fosfaat en stikstof van de te filtreren afvalwaterstroom. Ook vaststelling van het aandeel opgelost organisch fosfaat en opgelost niet afbreekbaar stikstof vergroot het inzicht in de haalbaarheid van de N_{totaal} - en P_{totaal} concentratie in het filtraat dan wel effluent.

Bekerglasexperimenten zijn met name bedoeld voor onderzoek naar optimale coagulatie en flocculatie omstandigheden. Het betreft dan vaststelling van het type coagulant, de doseringshoeveelheid, de benodigde meng- en flocculatie tijd en de benodigde energie-inbreng. Het uitvoeren van continu kolomproeven met de te filteren afvalwaterstroom geeft informatie voor ontwerp en dimensionering van de filters. Inzicht wordt verkregen in de relatie korrelmateriaal, filtratiesnelheid en haalbare filtraatkwaliteit. Continue beproeving met water met een representatief gehalte aan zwevende stof geeft informatie over de relatie drogestofbelasting van het filter, looptijd en benodigd vuilbergend vermogen.

Bij beproevingen met filterkolommen op semi-technische schaal ($> 1\text{ m}^2$) worden hydraulische beperkingen als wandeffecten geminimaliseerd.

RANDVOORWAARDEN AAN HOOFDZUIVERINGSPROCES

Een goed werkend actiefslibproces met nabezinking is een randvoorwaarde. Dit vertaalt zich in een:

- voldoende fijne en robuuste roostergoedverwijdering ter voorkoming van verstopping van filters (standaard 6 mm);
- voldoende verwijdering van fosfaat en of stikstof:
 - om lozingseisen $< 1\text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$ te bereiken, moet in het hoofdproces fosfaat reeds tot ongeveer $2\text{ à }3\text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$ verwijderd zijn. Voor lagere waarden ($\text{P}_{\text{totaal}} < 0,15\text{ mg/l}$) dient de afloop van de nabezinktank(s) maximaal $0,8\text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$ te bevatten;
 - om aan lozingseisen van $<10\text{ mg N}_{\text{totaal}}/\text{l}$ te voldoen, dient de afloop van de nabezinktank(s) $\text{NH}_4\text{-N}$ -concentraties $< 5\text{ mg/l}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ -concentraties $<10\text{ mg/l}$ te bevatten. Voor het bereiken van lagere waarden ($\text{N}_{\text{totaal}} < 2,2\text{ mg/l}$) is het van belang dat het hoofdproces ammonium tot $< 1\text{ mg/l}$ verwijderd;
- een lage slibvolume-index in combinatie met een laag zwevende stofgehalte in de afloop van de nabezinktank(s). Binnen het ontwerp van filterinstallatie wordt vaak een maximum van 30 mg DS/l aangehouden voor het zwevendestofgehalte;
- vaststelling of de spoelwaterstroom in het hoofdproces hydraulisch kan worden verwerkt, met name bij RWA. Zowel vervaltechnische of technologische (belasting nabezinktanks) beperkingen kunnen optreden.

DE MAATGEVENDE VOLUME STROOM

Omdat RWA-gebeurtenissen maar beperkt bijdragen aan het totale volume dat een rwzi jaarlijks verwerkt, kan voor elke individuele zuivering het optimale ontwerpdebiet van de filterinstallatie worden berekend. De kwaliteit van de afloop van de nabezinking, inschatting van het haalbare verwijderingrendement voor een bepaalde parameter en de frequentieverdeling van het aanvoerdebiet van een rwzi zijn belangrijke onderdelen van een optimalisatieberekening voor de maatgevende volumestroom door een filter. Binnen de berekening wordt ook de grootte van de by-pass vastgesteld.

FILTERKEUZE

Binnen het scala van beschikbare uitvoeringsvormen en typen van filters zijn in dit rapport globaal twee uitvoeringsvormen van zandfiltratietechnieken beschouwd: discontinu vastbedfiltratie en continu filtratie. De belangrijkste kenmerken en verschillen zijn onderstaand weergegeven.

Discontinue vastbedfiltratie	Continue filtratie
- neerwaarts doorstroomd; - discontinu gespoeld (tegenstrooms met lucht/water); - vaste of variabele bovenwaterstand; - meerlaags filterbed (antraciet en kwartszand); - kleinere poriëngrootte dan continue filtratie; - vlokkenfiltratie: • vlokvorming in bovenwater; • vlokafvang op én in filterbed; • optreden van koekfiltratie; - filtratiecyclus tussen 4 en 48 uur; - spoelwaterverbruik 3 - 7 % van filtraatproductie.	- opwaarts doorstroomd; - continu gespoeld (tegenstrooms met water); - geen bovenwaterstand; - enkellaags filterbed (kwartszand); - veelal grotere poriëngrootte dan discontinue filtratie; - vlokingsfiltratie: • vlokvorming in filterbed; • vlokafvang in filterbed; • geen koekfiltratie; - filtratiecyclus continu; - spoelwaterverbruik 5 - 10% van filtraatproductie.

In het algemeen bestaat er geen principiële procestechnische voorkeur voor continue of discontinue filtratie. Voor fosfaat- en nitraatverwijdering kunnen zowel de opwaarts doorstroomde continue als neerwaarts doorstroomde discontinu filters worden ingezet.

Voor nitraatverwijdering bestaat een voorkeur voor opwaarts doorstroomde continue filters vanwege het wat grovere bedmateriaal en daarmee de benodigde korte verblijftijd en mogelijke hogere hydraulische belasting. Ook neerwaarts doorstroomde discontinue filters kunnen echter in een aangepaste configuratie hiervoor worden ingezet.

Voor fosfaatverwijdering zijn beide types toereikend met globaal dezelfde filtratiesnelheden. Een lichte voorkeur lijkt te bestaan voor meerlaagsfiltratie in een neerwaarts doorstroomd discontinue filter. Uit proefonderzoek en praktijktoepassingen is gebleken dat zwevende stof en fosfaat in dit type filter, mede door het optreden van koekfiltratie en in het algemeen toepassing van een fijner filterbed, verdergaand verwijderd worden dan met opwaarts doorstroomde continu filters.

FILTERBEDPARAMETERS EN MAATGEVENDE BELASTING

Onderstaand is een globaal overzicht gegeven van op voorhand toe te passen materialen en bedhoogtes met als doelstelling fosfaat of nitraatstikstof te verwijderen onder Nederlandse condities. Ook nominale zwevendestof- en nutriëntenbelasting voor continu en discontinu filters zijn weergegeven.

Type filter	Bed-materiaal	Korrelgrootte (mm)	Bed-hoogte (m)	Filter-snelheid (m/h)	Nom. zwevende stof belasting (kg DS/m ² bed.d)	Nom. nutriënt belasting (kg N/P/m ³ bed.d)
Doelstelling: Fosfaatverwijdering						
continu	zand	0,75 – 1,25	1,5 – 2,0	10 – 15	5 – 6	0,25
discontinu "fijn"	antraciet	0,85 – 1,7	1,0 – 1,2	8 – 15	4	0,30
	zand	0,6 – 0,85				
discontinu "medium"	antraciet	1,6 – 2,5	1,2 – 1,8	10 – 25		
	zand	0,75 – 1,25				
Doelstelling: Stikstof(nitraat)verwijdering						
continu	zand	1,25 – 1,75	1,5 – 2,0	10 – 15	5 – 6	2,0 – 3,0
discontinu "medium"	antraciet	1,6 – 2,5	1,0 – 1,2	10 – 25	4	1,5 – 2,0
	zand	0,75 – 1,25				
discontinu "grof"	antraciet	2,0 – 4,0	1,2 – 1,5	10 – 25		
	zand	1,25 – 2,25				

METAALZOUTEN EN KOOLSTOFBRONNEN

De verwijdering van opgelost fosfaat is enerzijds afhankelijk van de dosering aan vlokmiddel en anderzijds van de vlokvormingstijd en de daarbij ingebrachte mengenergie. In het algemeen worden hydroliserende vlokmiddelen op ijzer- of aluminiumbasis toegepast. Bij de keuze spelen factoren als marktprijs, toegestane zoutbelasting, werking in relatie tot het pH-gebied, extra slibproductie, en verontreinigingen van vlokmiddelen een rol.

Op basis van proefonderzoek is voor coagulatie is een G-waarde van $> 2.000 \text{ s}^{-1}$ vastgesteld en voor de flocculatie een G-waarde van $10\text{-}200 \text{ s}^{-1}$. Optimale vloktijden binnen de afvalwaterbehandeling variëren sterk, maar zijn in het algemeen korter dan de benodigde 15 à 30 minuten bij de drinkwaterbereiding. Uit proefonderzoek is vast te komen staan dat met aluminiumzouten een betere vlokvorming wordt verkregen, resulterend in lagere P-gehalten in het effluent.

Voor het bereiken van P-gehalten in het bereik van $0,15 - 0,5 \text{ mg/l}$ worden bij nageschakelde filtratie Me/P-verhoudingen tussen 3 en 10 mol/mol toegepast, betrokken op het P-gehalte van de afloop van de nabezinktank.

Voor nageschakelde denitrificatie is een zuivere koolstofbron benodigd. Voor nitraatverwijdering met methanol ligt de benodigde dosering in het bereik van $2,5\text{-}5,5 \text{ kg methanol/kg NO}_3\text{-N}$. Ook dient rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van zuurstof ($2\text{-}2,4 \text{ kg methanol/kg O}_2$).

Ook bij de keuze van de koolstofbron spelen factoren als marktprijs, biologische afbreekbaarheid, zuiverheid, slibproductie en stoffeigenschappen een rol. Slibproductie ligt in de orde-grootte van $0,1\text{-}0,25 \text{ kg DS/kg methanol gedoseerd}$.

CIVIELTECHNISCHE, WERKTUIGBOUWKUNDIGE EN REGELTECHNISCHE AANDACHTSPUNTEN

Enkele civieltechnische en werktuigbouwkundige aandachtspunten voor filterinstallaties zijn de volgende:

- Er is geen technologische voorkeur voor bouwen van filters in beton of staal. Bij grotere debieten ($>500 \text{ m}^3/\text{h}$) wordt veelal beton toegepast.
- Indien geen aparte vlokvormingstank aanwezig is, wordt het metaalzout bij voorkeur met een statische menger gedoseerd in de (gezamenlijke) toevoerleiding naar de filters.
- De zandfilters worden bij een buitenopstelling over het algemeen afgedekt. Onder Nederlandse omstandigheden dienen divers leidingwerk en pompinstallaties vorstvrij uitgevoerd dan wel binnen opgesteld te worden.
- Vaak wordt op basis van de eisen van de filterleverancier in een rooster of zeef als voorreiniging voor de toevoer naar het filter voorzien.
- Aandachtspunten voor opslag- en doseervoorzieningen van metaalzouten en koolstofbronnen hebben betrekking op veiligheid van de installaties en stoffeigenschappen als oplossingconcentraties en pH.
- Bij monsternamen van het filtraat met als doel om de werking van de filters te beoordelen is het van belang om deze niet te laten beïnvloeden door een bypass. Gezien de vereiste effluentbemonstering zullen in dat geval twee monsternamenvoorzieningen noodzakelijk zijn.

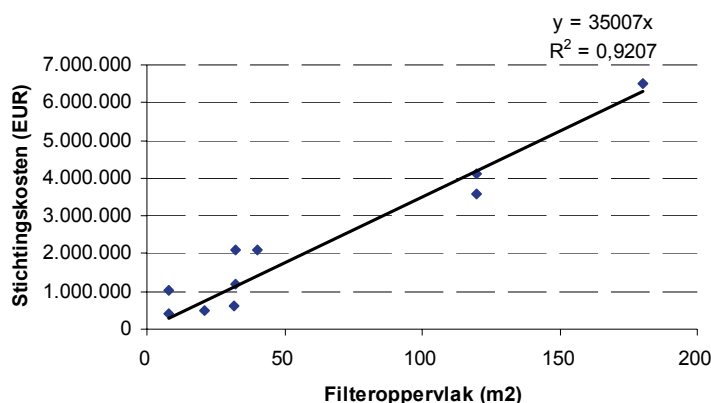
Diverse parameters (zoals niveau, druk, debiet, NO_x , PO_4 , O_2 en troebelheid) kunnen tegenwoordig on-line, continu, worden gemeten. Met behulp van deze metingen worden regelingen binnen filterinstallaties toegepast om de kwaliteit van het effluent te waarborgen onder wisselende toevoercondities.

Veel voorkomende regelingen zijn:

- Filterregelingen waarmee het terugspoelen van discontinue filters of de zandcirculatiesnelheid en spoelluchtdebiet bij continu filters wordt geregeld.
- Regelingen van het toevoerdebiet en eventueel het recirculatie-debiet waarmee het filter hydraulisch gezien, zo gelijkmatig mogelijk wordt belast.
- Regelingen voor metaalzoutdosering en koolstofbrondosering voor het verkrijgen van een voldoende hoog rendement en het voorkomen van overdosering.

KOSTEN FILTRATIE

Gezien het geringe aantal gerealiseerde Nederlandse filtratieprojecten tot nu toe is het inzicht in kosten, zowel voor wat betreft investering als exploitatie, van zandfiltratie voor vergaande zuivering van rwzi-effluent momenteel beperkt. Onderstaand zijn de stichtingskosten van enkele continu filterinstallaties als functie van het filteroppervlak weergegeven.



TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

Onderzoek en ontwikkeling op het gebied van bedfiltratie is, mede geïnitieerd door de implementatie van de Kaderrichtlijn Water, in een stroomversnelling geraakt. Drijfveren zijn verlaging van de investeringskosten door verhoging van de filtratiesnelheid, verhoging van het verwijderingsrendement van specifieke componenten, het verwijderen van meerdere componenten en het verminderen van het aantal nageschakelde zuiveringstechnieken.

Toepassing van alternatieve filtermaterialen, het ontwikkelen van alternatieve uitvoeringsvormen van filters en het optimaliseren van de coagulatie- en flocculatiestap zijn belangrijke onderzoeksaspecten. Ontwikkelingen die in dit rapport onder meer worden toegelicht zijn:

- het fuzzy filter, waarin een nieuw type filtermateriaal wordt toegepast in een aangepaste uitvoeringsvorm;
- het Automatisch Backwash filter dat voordelen van continu en discontinue filtratie combineert;
- actiefkoolfiltratie waar een breed scala aan (apolaire) componenten wordt verwijderd;
- biologische actiefkoolfiltratie; een combinatie van adsorptie, filtratie en nitraatverwijdering;
- gecombineerde fosfaat- en stikstofverwijdering in een enkelvoudige filtratiestap.

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 zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

SUMMARY

INTRODUCTION

Filtration is one of the favorable options for further improvement of the effluent quality of sewage treatment plants (STP). Within the implementation of the new Water Framework Directive, filtration has been recognized as a post treatment technique which takes a central position.

This report regarding “filtration techniques” presents the status of the application of sand filtration as a post treatment technique for further effluent treatment towards effluent concentrations of $N_{\text{total}} < 5 \text{ mg/l}$ and $P_{\text{total}} < 0,5 \text{ mg/l}$. Based on the theory of filtration and experiences in The Netherlands and abroad, an overview is presented of different types of filters, as well as a design approach and guidelines for filter performance and cost estimates.

NEW MEANING OF 'EFFLUENT'

In the present waste water treatment context the term 'effluent' is the overflow of the secondary clarification. With the introduction of post-filtration the 'effluent' will be fed into the filter. The filter produces filtrate. In many full-scale filtration applications only a part of the effluent will be filtered and subsequently there will be a by-pass. For this application, it is proposed to use the term 'effluent' for the total of filtrate and by-pass.

DESCRIPTION AND THEORY OF SAND FILTRATION

Sand filtration removes particles $> 1-1,5 \mu\text{m}$. Filtration mechanisms include mechanical sieving, sedimentation, adsorption and chemical and biological activity. During passage of water through the granular bed, water fills the pores of the filter medium and the suspended solids and colloidal impurities are adsorbed on the surface of the grains or become trapped in the openings. The key to this process is the relative grain size of the filter medium in relation to the impurities in the feed water.

The main design parameter of filtration is the filtration rate, also known as the hydraulic load. For waste water treatment the range for sand filtration is 5-30 m/h, where 20 m/h can be seen as the maximum for removing nutrients as phosphate en nitrogen.

Different types of sand filtration are available such as rapid sand filtration, slow filtration and fuzzy filtration. Rapid sand filtration, both upflow and downflow driven, are the most common type of filter units. For wastewater treatment purposes the filter bed consists of sand grains with a diameter typically in a range of 0.5 and 5 à 6 mm.

A downflow filter is often operated discontinuously. During operation head loss gradually increases due to solids accumulation. The filter is periodically backwashed with air and water for solids removal.

An upflow filter is often operated as a continuous type filter. The water flows through the filter in an upward direction. The dirty filter sand is continuously abstracted from the bottom of the sand bed and washed, after which it is released on top of the sand bed. In contrary with discontinuous filtration there is no distinct 'run-time'.

Diversity in filter types also exists due to the application of different types of filter media. A one-layer filter generally uses fine sand. In double- or multi-layer filters often a combination of anthracite (coal) and sand is used.

In a multi-layer filter filled with a fine and coarse grain fraction, high solids removal efficiency can be combined with a large storage capacity for solids.

DUTCH EXPERIENCE

Thirty full-scale and pilot applications of post-treatment filtration in sewage treatment have been evaluated.

For continuous filtration it appears that the performance regarding N- and P-removal varies substantially. Important factor determining the P-removal efficiency is the applied Me/P ratio. In general a higher efficiency is obtained when applying higher Me/P ratios and lower filtration rates. In this inventory the filtration rate varied between 5.6 and 20 m/h with a total suspended solids load of 0.2 - 38.4 kg DS/m².d.

In comparison with continuous filtration there is less Dutch experience available with discontinuous filtration as post treatment technique. From pilot studies it appears that the efficiency for P-removal varies between 37% and 89%

The available data indicate that in comparison with continuous filtration, discontinuous filtration results in lower suspended solids concentration in the filtrate, accompanied with lower phosphate concentrations.

Bottle-necks in the operation of filters are often related to the control of chemical dosing and, specifically for continuous filtration, the control of the bed resistance and a loss of sand grains (wash-out).

EXPERIENCE ABROAD

In Germany and Switzerland many sand filtration units are in operation for post treatment of wastewater. Although the purpose of the filters varies, many are designed for SS-removal in combination with P-removal. In this report the foreign view of several design aspects, engineering and operations is given.

TECHNOLOGICAL DESIGN APPROACH

Direct translation of the filtration design approach applied in drinking water treatment towards effluent filtration of sewage treatment plants is limited. Filtration characteristics, variation in flow (Dry Weather Flow versus Storm Weather Flow) and Total Suspended Solids load are important differences.

In general it is advised to carry out lab scale and/or pilot research regarding effluent filtration, especially for large treatment capacities. The results can be used for risk management and cost optimization. Research can vary from jar tests to the operation of a pilot plant on semi technical scale during several months.

PROCESS REQUIREMENTS

An important process condition for effective effluent filtration is a properly operating activated sludge process including the secondary clarification. This implies:

- Sufficient pre-screening prevents clogging of the filters (6 mm standard).
- Sufficient nutrient removal in the main process:
 - In order to achieve a P-requirement < 1 mg/l, the overflow of the secondary clarifier should be less than 2 à 3 mg/l/l. In the case of a P-requirement < 0.15 mg/l, the overflow should be less than 0.8 mg/l.

- In order to achieving a N-total requirement $< 10 \text{ mg/l}$, the overflow of the secondary clarifier should contain $< 5 \text{ mg NH}_4\text{-N/l}$ and $< 10 \text{ mg NO}_3\text{-N/l}$. Nearly complete nitrification ($\text{NH}_4\text{-N} < 1 \text{ mg/l}$) is required, in the case of a N-total requirement $< 2.2 \text{ mg/l}$.
- A low sludge volume-index in combination with a low suspended solids concentration in the effluent (max. 30 mg TSS/l).
- Assessment if the backwash flow from the filters can be treated hydraulically in the main process.

FILTER DESIGN

A tailor made design flow to the filters can be established for each STP, depending on the contribution of storm water flow to the total treated volume of a STP, the concentration of the overflow of the secondary clarifier and the estimated removal efficiency of component.

The report distinguishes two main types of filtration: discontinuous fixed-bed filtration (downflow) and continuous fluidized bed filtration (upflow). The main characteristics are presented below.

Discontinuous fixed bed filtration	Continuous filtration
Downflow filtration	Upflow filtration
Discontinuous back washing (countercurrent with water/air)	Continuous washing (separately with water)
Multi-layer filter bed	One-layer filter medium
Smaller pore size than continuous filtration	Often larger pore size than fixed bed filtration
Flock filtration: ● Flock forming in water layer above filter bed ● Flock accumulation on and in filter bed ● Occurrence of surface filtration	Flock filtration: ● Flock forming in filter bed ● Flock accumulation in filter bed ● Deep bed filtration
Filter runtime between 4 and 48 hour	Continuous filtration cycle
Backwash water consumption 3-7% of filtrate production	Backwash water consumption 5-10% of filtrate production

From a process point of view there is no preference for continuous or discontinuous filtration. In general both types of filters can be used for Phosphate and/or Nitrate removal. For removal of nitrate a continuous filter is slightly preferred due to the larger pore size applied, resulting in a shorter hydraulic retention time (HRT) or higher hydraulic load. For P-removal a slight preference exists for a multi-layer, discontinuous fixed-bed filter. From research it has appeared that extensive SS- and P-removal occurs in this type of filter, due to the smaller pore size and occurrence of surface filtration.

The following table gives an overview of some filter bed parameters and design loads, with the aim to remove P or Nitrate in effluent of a sewage treatment plant under Dutch process conditions.

Type filter	Bed-material	Grain size (mm)	Bed height (m)	Filter rate (m/h)	Nom. SS load (kg DS/m² bed.d)	Nom. nutrient load (kg N/P/m³ bed.d)
Purpose: P-removal						
continuous	sand	0.75 – 1.25	1.5 – 2.0	10 – 15	5 – 6	0.25
discontinuous “fine”	anthracite sand	0.85 – 1.7 0.6 – 0.85	1.0 – 1.2	8 – 15	4	0.30
discontinuous “medium”	anthracite sand	1.6 – 2.5 0.75 – 1.25	1.2 -1.8	10 – 25		
Purpose: N-(nitrate)-removal						
continuous	sand	1.25 – 1.75	1.5 – 2.0	10 – 15	5 – 6	2.0 – 3.0
discontinuous “medium”	anthracite sand	1.6 – 2.5 0.75 – 1.25	1.0 – 1.2	10 – 25	4	1.5 – 2.0
discontinuous “grof”	anthracite sand	2.0 – 4.0 1.25 – 2.25	1.2 – 1.5	10 – 25		

DOSAGE OF COAGULANTS OR CARBON SOURCE

For P-removal, addition of an iron- or alum salt as a coagulant is required. Costs of chemicals, coagulant efficiency in relation to the pH, sludge production, water quality restrictions of the receiving surface water and concentration of micro-pollutants are aspects determining the choice between the two chemicals.

For denitrification in a filter bed a carbon source has to be added to the effluent flow. Decisive in the choice of the type of carbon are aspects as costs, biodegradability, quality of the carbon source, extra sludge production and handling characteristics of the chemical.

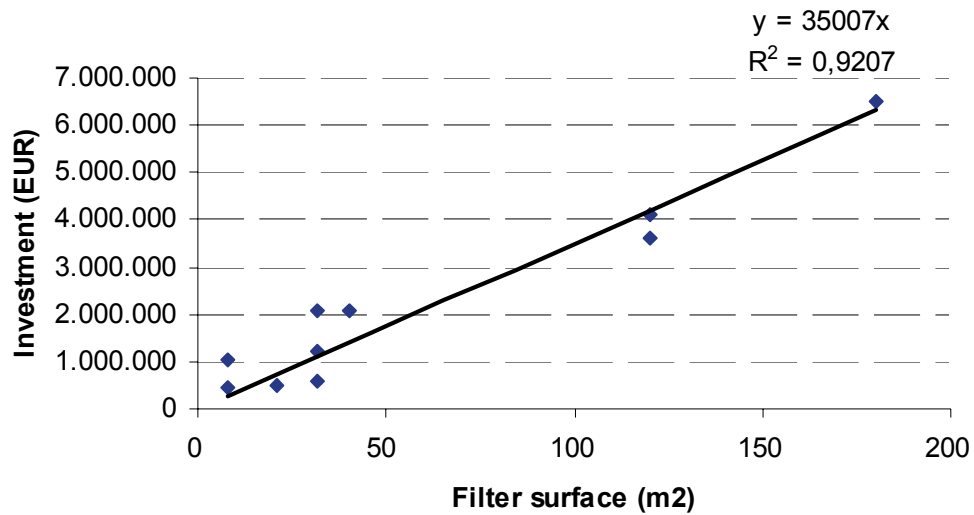
ENGINEERING AND CONSTRUCTION ASPECTS

The report gives some considerations regarding civil, mechanical and process control engineering of sand filters, such as:

- Construction of filters in steel or concrete.
- Design of dedicated flocculation reactors or in-line dosage.
- Necessity for roofs on the filters or construction in a filter building.
- Installation of sieve or screen as a pre-treatment for the filter.
- On-line measurement of different filter parameters (level, pressure, flow, nitrate, phosphate, oxygen, suspended solids).
- Control strategies for (back)washing, flow or level variations, dosage of chemicals.

COSTS

Due to a reduced number of full scale sand filtration projects in the Netherlands, the insight into current cost aspects for sand filtration is very limited. The graph below shows the total investment costs as a function the filter surface. These costs are derived from ten full scale filter projects and are based on continuous filtration.



FUTURE DEVELOPMENTS

Some future developments described in this report are:

- Fuzzy filter; a filter in which a new type of bed material is applied in an adjusted process configuration.
- Automatic Backwash filter; a filter combining the advantages of continuous and discontinuous filtration.
- Filtration with activated carbon. A filter which removes a large range of a-polar components.
- Biological activated carbon filtration; a combination of adsorption, filtration and biological denitrification.
- Combined P- and N-removal in one filter unit.

STOWA IN BRIEF

The Institute of Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater purification installations and dam inspectors. In 2002 that includes all the country's water boards, the provinces and the State.

These 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 on the basis of requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as centres of learning and consultancy bureaux, 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.

All 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 six million euro.

For telephone contact STOWA's number is: +31 (0)30-2321199.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

FILTRATIE-TECHNIEN RWZI'S

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
1.1	Kader en aanleiding rapport	1
1.2	Doelstelling rapport	1
1.3	Beperkingen en grenzen Rapport	2
1.4	Nieuw effluent: nieuwe terminologie en Definities	3
2	BESCHRIJVING EN THEORIE	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Filtratiespectrum	5
2.3	Typen bedfiltratie	6
2.4	Combinatie met biologische afbraak en chemische neerslagreacties	10
2.4.1	Biologische afbraakprocessen	10
2.4.2	Chemische neerslagreacties	11
2.5	Theoretische achtergronden filtratie	12
2.5.1	Filtermechanismen	12
2.5.2	Filtermateriaal	12
2.5.3	Koekfiltratie en diepfiltratie	14
2.5.4	Looptijd	15
2.5.5	Terugspoelen van een filter	16
2.5.6	Spoelwaterverwerking	17
2.6	Globale Ontwerp- en dimensioneringsrichtlijnen	19

3	ZANDFILTRATIE IN NEDERLAND	20
3.1	Methodiek inventarisatie	20
3.2	Continue filtratie	21
3.2.1	Inleiding	21
3.2.2	Continue filtratie voor fosfaatverwijdering	21
3.2.3	Continue filtratie voor stikstofverwijdering	24
3.2.4	Evaluatie continue filtratie	27
3.3	Discontinue filtratie	28
3.3.1	Inleiding	28
3.3.2	Discontinue filtratie voor fosfaatverwijdering	28
3.3.3	Discontinue filtratie voor stikstofverwijdering	30
3.3.4	Discontinue filtratie als voorbehandeling van Ultrafiltratie	30
3.3.5	Discontinue filtratie voor CZV verwijdering	31
3.3.6	Evaluatie discontinue filtratie	32
4	ZANDFILTRATIE IN HET BUITENLAND	33
4.1	Inleiding	33
4.2	Discontinue filtratie voor P-verwijdering	34
4.3	Continue filtratie voor P-verwijdering	34
4.4	Ervaringen met zandfiltratie in Duitsland en Zwitserland	37
5	TECHNOLOGISCHE ONTWERPGRONDSLAGEN	39
5.1	Ervaringen filtratie in drinkwaterbereiding beperkt toepasbaar	39
5.2	Uitgangspunten Ontwerp filtratie van rwzi-effluent	40
5.2.1	Uitvoeren proefonderzoek	40
5.2.2	Randvoorwaarden van het hoofdzuiveringsproces	41
5.2.3	De maatgevende volumestroom	43
5.3	De filterkeuze	47
5.3.1	Filtratietechnieken	47
5.3.2	FilterBed	48
5.4	Vlokkings/Vlokkenfiltratie	50
5.4.1	Maatgevende zwevendestof- en fosfaatbelasting filters	50
5.4.2	Vlokmiddelen	50
5.4.3	Menging en flocculatie	52
5.4.4	Neveneffecten metaalzoutdosering	54
5.5	Biologische filtratie	54
5.5.1	Maatgevende Nitraatbelasting	54
5.5.2	koolstofbron	55
5.5.3	Neveneffecten koolstofbron	56
5.6	Spoelen van filters	57
5.6.1	Algemeen	57
5.6.2	Invloed spoelwater op het ontwerp	58

6	UITVOERINGSTECHNISCHE ASPECTEN EN KOSTEN	59
6.1	Algemeen	59
6.2	Monitor- en Regelaspecten	59
6.2.1	Monitoring parameters	59
6.2.2	Filterregeling	60
6.2.3	Regeling toevoerdebiet en recirculatie	60
6.2.4	Regeling Metaalzoutdosering P-verwijdering	60
6.2.5	Regeling koolstofbrondosering	61
6.2.6	Regeling Zandcirculatiesnelheid en spoelluchtdebiet (continu filtratie)	61
6.3	Civieltechnische en werktuigbouwkundige aandachtspunten	62
6.4	Kosten	65
7	TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN	67
8	LITERATUUR	74
	BIJLAGEN	
1	ONTWERPVOORBEELD	75
2	ZANDFILTRATIE IN NEDERLAND: 5 CASES	79
3	ZANDFILTRATIE IN HET BUITENLAND: 3 CASES	95

1

INLEIDING

1.1 KADER EN AANLEIDING RAPPORT

Het toepassen van technieken van nageschakelde filtratie van rwzi-effluent is een betrekkelijk nieuwe ontwikkeling in de afvalwaterzuivering. De belangstelling voor deze techniek, van oudsher veel toegepast in de drinkwaterbereiding, komt de laatste jaren in een stroomversnelling voor wat betreft de ontwikkeling en toepassing.

Directe aanleiding voor het opstellen van het rapport filtratietechnieken is het in 2005 verschijnen van het STOWA rapport 'Verkenningen Zuiveringstechnieken en KRW'.

Het rapport geeft in het kader van de implementatie van de Kaderrichtlijn Water (KRW) actuele informatie over een heel scala aan zuiveringstechnieken waarmee de kwaliteit van het rwzi-effluent kan worden verbeterd.

In de rapportage is filtratie als één van de kansrijke technieken (h)erkend. Binnen vrijwel alle voorgestelde integrale zuiveringsscenario's neemt filtratie een centrale plaats in. Het verwijderen van deeltjes in de afloop van de nabezinktank leidt in alle scenario's in algemene zin tot een grote kwaliteitsverbetering. Het specifieke doel van de filtratie verschilt per zuiveringsscenario en is afhankelijk van de te verwijderen component(en). Het afvangen van deeltjes, al of niet gevormd door een voorafgaande coagulatie/flocculatiestap, en het biologisch verwijderen van componenten via een biomassa aanwezig in het filter, zijn twee belangrijke voorbeelden van verwijderingsprincipes die binnen de techniek filtratie vallen.

Het opstellen van een rapport filtratie op basis van een inventarisatie van de huidige stand der techniek kan als eerste stap en als een noodzakelijke verdiepingslag worden gezien om binnen toekomstige zuiveringsscenario's het onderwerp filtratie in te vullen. De focus ligt op zandfiltratie.

1.2 DOELSTELLING RAPPORT

Binnen de gestelde beperkingen en grenzen (zie par 1.3) verschaft het rapport filtratietechnieken een zo actueel en volledig mogelijk inzicht in relevante toepassingsaspecten van nageschakelde zandfiltratie voor vergaande zuivering van rwzi-effluent, richting een N-totaalgehalte < 5 mg/l en een P-totaalgehalte < 0,5 mg/l.

Op basis van theorie, binnenlandse en buitenlandse ervaringen wordt in dit rapport een overzicht gegeven van uitvoeringsvormen, dimensioneringsgrondslagen, prestaties en kostenramingen van filterinstallaties voor vergaande zuivering.

Het rapport beoogt een raamwerk te geven waarmee de waterschappen op een verantwoorde wijze een keuze kunnen maken voor het juiste type filter of de juiste combinatie van filtertypen. Daarnaast geeft het rapport vele tips aangaande de dimensioneringsaspecten en factoren die deze beïnvloeden, uitvoeringsaspecten en talrijke aanwijzingen voor de bedrijfs-

voering. Ook besteedt het rapport aandacht aan de inpassing van zandfiltratie in de bestaande rwzi-infrastructuur.

Het rapport is daarmee een naslagwerk voor de waterschappen om systeemkeuzes, ontwerpen en aanbiedingen op het gebied van zandfilterinstallaties te beoordelen.

Gezien het toenemend aantal zandfiltratieprojecten in Nederland is het uitbrengen van dit rapport goed getimed. Ook het kennisniveau is momenteel op een dusdanig niveau dat een geschikt en praktisch ingestoken rapport kan worden gepresenteerd.

1.3 BEPERKINGEN EN GRENZEN RAPPORT

FOCUS OP ZANDFILTRATIE

De afgelopen jaren is, met name bij de Technische Universiteit Delft, veel fundamenteel en proefonderzoek uitgevoerd naar de toepassing van filtratietechnieken (membraanfiltratie, zandfiltratie en actiefkoolfiltratie). In het begin was dit onderzoek veelal gericht op hergebruik van effluent als bijvoorbeeld proceswater in de industrie. Later is de doelstelling meer verlegd naar de toepassing van deze technieken voor een verbetering van de effluentkwaliteit. De toepassing van membraanfiltratie als nageschakelde techniek is vergaand onderzocht maar door het uitblijven van een brede belangstelling voor hergebruik van effluent als 'ander water' is de toepassing van membraanfiltratie als nageschakelde filtratietechniek enigszins naar de achtergrond geplaatst. Daarentegen is de belangstelling voor de toepassing van zandfiltratie toegenomen. Dit wordt vooral veroorzaakt door het gegeven dat vanuit de waterkwaliteitsdoelstelling een aantal waterschappen heeft besloten de kwaliteit van het effluent van rwzi's verder te verbeteren voor de nutriënten stikstof (bereik van < 2,2 tot 5 mg N-totaal/l) en fosfaat (bereik < 0,15 tot 0,5 mg P-totaal/l). Dit heeft inmiddels geleid tot een aantal recente en lopende realisatieprojecten op het gebied van zandfiltratie. Voor het verbeteren van de effluentkwaliteit ten aanzien van stikstof en fosfaat kan zandfiltratie momenteel als best beschikbare techniek worden beschouwd.

Gezien het bovenstaande ligt de focus van het rapport op de toepassing van zandfiltratie. Hoewel het in dit verband beter is om te spreken over filtratie met een inert filtermedium zal de term 'zandfiltratie' vaak in deze rapportage worden gebruikt. In het hoofdstuk beschrijving en theorie zal de term filtratie breed worden toegelicht met een opsomming van beschikbare filtratietechnieken en de plaats zandfiltratie in het filtratiespectrum. Vervolgens zal alleen zandfiltratie worden uitgewerkt richting de relevante aspecten van het rapport.

FOCUS OP STIKSTOF, FOSFAAT EN ZWEVENDE STOF

Een andere focus betreft de te verwijderen componenten. Gezien de huidige ervaringen en het gegeven dat de huidige belangstelling bij nutriënten ligt, zal de nadruk liggen op de verwijdering van stikstof en fosfaat. Zevende stof is onlosmakelijk verbonden met het functioneren van filtratie en zal dus ook worden beschouwd. Indien beschikbaar, is ook informatie over de verwijdering in zandfilters van andere componenten (zware metalen, microverontreinigingen, bestrijdingsmiddelen, hormoon verstorende en medicinale stoffen) beschreven. Maar zoals ook is opgemerkt in het rapport 'Verkenningen Zuiveringstechnieken en KRW' zijn tot op heden de analysedata in rwzi-effluent voor deze componenten slechts (zeer) beperkt beschikbaar. Ook informatie over de aanwezigheid en verschijningsvorm van deze stoffen in rwzi-effluent in relatie tot de aanvoersituatie (DWA of RWA) is aangemerkt als een leemte in de huidige kennis.

FOCUS FILTERTYPEN / -UITVOERINGSVORMEN

De huidige ervaringen met zandfilters en de focus op de te verwijderen componenten brengt (automatisch) ook een focus voor wat betreft filtertypen met zich mee. In het rapport zal onderscheid worden gemaakt in biologische filtratie (voor stikstof) en vlokings/vlokkenfiltratie (voor fosfaat), in continu gespoelde en discontinu gespoelde filters en in neerwaarts en opwaarts doorstroomde filters.

Gezien de huidige inzichten en ervaringen zijn in het hoofdstuk dimensionering en ontwerp twee uitvoeringsvormen in beschouwing genomen, namelijk discontinu gespoelde neerwaarts doorstroomde filters en continu gespoelde opwaarts doorstroomde filters.

Ontwikkelingen op het gebied van filtertypen en uitvoeringsvormen zoals, actiefkoolfiltratie, een gecombineerd filter voor stikstof en fosfaat en het fuzzy filter worden behandeld in het hoofdstuk toekomstige ontwikkelingen.

ROL LEVERANCIERS

Binnen het onderwerp filtratie is de rol van leveranciers duidelijk en zichtbaar aanwezig. Bij de leveranciers heeft een groot deel van de ontwikkeling plaats gevonden en ze hebben zelf veel ervaring op het gebied van dimensionering en toepassing van (zand)filtratie. Voor de verschillende zandfiltratietechnieken zijn meerdere leveranciers beschikbaar en de marktwerking begint de laatste tijd, ook op communaal gebied, zijn intrede te doen.

Bij de dimensionering van zandfiltratie is de filtratiesnelheid (m/h) de meest bepalende parameter voor de omvang van de filters en daarmee de kosten. De keuze van de toe te passen filtratiesnelheid door een leverancier is daarmee ook een belangrijk aspect voor de marketingstrategie. Omdat praktijkervaring met de verschillende zandfiltratietechnieken op communaal gebied nog beperkt is en de markt zich snel ontwikkelt, is bij het opstellen van dit rapport ervoor gekozen om leveranciers er niet bij te betrekken.

1.4 NIEUW EFFLUENT: NIEUWE TERMINOLOGIE EN DEFINITIES

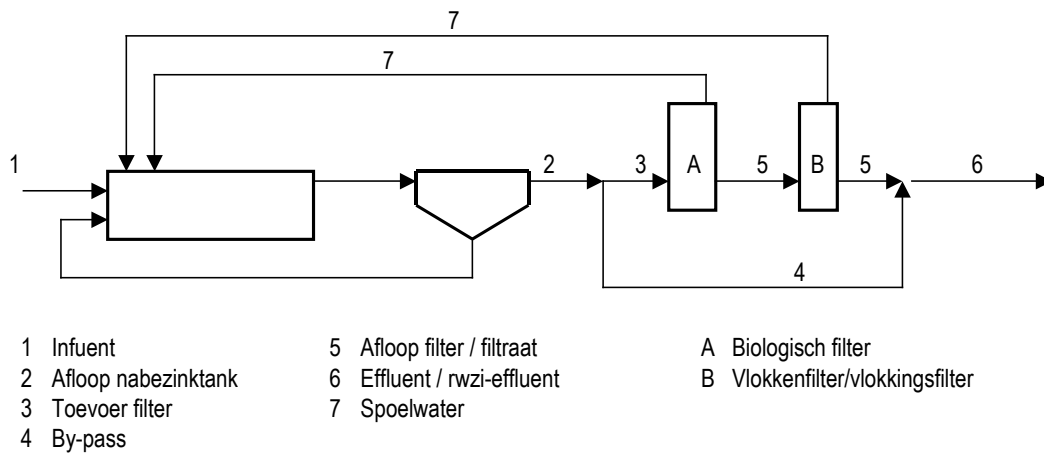
De introductie van nageschakelde technieken voor het vergaand zuiveren van communaal afvalwater brengt met zich mee dat een (beperkte) herdefiniëring noodzakelijk is van de tot nu gebruikte termen

binnen de afvalwaterzuivering. Het betreft met name het gebruik van de term 'effluent' of 'rwzi-effluent'. Binnen de huidige context van de communale afvalwaterzuivering is het tamelijk standaard dat met deze term de afloop van het nabezinkproces wordt bedoeld. Dit is binnen vrijwel alle gevallen ook de totale stroom die geloosd wordt op het ontvangende oppervlaktewater. De term staat daarmee ook in directe relatie met vergunningsaspecten.

Met de intrede van nageschakelde technieken, -in dit rapport betreft het zandfiltratie-, zal de huidige effluentstroom als ingaande stroom voor de filters dienen, die daarna een uitgaande filtraatstroom dan wel effluent afleveren. Daarnaast zal in veel praktijktoepassingen niet de totale afloop van de nabezinktanks via de filters worden verwerkt. Boven een bepaald maximum debiet zal een deel via een bypass lopen. De bypass vormt dan tezamen met de gefilterde stroom het (nieuwe) effluent van de rwzi.

Dit rapport biedt de mogelijkheid om, aan het begin van het tijdperk van verdergaande zuivering, een nieuwe standaard terminologie te introduceren en te hanteren. Binnen een rwzi met filtratie als vergaande zuiveringstechniek wordt voorgesteld om de termen zoals weergegeven in afbeelding 1 te gaan hanteren. Binnen dit rapport is deze terminologie aangehouden.

AFBEELDING 1 NIEUWE TERMINOLOGIE BIJ FILTRATIE ALS VERGAANDE ZUIVERINGSTECHNIEK BINNEN EEN RWZI



In dit verband wordt ook voorgesteld om de nu nog wel eens gebruikte term ‘vierde-trapszuivering’ niet meer te hanteren maar te spreken over ‘vergaande of verdergaande zuivering’, dan wel ‘nageschakelde zuiveringstechnieken’. Ook de term effluentpolijsting is in dit verband verwarrend en zal niet worden gebruikt.

Naast een herdefiniëring van termen worden binnen de theorie van filtratie en het ontwerp van filterinstallaties een aantal nieuwe termen veelvuldig gebruikt. De definities hiervan zijn in het hoofdstuk theorie opgenomen.

2

BESCHRIJVING EN THEORIE

2.1 INLEIDING

Bij de scheidingstechniek filtratie is het verwijderingsprincipe gebaseerd op het scheiden van het effluent in een schone hoofdstroom die wordt geloosd en een residuustroom waarin de vervuiling is geconcentreerd.

Binnen het filtratiespectrum zijn verschillende filtratietechnieken te onderscheiden zoals zeef-, bed- en membraanfiltratie. Filtratie kan ook worden gecombineerd met biologische afbraakprocessen zoals bijv. stikstofverwijdering en bindingstechnieken als chemische neerslagtechnieken (precipitatie en coagulatie/flocculatie) en adsorptie.

In dit hoofdstuk is allereerst het filtratiespectrum in beknopte vorm geschetst. De nadruk binnen dit spectrum en binnen de te onderscheiden typen van filtratie ligt op bedfiltratie en meer specifiek de toepassing van snelfiltratie met zand of antraciet als filtermateriaal.

De toepassing van snelfiltratie in combinatie met biologische stikstofverwijdering en de chemische vastlegging van fosfaat, is in dit hoofdstuk ook beschreven.

Na weergave van het filtratiespectrum is ingegaan op enkele theoretische achtergronden van filtratie: het filtermechanisme, het filtermateriaal, alsmede aspecten die een rol spelen bij de bedrijfsvoering van de filters, zoals de looptijd en het terugspoelproces. In dit kader zijn ook enkele definities van termen, die veelvuldig binnen filtratie worden gebruikt, vermeld.

Afgesloten wordt met een globaal overzicht van ontwerp- en dimensioneringsaspecten voor zandfiltratie.

2.2 FILTRATIESPECTRUM

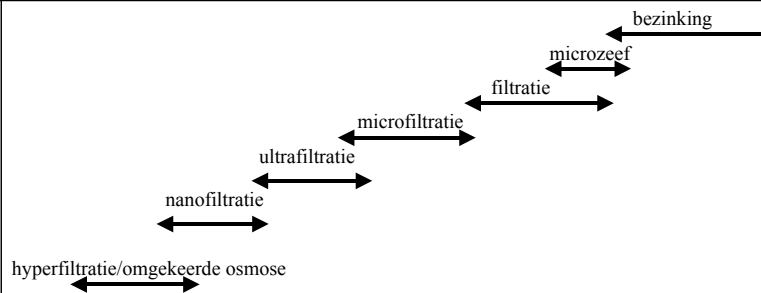
Filtratie is een techniek waarmee deeltjes uit een waterige stroom kunnen worden verwijderd. Afhankelijk van de afmetingen van de te verwijderen deeltjes moet een bepaalde scheidings- of filtratietechniek, of een combinatie van technieken, worden ingezet. Afbeelding 2 geeft een overzicht van het toepassingsgebied van diverse filtratietechnieken, afhankelijk van de deeltjesgrootte.

Op hoofdlijnen kan onderscheid worden gemaakt tussen:

- Zeeffiltratie voor deeltjes $> 50 \mu\text{m}$;
- Bedfiltratie voor deeltjes $> 1 \mu\text{m}$;
- Deeltjes gerelateerde membraanfiltratie (micro-, ultrafiltratie) voor deeltjes $> 10 \text{ nm}$;
- Molecuul gerelateerde membraanfiltratie (nano-, hyperfiltratie) voor deeltjes $< 10 \text{ nm}$.

AFBEELDING 2

FILTRATIESPECTRUM

deeltjesgrootte	opgelost			colloïdaal		supracolloïdaal		bezinkbaar	
	opgelost		colloïdaal		gesuspendeerd				
	ionen/moleculen		macromoleculen		microdeeltjes		fijne deeltjes		
deeltjes	suiker opgeloste zouten		virussen		bacteriën		protozoën stuifmeel		zand
afmeting (1,5 μm)	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000	
scheidingstechniek									

Membraanfiltratie kan binnen de afvalwaterbehandeling als nageschakelde of als geïntegreerde (membraanbioreactor) techniek worden toegepast. Verschillende uitvoeringsvormen en type membranen zijn ontwikkeld voor zowel de nageschakelde als de geïntegreerde toepassing.

Met membraanfiltratie (micro, ultra) wordt een hoger verwijderingsrendement van gesuspendeerde en colloïdale componenten bereikt dan met bedfiltratie.

Bij bedfiltratie worden de deeltjes verwijderd uit de waterfase terwijl het water door poriën tussen de mediumdeeltjes stroomt. Verschillende processen kunnen hieraan ten grondslag liggen (zie par.2.5.1 Filtermechanismen). Bij bedfiltratie is door de onregelmatige poriestructuur en de verschillende verwijderingsprocessen geen sprake van een gedefinieerde afscheidingsdiameter waarboven de deeltjes volledig worden tegen gehouden. Als indicatie kan worden aangehouden dat bedfiltratie niet in staat is deeltjes tegen te houden kleiner dan 1 tot 1,5 µm. Daarboven is het rendement afhankelijk van diverse factoren, onder meer van de deeltjesgrootte.

2.3 TYPEN BEDFILTRATIE

Er zijn verschillende typen of uitvoeringsvormen van bedfiltratie als nageschakelde techniek binnen de afvalwaterbehandeling beschikbaar, die ieder een eigen doel en werking hebben. Onderscheid kan worden gemaakt tussen:

- langzaam, snel en met druk doorstroomde filters;
- opwaartse en neerwaartse doorstroomde filters;
- continu en discontinu doorstroomde filters;
- toepassing van een enkellaags medium of multimedia in het filter.

Hierna is een beknopt overzicht gegeven van de diverse filtertypen. Vervolgens is in par. 2.4 ingegaan op de combinatie met biologische afbraakprocessen en chemische neerslagreacties. Actiefkoolfiltratie en ander uitvoeringsvormen als het fuzzy filter en het Automatisch Back Wash filter zijn bij toekomstige ontwikkelingen in hoofdstuk 7 beschreven.

Enkele typen van filters zijn in de hierna volgende afbeeldingen 3 en 4 weergegeven.

Belangrijk onderscheidend kenmerk van filtertypen is de filtratiesnelheid die wordt toegepast. Filtratiesnelheid ook wel filtersnelheid, hydraulische belasting of oppervlaktebelasting van een filter genoemd, is de snelheid waarmee het water door het filterbed gaat. Dit wordt uitgedrukt in m/h. Bij zandfiltratie ligt de filtratiesnelheid meestal tussen de 5 en 30 m³/m²h. Voor N- en P-verwijderende filters ligt de filtratiesnelheid veelal 20 m³/m²h. Het debiet (Q), dat wil zeggen de hoeveelheid water die in de filterinstallatie of per filter wordt behandeld, uitgedrukt in m³/h wordt gedeeld door het filteroppervlak (A), uitgedrukt in m². Er is sprake van een bruto en netto filtratiesnelheid. Bij de netto filtratiesnelheid is het spoelwaterverbruik of de spoeltijd verdisconteerd. Afhankelijk of het een continu of discontinu doorstroomd filter betreft, verschilt de netto filtratiesnelheid.

Rekenvoorbeeld:

Bruto filtratiesnelheid is 10 m/h.

Continu filtratie met een spoelwaterverbruik van 10% van het toevoerdebiet levert een netto filtratiesnelheid op van 9 m/h.

Discontinuu filtratie met een spoelwaterverbruik van 5% van het toevoerdebiet en een spoeltijd van 10 minuten per 12 uur levert een netto filtratiesnelheid op van 9,3 m/h.

De netto opbrengst aan filtraat per dag is 216 m³ voor de continu filtratie en 224 m³ voor de discontinuu filtratie.

SNELLE ZANDFILTRATIE

Dit is de meest voorkomende filtratie in de drink- en afvalwaterwaterbehandeling. Het filterbed bestaat uit zandkorrels met diameters tussen de 0,5 en 5 à 6 mm. De filtratiesnelheid ligt in het algemeen tussen 5 en 30 m/h.

Het bovenwater zorgt voor voldoende druk om het water door het filterbed te laten stromen. Door de hoge stroomsnelheden in vergelijking met langzame filtratie, vervuult het filterbed relatief snel. Hierdoor moeten de filters vaak gereinigd worden. Reinigen gebeurt door middel van terugspoelen. Dit kan continu of discontinuu plaatsvinden. Bij het reinigen spoelt het vuil tussen de korrels vandaan en wordt het spoelwater afgevoerd. Na het spoelen is het zand of het bed weer geschikt voor filtratie.

LANGZAME ZANDFILTRATIE

Het principe is hetzelfde als bij snelle zandfiltratie, alleen zijn de stroomsnelheden veel lager ($v < 1$ m/h). Hierdoor is voor langzame zandfilters een veel groter oppervlak vereist dan voor snelfilters. Door de lage stroomsnelheid wordt al het vuil in de bovenste laag (+/- 1 cm) van het filter opgevangen. Hier ontstaat een laag met biologische activiteit, waarin ook bacteriën en virussen worden afgedood. Langzame zandfilters hebben dus ook een (klein) desinfectie rendement.

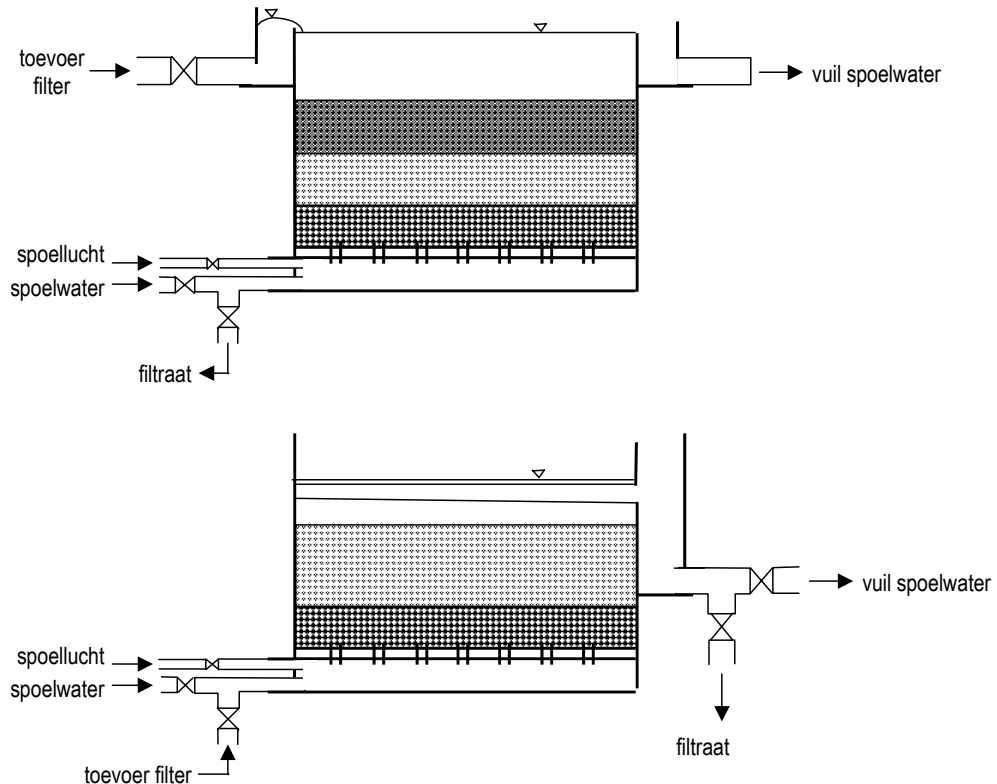
Schoonmaken van langzame zandfilters gebeurt door middel van het verwijderen van de toplaag. Hierna kan het filter weer in gebruik genomen worden. Na een aantal schoonmaakbeurten zal het zandbed weer aangevuld moeten worden. Wegens het grote ruimtebeslag en de bewerkelijke reiniging van het filter wordt langzame zandfiltratie niet als (economisch) haalbare techniek gezien voor de behandeling van effluent van een communale zuiveringsinstallatie.

DRUKFILTRATIE

Bij drukfiltratie bevinden het filterbed en de filterbodem zich in een gesloten cilindervormige ketel. De opbouw en de werking is in principe gelijk aan die van een open snelfilter. Bij drukfiltratie wordt de waterdruk met pompen opgevoerd waardoor hogere filtratiesnel-

heden worden bereikt dan met snelfiltratie. Door deze hogere snelheden worden echter ook kortere verblijftijden bewerkstelligd, waardoor biologische processen als nitrificatie en denitrificatie mogelijk niet altijd volledig verlopen. Om deze processen wel in voldoende mate te laten plaatsvinden, zal in vergelijking met snelfiltratie een grotere bedhoogte moeten worden toegepast. Reinigen van drukfilters gebeurt evenals bij open filters via het terugspoelen van het bed.

AFBEELDING 3 BASISPRINCIPE NEERWAARTS (BOVEN) EN OPWAARTS (ONDER) DOORSTROOMD FILTER



NEERWAARTSE EN OPWAARTSE FILTRATIE

Bij een neerwaarts doorstroomd filter stroomt het water van boven naar beneden. Het grove filtermedium bevindt zich aan de bovenkant van het filter, de fijne aan de onderkant. Het neerwaarts doorstroomde type moet periodiek worden gestopt en teruggespoeld om de ingevangen verontreinigingen te verwijderen.

Bij opwaartse filtratie stroomt het water van beneden naar boven. De grovere en zwaardere korrels bevinden zich aan de onderkant en de fijnste aan de bovenkant van het filter. Bij opwaartse filtratie moet worden opgepast dat het bed niet fluidiseert. Wanneer dit gebeurt zal uitspoeling van het fijnste filtermateriaal plaatsvinden. Dit kan voorkomen worden door grover filtermateriaal te gebruiken of bij een lagere filtratiesnelheid te opereren. Terugspoelen van het filter gebeurt ook van beneden naar boven.

In de praktijk blijken neerwaarts doorstroomde filters een wat betere verwijdering van zwevende stof te bereiken, terwijl opwaarts doorstroomde filters meer slib kunnen vasthouden. Dit laatste is een voordeel bij bijvoorbeeld biofilmprocessen en/of een hoge belasting van filters met zwevende stof.

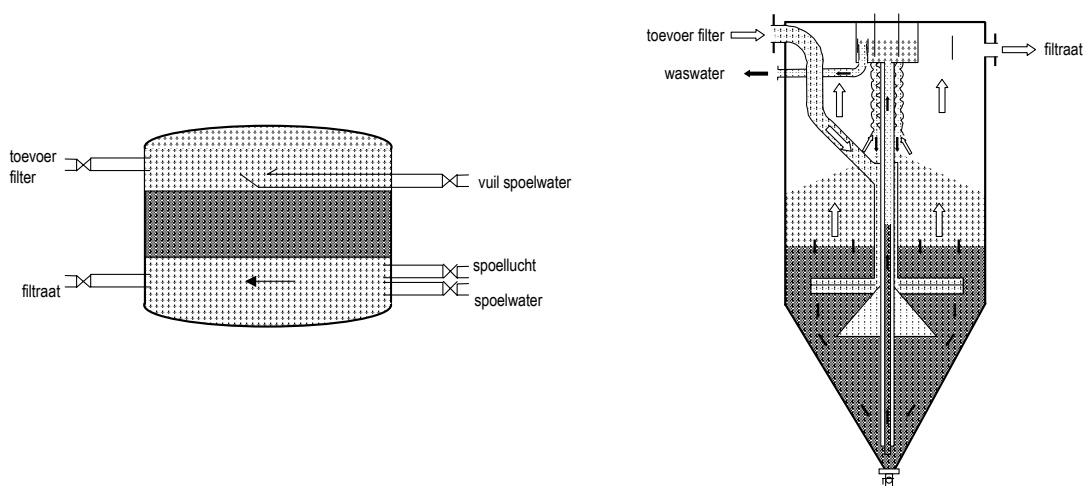
DISCONTINUE EN CONTINUE FILTRATIE

Bij discontinue (vast-bed) filtratie zullen naar verloop van tijd de poriën tussen het filtermedium verstopt raken en zal de weerstand over het bed toenemen. Op een gegeven moment zal de weerstand zo hoog zijn dat het filter moet worden teruggespoeld met lucht en water, al dan niet gecombineerd. Het filter is dan niet in bedrijf. Er is sprake van discontinuïteit: een looptijd en een spoeltijd.

Bij een continu filter vindt continu spoeling van een deel van het filtermedium plaats en behoeft het filter hiervoor niet uit bedrijf te worden genomen. In het algemeen wordt dit bereikt door water van beneden naar boven door het filterbed te laten stromen en onderuit het filterbed, waar zich het meest vervuilde zand zich bevindt, continu zand te onttrekken. Vervolgens wordt dat zand door een mammoetpomp opgepompt via een stijgbuis naar een zandwas. In de stijgbuis vindt een intensieve menging van water, zand en lucht plaats. Hierdoor worden de verontreinigingen van het zand 'gescrubt'. De stijgbuis eindigt boven in het filter in een centraal gelegen wasserbak. Hier kan de perslucht ontsnappen en valt het zand in de ondergelegen zandwasser. In de zandwasser, waar een snelheidsverlaging optreedt, bezinkt het zand, waarbij met een kleine opwaartse waterstroom afkomstig van de filtraatruimte de verontreinigingen van het zand worden gespoeld. De opwaartse waterstroom door de zandwasser ontstaat door een ingesteld niveauverschil tussen de filtraatruimte en de separate wasserbak. Vanuit de zandwasser valt het gewassen zand terug op het filterbed. Het zand wordt daarmee gerecirculeerd. Het vuile was/spoelwater wordt onder vrij verval afgevoerd.

Door het continue reinigen van het zand ontstaat een constante bedweerstand, waardoor de bedrijfsvoering van het filter altijd hetzelfde is. Bij meerdere filters is de belasting over alle filters meer gelijkmatig. In het algemeen is de toe te passen filtratiesnelheid enigszins hoger als bij discontinue snelfiltratie. Bij continue filtratie wordt vanwege het continu spoelen meer spoelwater verbruikt.

AFBEELDING 4 BASISPRINCIPE DRUKFILTRATIE (LINKS) EN CONTINU FILTRATIE (RECHTS)



ENKELLAAGS OF MEERLAAGS (MULTIMEDIA) FILTERS

Het poreuze filterbed waarin de deeltjes worden afgevangen kan uit één of meerdere lagen zijn opgebouwd. Te onderscheiden zijn:

- Enkellaags. Hiervoor wordt veelal zand gebruikt.
- Dubbellaags. Dit bestaat veelal uit vanuit de stromingsrichting gezien uit antraciet (grove fractie) en zand (fijne fractie).
- Drielaags. In de stromingsrichting zijn te onderscheiden: antraciet (grof), zand (medium), granaatzand (fijn).

De verscheidenheid in het type en grootte van het filtermateriaal en de opbouw daarvan in het filter heeft invloed op de werking en bedrijfsvoering van het filter (zie verder onder par. 2.5.2 Filtermateriaal).

Voor filtratie geldt dat het afscheidingsrendement toeneemt bij afnemende korrelgrootte; een fijn korrelbed bestaande uit een fijne fractie kan daarentegen minder slib vasthouden. Een filter met een relatief grove korreldiameter en daarmee grotere porositeit heeft een groter vuilbergend vermogen. Met een meerlaags filter kan een hoog afscheidingrendement met een groot vuilbergend vermogen worden gecombineerd.

2.4 COMBINATIE MET BIOLOGISCHE AFBRAAK EN CHEMISCHE NEERSLAGREACTIES

2.4.1 BIOLOGISCHE AFBRAAKPROCESSEN

Biologische verwijdering van stikstofcomponenten door nitrificatie en/of denitrificatie is een belangrijk proces dat met filtratie als nageschakelde techniek kan worden gecombineerd. De benodigde biomassa is in de regel aanwezig als biofilm in een bed met korrels tot enkele millimeters doorsnede. Bij nitrificatie wordt de ingaande waterstroom van zuurstof voorzien; bij denitrificatie wordt een koolstofbron toegevoegd. Bij nageschakelde filtratie wordt veelal een 'schone' koolstofbron als methanol of azijnzuur gebruikt. Afhankelijk van de uitvoering kan het korrelbed uit verschillende materialen bestaan, opwaarts of neerwaarts worden doorstroomd en door middel van verschillende spoelprocessen worden ontdaan van de aanwas van biomassa en ingevangen deeltjes.

Bij toepassing van een nitrificerend filter om een teveel aan ammonium te verwijderen zal een denitrificerend filter moeten worden nageschakeld om het gevormde nitraat te elimineren.

Om een tweetraps nabehandeling te vermijden ligt het in de verwachting dat in het hoofdproces, het actiefslibstelsysteem, voorrang wordt gegeven aan volledig mogelijke nitrificatie, zodat de nabehandeling zich slechts op nitraatverwijdering hoeft te richten.

Bij lage stikstofconcentraties in de afloop van het nabezinkproces is het ontwerp van het nageschakelde filter veelal hydraulisch bepaald. Bij hoge stikstofconcentraties kan ook de stikstofbelasting en daarmee samenhangend de te verwijderen stikstofvracht maatgevend zijn voor het ontwerp en dimensioneren van het filter.

Een gebruikelijk uitvoering van nitraatverwijdering in een nageschakeld filter is het opwaarts doorstroomde continue filter met voorafgaande dosering van een koolstofbron. Daarnaast zijn ook uitvoeringsvormen bekend die zijn gebaseerd op het discontinue neerwaarts doorstroomde (vastbed) filter, waar het water met koolstofbron van boven naar beneden stroomt. Spoelen vindt in tegengestelde richting plaats.

Een bijzonder type filtratie waarin nitrificatie kan worden gecombineerd met filtratie is droogfiltratie.

Dit is hetzelfde principe als vastbedfiltratie, met het verschil dat er geen bovenwater op het filter staat. Het water sijpelt door het bed, waardoor ook een vorm van zuurstofoverdracht plaatsvindt. Eventueel kan een extra luchtstroom door het filter worden geleid. Het gefiltreerde water wordt onder vrij verval afgevoerd. Reinigen van droogfilters gebeurt ook door middel van terugspoelen.

Naast verwijdering van stikstofcomponenten kunnen binnen een biologische filtratie ook andere organische componenten in meer of mindere mate biologisch worden verwijderd. De hoeveelheid aanwezige en in stand te houden gespecialiseerde biomassa is echter vaak een beperkende factor in de verwijdering van dit soort restcomponenten.

Ook helofytenfilters of vijversystemen zijn voorbeelden waarbij filtratie wordt gecombineerd met biologische processen. Voor de behandeling van effluent van een rwzi komen uit praktisch oogpunt verticaal en horizontaal doorstroomde helofytenfilters in aanmerking. In deze systemen wordt vaak riet aangeplant waarvan de stengels en onderwaterwortels een zekere filterwerking voor deeltjes hebben en waarop biofilms kunnen groeien voor verwijdering van nutriënten als stikstof en fosfaat en resten organische stof.

Gezien de beperkte concentratie aan biomassa, de afhankelijkheid van het seizoen (temperatuur) en het relatief hoge benodigde terreinoppervlak zijn helofytenfilters niet vergelijkbaar met de eerder beschreven filtersystemen. Bij de helofytenfilters is sprake van een ander verwijderingsniveau voor nutriënten als stikstof en fosfaat. Naast verwijdering van diverse componenten speelt bij dit soort systemen ook het verkrijgen van een zeker ecologisch kwaliteitsniveau een rol.

2.4.2 CHEMISCHE NEERSLAGREACTIES

Nageschakelde filtratie voor deeltjesverwijdering wordt vaak gecombineerd met een chemische neerslagtechniek waarbij aan het water stoffen worden toegediend waardoor verontreinigingen binden in de vorm van een neerslag, die vervolgens wordt verwijderd. Precipitatie en coagulatie/flocculatie (vlokvorming) zijn hiervan belangrijke voorbeelden.

Bij precipitatie vormt de te verwijderen oplosbare component, bijvoorbeeld fosfaat, een onoplosbare verbinding met de gedoseerde chemicaliën. Coagulatie/flocculatie richt zich op het invangen van verontreinigingen in een vlok die via filtratie kan worden verwijderd. Onder invloed van vlok(hulp)middelen agglomereren kleine zwevende deeltjes door coagulatie/flocculatie tot grotere deeltjes die beter af te filteren zijn. De door precipitatie gevormde onoplosbare verontreinigingen worden ook ingevangen. Als vlokmiddel wordt een metaalzout, meestal ijzer- of aluminiumzout, toegepast. Organische polymeren worden soms als vlokhulpmiddel gebruikt.

Bij deze combinatie van filtratie en coagulatie en flocculatie wordt onderscheid gemaakt in de toepassing van in line coagulatie gevolgd door filtratie waarbij de vlokvorming en vlokafscheiding plaatsvindt in het filterbed (vlokkingsfiltratie) en toepassing van coagulatie met een separate vlokformingsstap in een aparte reactor, gevolgd door filtratie voor de vlokafscheiding (vlokkenfiltratie). Vanwege de eenvoud wordt vaak vlokkingsfiltratie toegepast. Bij een filter met een bepaalde (constante) bovenwaterstand zal vrijwel altijd sprake zijn van vlokkenfiltratie aangezien in de bovenstaande waterlaag de vlokvorming plaatsvindt. Bij een instabiele of onvolledige vlokvorming heeft vlokkenfiltratie de voorkeur omdat in deze toepassing de 'optimale' vlokvorming beter beheersbaar is.

De combinatie van filtratie met precipitatie en coagulatie/flocculatie kan resulteren in een zeer effectieve verwijdering van deeltjes en een verlaging van het fosfaatgehalte tot enkele tienden van mg/l.

Er moet rekening worden gehouden dat bij nageschakelde filtratie aanzienlijk hogere Me/P-verhoudingen worden toegepast dan in het hoofdproces. Zo wordt bij simultane fosfaatverwijdering in het algemeen een Me/P-verhouding van 1-1,5 mol/mol, betrokken op het P-gehalte in het influent, toegepast.

Om bij nageschakelde filtratie een P-gehalte tussen 1 en 3 mg/l te behalen wordt een Me/P-verhouding van tussen 1 en 3 mol/mol toegepast, betrokken op het P-gehalte van de afloop van de nabezinktank. Voor het bereiken van P-gehalte in het bereik van 0,15 – 0,5 mg/l kunnen Me/P-verhoudingen tussen 3 en 10 mol/mol noodzakelijk zijn.

2.5 THEORETISCHE ACHTERGRONDEN FILTRATIE

2.5.1 FILTERMECHANISMEN

Tijdens filtratie treden verschillende processen dan wel mechanismen op. Ten eerste vindt een *zeefwerking* plaats: het tegenhouden van grove deeltjes. Deeltjes die groter dan de poriegrootte van het filter zijn zullen zo worden tegengehouden.

Ook vindt *sedimentatie* plaats. Kleinere lichte deeltjes bezinken op dezelfde manier als in een bezinktank, maar in het filter is veel meer oppervlak beschikbaar door het specifieke oppervlak van het filtermateriaal.

Daarnaast treedt *interceptie* op. Deeltjes die in stroomlijn door het filterbed bewegen, worden afgevangen wanneer zij in contact komen met het filtermedium.

Ook treedt *adhesie* op. Hierbij hechten deeltjes zich aan het filtermedium. Als gevolg van de door het langs stromende water veroorzaakte schuifkrachten, spoelen sommige deeltjes weer los en worden dieper in het bed afgevangen.

Een ander mechanisme is *fysische of chemische adsorptie*. Hierbij worden in het water aanwezige deeltjes aan het filtermedium gebonden elektrostatische krachten of chemische bindingsreacties. Actieve kool staat bijvoorbeeld bekend om zijn sterke adsorptieve werking.

Toevoeging van metaalzouten resulteert in *coagulatie* om oppervlaktelading van stoffen of deeltjes te neutraliseren en *precipitatie* om opgeloste stoffen chemisch neer te slaan.

Bij *flocculatie* klonteren deeltjes samen tot grotere deeltjes, welke vervolgens door de eerder genoemde mechanisme worden afgevangen.

Bij *chemische activiteit* worden opgeloste stoffen, omgezet in andere afbraakproducten of in niet-oplosbare stoffen waarna de eerder genoemde mechanismen kunnen optreden.

Bacteriën die hechten zich aan het filtermedium en breken selectief organisch en anorganisch materiaal af. *Biologische activiteit* verkleint de poriegrootte waardoor de verwijdering door eerder genoemde mechanismen als zeefwerking, sedimentatie en interceptie en adhesie verbetert.

2.5.2 FILTERMATERIAAL

Zeer belangrijk voor een filter is het filtermateriaal. Eigenschappen zoals korrelgrootte, uniformiteit, poriegrootte en adsorptiecapaciteit spelen daarbij een rol.

Porositeit is de mate van opeenpakking van het filtermateriaal. Dit is de hoeveelheid lege ruimte gedeeld door het totale filtervolume. Uitgedrukt in procenten of zonder eenheid. Meestal in de orde van 25 tot 40% (0,25 tot 0,4) bij zandfilters.

Naast de filtratiesnelheid is er bij filtratie ook sprake van de stroomsnelheid (q). Dit is de daadwerkelijke snelheid van het water door de filters. De stroomsnelheid is de filtratiesnelheid gedeeld door de porositeit. De stroomsnelheid wordt uitgedrukt in m/h.

De korrelgrootte van het filtermateriaal is op twee manieren van belang. Ten eerste de korrelgrootte op zich. Naarmate het filtermateriaal grover is, zal het minder kleine deeltjes afvangen. Bij een grotere korrelgrootte van het filtermateriaal zal de kwaliteit van het gefilterde water over het algemeen minder goed zijn dan bij een kleinere korrelgrootte. Het zal echter ook langer duren voordat het filter zal gaan verstopen. De looptijd van filters met een grotere korreldiameter is daarom over het algemeen ook groter dan bij filters met een kleinere korrelgrootte.

Echter, bij toepassing van een zeer fijne fractie filtermateriaal zal het fenomeen koekfiltratie snel optreden (zie verder par. Koekfiltratie en diepfiltratie).

Bij het ontwerp van een filter wordt een bepaalde korreldiameter gekozen. De zandkorrels zullen echter niet allemaal dezelfde diameter bezitten. Naast de korreldiameter is dan ook de uniformiteit van het filtermateriaal van belang. De uniformiteit is daarmee een specificatie van het toegepaste filtermateriaal. De uniformiteit wordt weergegeven door de uniformiteitscoëfficiënt (c_u). De c_u wordt gedefinieerd als volgt:

$c_u = D_{60}/D_{10}$, waarin:

D_{60} de korreldiameter is die groter is dan 60% van het gewicht van de korrels

D_{10} de korreldiameter is die groter is dan 10% van het gewicht van de korrels

Deze diameters worden bepaald met behulp van zeefanalyses. Normaal wordt filtermateriaal gebruikt met een c_u van 1,3-1,5.

Wanneer de grootte van het filtermateriaal in een zeer grote range valt, zullen diverse problemen ontstaan tijdens terugspoelen. Wanneer men het fijne filtermateriaal de benodigde expansie geeft zal het grove materiaal niet expanderen. Andersom, kan het ook voorkomen dat wanneer men de grote korrels laat expanderen, het fijne korrelmateriaal met het spoelwater verdwijnt.

Kenmerkende fysische eigenschappen van filtermaterialen die in filters worden gebruikt, zijn samengevat in tabel 1.

TABEL 1 FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN FILTERMATERIAAL

Type medium	Korrel-grootte (k) (mm)	Uniformiteits-coëfficiënt (-)	Korrel-dichtheid (g/cm ³)	Stort-dichtheid (kg/m ³)	Spoelsnelheid voor voldoende expansie (m/h)*
antraciet	0,8 – 4,0	1,3 – 1,8	1,4	720	40 bij k < 1 mm 55 bij k = 1,5– 2,5 mm 90 bij k > 2,5 mm
Hydro-antraciet	1,5 – 4,0	1,4 – 1,8	1,5	550	50
Kwarts-zand	0,4 – 3,2	1,3 – 1,8	2,5 – 3,5	1.500	55 bij k = 0,7–1,25 mm 75 bij k = 1,0–1,5 mm 90 bij k = 1,5–2,0 mm 130 bij k > 2,0 mm
Basalt	1,0 – 2,0	1,5 – 1,8	2,9	1.700	110
Granaat-zand	0,2 – 0,6	1,5 – 1,8	3,8 – 4,3	2.300	90

* Afhankelijk van type installatie

2.5.3 KOEFILTRATIE EN DIEPFILTRATIE

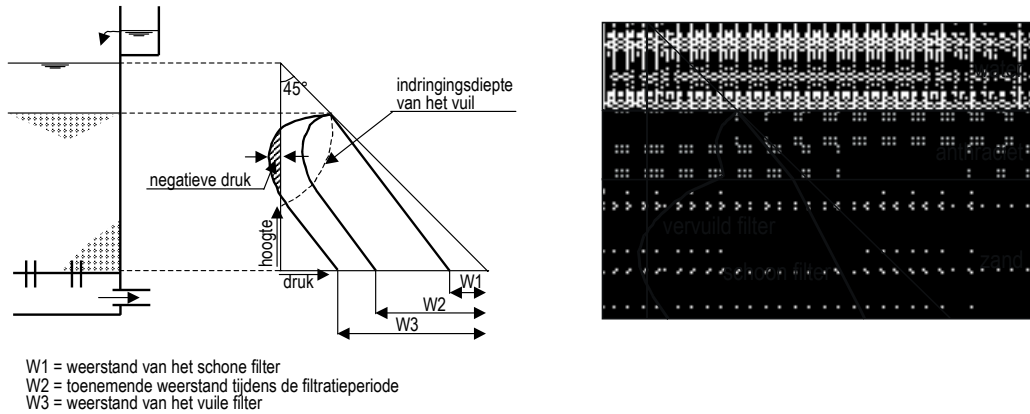
Bij filtratie treden over het algemeen twee fenomenen op; koefiltratie en diepfiltratie. Bij koefiltratie wordt bijna alle vervuiling afgevangen in het bovenste deel van het filter. Hierdoor zal deze laag zeer snel vervuilen. Dit komt vaak voor wanneer er (te) fijn filtermateriaal gebruikt wordt. De bedweerstand van filters met koefiltratie zal zeer snel toenemen, waardoor filters teruggespoeld moeten worden zonder dat de waterkwaliteit daar aanleiding toe geeft. Tegenover de (sterke) verkorting van de looptijd staat dat juist hele kleine (fosfaat)deeltjes juist via koefiltratie goed worden afgevangen.

De bedweerstand (ΔH) is het energieverlies van het water door het doorstromen van het filterbed. Dit wordt meestal gemeten door het verschil in stijghoogte voor (niveau bovenwater) en na het filter te meten. Dit wordt uitgedrukt in meter waterkolom. Bij langere gebruiksduur van het filter zal de bedweerstand toenemen door de vervuiling die in het filter achterblijft. Dit zal merkbaar zijn aan een stijging van de bovenwaterstand, bij gelijkblijvende procesinstellingen.

Het bovenwater is het water dat boven het filterbed staat. De bovenwaterstand zal stijgen bij vervuiling van het neerwaarts doorstroomde filter, bij gelijkblijvende bedrijfsinstellingen. Het tijdsinterval dat een filter in bedrijf is tussen het schoonmaken van een filter is de looptijd van een filter. Afhankelijk van de vuilvracht en de korrelgrootte van het filtermateriaal bedraagt deze tijd ongeveer tussen de 1 en 5 dagen.

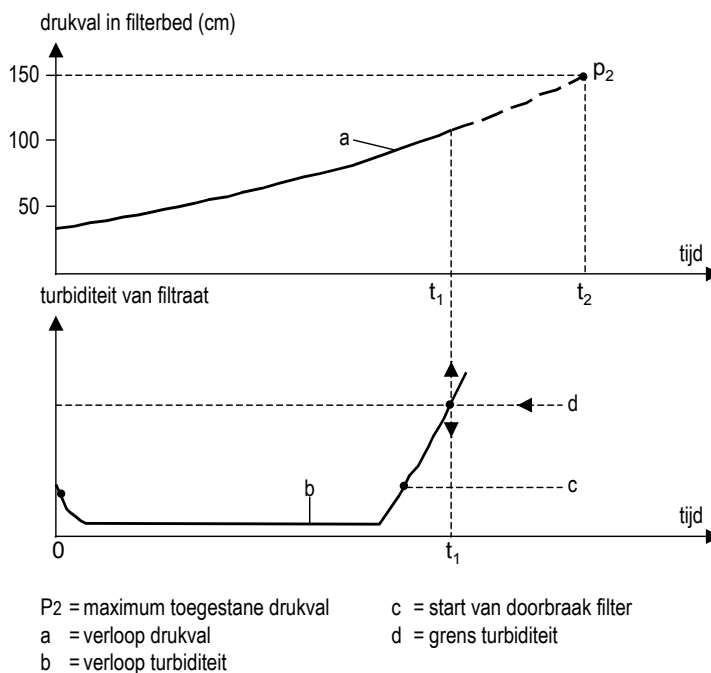
Bij koefiltratie is de waterdruk in de sterk vervuilde laag van het filter erg hoog. Wanneer het water door deze laag is zal het ontspannen waardoor onderdruk kan ontstaan. Hierdoor ontstaan vacuëmbellen die de waterstroom bemoeilijken en daardoor de filterweerstand toeneemt. Uiteindelijk leidt dit tot te vroeg terugspoelen van de filters. Dit alles kan worden voorkomen door een hoge bovenwaterstand te gebruiken. Het ontstaan van negatieve drukken in een filterbed is weergegeven in onderstaande afbeelding 5.

AFBEELDING 5 VERLOOP VAN DE DRUK (WEERSTAND) IN EEN FILTERBED



Bij diepfiltratie treedt eigenlijk precies het omgekeerde op. De vervuiling wordt gelijkmatig over het filterbed afgevangen. De poriën van het filter verstoppert niet snel en er kan gefilterd blijven worden totdat het vuilfront de onderkant van het filterbed bereikt. Wanneer het vuilfront deze onderkant bereikt neemt de vervuiling in het filtraat zeer snel toe. Bij een stijging van een bepaalde vervuilingsgrootte, bijvoorbeeld drukval, dient gelijk met terugspoelen begonnen te worden. Dit is weergegeven in afbeelding 6.

AFBEELDING 6 RELATIE TUSSEN LOOPTIJD EN DRUKVAL VAN EN FILTER EN TROEBELHEID IN HET FILTRAAT



2.5.4 LOOPTIJD

De looptijd van een filter, gedefinieerd als de tijd dat een filter in bedrijf is tussen twee reinigingen, is direct afhankelijk van twee parameters; de bedweerstand en de kwaliteit van het gefilterde water.

De bedweerstand neemt toe naar mate een filter langer in bedrijf is. Dit wordt veroorzaakt door de ophoping van achtergebleven materiaal uit het water. De gevolgen van deze verhoging van bedweerstand zijn verschillend voor open filters of drukfilters.

Bij drukfilters zal, bij gelijkblijvende druk de filtratiesnelheid afnemen en de waterstand boven het filter zal licht stijgen. Om een gelijke filtratiesnelheid te houden zal de luchtdruk boven het drukfilter verhoogd moeten worden. Dit kan men blijven doen tot een bepaalde maximum druk, daarna zal het filter teruggespoeld moeten worden.

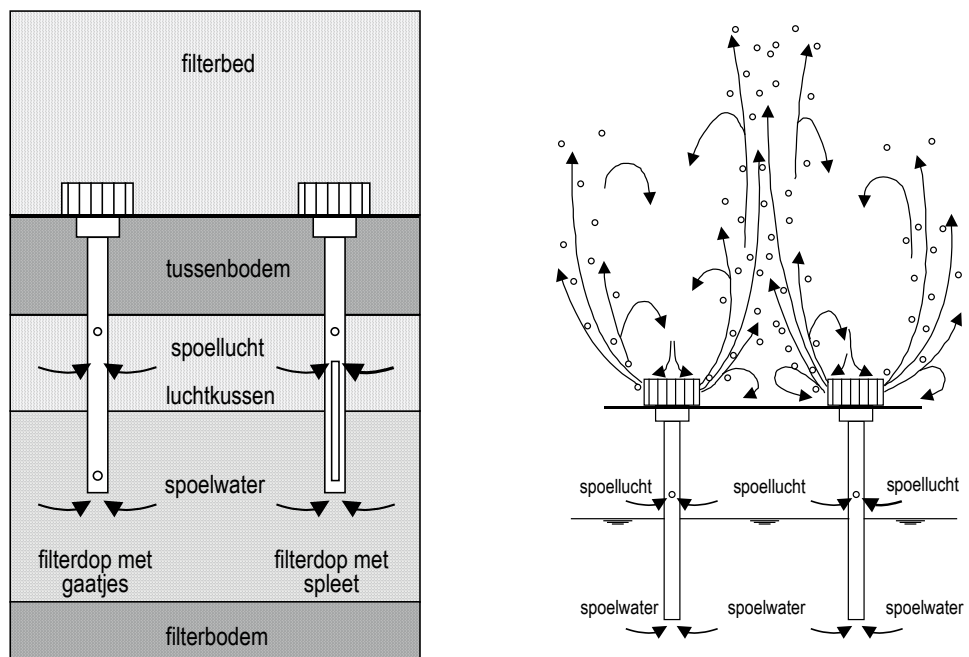
Bij open filters zijn de gevolgen iets anders. Vaak worden open filters geregeld op een vast debiet en een vaste bovenwaterstand. In de filtraatleiding is dan een regelbare afsluiter geplaatst die steeds verder opengaat bij toenemende bedweerstand.

2.5.5 TERUGSPOELEN VAN EEN FILTER

Wanneer de filtraatkwaliteit te laag wordt of wanneer de bedweerstand te hoog wordt, zal een discontinue filter teruggespoeld worden met lucht en/of water, al dan niet gecombineerd. Bij een continue filter zal de spoelintensiteit worden geïntensiveerd door de continue onttrekking en wassing van vervuild zand te laten toenemen. Spoelwater is bij beide filtersystemen in principe filtraat. Bij discontinue filtratie is een spoelwaterreservoir noodzakelijk. Van hieruit wordt het spoelwater met spoelpompen door het filter geleid. Bij de continue filters is geen apart spoelwaterreservoir nodig. In vergelijking met discontinue filtratie is wel een grotere spoelwaterhoeveelheid benodigd.

AFBEELDING 7

UITVOERINGSVORMEN FILTERDOPPEN EN STROMINGSPATRONEN TIJDENS SPOELEN



Bij terugspoeling vindt expansie van het filterbed plaats. Het energieverlies bij terugspoelen kan worden berekend met de volgende formule:

$$\Delta H = (1-p) \cdot L \cdot (\rho_f \rho_w) / \rho_w$$

Hierin is:

p = de porositeit van het filtermateriaal (dit is de normale porositeit, het bed staat op het punt te gaan expanderen)

L = de bedhoogte

ρ_f = het soortelijk gewicht van het filtermateriaal

ρ_w = het soortelijk gewicht van water

Wanneer zand als filtermateriaal ($\rho_f = 2600 \text{ kg/m}^3$) gebruikt wordt en een porositeit van 40% wordt aangenomen, kan worden berekend dat het weerstandsverlies 0,96 maal de bedhoogte bedraagt.

Voor het energieverlies tijdens terugspoelen kan als vuistregel dus worden aangehouden dat 1 meter filterbed ook 1 meter energieverlies oplevert.

De berekening van de terugspoelsnelheid is wat minder eenvoudig. Allereerst dient er een gewenste expansie gekozen te worden. Deze expansie ligt normaalgesproken tussen de 10 en 30%. De spoelsnelheid wordt dan berekend aan de hand van de volgende formule:

$$v^{1,2} = \frac{g}{130 * v_s} * \frac{\rho_f - \rho_w}{\rho_w} * \frac{p_e^3}{(1 - p_e)^{1,8}} * d^{0,8}$$

Hierin zijn:

v = de terugspoelsnelheid

g = de valversnelling

v_s = de dynamische viscositeit

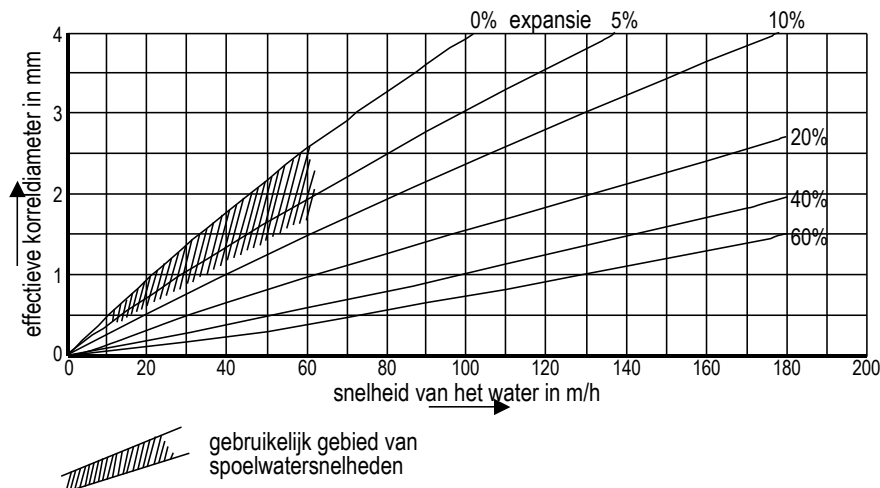
p_e = de porositeit van het geëxpandeerde bed

Aangezien de viscositeit van water afhankelijk is van de temperatuur, zal de benodigde terugspoelsnelheid ook veranderen bij een veranderende temperatuur.

Een indruk van de benodigde terugspoelsnelheden bij toepassing van zand, afhankelijk van de korreldiameter en de expansie is weergegeven in afbeelding 8.

AFBEELDING 8

EXPANSIE VAN EEN FILTERBED ALS FUNCTIE VAN DE KORRELDIAMETER EN DE WATERSNELHEID



2.5.6 SPOELWATERVERWERKING

Het water dat gebruikt is voor het terugspoelen, heeft een veel hogere vervuilingsgraad dan het water dat over de filters wordt geleid en dient te worden behandeld.

In de drinkwatersector, zeker bij grondwaterpompstations, wordt hiervoor vaak een aparte spoelwaterverwerking voor gebouwd. De reden hiervoor is om de hoeveelheid gewonnen water te beperken, wat leidt tot lagere aanslagen voor grondwaterbelasting en minder droogteschade.

In de afvalwaterbehandeling kan het spoelwater in het algemeen in het hoofdproces, de waterlijn, worden teruggeleid. Een aparte behandeling ligt hier niet voor de hand. Er kan overwogen worden om ook een reservoir voor het gebruikte spoelwater te bouwen, zodat het spoelwater op een gewenst tijdstip terug in de waterlijn gebracht kan worden.

Het spoelwater dat teruggeleid wordt kan o.a. de volgende delen bevatten:

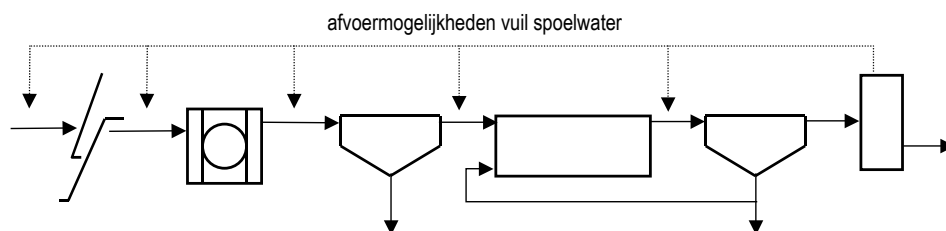
- biomassa;
- uitgespoeld filtermateriaal;
- coagulatie/precipitatieproducten;
- eventueel resten van gebruikt coagulant;
- zwevende stof.

Mogelijke plaatsen om het spoelwater terug te brengen in de waterlijn zijn weergegeven in afbeelding 9, waarbij diverse overwegingen een rol spelen.:

- In het ontvangstwerk. Mogelijk dat de terugvoer van het spoelwater onder vrijverval mogelijk is.
- Voor de zandvang. In de zandvang kunnen zandfracties, met abrasieve ('schurende') eigenschappen, worden afgevangen.
- Voor de voorbezinktank. Hiermee kan een bezinking van (een deel van de) afgefiltereerde deeltjes worden verkregen zodat deze het actiefslibproces niet belasten.
- In de actiefslibtanks van het actiefslibproces. Hierbij kan invanging en omzetting van (een deel van) de afgefiltereerde deeltjes optreden.
- In de afloop van de actiefslibtanks naar de nabezinktanks. Hiermee wordt een verhoging van de slibvolume belasting vanuit de actiefslibtanks vermeden. Of voldoende invanging dan wel omzetting van de afgefiltereerde delen zal plaatsvinden is daarbij de vraag.

Voor alle plaatsen geldt dat de hydraulische belasting van het nabezinkproces wordt verhoogd. Dit kan bij maximale aanvoerstandigheden leiden tot een (hydraulische) overbelasting van procesonderdelen van de waterlijn leiden. De mogelijke overbelasting van de nabezinktanks zal hier vaak een belangrijk aandachtspunt in zijn.

AFBEELDING 9 MOGELIJKE LOCATIES IN DE WATERLIJN VOOR TERUGVOER VAN SPOELWATER



Andere aandachtspunten die een rol spelen in de locatiekeuze voor terugvoer van het spoelwater zijn:

- de beïnvloeding van de influentbemonstering;
- de aanwezigheid van korrelmedium (zand) in het spoelwater;
- de aanwezigheid van rest vlokhelpmiddelen;
- het momentaan debiet van de spoelwaterstroom.

Bij discontinue filtratie komt in korte tijd relatief veel spoelwater vrij. Voor het af te voeren spoelwater wordt veelal in een (vuil)spoelwaterreservoir voorzien. De omvang van de hydraulische beïnvloeding van de waterlijn kan hierdoor worden beperkt, evenals de capaciteit van de terugvoerpompen.

2.6 GLOBALE ONTWERP- EN DIMENSIONERINGSRICHTLIJNEN

Globale ontwerp- en dimensioneringsrichtlijnen voor de meest gebruikelijk typen van (zand)filters zijn in tabel 2 weergegeven.

Meer toegesneden ontwerp- en dimensioneringsrichtlijnen voor de Nederlandse situatie, alsmede aandachtspunten bij ontwerp en bedrijfsvoering zijn, mede op basis van de resultaten van de inventarisatie naar zandfiltratie in binnen- en buitenland, in het hoofdstuk technologische ontwerpgrondslagen weergegeven.

TABEL 2 GLOBALE ONTWERP- EN DIMENSIONERINGSRICHTLIJNEN VOOR DISCONTINUE EN CONTINUE FILTRATIE

Parameter	Eenheid	Discontinu (vastbed) filtratie	Continue filtratie
Bedmateriaal	-	Antraciet, zand	Antraciet, zand
Korrel diameter	mm	0,5 – 6,0	0,3 – 3,5
Bedhoogte	m	1,0 – 2,5	1,5 – 2,0
Filtratiesnelheid	m ³ /m ² .h	5 – 30	15 – 25
Max. zwevendstof belasting (incl. P-slib)	g DS/m ² .h	1.000	2.000
(Terug)spoelwatersnelheid	m ³ /m ² .h	15 – 25 discontinu	1,0 - 2,0 continu
Spoelwaterhoeveelheid	% toevoerdebiet	3-8	5-10
Contacttijd in bed	h	0,07 – 2	0,07 – 2
Looptijd	d	0,3 – 3	-
Luchtspoelsnelheid	m ³ /m ² .h	90 – 120	-
Terugspoel watersnelheid	m ³ /m ² .h	15 – 25	-
Me/P-verhouding voor P-verwijdering	mol Me/mol P	1 – 10	1 – 10
Nitraatomzetting maximaal	kg NO ₃ -N/m ³ bed.d	2 - 3	1,5 – 2,5
koolstofbrondosering	kg CZV/kg NO ₃ -N	4 - 7	4 – 7

3

ZANDFILTRATIE IN NEDERLAND

3.1 METHODIEK INVENTARISATIE

De inventarisatie van de toepassing van zandfiltratie in Nederland heeft zich beperkt tot de toepassing van nageschakelde zandfiltratie voor de behandeling van rwzi effluent op praktijk- of pilotschaal. De informatie in dit rapport is verzameld via een questionnaire die door de verschillende in dit onderzoek betrokken ingenieursbureaus en een aantal waterschappen is ingevuld. Voor een aantal geselecteerde relevante zandfiltratietoepassingen is een meer gedetailleerd onderzoek uitgevoerd, waarbij onder andere bedrijfsvoeringsaspecten, kosten en opgetreden knelpunten nader zijn beschouwd.

Bij de inventarisatie zijn in totaal 30 zandfiltratie toepassingen in beschouwing genomen. Hiervan zijn er 18 continue en 12 discontinue filtratieprocessen. In tabel 3 zijn de betrokken waterschappen en rwzi's waar een zandfiltratie op pilot- of praktijkschaal is toegepast weergegeven.

TABEL 3 NAGESCHAKELDE ZANDFILTRATIE TOEPASSINGEN IN NEDERLAND

Type	Waterschap	rwzi	Pilotschaal / Praktijkschaal	Jaar in bedrijf	Debiet (m ³ /h)
Continu	Brabantse Delta	Kaatsheuvel	Praktijkschaal	2002	75
	Delfland	Groote Lucht	Praktijkschaal	2001	4400
	Rijn en IJssel	Ruurlo	Praktijkschaal	1998	440
	Rijn en IJssel	Wehl	Praktijkschaal	1998	335
	Rivierenland	Maasbommel	Praktijkschaal	2003	120
	Waternet	Uithoorn	Praktijkschaal	2005	500
	Rijnland	Nieuwveen	Praktijkschaal	-	544
	Rijnland *	Leiden Noord	Praktijkschaal	-	1840
	Rijnland	Leiden Zuid West	Praktijkschaal	-	1863
	Rijnland	Haarlem Waarderpolder	Praktijkschaal	-	2754
	Rijnland *	Alphen-Noord	Praktijkschaal	-	544
	Rijnland	Bodegraven	Praktijkschaal	-	680
	Stichtse Rijnlanden	Driebergen	Pilotschaal	1999	10,5
	Fryslân	Franeke	Pilotschaal	2002	60
	Waternet	Horstermeer	Pilotschaal	2005	8
	Stichtse Rijnlanden	Utrecht	Pilotschaal	2004	8
	Veluwe	Harderwijk	Pilotschaal	2005	10
	Limburg	Susteren	Pilotschaal	2006	20
Discontinuu	Rivierenland	Nijmegen	Praktijkschaal	2006	1400
	Reest en Wieden	Steenwijk	Praktijkschaal	2006	600
	Stichtse Rijnlanden	De Bilt	Praktijkschaal	-	200
	Regge en Dinkel	Ootmarsum	Praktijkschaal	-	250
	Fryslân	Leeuwarden	Pilotschaal	2004	50
	Waternet	Horstermeer	Pilotschaal	2005	10
	Vallei & Eem	Ede	Pilotschaal	2004	10
	Stichtse Rijnlanden	Utrecht	Pilotschaal	2004	15
	Delfland	De Nieuwe Waterweg	Pilotschaal	2003	12,5
	De Dommel	Tilburg Noord	Pilotschaal	2004	10
	Limburg	Kaffeberg	Pilotschaal	1999	15
	Veluwe	Harderwijk	Pilotschaal	2005	16

Geel = praktijkschaal; Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opgestart, * Twee filterinstallaties worden in eerste instantie binnen Rijnland gerealiseerd. De realisatie van de filterinstallaties bij de overige 4 rwzi's wordt nader gezien; Blauw = pilotschaal.

3.2 CONTINUE FILTRATIE

3.2.1 INLEIDING

Continue filtratie wordt en is in Nederland op enkele rwzi's toegepast. In dit hoofdstuk komen eerst de toepassingen van continue filtratie voor fosfaatverwijdering aan bod, waarna wordt ingegaan op de toepassingen voor stikstofverwijdering. Voor fosfaatverwijdering zijn de rwzi's Kaatsheuvel, Ruurlo en Wehl in meer detail bekeken. Voor stikstofverwijdering is de zandfiltratie op de Groote Lucht nader uitgewerkt. De rwzi Maasbommel is als voorbeeld van een nageschakelde filtratie met simultane stikstof- en fosfaatverwijdering nader beschouwd.

3.2.2 CONTINUE FILTRATIE VOOR FOSFAATVERWIJDERING

De in de inventarisatie betrokken rwzi's zijn kort weergegeven in tabel 4.

TABEL 4

RWZI'S BETROKKEN IN DE INVENTARISATIE VOOR FOSFAATVERWIJDERING, CONTINUE FILTRATIE

rwzi	i.e. (54 gBZV)	Ptotaal afloop nabezinktank (mg/l)	Wijze fosfaatverwijdering in waterlijn van hoofdproces
Ruurlo	9.500	0,8 - 1,9	'natuurlijk'
Wehl	8.500	0,5 - 0,8	'natuurlijk'
Kaatsheuvel	63.200	0,77	chemisch
Maasbommel	5.600	1,8	'natuurlijk'
Leiden Zuidwest	90.000	1	chemisch
Leiden Noord *	110.000	1	chemisch
Harderwijk	(200.000)	0,2 - 0,5	biologisch
Horstermeer	(160.000)	0,7	'natuurlijk'
Utrecht	(400.000)	0,8	chemisch
Driebergen	(37.000)	0,6	biologisch
Franeker	(60.000)	1 - 3,5	chemisch via preprecipitatie

Geel = praktijkschaal; Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opgestart, * Leiden Noord wordt gerealiseerd; Realisatie Leiden Zuidwest wordt nader gezien; Blauw = pilotschaal.

In tabel 5 zijn verschillende relevante parameters voor de zandfiltraties van de in tabel 4 genoemde rwzi's opgegeven zoals: in- en effluent concentraties, en dimensioneringsgrondslagen.

Een aantal bevindingen die uit tabel 3 volgen zijn:

- De hydraulische belasting varieert meestal van 10-15 m/h. Uitzonderingen hierop zijn de rwzi Franeker waar belastingen tot 20 m/h zijn gehanteerd, en de rwzi Kaatsheuvel waar lagere belastingen (5-10 m/h) worden toegepast.
- De zwevende stof belasting varieert gemiddeld van 0,2 tot 2 kg DS/m².d. Een uitzondering is de rwzi Franeker waar soms hoge zwevende stof belastingen tot circa 40 kg DS/m².d voorkomen.
- Het fosfaatverwijderingsrendement varieert van 20 tot 90%. Er is geen directe relatie tussen de fosfaatconcentratie in de afloop van de nabezinktank en het filtraat of effluent van de rwzi. Opgemerkt wordt dat fosfaatverwijdering niet bij elke rwzi een even hoge prioriteit heeft.
- Effluent fosfaat concentraties variëren gemiddeld van 0,2 tot < 1 mg P/l. Op de rwzi's Kaatsheuvel, Utrecht en Horstermeer zijn fosfaatconcentraties gerealiseerd die lager zijn dan 0,15 mg P/l, maar het blijft moeilijk om dit structureel te halen.

TABEL 5 WATERKWALITEIT EN DIMENSIONERING CONTINUE FILTERINSTALLATIES VOOR FOSFAATVERWIJDERING IN NEDERLAND (PILOTINSTALLATIES ZIJN NIET OP MAAT GEDIMENSIONEERD)

Parameter	Eenheid	Ruurlo	Wehl	Kaatsheuvel	Maasbommel	Leiden* ZuidWest	Leiden Noord*	Harderwijk PILOT	Driebergen PILOT	Franeer PILOT
Afloop nabezinktank										
- Dagaanvoer	m ³ /d	2.000	1.600	1.550	512	25.000	26.500	151	57,6 - 108	480 - 1440
- Zwevende stof	mg/l	3 - 10	3 - 10	3	7,3	4,9	6,4	5 - 10	n.b.	25 - 80
- P-totaal	mg/l	0,8 - 1,9	0,5 - 0,8	0,77	1,8	1	1	0,2 - 1	0,6	1 - 3,5
- Ortho-P	mg/l	1,1	0,45	0,7	1,5	0,7	0,7	0,1 - 0,5	n.b.	1 - 3
Effluent										
- Zwevende stof	mg/l	3 - 6	2 - 3	1	4,8	1*	1*	n.b.	n.b.	9 - 33
- P-totaal	mg/l	0,4 - 1	0,4 - 0,6	0,08	0,44	< 1*	< 1*	0,2	0,03 - 0,43	0,25 - 2
- Ortho-P	mg/l	0,9	0,1 - 0,3	0,04	0,19	< 0,7*	< 0,7*	0,1	n.b.	0,17 - 2
Verw.rendement Plot	%	50	20 - 25	90	75	-	-	50 - 80	n.b.	57 - 75
- Aantal filters		9	6	1	1	20	20	1	1	1
- Zandfractie	mm	1,2 - 2	1,2 - 2	1 - 1,6	1 - 1,6	1,2 - 2	1,2 - 2	0,8 - 1,25	1,2 - 2	1,2 - 2
- Bedhoogte	m	1,5	1,5	1,8	1,8	2	2	2	2	2,5
- Oppervlak	m ²	31,5	21	8	8	6	6	0,7	0,3	3
- Hydr. Belasting#	m/h	14	16	5,6 - 9,4	14,4	15,3	15,3	14,3	10 - 15	6,7 - 20
- Zw. stofbelasting	kg DS/m ² .d	0,2 - 0,6	0,2 - 0,8	0,58	0,44	1	1,4	1,08 - 2,16	n.b.	4 - 38,4
- Spoelwater / filtraat	m ³ /m ³ filtraat	0,06	0,047	0,07	0,043	0,05	0,05	0,05 - 0,08	0,06 - 0,13	0,05
- Zandsnelheid	mm/min	8 - 12	8 - 12	5	6	2 - 4	2 - 4	4 - 6	n.b.	2 - 10
- Max. filterweerstand	cm waterkol.	50	50	40	25 - 110	20	20	40	50	200
- Coagulant	type	FeCl ₃	FeCl ₃	FeCl ₃	FeCl ₃	FeCl ₃	FeCl ₃	FeCl ₃ AlCl ₃	FeCl ₃ PAC [^]	FeClSO ₄
- Me/p \$	mol/mol	0,4	0,4	2,9	3	3	3	1,5 - 8	0,8 - 3	0,5 - 3

* Ontwerpgegevens. # op basis van maximaal aanvoerdebiet; ^ PAC: Poly-aluminiumchloride; \$ betrokken op afloop nabezinktank Geel = praktijkschaal; Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opstart, * Leiden Noord wordt gerealsusd; Realisatie Leiden Zuidwest wordt nader bezien; Blauw = pilotschaal

- Op de rwzi's wordt voornamelijk FeCl_3 als coagulant gedoseerd. Hogere fosfaatverwijderingsrendementen ($> 70\%$) treden op bij rwzi's waar een Me/P verhouding van tenminste 3 mol/mol wordt toegepast.
- De zandfractie bedraagt doorgaans 1,5 - 2 mm; de bedhoogte varieert van 1,5 tot 2 m.
- Het spoelwaterverbruik varieert van circa 0,05 tot 0,08 m³ spoelwater per m³ filtraat.

Een eerste conclusie uit de inventarisatie is dat het niet eenvoudig is om met continue filtratie zeer lage fosfaatconcentraties ($< 0,15 \text{ mg P/l}$) te realiseren. Op de rwzi's Kaatsheuvel, Utrecht en Horstermeer worden deze streefwaarden (incidenteel) gehaald. De volgende parameters lijken de mate van fosfaatverwijdering mede te bepalen:

- Hydraulische belasting. Bij een voldoende lage hydraulische belasting lijkt een betere fosfaatverwijdering mogelijk. Echter van de onderzochte zandfiltraties is alleen bij de rwzi Kaatsheuvel een significatere lagere belasting toegepast.
- Me/P verhouding. Om hogere fosfaatverwijderingen te realiseren moet tenminste een Me/P verhouding ≥ 3 worden toegepast.
- Ingaande P-concentratie voor de filtratie.

Bij bovenstaande dient wel opgemerkt te worden dat de zandfilters op praktijkschaal, gegeven in tabel 2, met uitzondering van de rwzi's Kaatsheuvel en Maasbommel niet waren ontworpen om te voldoen aan zeer lage ($< 0,15 \text{ mg/l}$) effluent concentraties.

Naast de inventarisatie zijn een aantal cases nader beschouwd. Het betreft hier de zandfiltratie op de rwzi's Kaatsheuvel, Ruurlo en Wehl en Maasbommel. Bij deze laatste zandfiltratie wordt fosfaat en stikstof simultaan verwijderd. Voor een gedetailleerde beschrijving van de uitgewerkte cases wordt verwezen naar bijlage 3.

Naast de bevindingen en conclusies die volgen uit de inventarisatie blijkt uit de nader onderzochte cases:

- Om verstoppingsproblemen in het zandfilter te voorkomen is het belangrijk om de toevoer naar de zandfiltratie te ontdoen van grove delen. Een fijne zeef is hier afdoende.
- Het "automatisch" meten van de zandsnelheden in continue zandfilters blijkt in de praktijk problematisch. De meting genereert te vaak en onterecht een alarmering. Het toepassen van deze meting kan daarom ter discussie worden gesteld.
- Op de nu in bedrijf zijnde zandfiltraties Kaatsheuvel, Ruurlo en Wehl wordt voor de dosering van FeCl_3 slechts een eenvoudige of geen regeling toegepast. Bij Kaatsheuvel is de dosering gekoppeld aan het influentdebiet. Bij Ruurlo en Wehl is er een vast doseerdebiet. Bij de genoemde zandfiltraties is er terugkoppeling naar een handgemeten fosfaatconcentratie in de toe- of afvoer van het zandfilter. Deze "eenvoudige" regelingen leiden alleen tot een goed fosfaatverwijderingsrendement als de toevoer naar het zandfilter (debiet, fosfaatconcentratie) redelijk constant is. Dit is het geval voor de rwzi Kaatsheuvel; de fosfaatverwijdering is hier dan ook goed te noemen. Bij Ruurlo en Wehl is de fosfaatverwijdering minder.
- Uit een nadere analyse van de meetresultaten voor de zandfiltratie op de rwzi Maasbommel blijkt het volgende:
 - Er is geen eenduidige correlatie tussen de fosfaatconcentratie in de toevoer en de afvoer van de zandfiltratie. Echter, er is wel een lichte trend waarneembaar dat hogere fosfaatconcentraties in de toevoer leiden tot een iets verhoogde fosfaatconcentratie in de afvoer.

- Er is een duidelijke correlatie tussen de zwevende stof concentratie en de fosfaatconcentratie in de afvoer van de zandfiltratie. Toepassing van een lineaire regressie suggereert dat (op Maasbommel) een verhoging van de zwevende stof concentratie met 1 mg/l, gerelateerd aan de uitspoeling van ijzerhydroxideslibvlokken, leidt tot een verhoging van de fosfaatconcentratie van circa 0,1 mg P/l.

3.2.3 CONTINUE FILTRATIE VOOR STIKSTOFVERWIJDERING

De in de inventarisatie betrokken rwzi's zijn kort weergegeven in tabel 6.

TABEL 6

RWZI'S BETROKKEN IN DE INVENTARISATIE VOOR STIKSTOFVERWIJDERING, CONTINUE FILTRATIE

Rwzi	i.e. (54 gBZV)	N-totaal concentratie afloop nabezinktank (mg/l)
Uithoorn	50.000	20 - 22
De Groote Lucht	315.000	18,2
Maasbommel	5.600	4,3
Leiden Zuidwest	90.000	7,4
Leiden Noord *	110.000	11
Nieuwveen	32.000	5,6
Haarlem Waarderpolder	160.000	8,4
Alphen-Noord *	55.000	9,6
Bodegraven	60.000	4,7
Steenwijk	37.800	10
Driebergen	(37.000)	5 - 12,7
Horstermeer	(160.000)	10 - 18
Franeker	(60.000)	9 - 27

Geel = praktijkschaal; Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opgestart, * Twee filterinstallaties worden in eerste instatie binnen Rijnland gerealiseerd. De realisatie van de filterinstallaties bij de overige 4 rwzi's wordt nader bezien; Blauw = pilotschaal.

In tabel 7 zijn verschillende relevante parameters voor de zandfiltraties van de in tabel 6 genoemde rwzi's opgegeven zoals: toevoer- en afvoerconcentraties, en dimensioneringsgrondslagen. Leiden Noord heeft dezelfde dimensioneringsgegevens als Leiden Zuidwest. Dit geldt ook voor Bodegraven en Alphen-Noord. Deze hebben dezelfde dimensioneringsgegevens als Nieuwveen.

Een aantal bevindingen die uit tabel 5 volgen zijn:

- De hydraulische belasting varieert meestal van 10-20 m/h.
- De zwevende stof belasting varieert gemiddeld van 0,1 tot circa 2 kg DS/m².d. Een uitzondering is de rwzi Franeker waar soms hoge zwevende stof belastingen tot circa 40 kg DS/m².d zijn voorgekomen. Ook op Uithoorn was er een verhoogde zwevende stof belasting.
- De toegepaste nitraatbelasting loopt uiteen van circa 0,3 tot 3 kg NO₃-N/m³.d.
Bij Horstermeer, Franeker en Uithoorn was sprake van hogere belastingen tot 3-4 kg NO₃-N/m³.d. Het betreft hier per definitie niet de omzettingssnelheid.
- Het stikstofverwijderingsrendement varieert van 60 tot 95%. De effluentconcentraties N-totaal liggen in de orde van grootte van 2-5 mg N/l. Een N-totaal concentratie <2,2 mg N-totaal/l wordt niet gehaald.
- Op de rwzi's zijn methanol en acetol als koolstofbron voor het denitrificatieproces toegepast. De gemiddelde dosering bedroeg: circa 4 kg BZV/kg N met een range van 3 tot 5, en 1-2 kg BZV/kg O₂.
- De zandfractie bedraagt doorgaans 1,2 - 2 mm; de bedhoogte varieert van 1,5 tot 2,5 m, met uitzondering van Uithoorn en De Groote Lucht.
- Het spoelwaterverbruik varieert gemiddeld van circa 0,05 tot 0,1 m³ spoelwater per m³ filtraat.

Een eerste conclusie uit de inventarisatie is dat het niet eenvoudig is om met continue filtratie aan N-totaal concentraties <2,2 mg/l te voldoen. Op geen enkele van de rwzi's die in deze inventarisatie van continue filtraties is opgenomen is deze eindconcentratie structureel gehaald. Een mogelijk knelpunt hierbij is dat in de zandfilters alleen nitraat wordt verwijderd. Bij licht verhoogde ammonium- of Kjeldahl-stikstofconcentraties zal daarom de N-totaalconcentratie al snel boven 2,2 mg/l liggen. In de praktijk betekent dit dat in de rwzi gestreefd moet worden naar zeer vergaande nitrificatie en lage ammonium effluent concentraties.

TABEL 7 WATERKWALITEIT EN DIMENSIONERING CONTINUE ZANDFILTERINSTALLATIES VOOR STIKSTOFVERWIJDERING IN NEDERLAND (PILOTPLANT ZIJN NIET OP MAAT GEDIMENSIONEERD)

Parameter	Eenheid	Uithoorn	Maasbommel	De Groote Lucht	Leiden* Zuidwest	Nieuwveen*	Haarlem- Waarderpolder*	Steenwijk*	Driebergen (nitr)	Driebergen (denitr)	Franeke
Afloop nabezinktank											
- Dagaanvoer	m ³ /d	8.000	512	57.000	25.000	5.780	36.200	10.800	57,6 – 108	57,6 – 108	480-1440
- Zeevende stof	mg/l	10 - 30	7,3	5,6	4,9	6,2	5,7	5 – 10	n.b.	n.b.	25 - 80
- N-totaal	mg/l	20 - 22	4,3	18,2	7,4	5,6	8,4	10	5 – 12,7	n.b.	9 - 27
- NO ₃ - N	mg/l	18 - 20	2,0	15,6	4,7	3,4	6,3	8	1,7	4,5 – 9,1	6 - 15
- NH ₄ - N	mg/l	1	n.b.	n.b.	0,5	0,5	0,5	n.b.	2 - 1	n.b.	0,3 - 7
Effluent											
- Zeevende stof	mg/l	3 - 15	4,8	3,9	1*	1*	1*	3 - 5*	n.b.	n.b.	9 - 33
- N-totaal	mg/l	2 - 5	2,6	3,4	2,2*	2,2*	2,2*	2,2*	n.b.	n.b.	< 10
- NO ₃ - N	mg/l	0,5 - 2	0,9	1,3	< 0,5*	< 0,5*	< 0,5*	n.b.	6 - 11,4	0,4 - 1,3	1 - 5
- NH ₄ - N	mg/l	1	n.b.	n.b.	0,5*	0,5*	0,5*	n.b.	0,1 - 4,5	n.b.	0,2 - 6
Verw. rendement Ntot	%	77	40	81	-	-	-	-	61 - 95\$	-	63
Verw. rendement NO ₃	%	90	53	92	-	-	-	-	-	86 - 91	66 - 83
- Aantal filters		8	1	48	20	4	30	8	17	1	1
- Zandfractie	mm	1,2 - 2	1,2 - 2	1 - 1,6	1,2 - 2	1,2 - 2	1,2 - 2	1,2 - 2	1 - 1,6	1,2 - 2	1,2 - 2
- Bedhoogte	m	4	1,8	3,8	2	2	2	2,5	2	2	2,5
- Oppervlak	m ²	5	8	5	6	8	6	5	0,7	0,3	3
- Hydr. belasting#	m/h	12,5	15	18,3	15,3	17	15,3	15	5 - 15	10 - 15	6,7 - 20
- Zw. stofbelasting	kg DS/m ² .d	6	0,5	1,3	1	1,1	1,15	2	n.b.	n.b.	4 - 38,4
- Nitraatbelasting	kg NO ₃ /m ³ .d	4	0,07	0,98	0,49	0,31	0,63	2	n.b.	n.b.	0,38 - 2,88
- Spoelwater/filtr.	m ³ /m ³ filtraat	0,10	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,07 - 0,2	0,06 - 0,13	0,05
- Zandsnelheid	mm/min	5 - 10	4	20 - 40	2 - 4	2 - 4	2 - 4	n.b.	n.b.	n.b.	2 - 10
- Max. filterweerst.	cm waterkol.	250	25 - 110	150	20	20	20	n.b.	50	50	200
- koolstofbron/overig	type	azijnzuur	acetal 80	methanol	methanol [^]	methanol [^]	methanol [^]	acetal 80	-	methanol	methanol
- BZV verhouding	kg BZV/kg N	4,5	4,2	4,5	4,5	4,5	4,5	3,4	-	4,5	3 - 4
	kg BZV/kg O ₂	1,5	1,7	0,975	1,2	1,2	1,2	1,15	-	n.b.	n.b.

* zijn ontwerpgegevens; # op basis van maximaal aanvoerdebiet; \$ verwijderingsrendement voor NH₄-N; ^ nog niet definitief

Geel = praktijkschaal; Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opgestart; * Twee filterinstallaties worden in eerste instantie binnen Rijnland gerealiseerd. De realisatie van de filterinstallaties bij de overige rwzi's wordt nader bezien; Blauw = pilotschaal

Bij bovenstaande dient wel opgemerkt te worden dat de praktijk zandfiltraties gegeven in tabel 2, met uitzondering van de rwzi Maasbommel niet waren ontworpen om te voldoen aan een concentratie van $< 2,2$ mg/l.

Naast de inventarisatie zijn een aantal cases nader onderzocht. Het betreft hier de zandfiltraties op de rwzi's De Groote Lucht en Maasbommel. Bij deze laatste zandfiltratie wordt fosfaat en stikstof simultaan verwijderd. Voor een gedetailleerde beschrijving van de uitgewerkte cases wordt verwezen naar bijlage 3. Naast de bovengenoemde bevindingen en conclusies die volgen uit de inventarisatie blijkt uit de nader onderzocht cases:

- Recirculatie van het filtraat bij lage toevoerdebieten is een aandachtspunt voor het ontwerp. Bij De Groote Lucht zijn in verband met een lage toevoer in de nachtelijke uren diverse knelpunten voorgekomen.
- Bij het ontwerp is een goede verdeling van de aanvoer over de verschillende zandfilters belangrijk. Bij De Groote Lucht bleek deze verdeling bij lage toevoerdebieten niet altijd goed te zijn.
- Bij een zandfiltratie opgebouwd uit meerdere eenheden is het beter chemicaliën te doseren op een toevoerheader dan per individuele eenheid.
- Het "automatisch" meten van de zandsnelheden blijkt in de praktijk problematisch. De meting genereert te vaak en onterecht een alarmering.

3.2.4 EVALUATIE CONTINUE FILTRATIE

Uit de inventarisatie van continue zandfilters in Nederland blijkt de mate waarin stikstof en fosfaat wordt verwijderd aanzienlijk te variëren. Het fosfaat verwijderingsrendement varieert van 20% (bij een Me/P van 0,4 mol/mol) tot 90% (bij een Me/P van 2,9 mol/mol). Wel blijkt dat een hoger fosfaatrendement en een lager fosfaateffluentgehalte wordt verkregen bij hogere Me/P verhoudingen en lagere hydraulische belastingen. Bij continue filtratie in dit onderzoek varieerde de hydraulische belasting van 5,6 tot 20 m/h. De zwevende stof belasting varieerde van 0,2 tot 38,4 kg DS/m².d.

Het hoogste fosfaat verwijderingsrendement is gerealiseerd op Kaatsheuvel. Mogelijke redenen hiervoor zijn:

- op Kaatsheuvel wordt slechts een deelstroom van de DWA aanvoer behandeld zodat de hydraulische aanvoer constant is;
- de hydraulische belasting van het zandfilter is relatief laag (6-9 m/h);
- de toegepaste Me/P-verhouding is voldoende hoog (ca. 3 mol/mol).

Het rendement voor stikstofverwijdering op de verschillende continue filtraties varieert van 43 tot 92 %. De hydraulische belasting varieert van 5 tot 20 m/h. De nitraatbelasting varieert van 0,07 tot 2,88 kg NO₃/m³.d. Het stikstof verwijderingsrendement bij Uithoorn en De Groote Lucht zijn het hoogst. Dit wordt mede bepaald door een hoge ingaande nitraatconcentratie van > 15 mg NO₃-N/l.

Voor zowel stikstof als fosfaat blijkt dat het continu bereiken van zeer lage concentraties (respectievelijk $< 2,2$ mg/l en $< 0,15$ mg/l) moeilijk realiseerbaar is. Voor het bereiken van de zeer lage concentraties op een (jaar)gemiddelde basis lijkt er meer perspectief te zijn. Een relatief hoog gehalte aan zwevende stof in het filtraat (> 3 mg/l) en de achtergrond concentraties aan ammonium- en Kjeldahlstikstof lijken knelpunten te zijn voor het bereiken van de zeer lage concentraties.

Uit de onderzochte cases blijkt dat de toegepaste filtratiesystemen veelal op basis van dezelfde grondslagen zijn gedimensioneerd. Belangrijkste verschillen betreffen de toegepaste procesregelingen waarbij vooral de mate van automatisering verschilt. Voor chemicaliëndosering kan worden gesteld dat een automatische dosering gebaseerd op voldoende in-line

metingen een voorwaarde is om een goed en stabiel verwijderingsrendement te garanderen. Knelpunten in de bedrijfsvoering hebben, naast normale storingen, veelal betrekking op de regeling van de chemicaliëndosering, de regeling van de filterbedweerstand en zanduitspoeling via de wasser. Daarnaast blijkt dat een automatische meting van de zandsnelheid onbetrouwbaar is; in de praktijk wordt te vaak een onterechte alarmmelding door deze meting gegenereerd.

3.3 DISCONTINUE FILTRATIE

3.3.1 INLEIDING

Discontinue filtratie wordt in Nederland in beperkte mate op rwzi's toegepast. In vergelijking met continue zandfilters is het aantal praktijkinstallaties minder. In dit hoofdstuk zijn achtereenvolgens de toepassing voor fosfaat- en stikstofverwijdering weergegeven. Verder is ingegaan op zandfiltraties die dienen als voorbehandeling voor ultrafiltratie of om CZV verwijdering te realiseren. Tot slot is de toepassing op de rwzi Leeuwarden nader beschouwd.

3.3.2 DISCONTINUE FILTRATIE VOOR FOSFAATVERWIJDERING

Tabel 8 geeft een omschrijving van de rwzi's waarbij discontinue zandfilters zijn toegepast.

TABEL 8 RWZI'S BETROKKEN IN INVENTARISATIE FOSFAATVERWIJDERING, DISCONTINUE FILTRATIE

rwzi	i.e. (54 gBZV)	Concentratie P-totaal afloop nabezinktank (mg/l)	Wijze van fosfaatverwijdering in de waterlijn in het hoofdproces
De Bilt	68.500	< 1	biologisch
Steenwijk	37.800	0,8	biologisch
Ootmarsum	11.500	1	biologisch
Horstermeer	(160.000)	0,7	chemisch pre-precipitatie
Ede	(190.000)	0,45	biologisch
Utrecht	(400.000)	0,8	chemisch
Harderwijk	(200.000)	0,2 - 1	biologisch
Leeuwarden	(170.000)	0,48	chemisch

Geel = praktijkschaal; Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opgestart; Blauw = pilotschaal.

In tabel 9 zijn verschillende relevante parameters voor de zandfiltraties van de in tabel 8 genoemde rwzi's opgegeven zoals: toevoer- en afvoerconcentraties, en dimensioneringsgrondslagen.

Een aantal bevindingen die uit tabel 8 volgen zijn:

- De hydraulische belasting varieert meestal van 10-15 m/h bij DWA aanvoer.
- De zwevende stof belasting varieert gemiddeld van 1 tot 3 kg DS/m².d.
- Het fosfaatverwijderingsrendement varieert van 35 tot 90%. Hierbij is er geen directe relatie tussen de fosfaatconcentratie in de afloop van de nabezinktank en het filtraat of effluent van de rwzi,
- Fosfaatconcentraties in het effluent variëren gemiddeld van < 0,15 tot < 0,5 mg P-totaal/l. De fosfaatconcentraties lijken lager dan bij toepassing van continue filtratie. Op de rwzi's Ede en Harderwijk zijn fosfaatconcentraties in het lage bereik van < 0,15 mg/l bereikt.
- Om fosfaat te verwijderen wordt voornamelijk FeCl₃ of AlCl₃ gedoseerd.
- De meeste zandfilters bestaan uit een antraciet- en een zandfractie. De bedhoogtes van beide fracties varieerden.
- Alle toegepaste filters waren van het type neerwaarts doorstroomd; zowel een vaste als een oplopende waterstand zijn toegepast.

TABEL 9 WATERKwaliteit EN DIMENSIONERING DISCONTINUE ZANDFILTERINSTALLATIES VOOR FOSFAATVERWIJDERING IN NEDERLAND

Parameter	Eenheid	De Bilt*	Steenwijk*	Ootmarsum*	Horstermeer	Ede	Utrecht	Harderwijk	Leeuwarden
afloop nabezinktank									
- Dagaanvoer	m ³ /d	18.000	9.600	6000	120 – 240	180	192	264	1.200
- Zwevende stof	mg/l	5 – 15	3 – 5	5 – 30	< 11	4	n.b.	5 – 10	< 5
- P-totaal	mg/l	< 1	0,8	1	0,7	0,45	0,8	0,2 – 1	0,48
- Ortho-P	mg/l	< 1	n.b.	n.b.	0,5	0,4	0,7	0,1 – 0,5	0,32
Effluent									
- Zwevende stof	mg/l	< 1*	< 2*	n.b.	< 8	1	n.b.	1	< 5
- P-totaal	mg/l	< 0,15*	0,15*	n.b.	< 0,2	0,05	0,5	0,15	0,27
- Ortho-P	mg/l	< 0,1*	n.b.	n.b.	< 0,15	0	0,4	0,1	0,17
Verw.rendement Plot	%	-	-	-	72	89	37,5	85	41,5
- Aantal filters									
- Zandfractie 1	mm	4	6	2	1	1	1	1	3
- Bedhoogte 1	m	0,8 – 1,25	1,2 – 2*	0,8 – 1,25^	1,75 – 2,75^	2 – 4*	1,75 – 2,75^	1,6 – 2,5^	0,8 – 1,3
- Zandfractie 2	mm	1,5	1	0,8	0,6	0,8	0,6	1	1,2
- Bedhoogte 2	m	-	n.b.	0,4 – 0,8	1,5 – 2,	1,5 – 2,25	1,5 – 2,	0,8 – 1,25	-
- Zandfractie 3	mm	-	1	1	0,4	0,4	0,4	1	-
- Bedhoogte 3	m	-	-	-	-	0,5 – 0,8	-	-	-
- Oppervlak	m ²	25	7	10	-	0,3	-	-	-
- Hydr. belasting#	m/h	20	11,9	12,5	0,5	0,5	0,5	1,1	1,13
- Zw. stofbelasting	kg DS/m ² .d	0,14 – 2,7	1,1	1,5 – 9	20	20	20	14,5	15
- Spoelwater / filtraat	m ³ /m ³ filtraat	0,09	0,04	0,01 – 0,02	n.b.	1,44	n.b.	1,2 – 2,4	1,77
- Spoellucht / filtraat	Nm ³ /m ³ filtraat	6,7	n.b.	0,006 – 0,026	0,08	0,08	0,08	0,02	n.b.
- Looptijd	h	10-20	24	24 – 96	n.b.	n.b.	n.b.	0,01	n.b.
- Waterstand	cm waterkol.	oplopend	oplopend	oplopend	16 – 24	8 – 24	16 – 24	24 – 48	n.b.
- Max. filterweerst.		-	-	100	vaste	vaste	vaste	oplopend	oplopend
- Coagulant	type	FeCl ₃ AlCl ₃ maximaal 3	FeCl ₃	FeCl ₃	FeCl ₃ AlCl ₃	FeCl ₃ AlCl ₃	FeCl ₃ AlCl ₃	FeCl ₃ AlCl ₃	FeClSO ₄
- Me/p \$	mol/mol		1,5	4	0,5 – 12,5	0,5 – 1,5	0,5 – 8,5	2 – 8	2,7

* Zijn ontwerpgegevens; # op basis van maximaal aanvoerdebiet; ^ Antraciet; \$ op basis van afloop nabezinktank
Geel = praktijkschaal; Groen = ontwerpfase of zeer recent opgestart; Blauw = pilotschaal

Uit tabel 8 en 9 blijkt dat er nog geen discontinue zandfilters op praktijkschaal langdurig in bedrijf zijn. Dit betekent dat er nog weinig praktijkervaring in Nederland met deze type filters is voor de behandeling van rwzi-effluent. Als case is daarom de pilot-installatie op de rwzi Leeuwarden nader beschouwd. Een uitgebreide beschrijving van deze case is gegeven in bijlage 3.

Uit deze case bleek dat bij lage fosfaatconcentraties in de toevoer naar de zandfiltratie de fosfaatverwijderingsrendementen lager werden, ondanks een hogere toegepaste Me/P verhouding. Vanuit het oogpunt van bedrijfsvoering is de zandfiltratie als robuust omschreven.

3.3.3 DISCONTINUE FILTRATIE VOOR STIKSTOFVERWIJDERING

Op de rwzi's Horstermeer en Utrecht is discontinue filtratie ook toegepast voor stikstofverwijdering. De toevoer- en afvoer kwaliteit van de filters staat vermeld in tabel 9. Voor de dimensioneringsgegevens wordt verwezen naar tabel 8. Uit tabel 10 blijkt dat het verwijderingsrendement voor N-totaal in het gecombineerde filter voor stikstof- en fosfaatverwijdering te Horstermeer 87% bedraagt; bij de rwzi Utrecht varieerde dit tussen 28 en 76%. Op rwzi Horstermeer zijn diverse koolstofbronnen gedoseerd ten behoeve van de nitraat-(en zuurstof)verwijdering. De gemiddelde dosering bedroeg circa 3 – 4,5 kg BZV/kg N.

De lagere nitraatverwijdering op de pilotplant te Utrecht is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van incidentele onderdosering van de koolstofbron in combinatie met het gebruik van alternatieve koolstofbronnen.

TABEL 10 WATERKWALITEIT DISCONTINUE ZANDFILTERINSTALLATIES VOOR STIKSTOFVERWIJDERING IN NEDERLAND

Parameter	Eenheid	Horstermeer	Utrecht
Afloop nabezinktank			
- Dagaanvoer	m ³ /d	192	192
- Zwevende stof	mg/l	< 11	n.b.
- N-totaal	mg/l	15,7	10,7
- NO ₃ – N	mg/l	12,2	6
- NH ₄ – N	mg/l	2,5	0,9
- CZV	mg/l	42	34
Filtraat			
- Zwevende stof	mg/l	< 8	-
- Troebelheid	NTU	1,6	< 2,0
- N-totaal	mg/l	< 2,2	61,8 – 5,0
- NO ₃ – N	mg/l	< 1	0,6 – 4,6
- NH ₄ – N	mg/l	< 0,5	0,3 – 0,8
- CZV	mg/l	37	33
Verwijderingsrendement N _{tot}	%	87	28 – 76

Blauw = pilotschaal

3.3.4 DISCONTINUE FILTRATIE ALS VOORBEHANDELING VAN ULTRAFILTRATIE

Op de rwzi's De Nieuwe Waterweg en Tilburg Noord is discontinue filtratie toegepast als voorbehandeling voor ultrafiltratie. De waterkwaliteits- en de dimensioneringsgegevens staan vermeld in tabel 11. Het voornaamste doel van de zandfiltratie was het verwijderen van zwevende stof; het verwijderingsrendement was voor beide zandfiltraties ≥ 80%. De zwevende stof belasting bedroeg 1,7 - 1,8 kg DS/m².d.

TABEL 11

WATERKWALITEIT EN DIMENSIONERING DISCONTINUE ZANDFILTERINSTALLATIES VOORBEHANDELING UF

Parameter	Eenheid	De Nieuwe Waterweg	Tilburg Noord
Afloop nabezinktank			
- Dagaanvoer	m ³ /d	120	180
- Zwevende stof	mg/l	7	5
- N-totaal	mg/l	10,8	> 4
- NO ₃ -N	mg/l	6,2	n.b.
- NH ₄ - N	mg/l	n.b.	4
- P-totaal	mg/l	4,3	1,7
- Ortho - P	mg/l	n.b.	1,5
Filtraat			
- Zwevende stof	mg/l	< 2	1
- N-totaal	mg/l	8,5	n.b.
- NO ₃ -N	mg/l	5,3	n.b.
- NH ₄ - N	mg/l	n.b.	n.b.
- P-totaal	mg/l	1	0,25
- Ortho - P	mg/l	n.b.	n.b.
Verwijderingsrendement Ntot	%	15	n.b.
Verwijderingsrendement Ptot	%	76	85
- Aantal filters		1	1
- Zandfractie 1	mm	2 – 4 [^]	2 – 4 [^]
- Bedhoogte 1	m	0,6	0,6
- Zandfractie 2	mm	1,5 – 2,25	1,5 – 2,25
- Bedhoogte 2	m	0,4	0,4
- Zandfractie 3	mm	-	-
- Bedhoogte 3	m	-	-
- Oppervlak	m ²	0,5	0,5
- Hydraulische belasting [#]	m/h	25	20
- Zwevendestofbelasting	kg DS/m ² .d	1,7	1,8
- Spoelwater / filtraat	m ³ /m ³ filtraat	0,08	0,08
- Spoellucht / filtraat	Nm ³ /m ³ filtraat	n.b.	n.b.
- Looptijd	h	16 - 24	16 - 24
- Waterstand		vaste	vaste
- Max. filterbedweerstand	cm waterkol.	25	25
- Coagulant	type	FeCl ₃ AlCl ₃	FeCl ₃ AlCl ₃
- Me/P ^{\$}	mol/mol	0,5 – 5,5	0,5 – 5,5

[#] op basis van maximaal aanvoerdebiet; [^] Antraciet; ^{\$} op basis van afloop nabezinktank

Blauw = pilotschaal.

3.3.5 DISCONTINUE FILTRATIE VOOR CZV VERWIJDERING

Op de rwzi's Kaffenberg en Nijmegen is discontinue filtratie toegepast met als primair doel CZV te verwijderen. De zandfilterinstallatie in Nijmegen behandelt een deelstroom (circa 30%) van het totale debiet van de rwzi. Achtergrond van de CZV-verwijdering via filtratie op de rwzi Nijmegen is het bereiken van een zodanige CZV reductie (ontwerp van 20 naar 17,5 mg/l) zodat het uitvoering van andere maatregelen in het afvalwatersysteem (de realisatie van een bergbezinkbasin) achterwege kunnen blijven.

De waterkwaliteitsgegevens en de dimensioneringsgegevens voor Nijmegen en Kaffenberg staan vermeld in tabel 12.

TABEL 12 WATERKWALITEIT DISCONTINUE ZANDFILTERS, TOEPASSING CZV-VERWIJDERING

Parameter	Eenheid	Kaffeberg	Nijmegen
Afloop nabezinktank			
- Periode		1999	15/4 – 15/7 2006
- Dagaanvoer	m ³ /d	120	37.200
- Zwevende stof	mg/l	5	3
- N-totaal	mg/l	> 3,5	9
- NO ₃ – N	mg/l	< 10	n.b.
- NH ₄ – N	mg/l	3,5	n.b.
- P-totaal	mg/l	1,5	1
- Ortho – P	mg/l	1,2	n.b.
- CZV	mg/l	50	26
Filtraat			
- Periode		1999	15/4 – 15/7 2006
- Zwevende stof	mg/l	1	1
- N-totaal	mg/l	n.b.	9
- NO ₃ – N	mg/l	n.b.	n.b.
- NH ₄ – N	mg/l	1,5	n.b.
- P-totaal	mg/l	0,5	0,5
- Ortho – P	mg/l	0,4	n.b.
- CZV	mg/l	< 10	22
Verwijderingsrendement N	%	38	0
Verwijderingsrendement P	%	66	50
Verwijderingsrendement Zwevende stof	%	80	67
- Aantal filters		1	6
- Zandfractie 1	mm	2 – 4 [^]	1,2 – 2 [^]
- Bedhoogte 1	m	0,6	1
- Zandfractie 2	mm	1,5 – 2,25	0,6 – 1
- Bedhoogte 2	m	0,4	1
- Zandfractie 3	mm	0,5 – 0,8	-
- Bedhoogte 3	m	0,2	-
- Oppervlak	m ²	0,5	22,5
- Hydraulische belasting#	m/h	30	12,4
- Zwevendestofbelasting	kg DS/m ² .d	1,2	0,83
- Spoelwater / filtraat	m ³ /m ³ filtraat	0,08	0,05
- Spoellucht / filtraat	Nm ³ /m ³ filtraat	-	-
- Looptijd	h	8 – 24	24 – 48
- Waterstand		vaste	oplopende
- Max. filterbedweerstand	cm waterkol.	40	-
- Coagulant	type	FeCl ₃ AlCl ₃	AlCl ₃
- Me/P ^{\$}	mol/mol	0,5 – 1,5	n.b.

op basis van maximaal aanvoerdebiet; [^] Antraciet; ^{\$} op basis van afloop nabezinktank

Groen = praktijkschaal maar nog in ontwerpfase of zeer recent opgestart; Blauw = pilotschaal.

3.3.6 EVALUATIE DISCONTINUE FILTRATIE

In vergelijking met continue filtratie is er in Nederland veel minder ervaring met discontinue filtratie op praktijkschaal. Deze installaties zijn of (net) in opstart of nog in de ontwerpfase zodat een evaluatie van de prestaties en specifieke bedrijfsvoeringservaringen nog niet goed is aan te geven. Wel zijn er een aantal pilot studies uitgevoerd. Hieruit kan worden afgeleid dat het rendement voor fosfaatverwijdering varieert tussen de 37% (Me/P van 0,5 – 5,5) en 89% (Me/P van 0,5 – 1,5). Het hoogste verwijderingsrendement is gerealiseerd op de pilot filtratie op de rwzi Ede. Het rendement voor stikstofverwijdering varieert tussen de 28 en 87%, maar is gebaseerd op twee ervaringen (rwzi Horstermeer en Utrecht).

De beschikbare gegevens geven een aanwijzing dat met discontinue filterinstallaties lagere zwevende stof concentraties en enigszins lagere fosfaatconcentraties kunnen worden gerealiseerd dan met continue zandfilter installaties. De zandfiltraties op praktijkschaal die nu in de ontwerpfase of opstartfase zijn, zijn allen neerwaarts doorstroomde filters.

4

ZANDFILTRATIE IN HET BUITENLAND

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk zijn, na een inleidende beschouwing over buitenlandse ervaringen met zandfiltratie als nageschakelde techniek voor vergaande zuivering, enkele buitenlandse praktijkervaringen met discontinue en continue filterinstallaties op hoofdlijnen beschreven. Meer specifieke informatie over deze praktijkinstallaties zijn in de bijlagen weergegeven. Tenslotte zijn specifieke ervaringen, opgedaan in Duitsland en Zwitserland beschreven. Dit betreft ervaringen op het gebied van ontwerp, technische uitvoering, bedrijfsvoering en aanbesteding van zandfiltratieprojecten.

Ervaring met filtratie als vergaande zuivering is vooral aanwezig in Duitsland en Zwitserland (ca. 200 installaties) en de Verenigde Staten (enkele honderden installaties). Verder zijn in Scandinavië en in Engeland meerdere installaties aanwezig.

Het doel van het gebruik van zandfilters is divers. In Engeland worden filters voornamelijk voor zwevende stofverwijdering ingezet. Ook in de VS wordt zandfiltratie vooral ingezet voor zwevende stof verwijdering, waarna het water voor irrigatiedoeleinden wordt gebruikt. De ervaringen met verwijdering van stikstof met zandfiltratie zijn minimaal. Daar waar het de verwijdering van stikstof(nitraat) betreft, zijn het met name installaties waarbij stikstofverwijdering tot een effluentgehalte van 10 à 15 mg N-totaal/l het doel is. In veel gevallen worden de filters ingezet voor de verwijdering van fosfaat.

In dit hoofdstuk zijn alleen de installaties met vergaande P-verwijdering beschreven. De installaties voor N-verwijdering en zwevende stofverwijdering zijn buiten beschouwing gelaten. Het betreft hier voornamelijk filterinstallaties die de functie van het actiefslibproces overnemen en geen vergaande zuivering nastreven.

In Duitsland en Zwitserland zijn de filterinstallaties gerealiseerd voor zwevende stof en fosfaatverwijdering. Al deze installaties zijn voorzien van vlokmiddel- en vlokhulpmiddel-dosering. Kenmerkend aan Duitsland is dat de bedrijfsvoerder van de rwzi hoofdelijk aansprakelijk is voor het behalen van de effluenteisen van een rwzi. Hoewel men via chemische en/of biologische fosfaatverwijdering in de waterlijn over het algemeen effluentconcentraties van < 0,5 mg/l kan behalen, wordt nageschakelde filtratie als een extra zekerheid beschouwd op de bedrijfsvoering. De filterinstallatie is dan in gebruik, maar de chemicaliëndosering is veelal niet in gebruik.

Binnen de Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall eV (DWA) is de Arbeitsgruppe 8.3 momenteel actief om na te gaan of op basis van de huidige Duitse en Zwitserse ervaringen de ATV A-203 richtlijn met betrekking tot filtratie moet worden herzien. Momenteel wordt hiervoor een enquête gehouden onder de Duitse en Zwitserse Wasserverbände om zoveel mogelijk data te verkrijgen over dit onderwerp.

De in dit rapport opgenomen informatie, afkomstig uit Duitsland, is anoniem met betrekking tot de naam van de rwzi beschikbaar gesteld.

4.2 DISCONTINUE FILTRATIE VOOR P-VERWIJDERING

RWZI BEKKELAGET, OSLO, NOORWEGEN

Op de rwzi Bekkelaget wordt zandfiltratie toegepast gericht op fosfaatverwijdering. De installatie is reeds vijf jaar operationeel en is geleverd door de firma Purac AB Sweden. De filtermedia zijn afkomstig van Filtralite/Matrix. Het zandfilter behandelt de afloop van de nabezinking. De waterlijn bestaat achtereenvolgens uit grofvuilrooster (3mm), voorbezinking, actiefslibproces met simultane precipitatie, en voordennitrificatie.

RWZI WERDHÖLZLI, ZÜRICH, ZWITSERLAND

Op de rwzi Werdhölzli wordt al ruim 20 jaar zandfiltratie toegepast gericht zwevende stof- en fosfaatverwijdering. De installatie is geleverd door de firma Sulzer. De zandfilter installatie behandelt de afloop van de nabezinking van het actiefslibproces alwaar het afvalwater na een mechanische voorzuivering, een biologische en chemische behandeling ondergaat.

RWZI DUITSLAND, NUMMERS 1 EN 2

Bij zowel rwzi nr. 1 als 2 wordt zandfiltratie toegepast gericht op fosfaatverwijdering. Het zandfilter van rwzi nr. 1 behandelt de afloop van de waterlijn bestaande uit achtereenvolgens roostergoedverwijdering, voorbezinking, twee-traps biologische nitrificatie/denitrificatie actiefslibproces en nabezinking.

Het zandfilter van rwzi nr. 2 behandelt de afloop van de waterlijn bestaande uit roostergoedverwijdering, voorbezinking, actiefslibproces en nabezinking.

In tabel 13 zijn de in- en uitgaande concentraties van de genoemde discontinue zandfilterinstallaties weergegeven. Verder zijn de dimensioneringsgrondslagen van de installaties weergegeven. Bij alle installaties wordt ijzerzout gedoseerd voor fosfaatverwijdering. Aan de te filteren waterstroom wordt geen koolstofbron toegevoegd.

Het verwijderingrendement voor zwevende stof varieert tussen de 74% - 82% en voor totaal-P tussen 10% - 85%.

Uit de tabel blijkt dat de gemiddelde filtratiesnelheid, op basis van dagelijkse toevoer, voor de installaties uit Duitsland beduidend lager is. De gemiddelde filtratiesnelheden van de installaties van Zürich en Oslo liggen op een gelijk niveau.

4.3 CONTINUE FILTRATIE VOOR P-VERWIJDERING

RWZI SUNDET MUNICIPAL, VÄXJÖ, ZWEDEN

De zandfilter installatie van de rwzi Växjö is (80.000 v.e.) bestaat uit 60 Dynasand filters. De filters behandelen de afloop van de nabezinking van een actiefslibproces.

RWZI DUITSLAND, NR. 3

Bij de rwzi Duitsland nr. 3, wordt continue filtratie toegepast gericht op fosfaatverwijdering. Het zandfilter behandelt de afloop van de waterlijn bestaande uit een roostergoedverwijdering, voorbezinking, een twee-traps actiefslibproces en een nabezinking.

In tabel 14 zijn de prestaties en de dimensioneringsgrondslagen van de discontinue zand-filterinstallaties weergegeven.

Ook bij de continue filtratie uit Duitsland nr 3 valt op dat de filtratiesnelheid laag is. De filtratiesnelheid van de filters van rwzi Vaxjö ligt beduidend hoger en komt meer overeen met dat van de discontinue filtratie van rwzi Zürich en Oslo. Het verwijderingsrendement voor P tussen de rwzi Duitsland nr. 3 en rwzi Vaxjö is vergelijkbaar.

TABEL 13 BUITENLANDSE ERVARINGEN DISCONTINUE FILTERINSTALLATIES VOOR FOSFAATVERWIJDERING

Parameter	Eenheid	Bekkelaget Oslo, Noorwegen	Werdhölzli Zürich, Zwitserland	Duitsland Nr 1	Duitsland Nr 2
Afloop nabezinktank					
- Dagaanvoer	m ³ /d	110.000	200.000	1.860	35.000
- Zwevende stof	mg/l	22 (nominaal)	4,2	12	n.b.
- NO ₃ - N	mg/l	n.b.	9,5	7,2	n.b.
- NH ₄ - N	mg/l	n.b.	0,5	0,35	25
- BZV	mg/l	n.b.	n.b.	5	n.b.
- CZV	mg/l	n.b.	n.b.	22	n.b.
- P-totaal	mg/l	0,5	n.b.	1	2
- Ortho-P	mg/l	0,045	0,8	n.b.	n.b.
Filtraat					
- Zwevende stof	mg/l	3,9	1,1	7	n.b.
- N - totaal	mg/l	9,3	10,5	n.b.	n.b.
- NO ₃ - N	mg/l	5	0,2	7,4	0,9
- NH ₄ - N	mg/l	0 - 1	0,4	0,06	25
- BZV	mg/l	2,5	2	4,5	7
- CZV	mg/l	36,5	10,5	20	27
- P - totaal	mg/l	0,2	0,6	0,9	0,3
- Ortho - P	mg/l	0,05	0,6	n.b.	n.b.
Verwijderingsrendement					
Zwevende stof	%	82	74	42	n.b.
P - totaal	%	60	25	10	85
Ontwerp					
- Aantal filters	-	16	22	4	18
- Filterleverancier	-	Purac AB (S)	Sulzer	Philipp Muller	n.b.
- Enkel laags/ meerlaags filter	-	dubbel	dubbel	enkel	dubbel
- Oppervlak (tot. aantal filters)	m ²	800	1.879	75,2	576
- Dagelijkse belasting	m ³ /d	110.000	200.000	1.860	35.000
- Nominale ontwerp belasting	m ³ /h	4.230	8.300	180	2.000
- Maximale ontwerp belasting	m ³ /h	10.800	20.800	432	8.000
- Filtratiesnelheid o.b.v. dag. bel.	m/h	5,7	4,4	1,0	2,5
- Filtratiesnelheid o.b.v. nom .bel.	m/h	5,3	4,4	2,4	3,5
- Filtratiesnelheid o.b.v. max. bel.	m/h	13,5	11,1	5,7	13,9
- Zwevende stofbelasting	kg DS/m ² .d	3	0,45	0,3	n.b.
- Filtratie duur	h	6-24 (*)	-	18	23
Dosering					
- Coagulant	type	FeCl ₃	FeClSO ₄	FeCl ₃	FeCl ₃
- Locatie	-	Invoer kanaal	In-line	n.b.	n.b.
- Me/P §	mol/mol	0,6-0,8 g Fe/m ³ (#)	1,7	n.b.	n.b.
- Me/P §	gMe/m ³		n.b.	n.b.	3,5

* = afhankelijk van het debiet; § op basis van afloop nabezinktank; # alleen gedoseerd in perioden met hoge aanvoer

TABEL 14 BUITENLANDSE ERVARINGEN CONTINUE FILTERINSTALLATIES VOOR FOSFAATVERWIJDERING

Parameter	Eenheid	Duitsland Nr 3	Sundet, Växjö Zweden
Afloop nabezinktank			
- Dagaanvoer	m ³ /d	2.300	n.b.
- Zwevende stof	mg/l	n.b.	10
- NO ₃ - N	mg/l	6,5	9,5
- NH ₄ - N	mg/l	0,2	n.b.
- BZV	mg/l	5	n.b.
- CZV	mg/l	43	60
- P-totaal	mg/l	3,5	0,5
- Ortho-P	mg/l	n.b.	n.b.
Filtraat			
- Zwevende stof	mg/l	0,1	4
- N - totaal	mg/l	n.b.	n.b.
- NO ₃ - N	mg/l	5,9	n.b.
- NH ₄ - N	mg/l	0,2	n.b.
- BZV	mg/l	4,6	n.b.
- CZV	mg/l	36	30 - 40
- P - totaal	mg/l	0,6	0,1
- Ortho - P	mg/l	n.b.	n.b.
Verwijderings-rendement			
Zwevende stof	%	n.b.	60
P - totaal	%	83	80
Ontwerp			
- Aantal filters	-	16	60
- Filterleverancier	-	DynaSand	DynaSand
- Oppervlak (tot. aantal filters)	m ²	80	300
- Dagelijkse belasting	m ³ /d	2.300	n.b.
- Nominale ontwerp belasting	m ³ /h	100	1.500
- Maximale ontwerp belasting	m ³ /h	204	3.000
- Filtratiesnelheid o.b.v. dagbelasting	m/h	1,2	n.b.
- Filtratiesnelheid o.b.v. nom. belasting	m/h	1,25	5
- Filtratiesnelheid o.b.v. max. belasting	m/h	2,55	10
- Zwevende stofbelasting	kg DS/m ² .d	n.b.	1,2
- Filtratie duur	h	n.b.	n.b.
Dosering			
- Coagulant	type	FeClSO ₄	FeCl ₃
- Locatie		n.b.	n.b.
- Me/P \$	mol/mol	n.b.	n.b.
- Me/P \$	gMe/m ³	n.b.	n.b.

* = afhankelijk van het debiet; \$ op basis van afloop nabezinktank

4.4 ERVARINGEN MET ZANDFILTRATIE IN DUITSLAND EN ZWITSERLAND

Onderstaand is een overzicht gegeven van diverse ontwerptechnische, uitvoeringstechnische en bedrijfsmatige ervaringen en aandachtspunten die men in Duitsland en Zwitserland heeft met filtratie, opgetekend door de Duitse Arbeidsgruppe 8.3 voor filtratie. Niet alle achterliggende informatie bij de genoemde punten is beschikbaar gekomen.

- *Afdekking van filters.* Afdekking voorkomt muggenoverlast en algengroei in de bovenzijde van het filter. Gedeeltelijke open bovenzijde is ook mogelijk. Rwzi Zürich heeft als alternatieve afdekking kunststofballen met een diameter van 20 cm op het filter aangebracht. Aandachtspunt bij afdekking is de afzuiging van bovenstaande lucht in verband met explosie veilige omgeving.
- *Optreden van betoncorrosie.* Specifiek aandachtspunt is daarbij de schurende invloed van fluidiserend zand (zandabrassiviteit = 'schurende' werking). Dit leidt tot betonschade.
- *Arbeidsveiligheid.* Aandachtspunten daarbij zijn betreding van de filters, vallen en struikelen (hekwerk) en onderhoudswerkzaamheden (speciaal bij gesloten filters).
- *Filtermateriaal.* Filtratieresultaat, maar ook slijtage van het filterbed worden bepaald door niet alleen het type materiaal, maar ook hardheid, korrelgrootte en korrelverdeling.
- *Frequentie-geregelde pompen.* Het filter moet samen met pompen, buffers en leidingen ontworpen worden op maximale bedrijfsomstandigheden. Deze wordt vooral bereikt bij gebruik van hydro-anthraceut als filtermateriaal. Als de pompen frequentie-geregeld zijn uitgevoerd, vergroot dit de flexibiliteit in het gebruik van het type filterbed.
- *Bijzondere bedrijfssituaties.* Het opnemen van meerdere bedrijfsconfiguraties in het ontwerp van de zandfilterinstallatie wordt aanbevolen. Dit verhoogt de flexibiliteit bij bijzondere bedrijfsomstandigheden.
- *Nazorg na oplevering.* Bij de levering zou een begeleiding van de leverancier gedurende een half jaar moeten worden opgenomen. Scholing van het bedieningspersoneel is noodzakelijk. Geadviseerd wordt om verschillende scenario's te bedenken voor bedrijfsomstandigheden en deze te testen (inclusief zwevende stof dosering of overbelasting van een straat).
- *Aanwezigheid Microthrix.* Bij de aanwezigheid van Microthrix in de afloop van de nabezink-tank treden problemen op in verband met de verkleving van Microthrix met filterbedmateriaal. Verkleving leidt tot ongewenste 'blocking' en balvorming.
- *Bepaling schoonbedweerstand.* Door regelmatig de schoonbedweerstand te bepalen kan de kwaliteit van het filterbed (slijtage) en de effectiviteit van de spoeling worden beoordeeld. Belangrijk is dan wel om de schoonbedweerstand, na oplevering van de filters, te hebben bepaald.
- *Spoelprogramma's voor bijzondere bedrijfssituaties.* Twee spoelprogramma's voor bijzondere bedrijfssituaties worden aanbevolen. Ten eerste een kort spoelprogramma voor het snel beschikbaar krijgen van een filter, bijvoorbeeld bij RWA (stappen gelijk aan normaal bedrijf, maar de tijden korter). Ten tweede een noodspoeling om een oppervlakkige verstopping van het filter te breken, bijvoorbeeld bij een plotselinge uitspoeling van slib (korte waterspoeling).
- *Minimale hydraulische filterbelasting.* Ter voorkoming van verstopping van filterdoppen en het optreden van voorkeurstromingen moet een minimale belasting van de filters worden gehandhaafd. Bij afname van de hydraulische belasting moeten filters uit bedrijf worden genomen.
- *Luchtvoorziening en -verdeling continu filters.* Bij continue filtratie is de luchtvoorziening een kritisch procesonderdeel. Ook de verdeling van de lucht over de sets van filters is een belangrijk aandachtspunt. Ook binnen een set van filters kan als gevolg van verschillende luchtdebieten een ongelijkmatige belasting ontstaan.

- *Uit bedrijf name filters.* Bij uit bedrijfsname dient het filter altijd eerst te worden gespoeld. Daarna kan het filter uit bedrijf genomen worden.
- *Troebelheidsmeting.* Bij de doorbraak van fijne vaste stof wordt dit niet gemeten in de drukval over het filter. Aanbevolen wordt een troebelheidsmeter in de filtraatleiding op te nemen.
- *Representatieve monstername.* Bij een 24-uur monstername moet men het effect van een terugspoelactie, welke normaal minstens elke 24 uur plaats heeft, meenemen.
- *Tijdstip spoeling.* In het verleden is geprobeerd om alle spoelingen 's nachts te laten plaatshebben. Dit is een proces waar nog wel eens storing optreedt. Als dan geen personeel beschikbaar is, is dit lastig.
- *Vervuiling filterdoppen.* Vervuiling van filterdoppen is een belangrijk thema. Het blijkt dat na enkele jaren doppen vervuild kunnen geraken en slechts met zeer grote inspanning kunnen worden gereinigd of geheel vervangen dienen te worden. Dit is vooral het geval bij discontinu bedreven filters. Ook wordt de vorming en afzetting van $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ('scaling') op de doppen als gevolg van de ijzerdosering gemeld als oorzaak van verstopping. Onderhoud is hier elke 3 jaar in plaats van de verwachte 10 jaar noodzakelijk. Aanvulling naar aanleiding van de ervaringen bij de rwzi Oslo: de spleetwijdte van de filterdoppen in de zandfilters zijn vergroot van 0,5 naar 0,7 mm teneinde verstoppingen te voorkomen.

5

TECHNOLOGISCHE ONTWERPGRONDSLAGEN

5.1 ERVARINGEN FILTRATIE IN DRINKWATERBEREIDING BEPERKT TOEPASBAAR

Ontwerp, realisatie en bedrijfsvoering van filtratie-installaties van rwzi-effluent kunnen maar zeer beperkt gebaseerd worden op ervaringen en ontwerpgrondslagen van filtratie van oppervlaktewater voor de drinkwaterproductie. Uit ruim tien jaar proefonderzoek naar filtratie van rwzi-effluent in Nederland (op onder andere de rwzi's Hoek van Holland (1995-1996), Ede (1998-2000) Kaffenberg (2001), Hoek van Holland (2002) Utrecht (2003-2004), Maasbommel (2004-2005) Horstermeer (2005-2006) en Harderwijk (2005-2006)), blijkt duidelijk dat ontwerpgegevens als filtratiesnelheid en filterbedopbouw niet zomaar kunnen worden overgenomen vanuit ontwerpen van filters voor de behandeling van oppervlaktewater in de drinkwaterbereiding. Desondanks is het van belang te weten hoe in de drinkwaterbereiding filters zijn ontworpen. In deze introductie worden een aantal substantiële verschillen besproken die vervolgens in het hoofdstuk worden uitgewerkt voor toepassing van filtratie van rwzi-effluent.

ONTWERPDEBIET VERSUS ONTWERPFILTRATIESNELHEID

De belangrijkste ontwerpgrondslag voor de vaststelling van de grootte van een zandfilterinstallatie is het te behandelen debiet. Vaak wordt hiervoor gemakkelijk een aanname gedaan, terwijl de ontwerpfiltratiesnelheid in het algemeen grote aandacht krijgt. Dit verschijnsel komt voort uit de toepassing van filtratie in de drinkwaterbereiding, waarbij het verschil tussen maximaal te filteren debiet en gemiddeld debiet, de piekfactor, aanzienlijk lager is dan de piekfactor bij de filtratie van de afloop van de nabezinktanks. Bij het ontwerpen van filtratie-installaties van rwzi-effluent is het dan ook van belang om te realiseren dat niet alleen het te filteren medium volledig anders is bij filtratie van rwzi-effluent, maar dat ook door de grote variaties tussen RWA en DWA, het ontwerpdebiet duidelijk verschilt ten opzichte van de drinkwatertoepassing.

DROGESTOFBELASTING

Voor 1960 werden oppervlaktewatersnelfilters bedreven met een filtratiesnelheid van 5-7 m/h, en bestond het filterbed uit één laag zand met een hoogte van circa 1,5-2 m. De filters werden vaak direct gevoed met oppervlaktewater, al dan niet voorzien van een vlokmiddel. Dit oppervlaktewater had een zwevendestofgehalte van 10-20 mg/l; dit werd nog verhoogd door de hydroxiden die ontstaan uit de hydrolyse van vlokmiddelen. Dit leidde tot snelle verstopping en veelvuldig spoelen, hetgeen werd opgelost door een voorbehandeling te introduceren. In Nederland kennen we momenteel alleen oppervlaktewaterfiltratie die gevoed wordt door water dat reeds vergaand is ontdaan van zwevende stof. De voorzuivering bestaat uit coagulatie en bezinking of flotatie. Na deze stap bevat het te filteren water nog 1-2 mg/l aan zwevende stof.

Dit is in scherp contrast met rwzi-effluent dat na bezinking nog altijd 5 tot 30 mg/l zwevende stof bevat en direct na dosering van vlokmiddel wordt gefiltreerd. Ten opzichte van drinkwaterfiltratie betekent dit voor filtratie van rwzi-effluent globaal een vertienvoudiging van de

drogestofbelasting ($\text{kg DS/m}^2\cdot\text{h}$). Daar komt nog eens bij dat bij een rwzi onder maximale aanvoeromstandigheden (RWA) het risico van uitspoeling van slib zich voordoet. Bovenstaande geeft aan dat effluentfiltratie in zijn algemeenheid moet functioneren met een veel hogere drogestofbelasting dan bij drinkwaterfiltratie.

SPOELWATER

Een derde verschil is de hoeveelheid verbruikt spoelwater. Oppervlaktewaterfilters verbruiken 0,5 tot 3% van het filtraat als spoelwater. Bij effluentfiltratie moeten we rekening houden met 3 tot 10% of zelfs hoger.

5.2 UITGANGSPUNTEN ONTWERP FILTRATIE VAN RWZI-EFFLUENT

Filtratie van rwzi-effluent kan, gezien het feit dat het een nageschakelde techniek is, in het algemeen gemakkelijk worden ingepast in het ontwerp en de bedrijfsvoering van een bestaande rwzi. Voor een effectief ontwerp, inpassing, realisatie en beheer van effluentfilters zijn een aantal uitgangspunten van essentieel belang. In deze paragraaf wordt naast de noodzaak tot het uitvoeren van proefonderzoek ingegaan op de randvoorwaarden aan het hoofdzuiveringsproces en de maatgevende volumestroom richting effluentfilters. De behandelde aspecten zijn altijd te beschouwen in het verlengde van het nagestreefde doel van toepassing van effluentfiltratie: zwevendestofverwijdering, fosfaatverwijdering, nitraatverwijdering of een combinatie van deze doelstellingen. Naast vergaande effluentbehandeling kan filtratie natuurlijk ook altijd als 'slot achter de deur'-maatregel (voorkomen van lozing van zwevende stof en slibuitspoeling) worden toegepast. Zie hiervoor de beschrijving van de buitenlandse cases in hoofdstuk 4.

5.2.1 UITVOEREN PROEFONDERZOEK

Teruggaande in de geschiedenis van de ontwikkeling van de filtratie (voor drinkwaterbereiding) blijkt men consequent te pleiten voor proefonderzoek. Huisman [1967] stelt dat "een goed ontwerp eigenlijk alleen kan worden verkregen door laboratoriumonderzoekingen, bevestigd door een proefinstallatie op semi-technische schaal".

Voor rwzi-effluent varieert proefonderzoek van bekerglasexperimenten tot enkele maanden tot jaren van pilot/full-scale filtratieonderzoek op locatie.

Voorafgaande aan filtratie-experimenten is het ook zinvol om onderzoek te verrichten aan de te filtreren afvalwaterstroom. Via (data)-analyse aan de afloop van de nabezinktank verkrijgt men inzicht in de variaties van zwevende stof, en de te verwijderen nutriënten fosfaat en stikstof. Ook kan via aanvullende analyses aan de afloop het aandeel opgelost organisch fosfaat en opgelost niet afbreekbaar stikstof worden vastgesteld. Analyse van deze fracties vergroot het inzicht in de haalbaarheid van de N-totaal en P-totaalconcentratie in het filtraat. Ook vanuit het oogpunt van vergunningverlening kan dit van belang zijn.

Bekerglasexperimenten zijn met name bedoeld voor onderzoek naar optimale coagulatie omstandigheden. Het betreft dan vaststelling van het type coagulant, de doseringshoeveelheden, de benodigde meng- en flocculatie tijd en de benodigde energie-inbreng.

Bij biologische filtratie kan via bekerglasexperimenten ook de doseringshoeveelheid van de koolstofbron voor de verwijdering van nitraat worden vastgesteld.

Door het uitvoeren van continu kolomproeven met het te filtreren medium (diameter filterkolom bijv. 20 cm) kan veel informatie verkregen worden voor ontwerp en dimensionering van de filters. Inzicht wordt verkregen in de relatie korrelmateriaal, filtratiesnelheid en haalbare filtraatkwaliteit. Continue beproeving met water met een representatief gehalte aan zwevende stof geeft informatie over de relatie zwevende stof belasting van het filter, looptijd en benodigd vuilbergend vermogen.

Deze proeven op kleine schaal hebben als nadeel dat er hydraulische beperkingen optreden als gevolg van wandeffecten.

Om deze beperkingen te ondervangen zijn proefnemingen met pilot-installaties met een filteroppervlak van ca. 1 m² noodzakelijk. Deze beproevingen met pilot-installaties met dergelijke afmetingen leveren ook de benodigde informatie voor ontwerp en dimensionering.

In het algemeen is het aan te bevelen om voorafgaande aan de realisatie van met name de grotere filterinstallaties met één of meerdere geselecteerde typen filters door middel van een beproeving de haalbare hydraulische belasting vast te stellen onder het behalen van een vooraf vastgestelde filtraatkwaliteit. De belangrijkste reden is de risicobeperking (ontwerpen van een te kleine installatie op basis van aannamen) en de te behalen kostenoptimalisatie (voorkomen van ontwerpen van een te grote installatie).

Tevens geldt dat een waterschap op basis van een onderzoek zelf het risico kan nemen met de filterbedopbouw en waterkwaliteit na filtratie en de belangrijkste ontwerpgrondslag, de filtratiesnelheid. Zodoende leidt de marktwerking tot (afgedwongen) goede aanbiedingen en een optimale prijsstelling. Dit hoofdstuk kan als leidraad dienen voor het opstellen van programma's van eisen of werk- en adviseurbestekken van waterschappen of opdrachtgevers in het algemeen. Met de kennis uit dit hoofdstuk zal de opdrachtgever voldoende geïnformeerd zijn om de leverancier van filtratie-installaties duidelijk eisen en wensen voor te leggen en zo de meest optimale installatie voor zijn eigen locatiespecifieke rwzi te krijgen.

5.2.2 RANDVOORWAARDEN VAN HET HOOFDZUIVERINGSPROCES

Om effluentfiltratie effectief toe te passen worden bepaalde randvoorwaarden aan het hoofdzuiveringsproces (van influentgemaal tot aan de nabezinktanks) gesteld. Uitgangspunt is een goed werkend actiefslibproces met nabezinking. In het hoofdproces dient de bulk aan verontreinigingen verwijderd te worden; de zandfiltratie dient als nageschakelde opwerking van de afloop van de nabezinktanks.

Bij het ontwerpen van een zandfilterinstallatie voor aanvullende fosfaat- en/of stikstofverwijdering is het daarom zinvol deze nageschakelde installatie te beschouwen in relatie tot het hoofdproces; de voorbehandeling, de biologische zuivering en de nabezinking.

5.2.2.1 ROOSTERGOEDVERWIJDERING RWZI

De afloop van de nabezinktank kan grove delen als niet-afgevangen roostergoed, drijflagen en bijvoorbeeld ingewaaid bladmateriaal bevatten. Nageschakelde zandfilters, zowel continu als discontinue filters zijn gevoelig voor verstoppingen met deze grove delen. Ongelijke waterverdelingen, aangroei van on-line meetapparatuur en het optreden van kortsluitstromingen zijn de ongewenste gevolgen. De roostergoedverwijdering in het hoofdproces van de rwzi moet daarom voldoende fijn (minimaal 12 mm, standaard 6 mm), robuust uitgevoerd worden om doorlaat of bypass van roostergoed zo veel mogelijk te voorkomen, zodat risico's op verstoppingproblemen van het zandfilter worden beperkt.

Ter voorkoming van verstopping van de filterinstallaties wordt veelal toch een filter geplaatst voor de toevoerpomp naar de zandfilters. Zie ook par. 6.3 onder voorbehandeling.

5.2.2.2 ACTIEFSLIBPROCES

Uitgangspunt bij het ontwerp van effluentfilters is een goed werkend actiefslibproces waarin organische stof (CZV, BZV) en nutriënten (N en P) zover mogelijk verwijderd worden en een lage slibvolume-index (SVI) nagestreefd wordt.

Effluentfiltratie verwijdert alleen organische stof dat gerelateerd is aan deeltjes of vlokken. Hierdoor zal het overgrote deel aan organische-stofverwijdering in het hoofdproces moeten plaatsvinden.

Fosfaatbinding wordt in effluentfiltratie bewerkstelligd door coagulatie met metaalzout en vervolgens vlokafvang op of in het filterbed. Er dient rekening te worden gehouden met een maximaal filtratierendement voor fosfaatverwijdering van 80 à 90%.

Om met effluentfiltratie lozingseisen onder 1 mg/l voor P_{totaal} te halen moet in het hoofdproces fosfaat reeds tot ongeveer 2 à 3 mg P_{totaal} /l verwijderd te zijn. Om lagere waarden voor fosfaat (<0,15 mg P_{totaal}/l) te kunnen bereiken met effluentfiltratie dient de afloop van de nabezinktanks maximaal 0,8 mg P_{totaal}/l te bevatten.

Het haalbare rendement van de filtratie is ook afhankelijk van de P-concentratie in de afloop van de nabezinktank. Bij een toevoerconcentratie van 0,4 mg P_{totaal}/l bevat zal het rendement van de filtratiestap 75% zijn bij een filtraatconcentratie van 0,1 mg P_{totaal}/l.

Uit pilotstudies (Horstermeer, Harderwijk, Maasbommel) blijkt dat met name voor het bereiken van ultralage fosfaatconcentraties biologische P-verwijdering in het hoofdproces de voorkeur geniet boven simultane chemische P-verwijdering. Ná chemische fosfaatcoagulatie in het hoofdproces blijkt het rest-fosfaat minder goed coaguleerbaar te zijn in de zandfilters dan het rest-fosfaat na biologische fosfaatverwijdering.

Nitrificerende biofiltratie wordt minder vaak toegepast als nageschakelde techniek. Tegenwoordig is er veelal sprake van denitrificerende biofiltratie. Doordat de effluentfilters geen nitrificerende werking hebben is het van belang dat de ammoniumverwijdering volledig in het hoofdproces plaatsvindt. In de praktijk komt dit erop neer dat in het hoofdproces denitrificatievolume 'opgeofferd' wordt voor nitrificatievolume. Dit resulteert in hogere nitraatgehaltes in het rwzi-effluent. Om met denitrificerende biofilters aan lozingseisen van <10 mg N_{totaal}/l te voldoen, dient de afloop van de nabezinktanks NH₄-N-concentraties beneden 5 mg/l en NO₃-N-concentraties beneden 10 mg/l te bevatten. Met name voor het bereiken van lage stikstofgehaltes (N_{totaal} < 2,2 mg/l) is het van belang dat in het hoofdproces ammonium tot beneden 1 mg/l verwijderd is.

5.2.2.3 NABEZINKTANKS

Om effluentfilters efficiënt te bedrijven zijn fluctuaties aan zwevende stof of slibuitspoeling onwenselijk. Indien effluentfilters worden ontworpen als een 'slot achter de deur'-maatregel kan dit leiden tot een verminderde aandacht voor de werking van nabezinktanks.

Zoals reeds bij het bedrijf van het actiefslibproces aangeven dient de slibvolume-index zo laag mogelijk, binnen de ontwerpnormen, gehouden te worden om de zwevendestofbelasting naar de filters zo laag mogelijk te houden. Een hoge zwevendestofbelasting leidt tot kortere looptijden van de filters en mogelijk tot een toename van de bypasshoeveelheid.

Binnen het ontwerp van filtratie-installaties wordt vaak een maximum van 30 mg DS/l aangehouden voor het zwevendestofgehalte. Een lage slibvolume-index is overigens ook een indicatie voor een goed filtreerbaar effluent.

5.2.2.4 SPOELWATERVERWERKING

De soms aanzienlijke volumestroom aan spoel- en waswater van de filters beïnvloedt het hoofdproces. Qua vuillast en drogestofbelasting is er geen beperking voor verwerking in het hoofdproces. Wel moet worden vastgesteld of deze extra volumestroom via het huidige hoofdproces hydraulisch kan worden verwerkt, met name bij RWA. Zowel vervaltechnische of technologische (belasting nabezinktanks) beperkingen kunnen optreden. In ieder geval dient de spoelwaterstroom niet onbehandeld bij een eventuele bypass van de zandfilters te worden gevoegd.

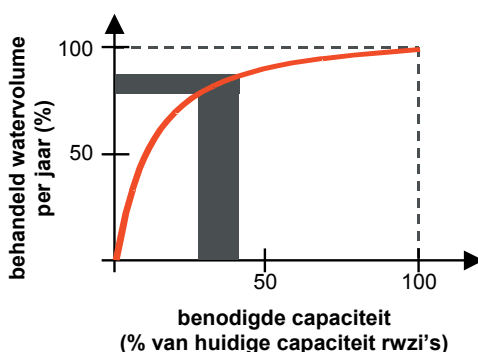
De spoelwaterstroom dient overigens niet per definitie in de hoofdzuivering te worden behandeld. In geval van overbelasting van het hoofdproces kan de spoelwaterstroom apart verwerkt worden. Gezien de relatief grote volumestromen is verwerking in de sliblijn van een rwzi niet echt aannemelijk.

5.2.3 DE MAATGEVENDE VOLUMESTROOM

BEHANDELD VOLUME VERSUS GEÏNSTALLEERDE CAPACITEIT

In Nederland is er veelal sprake van gemengde rioolstelsels. Niet alleen vuil afvalwater maar ook relatief schoon regenwater wordt hierin opgevangen. Ondanks het natte klimaat is het aantal regendagen in Nederland beperkt. Het aantal keren per jaar dat de rwzi op volle hydraulische capaciteit belast wordt, is veelal minder dan 10% van de tijd. Deze RWA-piekgebeurtenissen dragen maar beperkt bij aan het totale volume dat een afvalwaterzuivering jaarlijks behandelt. In afbeelding 10 is aangegeven hoe de relatie ligt tussen de geïnstalleerde capaciteit van een denkbeeldige filtratie-installatie en het behandelde jaarvolume. De afbeelding laat zien dat als de filtratie-installatie 60% kleiner gemaakt zou worden, nog steeds zo'n 80 tot 90% van de afvalwaterstroom behandeld kan worden.

AFBEELDING 10 BEHANDELD VOLUME VERSUS BENODIGDE CAPACITEIT



Voor elke individuele zuivering is een dergelijke optimalisatieberekening voor het ontwerpdebiet te maken. Het vaststellen van een juist ontwerpdebiet is van groot belang om zo laag mogelijke kosten voor de filtratie te verkrijgen. Inschatting van het haalbare verwijderingsrendement voor een bepaalde parameter en vaststelling van de frequentieverdeling van het aanvoerdebiet van een rwzi zijn belangrijke onderdelen van een optimalisatieberekening.

FASTSTELLING VAN HET ONTWERPDEBIET VAN EEN FILTRATIE-INSTALLATIE

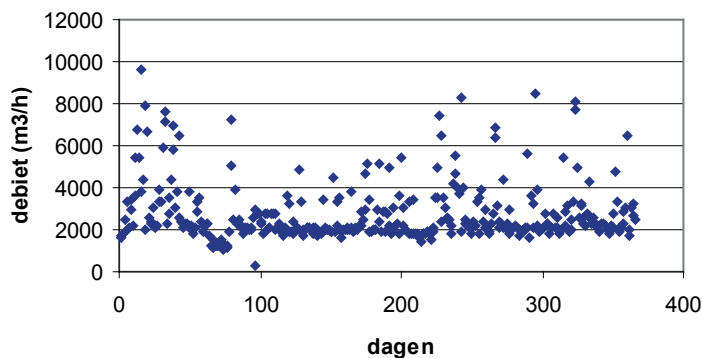
Het ontwerpdebiet bij filtratie van rwzi-effluent wordt idealiter vastgesteld op basis van:

- 1 de frequentieverdeling van de dag- of uurdebieten over een bepaald seizoen of zelfs jaar, uiteraard met het oog op de debietprognose over een reeks van jaren;
- 2 de verwijderingsprestatie over het filter voor een bepaalde parameter (bijvoorbeeld fosfaat of zwevendestof). Inzicht in werkelijk haalbare rendement van de verwijdering van een parameter in de filtratiestap kan op basis van proefonderzoek met de te behandelen afvalwaterstroom worden vastgesteld. Zie par. 5.2.1 uitvoeren proefonderzoek;
- 3 de (te verwachten) kwaliteit van de afloop van de nabezinktanks (de toevoer van de filters);
- 4 de gewenste kwaliteit van het effluent (het mengsel van filtraat en bypass rondom de filters op basis van jaarvolume of seizoensafhankelijk volume);
- 5 en de wijze waarop de kwaliteitsnorm voor het effluent is geformuleerd: als jaar- of seizoensgemiddelde, 24-uurgemiddelde, maximum, etc.

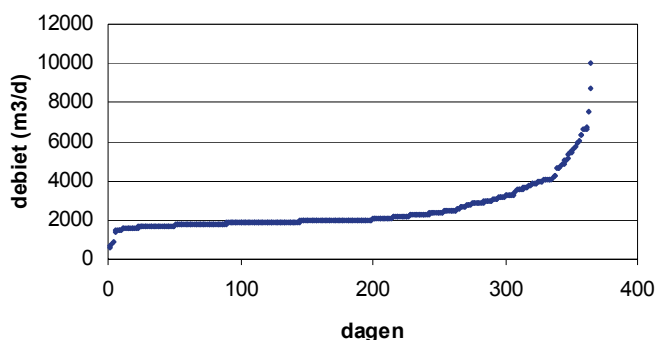
Bij het ontwerp van een effluentfiltratie wordt de maatgevende volumestroom bij voorkeur vastgesteld aan de hand van de frequentieverdeling van de dag- of uurdebieten over een gekozen maatgevende periode, bijvoorbeeld een jaar. Het STOWA rapport “verkenningen zuiveringstechnieken en KRW” geeft aan dat deze maatgevende stroom in de orde van grootte van 1,5 DWA ligt. Per installatie kan dit (fors) verschillen, waarbij ook de aan het filtraat/bypassmengsel te stellen effluenteis van grote invloed is, benevens het aan te houden verwijderingsrendement van bijvoorbeeld fosfaat in de filters. Het hierna volgende voorbeeld verduidelijkt dit met als voorbeeld de verwijdering van Ptotaal.

In Afbeelding 11 is van een rwzi het jaarprofiel weergegeven van het aanvoerdebiet. In Afbeelding 12 zijn op basis van dit profiel de gemeten dagdebieten opeenvolgend van laag naar hoog gerangschikt om een beter beeld te krijgen voor het vaststellen van het ontwerpdebiet.

AFBEELDING 11 VERLOOP VAN HET AANVOERDEBIET GEDURENDE ÉÉN JAAR



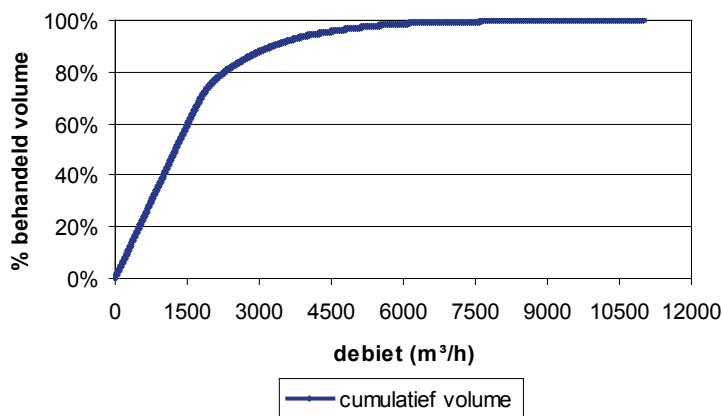
AFBEELDING 12 FREQUENTIEVERDELING VAN HET AANVOERDEBIET



Uit afbeelding 12 kan worden afgeleid wat bij een gegeven debiet het totaal behandeld jaarvolume zal zijn. Vanuit de verticale as wordt namelijk een horizontale lijn getrokken tot aan de curve en wordt gekeken welke dagdebieten wel of niet zullen worden behandeld. De Y-as uit Afbeelding 12 wordt zo getransformeerd tot X-as in afbeelding 13. Uitgaande van deze frequentieverdeling van de dagvolumina kan het cumulatieve jaarvolume worden afgeleid. Op basis hiervan en in samenhang met de vereiste kwaliteitsnorm en de te verwachten concentratie in de afloop van de nabezinktanks kan het te behandelen dagvolume worden vastgesteld.

Eenzelfde aanpak kan worden gevolgd als de uurdebieten van de rwzi van een maatgevende periode voorhanden zijn.

AFBEELDING 13 BEHANDELD VOLUME IN % VAN HET AANVOERDEBIET



VASTSTELLING BYPASSVOLUME

Met onderstaande formule wordt het bypassvolume bepaald dat niet gefiltreerd hoeft te worden om met een vaststaand gemiddelde ingaande concentratie voor de relevante parameter ($C_{\text{toevoer filter}}$, bijvoorbeeld P_{totaal} , N_{totaal} of zwevendestof) en een gewenste gemiddelde concentratie in het effluent (het mengsel van filtraat en bypass) (C_{effluent}) en een (op basis van uitgangspunten of proefonderzoek) vastgestelde concentratie in het filtraat.

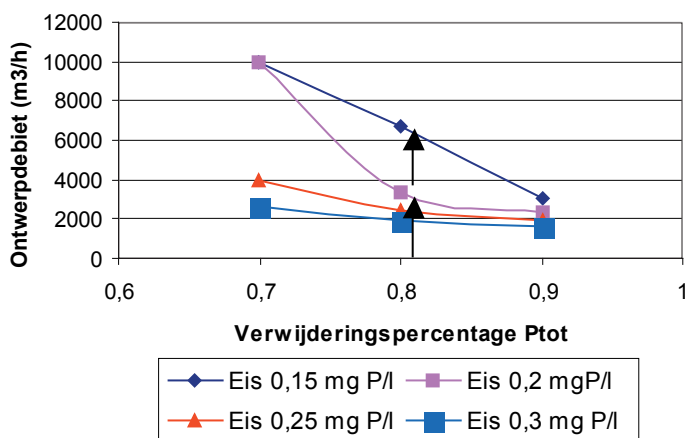
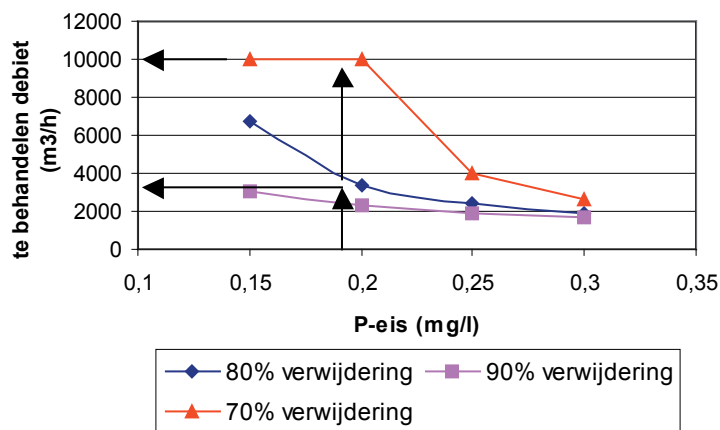
$$Bypass = 100 \times \left[1 - \frac{C_{toevoerfilter} - C_{effluent}}{C_{toevoerfilter} - C_{filtraat}} \right] \%$$

De gevoeligheid van het ontwerpdebiet voor het verwijderingspercentage en de gewenste kwaliteit in het mengsel bypass/filtraat wordt aangetoond in Afbeelding 14. Hier is gerekend met een ingaand P_{totaal} van 0,75 mg/l.

Is bijvoorbeeld de P-eis 0,2 mg, is uit de bovenste afbeelding te zien dat bij een rendement van 80% een filtratiestap met een capaciteit van 3.500 m³/h wordt ontworpen en bij een wat lager rendement (70%) deze capaciteit het drievoudige is. Op een soortgelijke manier wordt de onderste afbeelding gebruikt. Wordt bij een verwijderingspercentage van 80% een P-eis gehanteerd van 0,2 mg/l, heeft de filtratie een doorzet van 3.500 m³/h. Bij een relatief geringe aanscherping van de P-eis tot 0,15 mg/l wordt de capaciteit van de filtratie verdubbeld. De afbeeldingen geven een inzicht in de relatief grote veranderingen in filtratiedebiet bij slechts geringe veranderingen in de uitgangspunten.

Bij deze geschetste aanpak is geen rekening gehouden met het aandeel organisch opgelost P dat niet of moeilijk in een filtratiestap wordt verwijderd, maar eventueel wel meetelt bij vaststelling van de kwaliteitsnorm voor P_{totaal} .

AFBEELDING 14 AFHANKELIJKHEID VAN ONTWERPDEBIET VAN FILTERINSTALLATIE MET VERWIJDERINGSPERCENTAGE EN KWALITEITSEIS IN VOORBEELDBEREKENING



MINIMALE CAPACITEIT VAN DE FILTERS

De bedrijfsvoering is er in het algemeen op gericht dat filterinstallaties ongestoord worden bedreven en dus niet uit bedrijf worden genomen bij lagere toevoerdebieten. Bij continue filters betekent dit dat een minimale aanvoer naar de filterinstallatie gewaarborgd moet worden. Deze minimale aanvoer komt overeen met circa 10% van de ontwerpcapaciteit. Het minimale toevoerdebiet is gerelateerd aan het waswaterdebiet: bij een minimale aanvoer die circa 2 x het waswaterdebiet bedraagt, wordt de drijvende kracht voor de zandwassing altijd in stand gehouden.

Het in stand houden van een minimaal debiet bij neerwaarts doorstroomde discontinu filters is niet noodzakelijk. Bij meerdere filtereenheden kan overwogen worden om de toevoer over minder eenheden te leiden. Bij een lage toevoer worden dan filtereenheden tijdelijk buiten gebruik gesteld.

5.3 DE FILTERKEUZE

5.3.1 FILTRATIETECHNIKEN

Er is een veelheid van uitvoeringsvormen en typen van zandfilters beschikbaar. Dit rapport beschouwt globaal twee uitvoeringsvormen van zandfiltratietechnieken:

- discontinu gespoelde neerwaartse vastbedfiltratie met vaste of variërende bovenwaterstand;
- continu gespoelde opwaartse filtratie zonder bovenwaterstand.

De uitvoeringsvormen, eveneens beschreven in hoofdstuk 2, worden in tabel 15 nog eens samengevat weergegeven met de meest kenmerkende verschillen.

TABEL 15

KENMERKEN EN VERSCHILLEN VAN TWEE UITVOERINGSVORMEN VAN ZANDFILTRATIE

Discontinue vastbedfiltratie
- neerwaarts doorstroomd; - discontinu gespoeld (tegenstrooms met lucht, water, lucht/water); - vaste of variabele bovenwaterstand; - multimedia filterbed (antraciet en kwartszand); - neerwaarts op soortelijk gewicht en korrelgrootte stratificerende korreldiameter en poriëngrootte; - kleinere poriëngrootte dan continue filtratie; - vlokkenfiltratie: - o vlokvorming in bovenwater; - o vlokafvang op én in filterbed (idealiter over hele filterbed); - o optreden van koekfiltratie; - filtratiecyclus tussen 4 en 48 uur; - spoelwaterverbruik 3 -7 % van filtraatproductie.
Continue filtratie
- opwaarts doorstroomd; - continu gespoeld (tegenstrooms met water); - geen bovenwaterstand; - singlemedia filterbed (kwartszand); - opwaarts hydraulisch bepaalde stratificerende korreldiameter en poriëngrootte; - algemeen grotere poriëngrootte dan discontinue filtratie; - vlokingsfiltratie: - o vlokvorming in filterbed; - o vlokafvang in filterbed (idealiter over hele filterbed); - o geen koekfiltratie; - filtratiecyclus continu; - spoelwaterverbruik 5 - 10% van filtraatproductie.

Voor de keuze van een filter voor verdergaande zuivering is het zaak een robuust en logisch ontwerp te kiezen. Leidend bij de keuze is de te verwachten hoge drogestofbelasting bij de filtratie van rwzi-effluent. Een pragmatische keuze valt daarmee op neerwaarts doorstroomde discontinue filtratie of opwaarts doorstroomde continue filtratie.

Om redelijke filtersnelheden te halen, zal het discontinue vastbedfilter veelal uitgevoerd worden als dubbellaagsfilter met een fijnere en grovere zandfractie. Zo wordt een samenhang verkregen tussen een oppervlakte waar koekfiltratie ontstaat waarmee zeer fijne deeltjes kunnen worden verwijderd en een optimaal vuilbergend vermogen, waardoor de looptijd van een filter niet al te zeer wordt verkort.

In het algemeen bestaat er geen principiële procestechnische voorkeur voor continue of discontinue filtratie. Toepassing van continue of discontinue filtratie is een afweging van vereiste effluentkwaliteit, technologie, uitvoering en inpassingsmogelijkheden.

Voor fosfaat- en nitraatverwijdering kunnen zowel de opwaarts doorstroomde continue als neerwaarts doorstroomde discontinue filters worden ingezet.

Voor nitraatverwijdering bestaat een voorkeur voor opwaarts doorstroomde continue filters vanwege het wat grovere bedmateriaal en daarmee de benodigde korte verblijftijd en mogelijke hoge hydraulische belasting. Ook neerwaarts doorstroomde (discontinue) filters kunnen echter in een aangepaste configuratie hiervoor worden ingezet.

Voor fosfaatverwijdering zijn beide types toereikend met globaal dezelfde filtratiesnelheden. Een lichte voorkeur lijkt te bestaan voor dubbellaagsfiltratie in een neerwaarts doorstroomd discontinue filter. Opererend bij een enigszins lagere filtratiesnelheid is dubbellaagsfiltratie in zijn algemeenheid in staat tot een wat hoger verwijderingsrendement voor zwevende stoffen en fosfaat te komen. Uit proefonderzoek (Horstermeer, Harderwijk, Maasbommel) en praktijktoepassingen (Duitsland, Nijmegen, Uithoorn, etc) is gebleken dat zwevende stof en fosfaat met neerwaartse vastbedfiltratie, mede door het optreden van koekfiltratie en in het algemeen een fijner filterbed, verdergaand verwijderd worden dan met opwaarts doorstroomde continue filters.

Door de hogere opvoerhoogte en de luchtbehoefte van de zandtransportpomp gebruikt een continu filter meer energie dan een discontinue vastbedfilter. Beide filtertypen gebruiken globaal dezelfde hoeveelheid chemicaliën. Aangezien de keuze voor de filtratiesnelheid voor beide typen filters in dezelfde grootteorde ligt, verschilt het ruimtebeslag niet significant.

Ook hier geldt dat proefonderzoek en op de gevonden parameters gebaseerde kostencalculaties een meer afgewogen keuze mogelijk maken.

5.3.2 FILTERBED

De eigenschappen van het filtermedium hebben grote invloed op de verwijderingsprestaties en de bedrijfsvoering van een zandfilter. De doelstelling waaraan een filterontwerp moet voldoen is bepalend voor het type filtermateriaal dat gebruikt dient te worden. Praktisch gesproken worden als filtermedia toegepast: zand, hydroanthraciet en actieve kool.

Er is een afhankelijkheid van de toe te passen filterbedhoogte en de fijnheid van het korrelmateriaal: Des te grover het filtermateriaal kan worden gekozen, des te hoger is de filtratiesnelheid en daarmee worden de investeringskosten geminimaliseerd. Een grover filtermateriaal kent echter ook snellere doorslag van de af te vangen stoffen zoals deeltjes en fosfaatprecipitaten.

In tabel 16 wordt een globaal overzicht gegeven van op voorhand toe te passen materialen en bedhoogtes met als doelstelling fosfaat of stikstofnitraat te verwijderen onder Nederlandse condities. Voor uitsluitend denitrificatie kunnen grovere filtermaterialen worden gebruikt en veelal een lagere filterbedhoogte. Het uitvoeren van proefonderzoek kan meer inzicht verschaffen in de samenhang tussen samenstelling bed, bedhoogte, filtratiesnelheid en gewenste filtraatkwaliteit. In de tabel is tevens opgenomen een indicatieve te verwachten bereik van filtratiesnelheden bij filtratie van rwzi-effluent. Bij toepassing van grovere korreldiameters zal de filtratiesnelheid zich in het algemeen meer in het hoger bereik bevinden.

TABEL 16 FILTERBEDPARAMETERS

Type filter	Filtermateriaal	Korrelgrootte (mm)	Bedhoogte (m)	Filtersnelheid (m/h)
Doelstelling: Fosfaatverwijdering				
continu filter	zand	0,75 – 1,25	1,5 – 2,0	10 - 15
discontinuu vastbedfilter “fijn”	antraciet	0,85 – 1,7	1,0 – 1,2	8 – 15
	zand	0,6 – 0,85		
discontinuu vastbedfilter “medium”	antraciet	1,6 – 2,5	1,2 -1,8	10 – 25
	zand	0,75 – 1,25		
Doelstelling: Stikstof(nitraat)verwijdering				
continu filter	zand	1,25 – 1,75	1,5 – 2,0	10 – 15
discontinuu vastbedfilter “medium”	antraciet	1,6 – 2,5	1,0 – 1,2	10 – 25
	zand	0,75 – 1,25		
discontinuu vastbedfilter “grof”	antraciet	2,0 – 4,0	1,2 – 1,5	10 – 25
	zand	1,25 – 2,25		

Nitraat wordt algemeen over de gehele filterbedhoogte verwijderd, terwijl de gevormde fosfaatvlokken variërend over het filterbed afgevangen worden. Voor nitraatverwijdering is daarom in het algemeen een dieper filterbed vereist dan voor fosfaatverwijdering.

Bij zwevendestof- en fosfaatverwijdering dient het filtermedium om fijne vlokken en deeltjes af te kunnen vangen. Voor nitraatverwijdering functioneert het filtermedium ook als dragermateriaal voor denitrificerende biomassa. Om de biomassa te laten hechten is een poreuzer en grover materiaal nodig. Gladde media, zoals granaatzand, zijn dan ook minder geschikt.

Voor het afvangen van fijne deeltjes is een filtermedium bestaande uit korrels met een kleine diameter gewenst. Echter, een filtermedium van dat soort korrels zal sneller vervuilen / verstopen dan een grof medium. Overwogen kan worden de zwevende stof te laten coaguleren en flocculeren zodat grotere deeltjes ontstaan. De grotere deeltjes kunnen worden afgevangen in een filterbedlaag met een grotere diameter. In deze filterbedlaag wordt zo een soort berging gecreëerd voor zwevende stof en wordt voorkomen dat de filterlaag eronder met een kleine korrelgrootte snel vervuult.

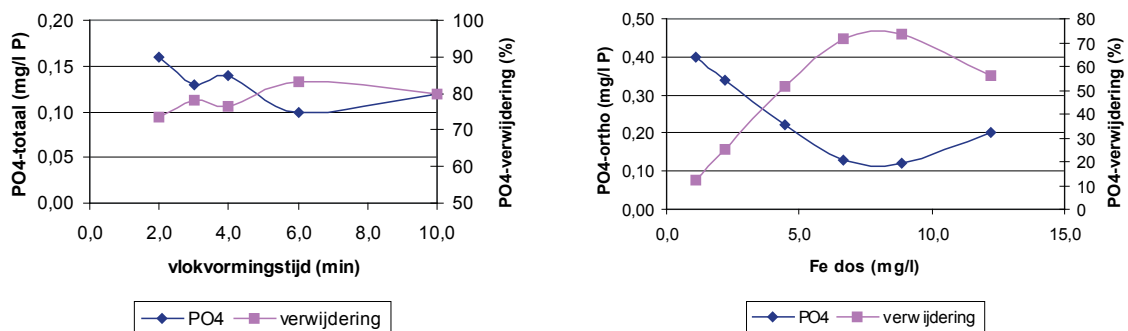
Als de afloop van de nabezinktank (zeer) lage gehalten aan zwevende stof bevat, kan de filterbedlaag met de grovere fractie relatief klein zijn ten opzichte van de totale filterbedlaag.

Als het type filter met filtermedium en korreldiameter is geselecteerd, dienen de eigenschappen van het filtermedium vastgelegd te worden in de specificaties. Hierin worden kenmerken als effectieve korrelgrootte d₁₀, de uniformiteitscoëfficiënt, de 90-procent grootte (ten behoeve van bepaling benodigde terugspoelsnelheid), de specifieke dichtheid, de oplosbaarheid en de hardheid van de verschillende media vastgelegd, alsmede de laaghoogte binnen het filterbed.

5.4 VLOKKINGS/VLOKKENFILTRATIE

Bij filtratie van rwzi-effluent met als doel vergaande P-verwijdering, dient een vlokmiddel te worden toegepast. Zonder vlokmiddel wordt de P_{ortho} niet (deels) gebonden en verslechtert het filtraat in die mate dat een echt lage P_{totaal} waarde niet of nauwelijks haalbaar is. De verwijdering van opgelost fosfaat is enerzijds afhankelijk van de dosering aan vlokmiddel en anderzijds van de vlokvormingstijd en de daarbij ingebrachte mengenergie. Afbeelding 15 geven voor een specifiek effluent een indruk van de veranderingen in het opgeloste P-gehalte (P_{ortho}). Duidelijk valt te zien dat een rendement haalbaar is van circa 70%. Door een optimale vlokvormingstijd toe te passen, neemt dit rendement nog iets toe.

AFBEELDING 15 P-GEHALTE IN FILTRAAT EN P-VERWIJDERINGSRENDEMENT ALS FUNCTIE VAN DE VLOKVORMINGSTIJD EN DE METAALZOUTDOSERING



5.4.1 MAATGEVENDE ZWEVENDESTOF- EN FOSFAATBELASTING FILTERS

DISCONTINUE FILTRATIE

Voor discontinue filtratie wordt een maatgevende (nominale) zwevendestofbelasting van 4 kg DS/m³ filterbed aangehouden voordat weerstandopbouw plaatsvindt. De maatgevende (nominale) fosfaatbelasting bedraagt 0,30 kg P_{ortho} /m³ filterbed per dag.

CONTINUE FILTRATIE

Voor continue filtratie wordt een maatgevende (nominale) zwevendestofbelasting van 5-6 kg DS/m³ filterbed aangehouden voordat weerstandopbouw plaatsvindt. De maatgevende (nominale) fosfaatbelasting bedraagt 0,25 kg P_{ortho} /m³ filterbed per dag.

5.4.2 VLOKMIDDELEN

ACHTERGROND PROCESSEN

Door ijzer(³⁺)- en aluminiumionen toe te dienen kristalliseren fosfaat-zouten uit (precipitatie). Tevens worden door de metaalzoutdosering colloïdale deeltjes gedestabiliseerd, wat leidt tot samengaan van de gedestabiliseerde deeltjes (coagulatie) en tot het vormen van vlokken (floculatie).

De hoeveelheid metaalzout die toegediend moet worden dient proefondervindelijk te worden vastgesteld. Er dient bij nageschakelde zandfiltratie met aanzienlijk hogere Me/P-verhoudingen rekening te worden gehouden dan in het hoofdproces. Zo wordt voor simultane fosfaatverwijdering algemeen met een Me/P-verhouding van 0,5-1,5 mol/mol, betrokken op P-gehalte in het influent, in het actiefslib gedoseerd. Om een fosfaatgehalte tussen 1 en 3 mg/l te behalen met zandfiltratie wordt op de afloop van de nabezinktanks een Me/P-verhouding van tussen 1 en 5 mol/mol gehanteerd, terwijl voor het bereiken van ultra-

lage P-concentraties voor fosfaat Me/P-verhoudingen tussen 3 en 15 mol/mol op P in de afloop van de nabezinktanks noodzakelijk kunnen zijn. Bij de dosering op de afloop van de nabezinktanks is de Me/P-verhouding betrokken op het P-gehalte in de afloop.

Aanbevolen wordt, alvorens filterproeven pilot- of semi-technische schaal uit te voeren, door middel van bekerglasexperimenten onder reproduceerbare omstandigheden inzicht te krijgen in de werking van vlokmiddelen.

Bij de drinkwaterbereiding liggen vloktijden tussen 15 en 30 minuten. De optimale vloktijd bij rwzi-effluent verschilt sterk per effluent. Bij recente proefonderzoeken met rwzi-effluent zijn kortere benodigde vloktijden waargenomen.

Het is van groot belang dat gevormde vlokjes niet meer worden afgebroken door bijvoorbeeld een pompfase, een vernauwing, een hoge snelheid in transportbuis of een hoge turbulentie bij de invoer van een filter. Bij de inloop van een filter dient een rustig stromingsbeeld te worden gecreëerd.

De hydraulische omstandigheden in het bovenwater van een discontinu filter zijn dermate mild dat na vlokafbraak van serieuze vlokvorming, anders dan door flocculente bezinking, nauwelijks sprake is. Een afgebroken vlok groeit in het algemeen niet meer aan!

Toepassing van separate vlokvormingsruimten voor filters is momenteel uitgebreid onderwerp van onderzoek.

TYPE VLOKHULPMIDDELEN

In het algemeen worden primaire hydroliserende vlokmiddelen op ijzer- of aluminiumbasis toegepast. Voorbeelden van ijzer- en aluminiumzouten zijn in tabel 17 weergegeven.

TABEL 17

VAAK GEBRUIKTE METAALZOUTEN

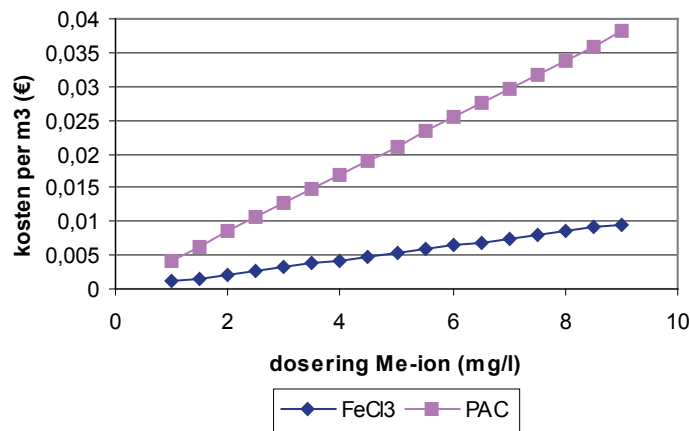
Zout	Molecuulformule
IJzer(III)chloride	FeCl_3
IJzer(III)chloridesulfaat	FeClSO_4
Aluminiumchloride	AlCl_3
Polyaluminiumchloride	$(\text{AlCl}_3)_n (\text{H}_2\text{O})_m$
Aluminiumsulfaat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

De keuze voor aluminium of ijzerzout vindt voornamelijk plaats op basis van de actuele marktprijs. Ook de toegestane lozing van het zout, chloride of sulfaat kan hier een rol in spelen. Voor wat betreft verschil in vlokstabiliteit tussen ijzer- en aluminiumvlokken is er tot op heden weinig praktisch inzicht. Omdat aluminiumvlokken vaak onder enigszins hogere G-condities wordt gevormd, zou theoretisch gezien deze, ook wat kleinere vlok, iets stabielere zijn.

Met betrekking tot de chemicaliënkosten wint ijzerzout het vaak boven aluminiumzout. De kosten voor de infrastructuur van de dosering (opslag, veiligheidsvoorziening, pompen, leidingwerk) zijn gelijk. Afbeelding 16 geeft aan dat bij de marktprijzen anno 2006 de kosten voor ijzer- en aluminiumdosering gelijk zijn bij doseringen van respectievelijk 8 en 2 mg/l-metaalion. Bij gelijke Me/P-doseerverhoudingen betekent dit dat dosering met ijzerzout 1,8 maal goedkoper is dan dosering met aluminiumzout. Uit diverse proefonderzoeken blijkt dat voor het verkrijgen van een gelijke filtraatkwaliteit minder aluminiumzout nodig is. In sommige gevallen bedraagt de hoeveelheid aluminiumzout slechts 50 à 60% van de

benodigde hoeveelheid ijzerzout. In deze gevallen bevinden de chemicaliënkosten zich op een gelijkwaardig niveau.

AFBEELDING 16 **RELATIE KOSTPRIJS EN DOSERING VAN IJZER- EN ALUMINIUMZOUT.**



Andere afwegingscriteria dan de kostprijs en de zoutlast van een vlokmiddel zijn:

- extra slibproductie;
- verontreiniging van vlokmiddelen met zware metalen en mogelijk toxische effecten daarvan;
- mogelijk verminderde slibontwateringseigenschappen van aluminiumslib.

Vanuit technologische oogpunt is echter vast komen te staan, o.a. via proefonderzoek op de rwzi Ede, Hoek van Holland, Horstermeer en Harderwijk, dat aluminiumzouten (en met name poly-aluminiumchloride) betere vlokvorming bewerkstelligt. P-gehaltes in filtraten kunnen bij toepassing van aluminiumhoudende vlokmiddelen duidelijk lager worden. Dit speelt met name bij het bereiken van ultra lage P-gehaltes ($< 0,15 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$).

Een apart aandachtspunt bij de dosering van metaalzout is het optimale pH-gebied van het metaal voor vlokking. Aluminium werkt theoretisch beter in een laag pH-gebied (tussen pH 5,3 en 6,8) terwijl ijzerzout in een hoger pH-gebied actief is (pH tussen 7,0 en 8,3). De praktische en theoretische optimale pH-waarden kunnen echter verschillen.

Zoals aangeven zal bij vergaande stikstof-totaalverwijdering de nageschakelde techniek gericht zijn op nitraatverwijdering en het hoofdproces meer op nitrificatie. Hierdoor daalt de pH van de afloop van de nabezinktank (indicatief: van pH ca. 7 naar ongeveer pH 6,5). De pH van de afloop van de nabezinktank is in de praktijk een gegeven en zal niet voorafgaande aan het filtratieproces worden gecorrigeerd. Dit maakt aluminium een geschikt vlokmiddel dan ijzerzout.

5.4.3 MENGING EN FLOCCULATIE

Voor precipitatie en coagulatie is dosering van chemicaliën nodig, gevolgd door een mengzone. Het mengen kan in een geroerde tank gebeuren of door hoge turbulentie in de te behandelen volumestroom te creëren, bijvoorbeeld door een statische menger. Ook dosering in de overstort van een verdeelwerk kan voor voldoende turbulentie zorgen.

Voor de flocculatie is een zone nodig met minder turbulentie dan voor de precipitatie- en coagulatietzone. Bij een te hoge turbulentie in de flocculatietzone vallen gevormde vlokken weer uit elkaar, of ze krijgen niet eens de kans om gevormd te worden. De ontwerpparameters voor coagulatie en flocculatie worden bepaald met de gemiddelde snelheidsgradiënt (G),

de verblijftijd en de hoeveelheid toegevoegd mengvermogen. Voor geroerde tanks is de relatie voor G hieronder weergegeven. Ook de verblijftijd is weergegeven.

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \cdot \mu}} \quad \tau = \frac{V}{Q}$$

waarin:

G	gemiddelde snelheidsgradiënt	$[s^{-1}]$
P	toegevoegd mengvermogen	$[W]$
V	volume	$[m^3]$
μ	dynamische viscositeit	$[Ns/m^2]$
τ	verblijftijd	$[s]$
Q	volumedebiet	$[m^3/s]$

Voor coagulatie is een zone nodig met een $G > 1.000 \text{ s}^{-1}$ en een verblijftijd van 10 – 60 s. Onderzoek op praktijkschaal onder andere bij de rwzi's Hoek van Holland, Utrecht en Horstermeer naar coagulatie van fosfaat bij rwzi-effluent heeft uitgewezen dat voor het bereiken van voldoende vlokvorming bij lage P-gehaltes een G-waarde van minimaal 2.200 s^{-1} vereist is. Voor flocculatie is een zone nodig met een G-waarde in de orde grootte van 10 – 200 s^{-1} en een verblijftijd van 1 – 15 minuten.

Het coagulatie- en flocculatieproces is temperatuursafhankelijk. Bij lage temperaturen zijn hogere doseringen, een hogere mengenergie en/of een hogere meng- en flocculatietijd noodzakelijk.

Bij vlokkenfiltratie wordt vooraf aan het filtratieproces een vlokkingruimte doorstroomd. Dit kan een separate vlokkingstank zijn of de bovenwaterstand boven het filterbed. Tevoren wordt het vlokmiddel gedoseerd en (mechanisch of statisch) gemengd voor een optimale vlokvorming.

Uit oogpunt van duurzaamheid (energie) en onderhoud verdient een statische menger de voorkeur. Deze wordt uitgelegd op de maximale volumestroom. Bij een lagere volumestroom is de energie-inbreng minder, maar daarentegen de filtratiesnelheid over het filter lager, waardoor een goed rendement blijft bestaan.

In het bovenwater van een discontinu filter is sprake van een geringe turbulentie. Dit betekent dat met het oog op fosfaatverwijdering naast vlokkenfiltratie (vlokvorming in bovenwater en afvang op en in het filter) ook vlokkingfiltratie in een dergelijk filter kan optreden. Dit houdt in dat de vorming van (kleine) fosfaatvlokjes (de pinvlok) ook in het filterbed plaatsvindt, tezamen met het afzetten van deze vlokjes op het filtermateriaal. Deze diepbedfiltratie leidt ertoe dat het filterbed maximaal wordt benut voor afvang van gevormde zwevende stof.

Continue filtratie kent alleen een vlokkingfiltratiesysteem, het vlokmiddel wordt vlak voordat de volumestroom het filter inkomt, gedoseerd. Een eerder vlokformingsproces leidt tot vlokafbraak bij het geperforeerde inlaatsysteem in het filter.

Toepassing van separate vlokformingtanks voorafgaande aan discontinue, maar ook continue filtratie is momenteel nog onderwerp van onderzoek en leidt mogelijk tot verdere optimalisaties binnen de vergaande behandeling van rwzi-effluent.

5.4.4 NEVENEFFECTEN METAALZOUTDOSERING

Aangezien het metaalzout aan het eind van het zuiveringsproces wordt toegevoegd, dienen de doseerproducten niet verontreinigd te zijn. Metaalzouten uit restafvalstromen met zware metalen, microverontreinigingen of andere verontreinigingen zijn bij zandfiltratie als nageschakelde techniek geen opties meer. De zuiverheid van het metaalzout is een toenevend aandachtspunt, met name met het oog op de rol van prioritaire stoffen binnen de EU Kaderrichtlijn Water.

Bij de keuze van het vlokmiddel moeten ook aspecten als verzouting en toxische effecten meegenomen worden. Het toxisch effect heeft betrekking op de zuiverheid van het toegepaste metaalzout en op het mogelijke effect van het metaalion op het aquatisch milieu (aluminium).

De extra slibproductie ligt bij gebruik van aluminiumzout ca. 25% lager dan bij gebruik van ijzerzout. Uitgaande van 1 mg P/l, een Me/P-verhouding van 3 mol/mol en het ontstaan van FePO_4 ($M=151$) en ijzerhydroxide $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ($M=107$) enerzijds, en AlPO_4 ($M=121$) en aluminiumhydroxide $\text{Al}(\text{OH})_3$ ($M=77$) anderzijds, bedraagt de extra slibproductie voor ijzerslib 11,8 g DS per m^3 effluent. Voor aluminium is dit 8,9 g DS/ m^3 . Ten opzichte van de slibproductie uit de biologie blijft dit nog steeds een geringe hoeveelheid.

Diverse vlokmiddelen leveren een bijdrage aan de hoeveelheid zware metalen in slib. De procentuele hoeveelheid van het anorganisch slib ten opzichte van het biologisch zuiveringsslib is echter marginaal. Meer relevant is dat resten van zware metalen afkomstig van het vlokmiddel ook in het effluent kunnen terechtkomen. De samenstelling van vlokmiddelen moet daarom worden getoetst aan het risico voor een verslechterde effluentkwaliteit.

De ontwateringseigenschappen van anorganische (hydroxide)slibsoorten zijn slecht tot zeer slecht. Vanuit de drinkwaterbereiding is op basis van onderzoek vastgesteld dat in het algemeen een aluminiumzout een slechter ontwaterbaar slib oplevert dan een ijzerzout. Achtergrond hiervan is dat aluminiumslib meer hydraatwater vasthoudt als gevolg van een betere invangings van organische stof. Tot nu toe geen aanwijzingen dat bij gelijktijdige verwerking van zuiveringsslib, met een gering aandeel hydroxideslib vanuit de zandfiltratie, de ontwatering verslechtert.

5.5 BIOLOGISCHE FILTRATIE

Biologische filtratie heeft tot doel om middels een bacterie-dragercultuur (biomassa) op het filtermedium organische stof of nutriënten biologisch af te breken. Bij de hedendaagse toepassing van zandfiltratie betreft het voornamelijk denitrificerende filters waarbij nitraat omgezet wordt tot stikstofgas. Hierdoor is het van belang dat de ammoniumverwijdering volledig in het hoofdproces plaatsvindt. Nitrificerende filters worden veel minder vaak toegepast als nageschakelde techniek.

5.5.1 MAATGEVENDE NITRAATBELASTING

CONTINUE FILTRATIE

Bij continue filtratie kan als maatgevende (nominale) zwevendestofbelasting circa 5-6 kg DS/ m^3 filterbed worden gehanteerd, voordat weerstandopbouw plaatsvindt. Als maatgevende (nominale) nitraatbelasting kan 2,0 – 3,0 kg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{m}^3$ filterbed per dag worden aangehouden. Deze nitraatbelasting bij nageschakelde filtratie voor vergaande zuivering

is in feite hydraulisch bepaald. Bij hogere nitraatconcentraties in de toevoer naar het filter ($> 10 \text{ mg/l}$) zijn nitraatbelastingen tot $4,5 \text{ kg NO}_3\text{-N/m}^3$ haalbaar. Bij deze genoemde belastingen is de koolstofbron niet limiterend. De maatgevende (nominale) verblijftijd ligt in de orde van 10 tot 20 minuten.

DISCONTINUE FILTRATIE

De maatgevende (nominale) zwevendestofbelasting bij discontinue biofiltratie bedraagt circa 4 kg DS/m^3 filterbed voordat weerstandopbouw plaatsvindt. Als maatgevende (nominale) nitraatbelasting wordt ook $1,5 - 2,0 \text{ kg NO}_3\text{-N/m}^3$ filterbed per dag aangehouden. Ook hier is een hogere nitraatbelasting toelaatbaar bij hogere ingaande nitraatconcentraties.

De maatgevende verblijftijd van het rwzi-effluent in het zandfilter ligt ook in de orde van 10 tot 20 minuten.

5.5.2 KOOLSTOFBRON

Om in een nageschakeld zandfilter rwzi-effluent te kunnen denitrificeren is een koolstofbron nodig om een voldoende hoge C/N-verhouding te creëren. De hoeveelheid koolstofbron die benodigd is om het benodigde stikstofverwijderingsrendement te halen is afhankelijk van het type rwzi-effluent en het type koolstofbron. Voor nitraatverwijdering ligt de benodigde dosering in het bereik van $2,5 - 5,5 \text{ kg methanol / kg N-Nitraat}$. Op CZV basis ($1,9 \text{ kg CZV/kg methanol}$) komt dit neer op $4,8 - 10,5 \text{ kg CZV/kg N-Nitraat}$. Daarnaast zal ook aanwezige zuurstof in de afloop van de nabezinktanks koolstofbron verbruiken ($2 - 2,4 \text{ kg methanol/ kg O}_2$).

Randvoorwaarden aan de koolstofbron zijn:

- makkelijk en snel biologisch afbreekbaar;
- prijs (productprijs en kosten voor additionele voorzieningen);
- makkelijk te verpompen (niet te viskeus);
- ongevaarlijk (beperkte explosiegevaar, toxiciteit);
- zuiver (geen andere vervuilingen bevattend).

Een standaard toegepaste koolstofbron is methanol, maar vanwege de vluchtigheid en de daaraan verbonden explosiebeschermende maatregelen en voorzieningen worden momenteel andere bronnen zoals azijnzuur of biodieselproducten verkend en toegepast. In tabel 18 zijn verschillende koolstofbronnen met enkele producteigenschappen vermeld. Deze producten zijn overwegend duurder dan methanol, maar vereisen in sommige gevallen minder bouwkundige explosiebeschermende maatregelen. Een aantal goedkopere biodieselproducten bevat overigens ook een aandeel methanol waardoor alsnog explosiebeschermende maatregelen noodzakelijk zijn.

TABEL 18 VERSCHILLENDE TYPEN KOOLSTOFBRON

Koolstofbron	Dichtheid (kg/m ³)	pH (-)	CZV inhoud (kg CZV/kg product)	CZV gehalte (kg CZV/m ³)
Acetol 20	1090	neutraal	0,200	218
Acetol 25	1060	ca. 2	0,300	318
Acetol 50	1100	ca. 2	0,500	550
Acetol 80	1100	ca. 4	0,790	869
Acetol 100	800	neutraal	1,000	800
Azijnzuur 70%	1060	4	0,747	791
Azijnzuur 80%	1100	4	0,853	939
Calciumformiaat	1100		0,025	27
Carbo CT*	1250	<1	0,456	570
Carbo M70	1300	neutraal	0,769	1000
Carbo MT	1300	1	0,615	800
Lactulose	1150	onbekend	0,170	196
Methanol 60%	910	neutraal	0,900	819
Methanol 100%	800	neutraal	1,500	1200
Mierenzuur 85%	1100	<4	0,296	325
Natriumformiaat	1100	onbekend	0,024	26

* bevat 1% fosfaat

In de toevoerstroom naar de zandfilters wordt de koolstofbron gedoseerd. In de leiding is normaal gesproken voldoende turbulentie aanwezig om tot homogene menging van de koolstofbron met de volumestroom te komen. Mocht de koolstofbron zeer viskeus zijn dan is wellicht een statische menger nodig. De dosering wordt afgestemd op de behoefte aan koolstofbron op basis van de gemeten concentraties zuurstof en nitraat in de toevoerstroom (zie ook regelaspecten hoofdstuk 6).

5.5.3 NEVENEFFECTEN KOOLSTOFBRON

Aangezien de koolstofbron aan het eind van het zuiveringsproces wordt toegevoegd, dienen de producten niet verontreinigd te zijn. koolstofbronnen uit restafvalstromen waarin zich zware metalen, langzaam of niet-afbreekbare organische stof (CZV of micro-verontreiniging) bevinden zijn geen opties. De zuiverheid van de koolstofbron is, evenals bij metaalzouten, een toenemend aandachtspunt, met name met het oog op de prioritaire stoffen van de EU Kaderrichtlijn Water.

Sommige koolstofproducten bevatten een beperkte hoeveelheid fosfaat. Dosering van deze producten kan een effectieve fosfaatverwijdering tot lage gehalten belemmeren, en kan zelfs tot verhoging van het fosfaatgehalte leiden.

Door (over)dosering van koolstofbron kan het CZV-gehalte van het effluent toenemen. Om overdosering te voorkomen wordt een nitraatgestuurde koolstofbrondosering aanbevolen (zie regelaspecten hoofdstuk 6).

Wanneer periodiek geen aanvoer vanuit de afloop van de nabezinktanks plaatsvindt zal recirculatie in principe voor voldoende voedingstoffen voor de biomassa in de biologische filters zorgen. Bij langdurige recirculatie kunnen de voedingstoffen een beperkende factor worden voor het instandhouden van biomassa. Een kleine voedingstroom met nutriënten en organische koolstof aan de recirculatie kan de biomassa in de filters in goede 'conditie' houden.

Het afschakelen van biologische filters is altijd de laatste oplossing. Indien toch voor afschakelen wordt gekozen, dienen de filters te worden schoongespoeld.

Bij biologische filtratie ontstaat naast de invanging van zwevende stof uit de afloop van de nabezinktank en het ontstaan van anorganisch slib bij een gelijktijdige metaalzoutdosering, ook extra biologisch slib als gevolg van de omzetting van nitraat (en zuurstof). Deze biologische slibproductie is gezien de efficiënte omzetting met een koolstofbron relatief laag ten opzichte van de slibproductie in het hoofdproces. Voor methanol ligt de extra biologische slibproductie in de orde grootte van 0,1 – 0,25 kg DS/kg methanol gedoseerd. Bij andere, minder efficiënte koolstofbronnen ligt deze yield hoger.

5.6 SPOELEN VAN FILTERS

5.6.1 ALGEMEEN

Spoelen van discontinue vastbedfilters betreft in feite uitsluitend het goed met water en lucht spoelen van het filterbed. Over terugspoelen van vastbedfilters bestaan een drietal principe-ideeën, te weten, terugspoelen met:

- alleen water;
- eerst lucht om het filterbed te “breken” en dan water;
- water als voorspoeling, vervolgens alleen lucht als schurende stap, water als naspoeling.

Een andere optie is:

- gelijktijdige lucht- en (kleine) waterspoeling binnen een spoelcyclus.

Het alleen spoelen met water blijkt een onomkeerbare filterbedvervuiling op de lange termijn te geven, zodat de opties lucht-water en water-lucht-water veelal worden toegepast. De lucht-water spoeloptie heeft als risico dat door het opspoelen en breken van het filterbed met lucht, het afgevangen vuil in de toplaag van het filter door het hele filterbed wordt gemengd en de filterbodem vervuult. Men spreekt wel van ‘mudballs’ of verkleefd filterbedmateriaal. Het naar de diepte gevoerd vuil moet daarna weer worden weggespoeld.

De water-lucht-water spoeloptie verwijdert eerst de bulk van de afgevangen stof en zorgt daarna met een luchtspoeling voor het losmaken van aan het filtermedium hechtend vuil. Dit laatste deel wordt dan door een naspoeling uitgespoeld. Na de luchtspoeling dient een rusttijd in acht te worden genomen om de in het filterbed aanwezige lucht, eventueel in combinatie met mechanische pulsen, van het bed (jutteren) te verwijderen alvorens na te spoelen. Elk onderdeel van de spoelcyclus duurt 3-8 minuten en wordt in de praktijk geoptimaliseerd.

De laatste optie, een gelijktijdige lucht- en (kleine) waterspoeling binnen een spoelcyclus, wordt in de drinkwaterbereiding veel gebruikt, maar heeft als nadeel dat verlies van filterbedmateriaal optreedt. Dit blijkt soms kosteninefficiënt te zijn.

Continue filtratie kent een inwendig continu spoelsysteem. Een beschrijving daarvan is gegeven in par. 2.3 ‘typen bedfiltratie’.

Het spoelwaterverlies ligt bij continue filtratie doorgaans tussen de 5 en 10% van het gefiltreerde water tegen 3-8% bij discontinue neerwaartse vastbedfiltratie.

5.6.2 INVLOED SPOELWATER OP HET ONTWERP

Zoals aangegeven heeft terugvoer van spoelwater invloed op het hoofdproces. Met name de hydraulische belasting kan in een volledig belast hoofdproces een beperkende factor zijn. Het spoelwater kan op verschillende locaties in het hoofdproces worden ingebracht. Diverse overwegingen spelen daarbij een rol (zie par. 2.5.6). Verwerking in de sliblijn is een mogelijk alternatief.

Bij het ontwerp van een zandfilterinstallatie dient men aangaande het spoelwater met het volgende rekening te houden:

- Gezien de kwaliteit van het spoelwater kan dit water bij maximale hydraulische belasting van het hoofdproces niet zomaar gebypassed worden.
- Na terugvoer in het hoofdproces zal de hoeveelheid spoelwater uiteindelijk opnieuw door de filterinstallatie worden behandeld. Een filterinstallatie dient te worden uitgelegd op de ontwerpstroom plus de spoelwaterstroom. Bij een vastgesteld spoelwaterverlies van bijvoorbeeld 5%, dient een filterinstallatie 5% groter te worden uitgevoerd.
- Tijdens spoelen van discontinu filters is minimaal één filter buiten bedrijf. De overige filters worden dan tijdelijk hoger belast. Uiteraard speelt dan een kritische situatie bij het ontwerpdebiet. Indien het aantal filtereenheden toe neemt is de spoelsituatie minder kritisch.
- Van belang is dat rekening gehouden wordt met de momentane spoelwaterdebieten. De grootte van de vuilspoelwaterbuffer in relatie tot het debiet van vuilspoelwater naar het hoofdproces speelt hierin een rol.
- Bij risico van uitspoeling van filtermateriaal dient rekening te worden gehouden met de locatie van terugvoer (voor zandvang) of de inrichting van de spoelwaterbuffer.

Als aandachtspunt wordt genoemd de terugvoer van de in het filter afgevangen zwevendestof en colloïdaal materiaal die met het spoelwater naar het hoofdproces worden teruggevoerd. Deze zogenoemde 'fines' zouden de natuurlijke (bio)flocculatie van actief-slib verstoren en de bezinkeigenschappen in de nabezinktanks negatief beïnvloeden. Deze mogelijke bezwaren zijn echter nooit wetenschappelijk en praktischmatig aangetoond.

6

UITVOERINGSTECHNISCHE ASPECTEN EN KOSTEN

6.1 ALGEMEEN

Een zandfilterinstallatie bij een rwzi omvat doorgaans de volgende hoofdonderdelen:

- toevoergemaal met aansluiting op bestaande effluentleiding vanaf de nabezinktanks;
- zandfilterinstallatie;
- vlokmiddelopslag en -doseerinstallatie;
- koolstofbronopslag en -doseerinstallatie;
- afvoer van het filtraat via de effluentlozing van de rwzi;
- opvang en afvoer van vuil spoelwater;
- elektrotechnische installatie;
- besturingsinstallatie (met het bestaande BBS);
- bedrijfsgebouw met onder andere schakelruimte en persluchtvoorziening;
- diversen (bijv. verhardingen, hijsvoorzieningen, utilities);
- aanpassingen aan bestaande rwzi voor inpassing van de filterinstallaties.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op enkele uitvoeringstechnische aspecten van filterinstallaties.

6.2 MONITOR- EN REGELASPECTEN

6.2.1 MONITORING PARAMETERS

De volgende parameters kunnen continu worden gemeten:

Meetparameter	Doel van de meting
• niveau meting pompput	regeling toevoerdebiet
• debiet meting toevoer	bepaling hydraulische belasting, koolstofbrondosering
• NO _x -N meting toevoer	instelling koolstofbrondosering
• PO ₄ -P meting toevoer	instelling vlokmiddeldoering
• zuurstof meting toevoer	instelling koolstofbrondosering
• debiet meting koolstofbron	controle koolstofbrondosering
• debiet meting vlokmiddel	controle vlokmiddel
• NO _x -N meting filtraat	controle nitraatverwijdering
• PO ₄ -P meting filtraat	controle fosfaatverwijdering
• troebelheidsmeting filtraat	controle filtratieproces
• standmelding toevoer per straat	bepaling actieve filterbedden en filtreeroppervlak
• zandcirculatiesnelheid*	controle zandsnelheid/ gelijkmatige verdeling over zandsnelheid over filteroppervlak
• meting filterbedweerstand*	regeling zandsnelheid / bepaling spoelcyclus
• meting watertemperatuur*	berekening genormaliseerde filterbedweerstand (correctie viscositeit)

* enkel bij continue filtratie

Bovengenoemde parameters kunnen via een on-line meting continu worden bepaald. De on-line zandcirculatiesnelheidsmeting bij continu filtratie is vaak onbetrouwbaar gebleken en wordt nu veelal via handmatige metingen, meestal op de vier kwadranten van het filterbed bepaald.

6.2.2 FILTERREGELING

Een veelheid aan filterregelingen is bekend. Vanuit de oorspronkelijk mechanische regelingen via vlotters, zijn elektronische filterregelingen ontstaan. Onderscheiden worden de regelingen met:

- vaste filtratiesnelheid en vaste bovenwaterstand;
- variabele filtratiesnelheid en vaste bovenwaterstand;
- vaste filtratiesnelheid en variabele (oplopende) bovenwaterstand;
- variabele filtratiesnelheid en variabele (oplopende) bovenwaterstand.

Voor elke regeling geldt een veelheid aan argumenten. Een vaste bovenwaterstand wordt vaak gekozen in drinkwaterfilters omdat daar die bovenwaterstand kritisch kan zijn met betrekking tot de verwijdering van oxideerbare stoffen. De contacttijd speelt hierbij een rol. Dat is bij effluent niet het geval.

Voor effluentfiltratie is van belang een systeem en regeling te kiezen die zo weinig mogelijk vervuilinggevoelig is en waar niet ieder filter continu behoeft te worden bewaakt op effluentkwaliteit. Dit is het geval bij een vaste filtersnelheid en een oplopende bovenwaterstand.

6.2.3 REGELING TOEVOERDEBIET EN RECIRCULATIE

Voor de filterwerking is het gunstig als het filter continu in bedrijf is of gelijkmatig wordt belast. Bij de opzet van de toevoerpompinstallatie en de debietregeling zal aan de volgende aspecten aandacht moeten worden besteed:

- aanpassing van toevoercapaciteit aan variaties in het effluentdebiet, in relatie tot niveaumeting in de pompput;
- overstort van onbehandeld effluent naar het lozingspunt bij een toevoer hoger dan filtercapaciteit;
- terugvoer van filtraat om filtervoeding in stand te houden bij aanvoer lager dan minimale toevoercapaciteit (minimale filterbelasting);
- beperking van schoksgewijze belasting van de filters bij aanvoerfluctuaties door instelbare limiet op de snelheid waarmee het pompdebiet mag worden opgevoerd;
- het in de wachtstand zetten van filtereenheden bij een laag toevoerdebiet om een sterke toename van de hydraulische belasting van de filters bij een plotselinge toename van het toevoerdebiet (RWA) uit te vlakken. Hiermee wordt het losschieten van ingevangen vuil mogelijk mee voorkomen.

6.2.4 REGELING METAALZOUTDOSERING P-VERWIJDERING

Het doel van de regeling van de metaalzoutdosering is:

- het mogelijk maken van een hoog fosfaatwijderingrendement door voldoende metaalzoutdosering;
- het voorkómen van een overdosering, die leidt tot ongewenste verzouting en ongewenst hoog verbruik van metaalzout en negatieve beïnvloeding van het verwijderingsrendement.

Voor een adequate regeling van de metaalzoutdosering zijn de volgende continu gemeten parameters vereist:

- toevoerdebiet;
- fosfaat in toevoer;
- debiet metaalzout.

Eventueel kan ook het fosfaat in het filtraat continu worden gemeten. Indien de fosfaatconcentratie in de toevoer van het filter constant is, kan overwogen worden om de on-line meting van het fosfaat achterwege te laten. Een regeling op basis van debiet volstaat dan.

Binnen het regelconcept dienen de volgende parameters handinstelbaar te zijn:

- concentratie aan metaalzout (eenheid w % of kg/liter);
- doseerverhouding (Me/P-verhouding: mol Me / mol P).

Op basis van berekening van de vrachten aan fosfaat wordt een te doseren zuivere metaalzoutvracht (kg/uur) berekend, waarna het doseerdebiet wordt berekend en ingesteld als een setpointwaarde voor de metaalzoutdoseerpomp. Op basis van een fosfaatmeting in het filtraat kan de Me/P-verhouding en daarmee de setpointwaarde van de doseerpomp automatisch worden bijgesteld.

6.2.5 REGELING KOOLSTOFBRONDOSERING

Het doel van de regeling van de koolstofbrondosering is:

- het mogelijk maken van een hoog denitrificatierendement door voldoende koolstofbrondosering;
- het voorkómen van een overdosering, die leidt tot onacceptabele lozing van koolstofbron en een ongewenst hoog gebruik van koolstofbron

Voor een adequate regeling van de koolstofbrondosering zijn de volgende continue gemeten parameters vereist:

- toevoerdebiet;
- nitraat/nitriet in toevoer;
- zuurstof in toevoer;
- debiet koolstofbron.

Binnen het regelconcept dienen de volgende parameters handinstelbaar te zijn:

- concentratie aan koolstofbron (eenheid w % of kg/liter);
- doseerverhoudingen (eenheden g koolstofbron / g NO_x-N en g koolstofbron / g O₂).

Op basis van berekening van de vrachten aan NO_x-N en zuurstof wordt een te doseren zuivere koolstofbronvracht (kg/uur) berekend, waarna het doseerdebiet wordt berekend en ingesteld als een setpointwaarde voor de koolstofbrondoseerpomp.

6.2.6 REGELING ZANDCIRCULATIESNELHEID EN SPOELLUCHTDEBIET (CONTINU FILTRATIE)

De regeling van de zandcirculatiesnelheid en het spoelluchtdebiet zijn van belang bij continu filtratie en meer specifiek in combinatie met biologische filtratie. Bij biologische filtratie wordt gestreefd naar een continue optimale filterwerking en in een optimale biomassaopbouw. Dit vindt mede plaats door de juiste instelling van de zandcirculatiesnelheid. Een filter functioneert optimaal als in het filterbed een bepaalde benodigde hoeveelheid biomassa aanwezig is, als resultante van aangroei en zandwassing. Een zekere mate van

biomassa-ophoping bevordert het mechanische filtratieproces en de biologische omzetting. De hoeveelheid biomassa, die in een continu filter gehandhaafd wordt, wordt beïnvloed door aanpassing van de zandcirculatiesnelheid.

In de filterregeling wordt continu een gecontroleerde hoeveelheid biomassa in het filterbed vastgehouden. De momentane hoeveelheid aanwezige biomassa kan indirect bepaald worden aan de hand van de filterbedweerstand. Door continue meting van deze weerstand kan de meetwaarde worden vergeleken met de gewenste waarde en zonodig aangepast worden door een regeling van het toevoerdebiet van de spoellucht.

Voor een adequate regeling zijn de volgende signalen noodzakelijk:

- een drukmeting in de gezamenlijke toevoerleiding naar de filters;
- een debietmeting in de gezamenlijke toevoerleiding naar de filters.

De regeling van het luchtdebiet geschiedt op basis van de biomassa- c.q. drogestofophoping in het filter, die wordt afgeleid uit de genormaliseerde filterweerstand. Deze wordt berekend uit de gemeten filter-bedweerstand, het actuele debiet en de viscositeit (afgeleid van de wassertemperatuur). Het luchtdebiet wordt verhoogd, c.q. verlaagd als de genormaliseerde filterweerstand hoger, respectievelijk lager is dan de ingestelde streefwaarde.

Via een regeling van het waswaterdebiet kan de snelheid in de zandwasser worden beïnvloed. Als de snelheid in de zandwasser te laag is, zal teveel organische stof in het filter worden teruggevoerd.

6.3 CIVIELTECHNISCHE EN WERKTUIGBOUWKUNDIGE AANDACHTSPUNTEN

De dimensionering van de civieltechnische en werktuigbouwkundige voorzieningen zijn bepaald op basis van het ontwerpdebiet, ontwerptechnologische uitgangspunten als de filtratiesnelheid en technische uitgangspunten van de filterleverancier. Enkele civieltechnische en werktuigbouwkundige aandachtspunten specifiek voor filterinstallaties zijn hierna beschreven.

UITVOERING FILTERS: BETON OF STAAL

Bij toepassing van discontinue (vastbed)filtratie kunnen grotere betonnen filters worden toegepast met een oppervlak tot 100-150 m². Praktisch gezien liggen oppervlaktes maximaal tussen de 50 en 100 m² per betonnen filter voor de grote volumestromen. Stalen filters hebben een oppervlak van maximaal circa 10 m² voor continu filtratie tot 20 m² voor discontinue (vastbed)filtratie. Er is geen technologische voorkeur voor bouwen van filters in beton of staal. In het algemeen kiest men ervoor om bij grotere debieten (>500 m³/h) in beton te ontwerpen en bij kleinere debieten in staal.

AANTAL FILTEREENHEDEN

De maximale afmeting per type filter (beton of staal) en het benodigd filteroppervlak bepaalt in principe het aantal filtereenheden. Bij het kiezen van het aantal filtereenheden kan ook naar de toekomst worden gekeken. Indien de filtratiestap in de toekomst zal worden gecombineerd met de verwijdering van andere componenten (bijvoorbeeld gecombineerde nitraat- en fosfaatverwijdering), waarbij de filters met een gewijzigde filtratiesnelheid zullen worden bedreven, kan een optimum worden gevonden in het te realiseren filteroppervlak en het aantal eenheden in de eerste fase. Deze afstemming tussen het aantal filtereenheden en het op-

pervlak per filtereenheid kan ook plaatsvinden wanneer de eerste filtratiestap in de toekomst gevolgd wordt door een tweede filtratie-installatie voor de verwijdering van andere componenten (bijvoorbeeld nutriëntenverwijdering in filters gevolgd door actieve koolfiltratie). Bij een infrastructuur waarbij de filtereenheden in twee evenwijdige rijen zijn opgesteld met in het midden de opstelling van leidingen, utilities is realisatie van een even aantal filtereenheden gebruikelijk.

FILTERBODEMS DISCONTINUE FILTRATIE EN VERDEELSYSTEEM CONTINU FILTRATIE

Bij discontinue filtratie wordt het filtraat uit het zandbed afgevoerd door middel van een geperforeerd systeem. Dit kan via een buizensysteem in een steunlaag van filtergrind of via een filterbodem met daaronder een filtraatruimte. Er zijn meerdere uitvoeringen van filterbodems bekend. In principe kan men met alle systemen een goed werkend filter maken. Voor een organisch belaste afloop van de nabezinktank met grote vervuilingspotentie geldt dat met name het verstopping van fijne spleten en gaatjes het belangrijkste knelpunt is.

Bij continue filtratie is geen sprake van een filterbodem maar wordt het te behandelen water (voorzien van koolstofbron en/of vlokmiddel) via verdeelpijpen van de filtercel onder in het zandbed ingebracht door de verdeelarm. Het water doorstroomt het filterbed in opwaartse richting en wordt via de filtraatgoot afgevoerd.

TOEPASSING VAN APARTE VLOKVORMINGSTANK

Toepassing van vlokvormingstanks voorafgaande aan discontinue en continue filtratie is momenteel nog onderwerp van onderzoek en vormt mogelijk nog een verdere optimalisatiemogelijkheid. Het is van belang een de vlokvormingstank te voorzien van een of meerdere slibaflaten omdat in dit systeem al een (aanzienlijk) deel van de slibvlokken kan bezinken.

Indien geen aparte vlokvormingstank aanwezig is wordt het metaalzout bij voorkeur met een statische menger gedoseerd in de (gezamenlijke) toevoerleiding naar de filters

AFDEKKING EN VORSTBESCHERMING FILTERS

De zandfilters worden bij een buitenopstelling over het algemeen afgedekt. Dit in verband met inwaaiend bladmateriaal, dode vogels, etc. die verstoppingen kunnen veroorzaken. Opstelling binnen een gebouw is ook mogelijk. Zie afbeelding 17. Onder Nederlandse omstandigheden dienen divers leidingwerk en pompinstallaties vorstvrij uitgevoerd dan wel binnen opgesteld te worden.

AFBEELDING 17

FILTERGEBOUW RWZI DE GROOTE LUCHT



INPASSING FILTRAAT/EFFLUENTLEIDINGEN

Het spoelwaterreservoir bij discontinu vastbedfiltratie kan eventueel gecombineerd worden met de filtraat/effluentleiding van de rwzi. Spoelen van de filters kan bij een reservoir waarin zich naast filtraat ook onbehandeld effluent (bypass) bevindt, ook plaatsvinden met onbehandeld effluent.

VOORBEHANDELING

Ter voorkoming van verstoppingen en voor een ongestoorde bedrijfsvoering dienen deeltjes groter dan 5 mm uit de aanvoer naar de filters te worden verwijderd. Vaak wordt op basis van de eisen van de filterleverancier een rooster (bijvoorbeeld een automatisch gereinigd perforatierooster met cirkelvormige doorlaat van 5 mm) als voorreiniging gehanteerd. Gelet op de geringe productie van roostergoed (bladeren) wordt het roostergoed middels een sproei-inrichting naar de terreinriolering gevoerd zonder roostergoedpersinrichting. Als sproeiwater wordt filtraat gebruikt.

LEVERINGSGRENZEN FILTERINSTALLATIES

De uitvoering van de filters wordt vastgelegd door de opdrachtgever in de vraagspecificatie. Hoewel het per realisatieproject kan variëren zijn de leveringsgrenzen van de filterleverancier voor de filterinstallatie vaak als volgt ingevuld:

- toevoer filters vanaf de gezamenlijke aanvoerleiding;
- proceslucht;
- filtraat tot op de gezamenlijke afvoerleiding bij de filters.

Opslag en doseervoorzieningen voor chemicaliën (koolstofbron en metaalzout)

Civiltechnische en elektromechanische aandachtspunten zijn:

- Explosieveilige opslag- en doseervoorzieningen. Dit geldt met name voor methanol en methanol bevattende biodieselproducten als koolstofbron.
- Voldoende afstand tot ander chemicaliën en gasopslagtanks, in verband met mogelijke heftige chemische reacties.

- Afstemming van de doseerdebiëten van de doseerpompen op lagere, prijstechnisch gunstigere oplossingsconcentraties. Naast toename van de opslagcapaciteit of het aantal aanvoerbewegingen wordt het doseerdebiet bij lagere oplossingsconcentraties verhoogd.
- Toepassing van opslagtanks en doseervoorzieningen die geschikt zijn voor verschillende metaalzouten of koolstofbronnen (zuur, basisch).
- De koolstofbron wordt bij voorkeur gedoseerd ter hoogte van een statische menger in de, bij meerdere filters gezamenlijke, toevoerleiding.

MONSTERNAME

Bij monstername van het filtraat met als doel om de werking van de filters te beoordelen is het van belang om deze niet te laten beïnvloeden door een bypass. Gezien de vereiste effluentbemonstering zullen in dat geval twee monsternamevoorzieningen noodzakelijk zijn.

6.4 KOSTEN

Het inzicht in kosten, zowel voor wat betreft investering als exploitatie, van zandfiltratie voor vergaande zuivering van rwzi-effluent is momenteel beperkt. Dit vindt zijn oorzaak in het geringe aantal gerealiseerde Nederlandse filtratieprojecten tot nu toe.

Van een viertal projecten waarin continu filters zijn toegepast zijn de stichtingskosten herleid. Ook zijn van enkele recent aanbestede filtratieprojecten bij het Hoogheemraadschap van Rijnland de stichtingskosten herleid.

In tabel 19 zijn de kostengegevens van deze continu filterinstallaties weergegeven. In afbeelding 18 zijn de stichtingskosten als functie van filteroppervlak en het ontwerpdebiet weergegeven.

Voor discontinu filtratieprojecten zijn momenteel geen kostengegevens bekend.

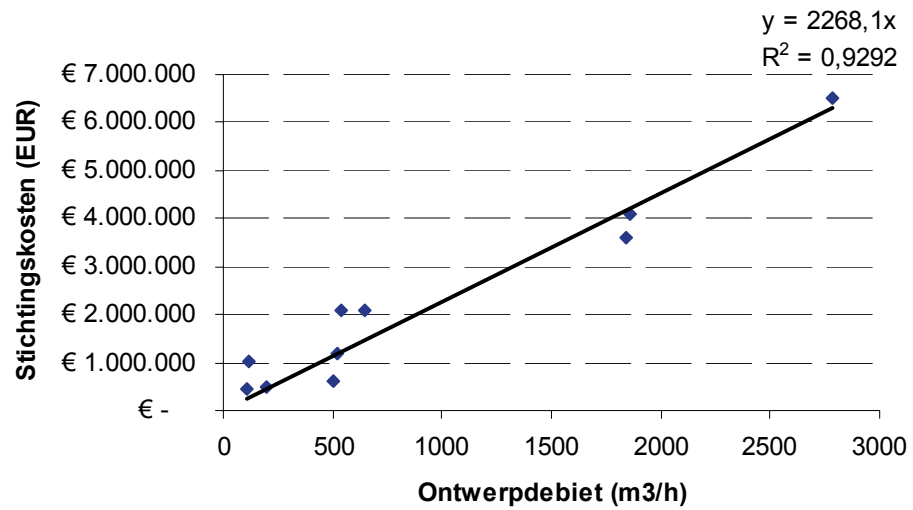
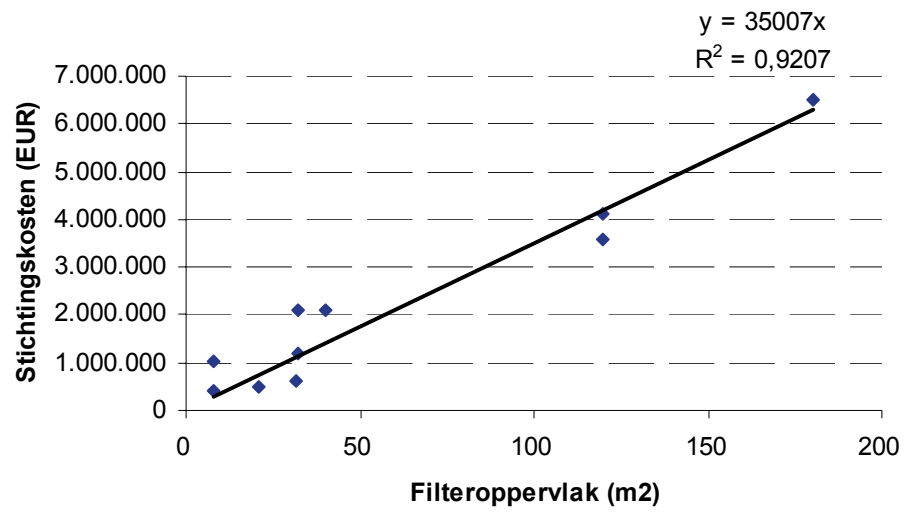
TABEL 19

KOSTENGEGEVENS NEDERLANDSE FILTRATIEPROJECTEN, CONTINU FILTRATIE

Rwzi	Filteroppervlak (m ²)	Ontwerpdebiet (m ³ /h)	Stichtingskosten (€)
Kaatsheuvel	8	112	430.000
Ruurlo	32	504	600.000
Wehl	21	199,5	500.000
Maasbommel	8	114,2	1.040.000
Nieuwveen	32	520	1.200.000
Leiden Noord	120	1840	3.600.000
Leiden Zuid West	120	1860	4.100.000
Haarlem Waarderpolder	180	2780	6.500.000
Bodegraven	40	650	2.100.000
Alphen Noord	32	540	2.100.000

AFBEELDING 18

STICHTINGSKOSTEN NEDERLANDSE FILTRATIEPROJECTEN VOOR VERGAANDE ZUIVERING RWZI-EFFLUENT ALS FUNCTIE VAN HET FILTEROPPervLAK (BOVEN) EN ALS FUNCTIE VAN HET ONTWERPDEBIET (ONDER)



7

TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

INLEIDING

Zoals in de inleiding van het rapport al is aangegeven staat het onderwerp filtratie, meer specifiek zandfiltratie, volop in de belangstelling als vergaande zuiveringstechniek binnen de communale afvalwaterbehandeling. De toenemende belangstelling is geïnitieerd door de implementatie van de Kaderrichtlijn Water, waarin een verdere verbetering van de kwaliteit van het effluent van rwzi's een mogelijk onderdeel vanuit maakt. De belangstelling brengt met zich mee dat ook onderzoek en ontwikkeling op het gebied van zandfiltratie in een stroomversnelling is geraakt.

Momenteel vindt bij diverse partijen (universiteiten, waterschappen, adviesbureaus en leveranciers) fundamenteel en proefonderzoek plaats. Ook bij de lopende realisatieprojecten op het gebied van zandfiltratie zullen diverse onderzoeksaspecten na de opstart worden meegenomen.

Belangrijke drijfveren voor het verrichten van onderzoek en ontwikkeling op het gebied van (zand)filtratie zijn: verhoging van de filtratiesnelheid en daarmee verlaging van de investeringskosten, verhoging van het verwijderingsrendement van specifieke componenten, het verwijderen van meerdere componenten en het verminderen van het aantal nageschakelde zuiveringstechnieken.

Verwacht wordt dat door onderzoek en ontwikkeling in toenemende mate meerdere functies (deeltjes-, en nutriëntenverwijdering en desinfectie) kunnen worden gekoppeld in een filterinstallatie en dat daarmee de kosten voor vergaande zuivering door nageschakelde technieken zullen dalen.

Onderzoek en ontwikkeling bij (zand)filtratie richt zich met name op de volgende aspecten:

- Toepassing van alternatieve filtermaterialen.
- Alternatieve uitvoeringsvormen van filters.
- Optimalisatie van de voorgeschakelde coagulatie- en flocculatiestap met de filtratiestap.
- Combinatie van biologische filtratie met vlokingsfiltratie in één filter.

Enkele ontwikkelingen worden hierna kort toegelicht:

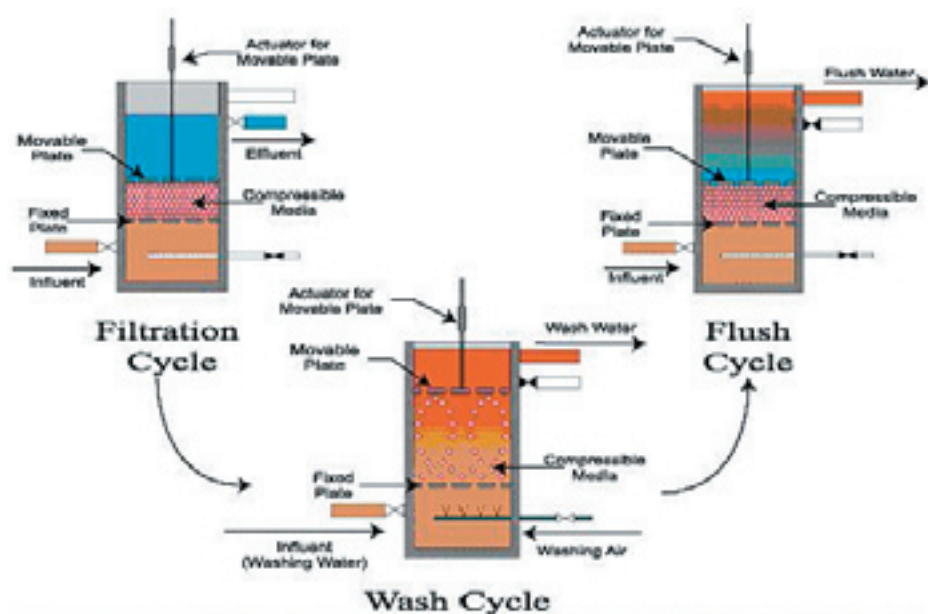
- Fuzzy filter. Een alternatief voor zandfiltratie waarin sprake is van een nieuw type filtermateriaal in een aangepaste uitvoeringsvorm.
- Automatisch backwash filter. Een filtersysteem dat voordelen van continu en discontinu filtratie combineert.
- Actiefkoolfiltratie. Met een alternatief filtermateriaal wordt een breed scala aan (apolaire) componenten uit het effluent verwijderd. Combinaties met verwijdering van zwevende deeltjes en nutriënten is ook mogelijk.
- Biologische actiefkoolfiltratie. Combinatie van adsorptie, filtratie en nitraatverwijdering in één filter.
- Gecombineerde P/N verwijdering in een eenvoudige filtratiestap.
- Verwijdering van andere componenten dan zwevende stof, N en P.

FUZZY FILTER

Het fuzzy filter is een discontinue opwaarts doorstroomt filter. Kenmerkend aan het fuzzy filter is het filtermateriaal dat niet uit inert zandfracties bestaat maar uit comprimeerbare (roze) kunststof balletjes. De af te vangen deeltjes nestelen zich in de poriën van de balletjes en in de ruimte tussen de balletjes. Als de balletjes genoeg zwevende stof hebben opgenomen, worden ze automatisch schoongespoeld. De balletjes zijn vervaardigd uit een synthetische vezel (polyvinylideenchloride). De balletjes hebben een diameter van 33 mm en worden bij elkaar gehouden door een gefixeerde filterbodem en een beweegbare bovenplaat. Doordat de hoogte van de bovenplaat in de kolom variabel is in te stellen, kan de compressie van het filterbed worden gevarieerd, waardoor de poriegrootte in de balletjes kan worden vergroot of verkleind. Het afgevangen vuil wordt periodiek via een spoelen wasproces met water en lucht uit het bed verwijderd. Dit proces kan op basis van looptijd/wachttijd of op basis van het overschrijden van een druksetpoint.

Het principe van het fuzzy filter, met spoel- en wascyclus is weergegeven in afbeelding 19.

AFBEELDING 19 PRINCIPE FUZZY FILTER EN GEWASSEN EN VERVUILD FILTERMEDIUM



Met deze uitvoeringsvorm en het gebruik van het comprimeerbare filtermateriaal wordt geclaimd dat een filtratiesnelheid haalbaar is die ten opzichte van conventionele zandfiltratie een factor 7,5 maal hoger ligt. Dit leidt tot een compactere filterinstallatie. Uit onderzoek op de rwzi Nieuwveer is gebleken dat het fuzzy filter in staat is om in vergaande mate zwevende stof te verwijderen uit de afloop van de nabezinktanks. Zwevende stofconcentraties < 1 mg/l zijn haalbaar gebleken. Vervolgonderzoek richt zicht op de combinatie met fosfaat- en nitraatverwijdering.

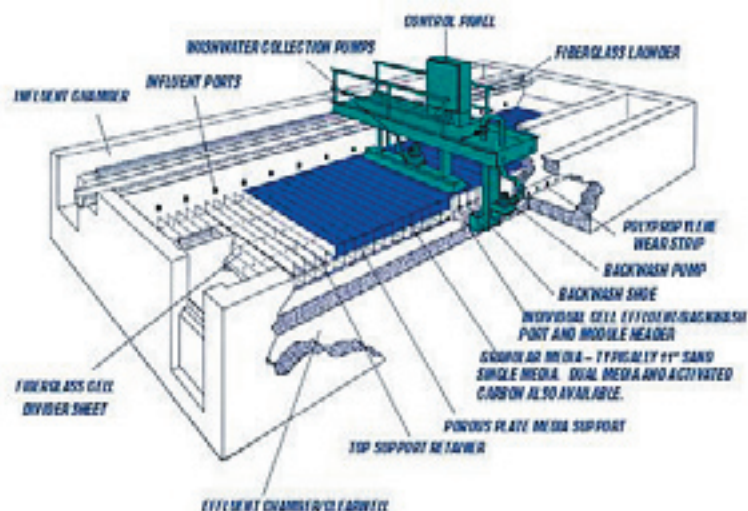
Voor meer informatie wordt verwezen naar het H₂O artikel nr. 7 (2006).

AUTOMATIC BACKWASH FILTER

Een in Nederland nauwelijks bekende filtratietechniek uit de oude doos kan mogelijk met succes effluent behandelen. Het patent op deze techniek is in 1964 verlopen, zodat tegenwoordig diverse uitvoeringsvormen bestaan. Het betreft "Automatic BackWash Filtration (ABWF)", een systeem dat voordelen van continue en discontinue filtratie in zich heeft. Het filter is ook bekend onder de namen cellenfiltratie, multimodulenfilter of 'traveling bridge filter'. Het filterbed is een vast zandbed met een hoogte van 30-120 cm, in cellen opgedeeld, die opeenvolgend door het afpompen van bovenwater via een over de filtercel onder water geplaatste kap worden gespoeld. De kap wordt door een verrijdbare constructie over de filtercellen geplaatst. Het bovenwater wordt aangevuld vanuit de filtraatruimte door de niet in spoeling zijnde cellen en de filtraatgoot. De breedte van het filter is typisch 5-6 m en de lengte 25-35 m. De celbreedte is 40-75 cm. De grote spoelpompen en blowers ontbreken. De waswaterstroom is volgens de literatuur klein (2%). Het filter kan met diverse filtermaterialen worden gevuld. Wereldwijd zijn er circa 1.000 referenties, ook op het gebied van effluentbehandeling.

Een eerste inschatting geeft aan dat een dergelijk systeem mogelijk 20-30% goedkoper zou kunnen zijn dan de normale discontinue filtratie. De constructiehoogte is gering waarmee ook de energiekosten voor de filtratie beperkt blijven. Er kunnen relatief grote aaneengesloten filteroppervlakken worden gerealiseerd. Het ruimtebeslag is groter dan andere systemen. Ook de maximaal toepasbare hoogte van het filterbed kan beperkend zijn in relatie tot de te behalen filtraatkwaliteit. Onderstaande afbeelding geeft een indruk van het systeem.

AFBEELDING 20 PRINCIPE AUTOMATIC BACKWASH FILTER



ACTIEFKOOLFILTRATIE

Voor de verwijdering van opgeloste apolaire stoffen tot zeer lage concentraties is actiefkoolfiltratie een bekende en betrouwbare techniek, met name in de drinkwaterbereiding uit oppervlaktewater. De toepassing van actiefkoolfiltratie al of niet gecombineerd met biologische nutriëntenverwijdering voor de vergaande zuivering van rwzi effluent wordt momenteel onderzocht.

Actiefkoolfiltratie bestaat uit een vast bed van actiefkoolkorrels (granular activated carbon – GAC) waarover de afloop van de nabezinktank wordt geleid. Door thermische behandeling (600-1000 °C) wordt granulair kool 'actief' gemaakt. Hierbij wordt de oppervlakte voor adsorptie vergroot door de vorming van microporiën in de koolkorrel. De korrels hebben een diameter van 0,25-3 mm. Het actief kool kan geproduceerd worden uit een verscheidenheid van basismaterialen, zoals hout, steenkool en bruinkool. Het type basismateriaal en de procedure waarop het kool 'actief' is gemaakt bepalen de zuiveringseigenschappen.

Op het moment dat het filterbed volledig is beladen met een bepaalde component zal doorslag plaatsvinden. Het actiefkool zal dan geregenereerd en gereactiveerd moeten worden. Dit vindt plaats door verbranding van de geadsorbeerde organische verontreinigingen. De standtijd van het filterbed zal per te verwijderen component verschillen en wordt in belangrijke mate bepaald door de polariteit van de te verwijderen component.

Bij behandeling van rwzi-effluent is bekend dat humusachtige macromoleculen, aanwezig in µg/l in de afloop van de nabezinktank, ook worden verwijderd. In de praktijk blijkt dit de verwijdering van probleemstoffen niet te hinderen. Deze verwijdering gaat nog door als de humusstoffen gaan doorslaan.

Een mogelijk kosteneffectief alternatief kan de dosering van poederkool in combinatie met een biofilter of vlokkingfilter zijn. Op deze wijze worden meerdere componenten in een filter verwijderd. Een praktische beperking is dat de poederkooldosering niet tot overbelasting van het filter mag leiden. Deze toepassing is alleen aantrekkelijk als met een lage dosering kan worden volstaan omdat poederkool per ton duurder is dan korrelkool en niet op economische schaal geregenereerd kan worden. De kool kan met het zuiveringsslib van de rwzi worden verwerkt.

BIOLOGISCHE ACTIEFKOOLFILTRATIE

Ook biologische actiefkoolfiltratie (BAKF) is en wordt op proefschaal onderzocht, onder meer bij de rwzi Utrecht en rwzi Horstermeer. Bij deze techniek worden adsorptie, filtratie en biologische processen gecombineerd. In het BAKF wordt het actief kool als drager gebruikt voor de groei van denitrificerende biomassa. Via dosering van een externe koolstofbron (methanol) is nagegaan in hoeverre nitraatverwijdering gecombineerd kan worden met de verwijdering van allerlei organisch microverontreinigingen, bestrijdingsmiddelen en hormoonversturende en medicinale stoffen.

Bij dit onderzoek is een vlokkingfilter voor het verwijderen van deeltjes gecombineerd met fosfaatverwijdering voorgeschakeld aan het biologische actiefkoolfilter (BAKF).

Voor meer informatie wordt verwezen naar de bijdrage “biologische actiefkoolfiltratie” van H. Menkveld tijdens de PAO cursus “Meer dan effluent, vergaande behandeling van afvalwater”, Delft, 19 en 20 mei 2005.

GEcombineerde P/N VERWIJDERING IN EEN ENKELVOUDIGE FILTRATIESTAP

Het principe van gecombineerde P- en N-verwijdering in een nageschakeld filter is op grote schaal ontwikkeld op rwzi Utrecht en op rwzi Horstermeer verder ontwikkeld voor zowel continue als discontinue filtratie. Momenteel wordt onderzocht (o.a. via pilotonderzoek met een continu filter op de rwzi Susteren) of het mogelijk is om zowel fosfaat als nitraat in één filtratiestap te verwijderen bij hoge filtratiesnelheden (tot 30 m³/m²h). Bij een conventionele filtratie-trap zijn twee in serie geschakelde zandfilters aanwezig; een denitrificerend continu filter gevolgd door een discontinue vastbedfilter. Doordat de nutriëntenverwijdering in één filter te laten plaatsvinden, spreekt men ook wel van een ‘hoogbelast’ zandfilter. Het onderzoek vindt plaats aan een continu zandfilter met zowel een koolstofbron als metaalzoutdosering. In dit filter dienen processen als biomassagroei en -afsterving, vuilbergend vermogen, vlokvorming en het invangen van kleine (fosfaat)vlokken te worden gecombineerd.

MICROZEEFFILTRATIE

Op rwzi Horstermeer is sinds begin 2006 uitgebreid getest met een microzeefilter met poriëndiameters van 11 micron. De roterende microzeef-installatie is getest op verwijderingsprestaties voor organische stof (BZV), stikstof, fosfaat en troebelheid met als doel om toepassingsmogelijkheden te verkennen als vergaande nageschakelde zuiveringstechniek voor rwzi-effluent. Als voedingswater is afloopwater van de nabezinktanks van rwzi Horstermeer gebruikt.

TABEL 20

BASISGEGEVENS MICROZEEF-INSTALLATIE RWZI HORSTERMEER

Poriengrootte	11	micron
Filtratiesnelheid	18	m/h
Hydraulische capaciteit	14,4	m ³ /h
Rotatiesnelheid	4	rpm
spoelwaterverbruik	2-3	%

Uit de eerste vijf maanden durende testperiode komt naar voren dat microzeeffiltratie met aluminiumdosering vergelijkbare zuiveringsprestaties levert voor zwevende stof en fosfaat dan continue filtratie. De samenstelling van het filtraat was van zeer constante kwaliteit. Voor BZV werd een gemiddelde verwijderingsprestaties bereikt van 65%, terwijl troebelheid en fosfaat voor respectievelijk 65% en 60% werden verwijderd.

Het microzeefilter spoelt zich zelf en is continu in bedrijf. Beschikbare capaciteiten variëren van 25 tot 5.000 m³/h bij een filtratiesnelheid van ca. 15 m/h. De poriëndiameter kan naar eigen inzicht gekozen worden tussen 6 en 500 micron.

Verwijdering van andere componenten dan SS, N en P

In het STOWA rapport “verkenningen zuiveringstechnieken en KRW” is aangegeven dat op basis van de huidige informatie als rwzi-relevante stoffen worden aangemerkt:

- de nutriënten stikstof en fosfor;
- de bestrijdingsmiddelen hexachloorcyclohexaan, atrazine en diuron;
- de metalen cadmium, koper, zink, lood en nikkel;
- een weekmaker DEHP (di(2-ethylhexyl)ftalaat);
- gebromeerde difenylethers en octyl-/nonylphenolen.

Hormoonverstorende en medicinale stoffen zijn (voorlopig) niet als rwzi relevant aangemerkt, omdat er nog geen wettelijke norm voor deze stoffen bestaat.

Op dit moment zijn er nog weinig gegevens bekend over de haalbare verwijderingsrendementen met betrekking tot deze componenten, anders dan de nutriënten stikstof en fosfor, in nageschakelde zandfilters. Veel van deze componenten zullen ook niet met de zandfiltratietechniek kunnen worden verwijderd. Resultaten van twee pilotonderzoeken zijn vermeld in tabel 21 en 22. Momenteel is een monitoringsprogramma bij de STOWA van start gegaan dat in de komende jaren hierin meer duidelijkheid moet gaan verschaffen.

TABEL 21

CONCENTRATIES VAN ENKELE MEDICIJNEN EN HORMOONVERSTORENDE STOFFEN IN TOEVOER EN AFLOOP ZANDFILTERS
PILOTONDERZOEK LEEUWARDEN

Parameter	Eenheid	Toevoer zandfilters	Filtraat zandfilters	Rendement %
Carbamazepine	µg/l	0,65	0,67	< 0
Coffeine	µg/l	< 0,05	< 0,05	≤ 0
Diclofenac	µg/l	0,17	0,1	41
Erythromycine	µg/l	0,08	0,08	0
Gemfibrozil	µg/l	0,07	0,01	86
Metoprolol	µg/l	0,63	0,59	6
Naproxen	µg/l	0,04	< 0,02	> 50
Sulfamethoxazol	µg/l	0,1	0,1	0
Trimethoprim	µg/l	0,2	0,13	35
ER-Calux	nM	0,43	0,2	53

TABEL 22

GEMIDDELDE CONCENTRATIES AFLOOP NABEZINKTANK EN FILTRAAT ZANDFILTERS PILOTONDERZOEK MAASBOMMEL

Parameter	Eenheid	Afloop nabezinktank	Filtraat zandfilters	Norm *	Rendement %
Koper	µg/l	6,8	5,2	3,8	24
Zink	µg/l	27	23	40	15
Lood	µg/l	0,9	0,5	220	45
Nikkel	µg/l	1,6	1,8	6,3	< 0
Carbendazim	µg/l	0,05	0,1	0,11	< 0
Glyfosaat	µg/l	7,5	3,5	-	53
Diuron	µg/l	0,11	0,18	0,43	< 0
Linuron	µg/l	1,35	0,9	0,25	33
Diazinon	µg/l	0,1	0,08	0,037	20
Kiemgetal	count/ml	16.300	7.600	-	**
E.coli	count/ml	200	130	20	**
Bisfenol A	ng/l	28	33	-	< 0
α-oestradiol	ng/l	1,05	0,75	-	29
Estron	ng/l	4,75	6,9	-	< 0
β-oestradiol	ng/l	1,05	0,85	-	20
Mestranol	ng/l	1,85	1,5	-	19
Ethinylestradiol	ng/l	3,55	2,6	-	27
EEQ o.b.v. ER-CALUX	nM	0,014	0,011	-	22

* oppervlaktewaternorm vierde nota waterhuishouding

8

LITERATUUR

- 1 KIWA, Richtlijnen ten dienste van het ontwerpen en de behandeling van snelfilters. Mededeling nr. 9 van de commissie filterconstructies (COFICO) van het KIWA, 1965.
- 2 Huisman, L., Algemene inleiding betreffende de techniek van de effluentfiltratie, in: Effluentfiltratie, negentiende vacantiecursus in drinkwatervoorziening, 5 en 6 januari, Delft, 1967.
- 3 Schwenke, E.C., Diepbedfiltratie, in: Nieuwe zuiveringstechnieken, negenentwintigste vacantiecursus in drinkwatervoorziening, 6 en 7 januari, Delft, 1977.
- 4 Vlis, van der, E., De filtratietheorie, in: Filtratie bij de drinkwaterbereiding, Cursus Postacademisch Onderwijs Gezondheidstechniek en milieutechnologie, 3-5 oktober, Delft, 1989.
- 5 Metcalf & Eddy, Wastewater engineering, Treatment , Disposal, reuse, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1991.
- 6 Lee, R.G., Eckhardt, H., Wortel, N.C., Koppers, H.M.M., september 1990; Toxic concerns regarding water plant wastes, Chapter 4, Kiwa / AWWARF Cooperative Research Report Slib, Schlamm, Sludge, p 209-266.
- 7 ATV-Regelwerk, Arbeitsblatt ATV-A203, Abwasser durch Raumfilter nach biologischer Reinigung, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef 1995.
- 8 Barjenbruch, M., Leistungsfähigkeit und kosten van Filtern in der kommunalen Abwasserreinigung. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, 1997.
- 9 Metcalf & Eddy, Wastewater engineering, Treatment and Reuse, 4th Edition, McGraw-Hill, 2003.
- 10 Stichting PAO, Cursus: Meer dan effluent, vergaande behandeling van afvalwater, Delft, 19 en 20 mei 2005.
- 11 Ontwerpnotitie W+B filters Hoogheemraadschap van Rijnland, referentie LEDN79-710-500/ders2/110, Deventer, 29 juli 2005
- 12 NEN-EN 12255-16. Nederlandse norm, Afvalwaterzuiveringsinstallaties – Deel 16: Fysische (mechanische) filtratie, oktober 2005.
- 13 STOWA. Verkenningen zuiveringstechnieken en KRW. STOWA rapport 2005-28.
- 14 STOWA. Vergelijkend onderzoek MBR en zandfiltratie rwzi Maasbommel. STOWA rapport 2004-28.

BIJLAGE 1

ONTWERPVOORBEELD

Hierna wordt een ontwerpvoorbeeld voor een discontinu neerwaarts doorstroomd filter met vaste bovenwaterstandhoogte gepresenteerd, waarbij empirische waarden van communale filterinstallaties gebruikt worden.

Uitgangspunten debiet:

Q_d	=	54.000 m ³ /d (daggemiddelde)
Q_t	=	3.000 m ³ /h (DWA)
Q_m	=	5.500 m ³ /h (RWA)

Concentraties afloop nabezinking:

CZV	=	60 mg/l
BZV5	=	10 mg/l
NH ₄ -N	=	5 mg/l bij T > 12°C
P _{totaal}	=	0,5 mg/l
N _{totaal}	=	18 mg/l (Nanorg)

In de afloop van de nabezinking wordt 20 mg/l DS verwacht.

Om te voldoen aan de verhoogde effluentkwaliteitseisen, in het bijzonder met betrekking tot het fosfaat gehalte, is een nageschakelde filterinstallatie voorzien. Voor P-verwijdering wordt voorgesteld biologische P-verwijdering in combinatie met simultaan precipitatie in het hoofdproces en een vlokingsfiltratie in te voeren.

In de afloop van de nabezinking wordt een fosfaatgehalte van 1 mg/l P_{totaal} aangenomen.

Een neerwaarts doorstroomde filterinstallatie met vaste bovenwaterstand wordt gekozen.

Filtersnelheden:

DWA v_f	=	7,5 m/h
RWA v_f	=	15,0 m/h

Theoretisch benodigd filteroppervlak en aantal filtereenheden

A_{Filt}	=	3.000 m ³ /h / 7,5 m/h	=	400 m ² voor Q_t
A_{Filt}	=	5.500 m ³ /h / 15 m/h	=	367 m ² voor Q_m

Bij de keuze van het aantal filtereenheden zullen de volgende criteria worden aangehouden:

- Minstens 6 eenheden.
- Grootte van filteroppervlak volgens het criterium: $Q_{\text{spoel}} \approx Q_t$
- Filteroppervlak per eenheid < 80 m²

Op basis van de filtermateriaalkeuze wordt een spoelsnelheid van ongeveer max. 80 m/h aangegeven.

$$A_i = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} / 80 \text{ m/h} = 37,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Aantal eenheden: } 400 \text{ m}^2 / 37,5 \text{ m}^2 = 10,7.$$

Keuze: 12 eenheden van ieder 34 m²

$$\text{Avorh} = 12 * 34 \text{ m}^2 = 408 \text{ m}^2 > 400 \text{ m}^2$$

Bepaling functioneren tijdens RWA ter verificatie van de gelijktijdige spoeling van een filtereenheid

$$5.500 \text{ m}^3/\text{h} / [(12-1)*34 \text{ m}^2] = 14,7 \text{ m/h} < 15 \text{ m/h}$$

Filtermaterialen en filterbedhoogten

De filters worden als tweelaagsfilters ontworpen.

Bovenlaag	Antraciet	Korrelgrootte Laagdikte	1,4 – 2,5 mm 1,0 m
Onderlaag	Filterzand	Korrelgrootte Laagdikte	0,71 – 1,25 mm 0,5 m
Beschermlaag*	Filtergrind	Laagdikte	0,2 m

* Noodzaak en korrelgrootte afhankelijk van de opbouw van de filterbodem en het filtermateriaal

BOVENWATERSTAND

Een toelaatbare bovenwaterstandhoogte van ongeveer 2 m wordt gekozen. De bovenwaterstand moet door openen en sluiten van een afsluiter in de afloop van iedere filtereenheid constant worden gehouden. De filters worden gespoeld bij een bepaalde bovenwaterstand of afsluiteropening (bv. 90%).

METAALZOUTDOSERING

Er wordt in een dosering van ijzer(III)chloridesulfaat (FeClSO₄) voorzien. Bij een Me/P-verhouding van 2 moet 3 – 4 mg/l Fe³⁺ toegevoegd worden bij een concentratie in de afloop van de nabezinking van 1 mg/l P.

Het metaalzout wordt in de toevoer van het filter gedoseerd. In de leidingen van de filterinstallatie en in de toevoerpompen van de filterinstallatie wordt in een voldoende snelle, gevolgd door een langzame, menging van de waterstroom met het metaalzout verzekerd.

Berekening:

$$\text{Bij } Q_t = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} \quad (= 833 \text{ l/s})$$

en een Fe-toevoeging van 4 mg/l (waterige FeClSO₄-oplossing met 184 g/l Fe³⁺) wordt

$$833 \text{ l/s} / 4 \text{ mg/l} = 3332 \text{ mg/s ijzer gedoseerd}$$

of

$$3332/184 = 18,1 \text{ ml/s waterige FeClSO}_4\text{-oplossing.}$$

BEPALING VAN DE AFGEVANGEN DROGESTOF

Drogestof van de afloop van de nabezinking:

$$20 \text{ g/m}^3 * 54.000 \text{ m}^3/\text{d} = 1.080 \text{ kg DS/d}$$

Drogestof door metaalzoutdosering:

$$54.000 \text{ m}^3/\text{d} * 4 \text{ g Fe/m}^3 * 2,5 \text{ g DS/g Fe} = 540 \text{ kg DS/d}$$

$$\text{totaal:} \quad 1620 \text{ kg DS/d}$$

Drogestof in filtraat van de filters:

$$54.000 \text{ m}^3/\text{d} * 5 \text{ g/m}^3 = 270 \text{ kg DS/d}$$

$$\text{In het filter achtergehouden} = 1.350 \text{ kg DS/d}$$

SPOELPROGRAMMA

Voor de filterspoeling wordt een programma zoals weergegeven in onderstaande tabel gebruikt.

Fase	Doel	Luchtsnelheid (m/h)	Spoelsnelheid (m/h)	Duur (min)
1	Onderbreking van de toevoer			
2	Aflaat van bovenwater			
3	Luchtspoeling voor breking filterbed	75 - 100	-	2,0 - 5,0
4	Waterspoeling met hoge turbulentie	75 - 100	12 - 20	1,5 - 3,0
5	Aflaten van spoelwater	-	55 - 90	2,0 - 6,0
6	Klasseren van filterbed en scheiden van filterlagen	-	60 - 100	1,5 - 2,0
7	In bedrijf name van het filter	-	-	-

Het totale spoelprogramma duurt inclusief schakelpauzen 21 min.

Om het filter te spoelen wordt filtraatwater gebruikt. Het filtraatverbruik gedurende de spoeling van een filtereenheid is volgens dit voorbeeld:

$$\text{Fase 4:} \quad 20 \text{ m/h} * 34 \text{ m}^2 * 2 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 23 \text{ m}^3$$

$$\text{Fase 5:} \quad 50 \text{ m/h} * 34 \text{ m}^2 * 5 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 142 \text{ m}^3$$

$$\text{Fase 6:} \quad 80 \text{ m/h} * 34 \text{ m}^2 * 2 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 91 \text{ m}^3$$

$$\text{Totaal:} \quad 256 \text{ m}^3$$

BEWIJS VAN TOEREIKENDE HOEVEELHEID SPOELWATER

Uitgangspunt:

$$\text{Nachttoevoer} = 54.000 \cdot 1/42 = 1286 \text{ m}^3/\text{h} = 21,4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Maximale behoefte (fase 6):

$$80 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 34 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ min} / 60 \text{ min}/\text{h} = 45,5 \text{ m}^3/\text{min} > 21,4 \text{ m}^3/\text{min}$$

Vereiste filtraatbuffervolume:

$$Q \cdot 2 \text{ min} = (45,5 - 21,4) \cdot 2 = 48,2 \text{ m}^3$$

Rekening houdend met fase 5:

$$142 \text{ m}^3 / 5 \text{ min} = 28,4 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$(28,4 - 21,4) \text{ m}^3/\text{min} \cdot 5 \text{ min} = 35 \text{ m}^3$$

In het gegeven geval wordt het buffervolume door de vereiste zuigruimte van de pompen geleverd.

SPOELWATERBUFFER

Zonder spoelwaterbuffer zal een extra hydraulische piekbelasting van korte duur van $80 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 34 \text{ m}^2 = 2.720 \text{ m}^3/\text{h}$ op het actiefslibproces incl. nabezinking plaatsvinden. Bij RWA is zo een hogere belasting niet te behandelen.

Ook terugkijkend op de spoelwaterterugvoerpomp is een buffer vereist, waarin de totale spoelwaterhoeveelheid plus de bovenwaterstand van het filter gebufferd kan worden.

$$V_{\text{buffer}} = 256 \text{ m}^3 + 2 \text{ m} \cdot 34 \text{ m}^2 = 324 \text{ m}^3$$

De buffer moet bij deze opstelling tot en met de volgende spoeling van het filter worden geleegd.

BIJLAGE 2

ZANDFILTRATIE IN NEDERLAND

CASE KAATSHEUVEL

Op de rwzi Kaatsheuvel (63.200 i.e. á 54 g BZV, actief slib installatie met chemische fosfaatverwijdering) is sinds 2002 een zandfiltratie (zie figuur 1) op praktijkschaal toegepast specifiek gericht op fosfaatverwijdering.

AFBEELDING 1

CONTINU ZANDFILTER VOOR FOSFAATVERWIJDERING, RWZI KAATSHEUVEL



De zandfiltratie behandelt een deelstroom (45 - 75 m³/h) van de afloop van de nabezinking. Voor de dimensioneringsgrondslagen van de zandfiltratie wordt verwezen naar tabel 4 en 5 van het hoofdrapport.

Procesregelingen zandfiltratie

- *Aanvoer zandfiltratie*

Het zandfilter wordt gevoed vanuit een pompput. Voordat de afloop van de nabezinktank in de pompput stroomt, worden de grove delen verwijderd door passage van een rooster. De toevoer vanuit de pompput naar de filters wordt geregeld via een frequentie gestuurde pomp. Het toerental van de pomp wordt gestuurd door een combinatie van een niveaumeting in de pompput en het gemeten debiet van de afloop van de nabezinking van de rwzi.

- *Fosfaatverwijdering*

Fosfaatverwijdering berust op precipitatie met FeCl₃. De concentratie FeCl₃ die wordt gedoseerd bedraagt 200 g Fe/l. Het doseerdebiet FeCl₃ is een functie van het gemeten influentdebiet. Menging van influent en FeCl₃ vindt plaats in een statische menger. De Me/P-verhouding bedraagt 2,9. Er is echter geen fosfaatmeting in de toevoer aanwezig.

De fosfaatconcentratie in de toevoer wordt handmatig ingevoerd. In de praktijk is dit geen probleem omdat de fosfaatconcentratie in de afloop van de nabezinking redelijk stabiel is.

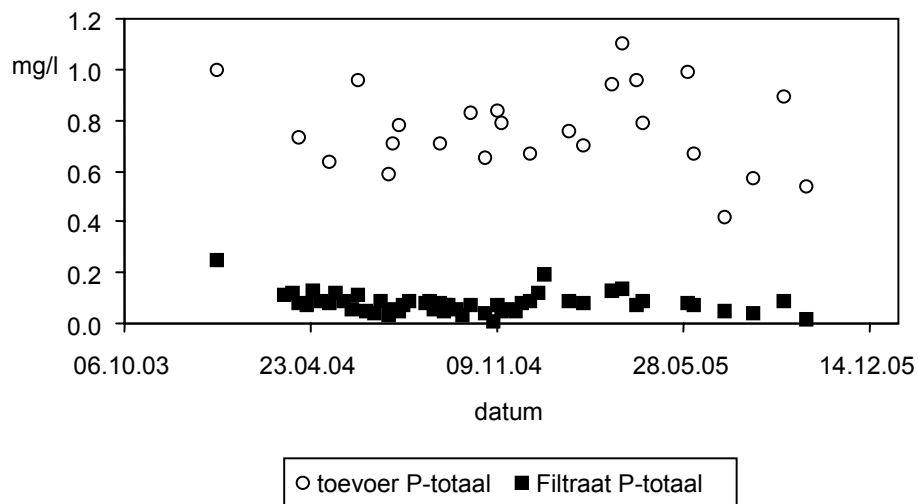
- *Filterbedweerstand*

Een belangrijke parameter bij continue filtratie is de filterbedweerstand. Deze wordt gemeten met een drukmeting. De gewenste filterbedweerstand kan handmatig worden ingesteld door de luchtdruk van de mammoetpomp te reguleren en zo de zandsnelheid te verhogen/verlagen. De maximale filterbedweerstand is 40 cm waterkolom. Omdat de filterbedweerstand in het filterbed plaatselijk kan verschillen. Op Kaatsheuvel wordt de zandsnelheid in de vier kwadranten van de zandfiltratie eenheid gemeten. Deze zandsnelheden dienen een bepaalde minimale waarde niet te onderschrijden omdat er anders sprake is van een gehinderde snelheid. Het besturingssysteem op Kaatsheuvel geeft, als niet aan de randvoorwaarden voor de zandsnelheden wordt voldaan, een alarm.

Zuiveringsrendement

De toevoer- en afvoer kwaliteit van de zandfilters is voornamelijk voor fosfaat gemeten. In afbeelding 2 zijn de meetresultaten tussen 2003 en 2005 gegeven. Uit de afbeelding blijkt dat op Kaatsheuvel een fosfaatgehalte $\leq 0,15$ mg/l wordt gerealiseerd. De gemiddelde P-totaal effluentconcentratie bedraagt 0,08 mg/l. De lage fosfaat effluentconcentratie op Kaatsheuvel is waarschijnlijk een combinatie van een stabiele toevoer, zowel qua hoeveelheid (m^3/h^1) en kwaliteit (mg P/l), een relatief lage hydraulische belasting (5-10 m/h), en een voldoende hoge Me/P-verhouding.

AFBEELDING 2 P-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER, CONTINU ZANDFILTER, RWZI KAATSHEUVEL



Bedrijfsvoeringsaspecten

De bedrijfsvoering van de zandfilters omvat een aantal routine werkzaamheden. Op wekelijkse basis worden een aantal onderdelen van de continue filtratie zoals de zandwasser, labyrint, filtraatruimte, peilglas, vochtafscheider, ontluuchting mammoetpomp, persluchtfilters, (doseer)pompen en het niveau in de chemicaliënopslagtank geïnspecteerd. Jaarlijks worden de mammoetpomp en zandbedhoogte gecontroleerd. De totale gemiddelde tijdsbesteding bedraagt één uur per week.

¹ Op Kaatsheuvel wordt een deelstroom behandeld.

Na de in bedrijf name van de zandfiltratie zijn er in de loop der tijd een aantal problemen en storingen opgetreden. In dit kader kunnen worden genoemd:

- Verstopping van de mammoetpomp door blad en andere grove delen. Dit probleem is verholpen door de afloop van de nabezinking te ontdoen van grove bestanddelen met een geperforeerde plaat met 3 mm poriën.
- Uitschakelen van het filter door onjuiste weerstandmetingen. Dit probleem is verholpen door het plaatsen van een drukmeter om de filterbedweerstand te bepalen,
- Het optreden van alarmeringen vanuit de metingen aan de zandsnelheden in de vier kwadranten. Deze alarmeringen hadden geen directe invloed op de procesvoering maar noodzaakte de bedrijfsvoering tot het uitvoeren van handmatige zandsnelheidsmetingen. Hieruit bleek steeds dat deze alarmeringen onterecht waren. Het goed functioneren van automatische metingen van de zandsnelheid is een punt van verbetering.

Op Kaatsheuvel geldt dat na de in bedrijf name en het verhelpen van een aantal storingen, de bedrijfsvoering probleemloos verloopt.

Kosten

De opgegeven stichtings- en exploitatiekosten van de filterinstallatie zijn weergegeven in tabel 1.

TABEL 1

STICHTINGS- EN EXPLOITATIEKOSTEN ZANDFILTERINSTALLATIE KAATSHEUVEL (2002)

	Kosten (€)
Stichtingskosten	430.000
Exploitatiekosten	58.970
Kapitaalslasten	38.000
Energie	6.250
Personeel	5.570
Chemicaliën	1.650
Onderhoud	7.500

CASE RUURLO & WEHL

Op de rwzi's Ruurlo (9.500 i.e. á 54 g BZV, type actief slib installatie) en Wehl (8.500 i.e. á 54 g BZV, type actief slib installatie) wordt sinds 1998 een continue filtratie op praktisch-schaal toegepast voor zwevendestof- en fosfaatverwijdering. De dimensioneringsgegevens voor de zandfilters zijn gegeven in tabel 4 en 5 van het hoofdrapport.

Procesregeling

- *Aanvoer zandfiltratie*

Het zandfilter wordt gravitair gevoed. De afloop van de nabezinktank wordt in een voorbehandelingsstap ontdaan van grove delen door toepassing van een rooster.

- *Fosfaatverwijdering*

Fosfaatverwijdering berust op precipitatie met FeCl_3 . Menging van de toevoer en FeCl_3 vindt plaats met een statische menger. De Me/P verhouding bedraagt 0,4. Er is echter geen fosfaatmeting in de toevoer aanwezig. De fosfaatconcentratie in de toevoer wordt handmatig ingevoerd.

- *Filterbedweerstand*

Een belangrijke parameter bij continue filtratie is de filterbedweerstand. Deze wordt gemeten met een drukmeting. De gewenste filterbedweerstand kan handmatig worden ingesteld door de luchtdruk van de mammoetpomp te reguleren en zo de zandsnelheid te verhogen/verlagen. De maximale filterbedweerstand is 50 cm waterkolom.

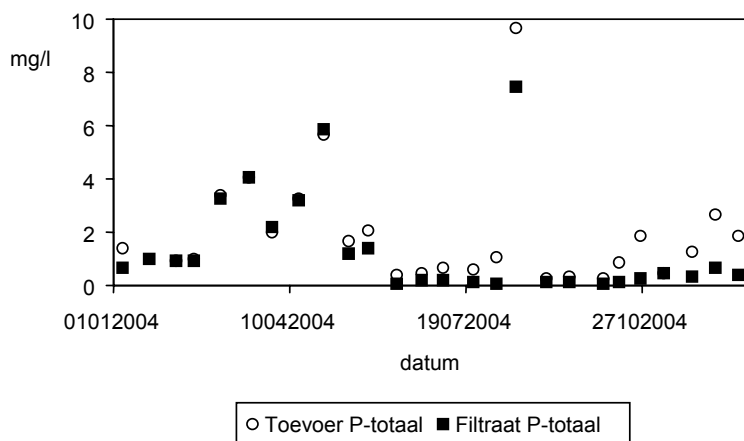
Zuiveringsrendement

De toevoer- en afvoer kwaliteit van de zandfilters is voornamelijk bepaald voor zwevend stof en fosfaat. De P-totaal gegevens van 2004 voor Ruurlo en Wehl zijn gegeven in afbeelding 1 en 2. Hieruit blijkt dat de fosfaatverwijdering bij de zandfiltratie relatief laag is (zie ook tabel 5 van het hoofdrapport). De gemiddelde waarde voor P-totaal in het filtraat is op Ruurlo 1,1 mg P/l, en op Wehl 0,44 mg P/l; Dit komt overeen met gemiddelde P-totaal verwijderingsrendementen van 36 en 46%. De verwijdering van zwevend stof bedraagt respectievelijk 11 en 58%.

In vergelijking met Kaatsheuvel functioneren Ruurlo en Wehl minder goed wat betreft de verwijdering van fosfaat en zwevende stof. In de winterperiode wordt de dosering van ijzerchloride aanzienlijk verminderd, vanwege de dan geldende effluenteis van 1 mg P/l. Doordat de dosering afneemt neemt ook het verwijderingsrendement af. In 2004 is in de periode januari tot en met april de dosering uitgezet.

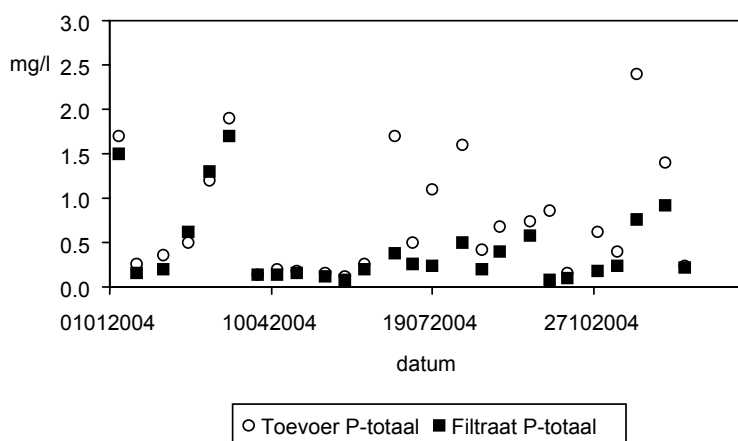
AFBEELDING 1

P-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER CONTINU ZANDFILTER, RWZI RUURLO



AFBEELDING 2

P-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER CONTINU ZANDFILTER. RWZI WEHL



Bedrijfsvoeringaspecten

De bedrijfsvoering van de continue filtraties verloopt in de praktijk nagenoeg probleemloos; er zijn weinig onderhoudswerkzaamheden noodzakelijk.

Het voornaamste probleem van beide zandfiltraties is de relatieve lage verwijdering van fosfaat en zwevende stof. Een belangrijke oorzaak hierbij is een niet automatische dosering van FeCl_3 . Bij Ruurlo kan hierbij worden aangetekend dat overbelasting voor wat betreft zwevende stof tot 2 keer de ontwerpcapaciteit regelmatig voorkomt. Omdat de FeCl_3 dosering op Ruurlo een vaste waarde heeft is er dan sprake van een serieuze onderdosering van FeCl_3 en een nog slechter verwijderingsrendement.

Op beide installaties zijn in de loop der tijd een aantal wijzigingen in de zandsnelheid (filterbedweerstand) en de ijzerdosering (instellen doseerdebiet) toegepast. Dit had echter niet het gewenste effect.

Wel kan worden aangetekend dat bij Ruurlo en Wehl is gebleken dat het verwijderen van grove bestanddelen uit het rwzi effluent via een voorbehandeling met een zeef en het afdekken van de filters, belangrijk is oom verstoppingproblemen te voorkomen.

Kosten

De opgegeven stichtingskosten en exploitatiekosten van beide filterinstallaties zijn weer-
gegeven in tabel 1.

TABEL 1

STICHTINGS- EN EXPLOITATIEKOSTEN ZANDFILTERINSTALLATIES, RWZI RUURLO EN WEHL (1998)

	Kosten Ruurlo (€)	Kosten Wehl (€)
Stichtingskosten	600.000	500.000
Exploitatiekosten	73.200	64.300
Kapitaalslasten	53.200	44.300
Energie	2.500	2.500
Personeel	5.000	5.000
Chemicaliën	5.000	5.000
Onderhoud	7.500	7.500

CASE DE GROOTE LUCHT

Op rwzi De Groote Lucht (315.000 i.e. á 54 g BZV, type: voorbezinking, oxidatiebed, tussenbezinking, actiefslib proces) is sinds 5 jaar op praktijkschaal een continue filtratie in bedrijf voor de verwijdering van stikstof. De zandfiltratie behandelt een deel van de afloop van het nabezinkproces. De doelstelling is dat de rwzi inclusief zandfiltratie een effluentkwaliteit lager dan 10 mg N/l garandeert. Afbeelding 1 geeft een luchtfoto van de locatie van de zandfiltratie op de rwzi.

AFBEELDING 1

LUCHTFOTO VAN RWZI DE GROOTE LUCHT MET RECHTSONDER HET ZANDFILTERGEBOUW



Procesregelingen

Om de zandfiltratie te regelen zijn de volgende continue on-line metingen voorzien: toevoerdebiet, nitraat toevoer en filtraat, zuurstof toevoer, temperatuur en het waterniveau in de toevoergoot.

- Toevoer zandfiltratie**
 Op de rwzi wordt een deelstroom van 3.600 m³/h, overeenkomend met 82% van de DWA aanvoer, door de zandfilters behandeld. Deze deelstroom wordt naar de zandfiltratie gepompt. Het aangevoerde water wordt met een verdeelwerk over 6 filtereenheden met ieder 8 filtercellen geleid. Aanvankelijk waren op de Groote Lucht 4 filtereenheden in bedrijf. Echter, om aan de lozingsnorm te voldoen zijn extra filtereenheden bijgeplaatst.
- Filterbedweerstand**
 De filterbedweerstand wordt automatisch geregeld door automatisch de luchtdruk van de mammoetpomp te reguleren en zo de zandsnelheid te verhogen/verlagen.
 Op De Groote Lucht wordt deze regeling uitgevoerd met het door Paques ontwikkelde systeem Astracontrol®. Bij deze regeling wordt gebruik gemaakt van de volgende parameters die mede bepalend zijn voor de filterbedweerstand: temperatuur, druk, viscositeit

en hydraulische belasting. De temperatuur en druk worden gemeten. De viscositeit moet handmatig worden ingevoerd. De maximale filterbedweerstand bedraagt 50 cm waterkolom. Omdat de filterbedweerstand in het filterbed plaatselijk kan verschillen wordt automatisch de zandsnelheid in de vier kwadranten gemeten. Bij een ongelijke verdeling wordt een alarm gegenereerd. De installatie blijft in bedrijf.

- *Stikstofverwijdering*

Stikstof wordt verwijderd via denitrificatie. Als koolstofbron wordt methanol gedoseerd. De dosering wordt automatisch ingesteld op basis van de gemeten toevoerconcentraties nitraat en zuurstof, en het aangevoerde debiet naar de zandfilters. Uit deze parameters wordt de aanvoervrachten van nitraat en zuurstof naar de zandfilters berekend.

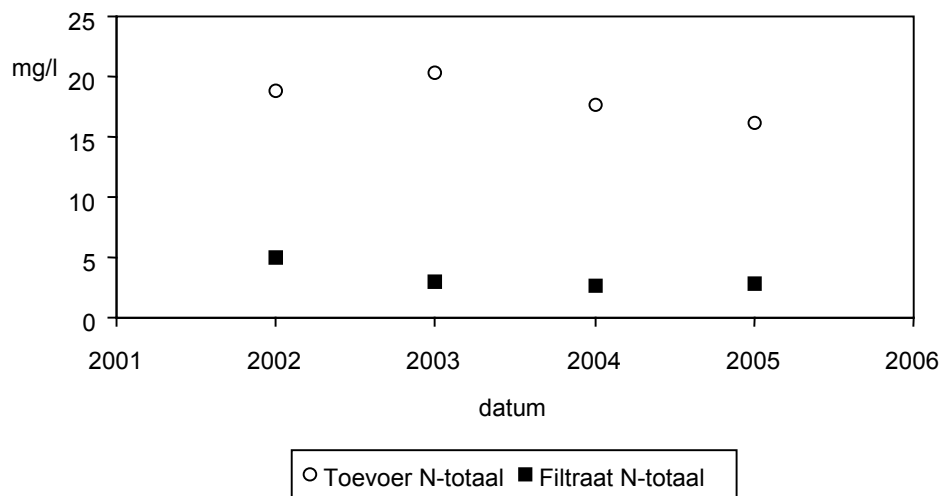
Deze waarde wordt, in combinatie met de gewenste BZV/N en BZV/O₂ verhouding, gebruikt om de methanol dosering vast te leggen. Op De Groote Lucht wordt uitgegaan van een BZV/N 4,5 en een BZV/O₂ van 1. Menging van methanol – water wordt in-line uitgevoerd.

Zuiveringsrendement

De toevoer en afvoertkwaliteit van de zandfilters is voornamelijk gemeten voor stikstof. De jaargemiddelden voor N-totaal zijn gegeven in afbeelding 2. Hieruit blijkt dat een filtraatconcentratie van de zandfilters < 5 mg/l wordt gerealiseerd. Het gemiddelde verwijderingsrendement voor N-totaal en NO₃-N bedraagt respectievelijk 81 en 92%.

AFBEELDING 2

N-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER CONTINU ZANDFILTER, RWZI DE GROOTE LUCHT



Bedrijfsvoeringaspecten

De normale werkzaamheden rondom de zandfilters omvat een halve dag werk (per week) voor 1 persoon. De werkzaamheden bestaan uit het regelmatig schoonmaken van de meetinstrumentatie, inspectie van de zandsnelheden en zandhoogte, inspectie afvoerleidingen van waterbak, en overige onderhoudswerkzaamheden.

Na de in bedrijf name van de zandfiltratie zijn er in de loop der tijd een aantal problemen en storingen opgetreden. In dit kader kan worden genoemd:

- Een hoge zanduitspoeling met het waswater. Door aanpassingen in de zandwasser is dit probleem grotendeels verholpen.

- Een laag toevoerdebiet gedurende de nacht. Om de zandfilters in bedrijf te houden tijdens een laag toevoerdebiet is recirculatie van filtraat noodzakelijk. Vanwege onvoldoende capaciteit van de spoelwaterbuffer om voldoende recirculatie te realiseren wordt het waswater debiet tijdens een recirculatieperiode verlaagd, waardoor er nagenoeg geen wassing meer plaatsvindt. Ondanks het verlaagde waswaterdebiet, wordt inklinking van het zandbed niet voorkomen en moet, als het toevoerdebiet weer toeneemt, het zandbed eerst worden "losgemaakt" door tijdelijk een verhoogde luchttoevoer toe te passen. Om dit te realiseren is de regeling van de luchtdruk van de mammoetpompen gewijzigd.
- De mammoetpompen en labyrinten waren oorspronkelijk in kunststof uitgevoerd en moesten na 5 jaar wegens slijtage worden vervangen door metalen wassers. De investeringskosten hiervoor waren relatief hoog.
- Een regelmatige vervuiling van de optische elementen van de nitraatmeters. Hierdoor werd er foutief gemeten met het gevolg dat de methanoldosering niet correct was. De nitraatmeters moeten bij voorkeur in een turbulente zone worden gehangen. Verder blijkt in de praktijk dat het water waarin nitraat wordt gemeten door kleine slangetjes naar de meetinstrumentatie wordt geleid. Deze slangetjes zijn gevoelig voor verstoppingen, waardoor deze 1 keer per week worden schoongemaakt.
- Een problematische verdeling van de toevoer bij een hydraulische belasting lager dan 7,5 m/h. Omdat methanol per filter wordt gedoseerd op basis van 1 nitraatmeting in de toevoerheader, zal bij een ongelijke verdeling onder- of overdosering kunnen optreden. Het is in dit geval beter methanol eveneens op de toevoerheader te doseren.
- Ook op De Groote Lucht geven de zandsnelheidsmeters regelmatig een lage snelheid waardoor een storing wordt gemeld. Na controle blijkt de meter vast te zitten, terwijl het zand dan wel een goede snelheid heeft.

Kosten

De opgegeven stichtingskosten en exploitatiekosten zijn weergegeven in tabel 1.

TABEL 1

STICHTINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN ZANDFILTERINSTALLATIE, RWZI DE GROOTE LUCHT (2001)

	Kosten (€)
Stichtingskosten	12.000.000
Exploitatiekosten	1.496.200
Kapitaalslasten	1.062.200
Energie	103.600
Personeel	50.400
Chemicaliën	229.600
Onderhoud	50.400

CASE MAASBOMMEL

Op rwzi Maasbommel (5.600 i.e. á 54 g BZV, type actiefslibinstallatie) is sinds 2003 een onderzoek naar de toepassing van een tweetraps zandfiltratie voor de verwijdering van stikstof en fosfaat uit het rwzi-effluent. De doelstelling hierbij is dat het filtraat voldoet aan stikstof- en fosfaateisen van resp. $< 2,2 \text{ mg/l}$ en $< 0,15 \text{ mg/l}$. De zandfiltratie is op praktijkschaal uitgevoerd, en bestaat uit een combinatie van biologische filtratie (stikstofverwijdering) en vlokingsfiltratie (fosfaatverwijdering) in serie. In het onderzoek is ook gekeken naar de verwijdering van hormoonverstorende en prioritaire stoffen. De zandfiltratie is in afbeelding 1 gegeven.

AFBEELDING 1

DENITRIFICEREND EN DEFOSFATEREND CONTINUE ZANDFILTERS, RWZI MAASBOMMEL



Procesregelingen

De afloop van de nabezinking wordt in een eerste stap ontdaan van grove delen om mogelijke verstopping van de mammoetpomp te voorkomen. Hiertoe wordt het water door een 2 mm zeef geleid, waarna wordt het verzameld in de pompput. Vanuit de pompput wordt de afloop van de nabezinktank naar het denitrificerende zandfilter gepompt. Het filtraat stroomt onder vrijverval naar het tweede, defosfaterende filter.

Om het proces te regelen zijn de volgende metingen voorzien: debiet, nitraat en fosfaat toevoer en afvoer, zuurstofmeting toevoer, temperatuur toevoer, en het niveau in de toevoergoot.

- *Aanvoer zandfiltratie*

De aanvoer naar de zandfiltratie vanuit de pompput wordt geregeld met twee frequentie gestuurde pompen. Het pompdebiet wordt bepaald door een niveau-debiet regeling. Als het aanvoerdebiet vanuit de rwzi te hoog is wordt het overschot rwzi effluent via een overstort weggevoerd. Als het aanvoerdebiet vanuit de rwzi te laag is, wordt filtraat gerecirculeerd.

- *Filterbedweerstand*

De filterbedweerstand wordt automatisch geregeld door automatisch de luchtdruk van de mammoetpomp te reguleren en zo de zandsnelheid te verhogen/verlagen. Op het eerste filter te Maasbommel wordt deze regeling uitgevoerd met het door Paques ontwikkelde

systeem Astracontrol®. Bij deze regeling wordt gebruik gemaakt van de volgende parameters die mede bepalend zijn voor de filterbedweerstand: temperatuur, druk, viscositeit en hydraulische belasting. De temperatuur en druk worden gemeten. De viscositeit moet handmatig worden ingevoerd. De maximale filterbedweerstand bedraagt 110 cm waterkolom.

Omdat de filterbedweerstand in het filterbed plaatselijk kan verschillen, wordt automatisch de zandsnelheid in de vier kwadranten gemeten. Bij een ongelijke verdeling wordt een alarm gegenereerd. De installatie blijft in bedrijf.

- *Stikstofverwijdering*

Stikstof wordt verwijderd via denitrificatie. Als koolstofbron wordt acetol gedoseerd. De dosering wordt automatisch ingesteld op basis van de gemeten toevoerconcentraties nitraat en zuurstof, en het aangevoerde debiet naar de zandfilters. Uit deze parameters wordt de toevoervrachten nitraat en zuurstof naar de zandfilters berekend. Deze waarde wordt, in combinatie met de gewenste BZV/N en BZV/O₂ verhouding, gebruikt om de methanol dosering vast te leggen. Op Maasbommel wordt uitgegaan van een BZV/N 4,2 en een BZV/O₂ 1,7. Menging methanol – water wordt in-line met een statische menger uitgevoerd.

- *Fosfaatverwijdering*

Fosfaat wordt verwijderd door precipitatie met FeCl₃. De FeCl₃ dosering wordt automatisch ingesteld op basis van het gemeten toevoerdebiet en de fosfaatconcentratie in de toevoer. Uit deze parameters wordt de fosfaatvracht berekend. Hieruit wordt vervolgens, uitgaande van een instelbare Me/P verhouding de benodigde FeCl₃ dosering bepaald. Op Maasbommel wordt uitgegaan van een setpoint Me/P = 3. FeCl₃ wordt in line gedoseerd.

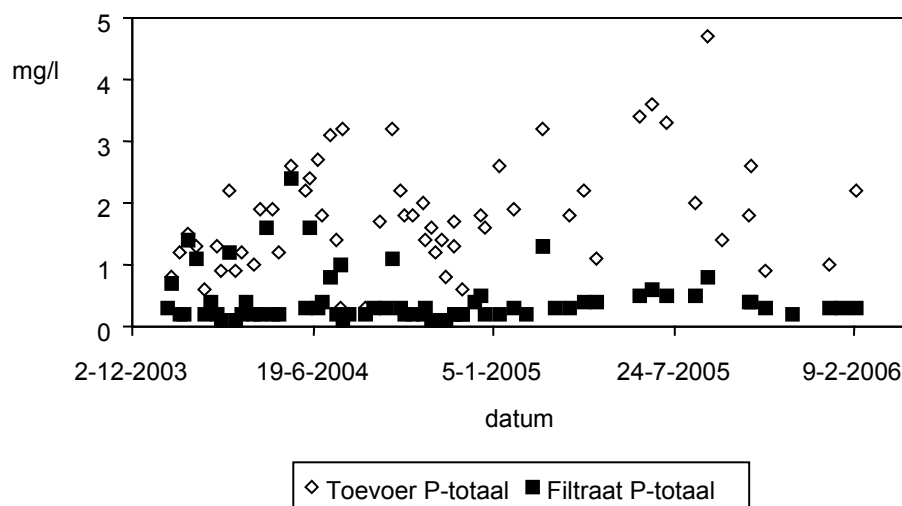
Zuiveringsrendement

De toevoer- en afvoer kwaliteit van de zandfilters is voornamelijk gemeten op stikstof en fosfaat. De prestatie van het zandfilter tussen 2003 en 2006 is gegeven in afbeeldingen 2 en 3. Hieruit blijkt dat de gemiddelde filtraatconcentratie 0,44 mg P/l en 2,6 mg N/l bedroeg. Aan de oorspronkelijke doelstelling van Maasbommel, het voldoen aan N < 2,2 mg/l en P < 0,15 mg/l werd niet voldaan. Het verwijderingsrendement voor N-totaal en NO₃-N bedraagt gemiddeld 40 en 53%. Het verwijderingsrendement voor P-totaal bedraagt gemiddeld 72%.

Naast fosfaat en stikstof is tijdens het onderzoek in Maasbommel ook de verwijdering nagegaan van pesticiden/herbiciden (11 analyses), zware metalen (27 analyses), ziekteverwekkers (26 analyses) en hormoonverstorende stoffen (2 analyses). De resultaten van de metingen zijn vermeld in tabel 20 en 21 van het hoofdrapport. Hieruit is af te leiden dat de verwijderingsrendementen voor de verschillende parameters verschillen en relatief laag zijn. Er wordt aangenomen dat de verwijdering van deze stoffen in het zandfilter niet biologisch is maar fysisch. De opgeloste componenten worden naar verwachting niet verwijderd en de aan zwevende stof gebonden componenten worden deels verwijderd. De verwijdering van Nikkel, Diuron, Linuron en Bisfenol A is nihil.

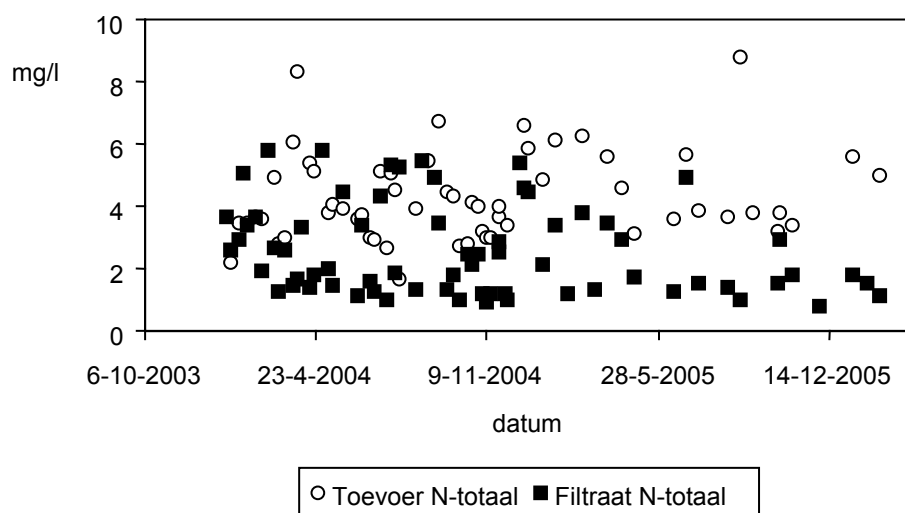
AFBEELDING 2

P-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER CONTINU ZANDFILTER, RWZI MAASBOMMEL



AFBEELDING 3

N-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER CONTINU ZANDFILTER, RWZI MAASBOMMEL



Bedrijfsvoering

De werkzaamheden omvatten een wekelijkse controle van de volgende onderdelen: wasserbak, labyrint, filtraatruimte, peilglas, vochtscheider, ontluchting van de mammoetpomp, persluchtfilters, (doseer)pompen en het niveau van de chemicaliënopslagtank. Deze werkzaamheden nemen circa 3 uren per week in beslag. De mammoetpomp en zandbedhoogte dienen verder 1 keer per jaar te worden gecontroleerd.

Na de in bedrijf name van de zandfiltratie zijn er in de loop der tijd een aantal problemen en storingen opgetreden, zoals:

- storingen aan mammoetpomp, compressor en de verschillende metingen.
- Zanduitspoeling met het waswater.
- Alarmeringen gemeld door de automatische metingen van de zandsnelheden in verschillende kwadranten van het continue zandfilter. Na handmatige controlemetingen bleken deze alarmeringen foutief. De betrouwbaarheid van deze metingen kan ter discussie worden gesteld.

- De regeling van de filterbedweerstand resulteerde in diverse storingsmeldingen, vooral bij verhoogde bedweerstand instellingen. De verhoogde filterbedweerstand was een gevolg van de lage temperatuur, en een hogere hydraulische belasting. Het probleem is verholpen door de overstort in het zandfilter te verhogen, en een hogere filterbedweerstand mogelijk te maken.

Kosten

De opgegeven stichtingskosten en exploitatiekosten zijn weergegeven in tabel 1.

TABEL 1

STICHTINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN ZANDFILTERINSTALLATIE, RWZI MAASBOMMEL (2003)

	Kosten (€)
Stichtingskosten	1.040.000
Exploitatiekosten	117.600
Kapitaalslasten	92.100
Energie	2.500
Personeel	3.400
Chemicaliën	9.800
- ijzerchloride	2.500
- Acetol	7.300

CASE LEEUWARDEN

Op de rwzi Leeuwarden (170.000 i.e. á 54 g BZV, actiefslib-installatie met chemische P verwijdering) is van oktober 2004 tot juni 2005 een onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van zandfiltratie voor:

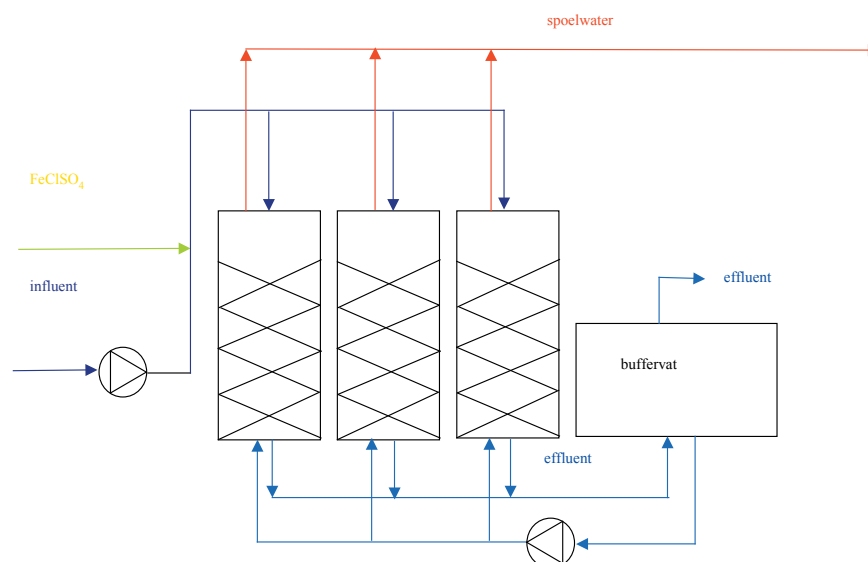
- verwijdering van fosfaat en stikstof;
- zwevende stof verwijdering;
- desinfectie.

De dimensionering van de filters is weergegeven in tabel 9 van het hoofdrapport.

Procesregelingen

Het rwzi effluent wordt in een eerste stap ontdaan van grove delen door een zuigkorf over de voedingspomp naar de zandfiltratie. Een vereenvoudigd processchema van de zandfiltratie is weergegeven in afbeelding 1.

AFBEELDING 1 SCHEMA PARALLEL GESCHAKELDE ZANDFILTERS TE LEEUWARDEN²



De afloop van de nabezinktank wordt met een aanvoerpomp over de drie zandfilters geleid. Filtraat wordt opgevangen in een buffervat die tevens de functie heeft als spoelwaterbuffer.

Dosering chemicaliën

FeClSO_4 wordt handmatig gedoseerd op een instelbare waarde.

Terugspoelen

In Leeuwarden zijn drukfilters gebruikt. Tijdens de belading neemt de druk toe van 0,6 tot 1,1 bar. Als de maximale druk is bereikt spoelt het filter automatisch terug met filtraat vanuit de buffertank.

Zuiveringsrendement

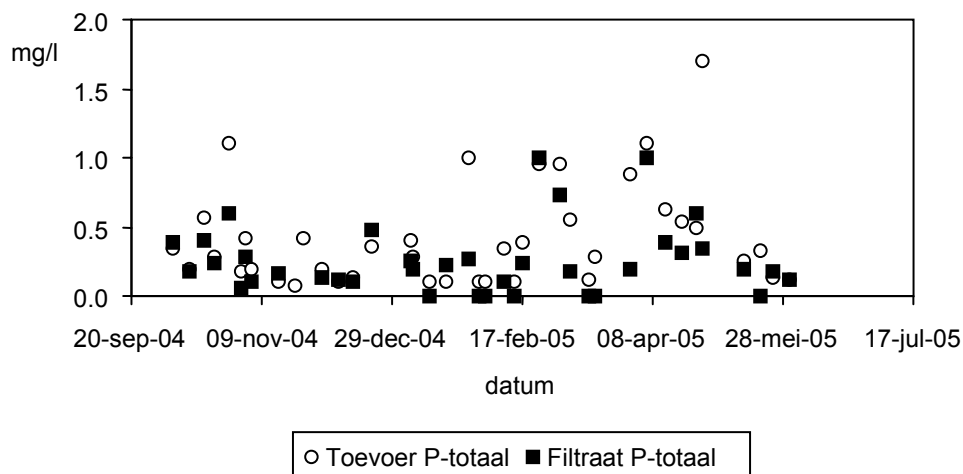
De toevoer- en afvoer kwaliteit van de zandfilters is gemeten voor N, P, zwevende stof, troebelheid, chloride, elektrisch geleidingsvermogen, zuurgraad en E-coli 37 en 44 °C.

De gegevens voor P-totaal staan vermeld in afbeelding 2.

² Kuipers, J. (2005). Proefinstallatie zandfilter met nageschakelde electrocel, Noordelijke Hogeschool Leeuwarden.

AFBEELDING 2

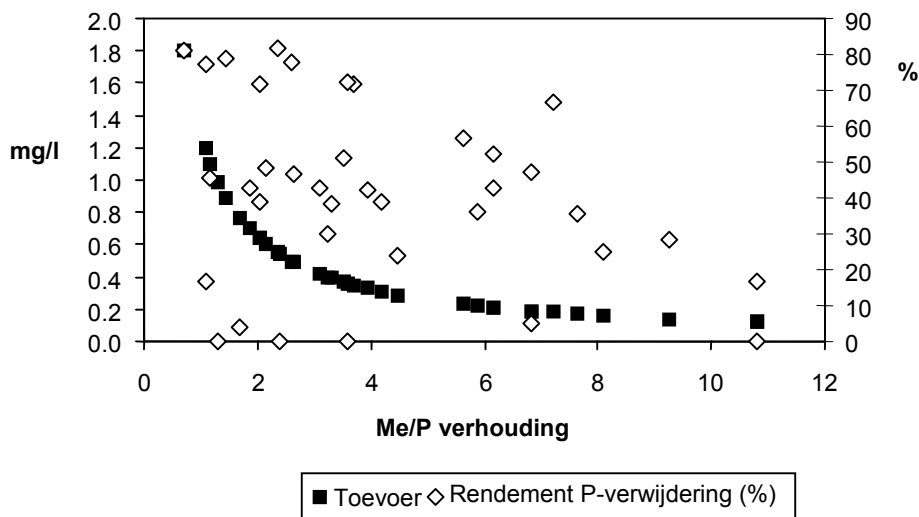
P-TOTAAL KWALITEIT TOEVOER EN AFVOER DISCONTINUE ZANDFILTERS, RWZI LEEUWARDEN



De gemiddelde P-totaal concentratie in het filtraat in Leeuwarden bedroeg 0,27 mg P/l is. Het P-totaal verwijderingsrendement bedroeg 44%. De gemiddelde P-totaal concentratie was hiermee hoger dan de gewenste 0,15 mg/l. De Me/P verhouding werd handmatig ingesteld. De relatie tussen de gehanteerde Me/P verhouding en de toevoerconcentratie en het P-verwijderingsrendement is weergegeven in afbeelding 3. Hieruit is af te leiden dat het verwijderingspercentage globaal toeneemt bij toenemende toevoerconcentraties en een Me/P verhouding tussen de 0,8 en 3.

AFBEELDING 3

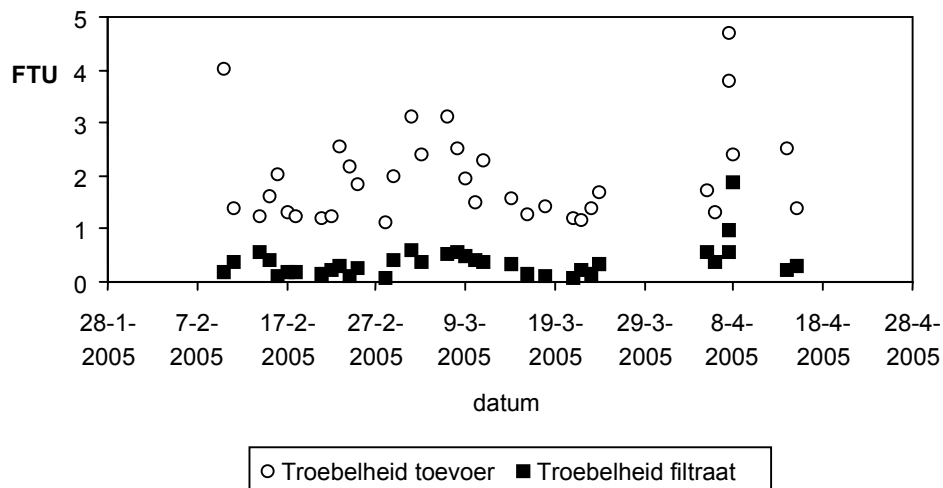
P-TOTAAL IN TOEVOER EN P-VERWIJDERING VERSUS DE ME/P VERHOUDING



De troebelheidgegevens (FTU) zijn gegeven in afbeelding 4. Het zwevendestofgehalte in het filtraat was < 5 mg/l. Uit afbeelding 4 blijkt dat het gemiddelde verwijderingsrendement voor troebelheid 84% bedraagt.

AFBEELDING 4

TROEBELHEID (FTU) IN TOEVOER EN AFVOER VAN ZANDFILTERS TE LEEUWARDEN



De verwijdering van E-coli 37 en 44 °C bleek nihil. Het behandelde water voldeed niet aan de normen van de vierde nota waterhuishouding en de zwemwaterrichtlijnen. Tot slot is in een steekmonster de verwijdering van medicijnen en hormoonverstorende stoffen nagegaan. De resultaten van deze metingen zijn vermeld in tabel 1. Hieruit blijkt dat de medicijnen carbamazepine, coffeine, erythromycine, metropolol, en sulfamethoxazol nauwelijks worden verwijderd worden. De reductie van hormoonverstorende stoffen bedroeg 53%.

TABEL 1

TOEVOER EN FILTRAATCONCENTRATIES MEDICIJNEN EN HORMOONVERSTORENDE STOFFEN ZANDFILTERS LEEUWARDEN

Parameter	Eenheid	Toevoer zandfilters	Filtraat zandfilters	Rendement %
Carbamazepine	µg/l	0,65	0,67	< 0
Coffeine	µg/l	< 0,05	< 0,05	≤ 0
Diclofenac	µg/l	0,17	0,1	41
Erythromycine	µg/l	0,08	0,08	0
Gemfibrozil	µg/l	0,07	0,01	86
Metoprolol	µg/l	0,63	0,59	6
Naproxen	µg/l	0,04	< 0,02	> 50
Sulfamethoxazol	µg/l	0,1	0,1	0
Trimethoprim	µg/l	0,2	0,13	35
ER-Calux	nM	0,43	0,2	53

Bedrijfsvoeringsaspecten

De werkzaamheden bij het (pilot) zandfilter bestaan voornamelijk uit het inspecteren van de installatie, bijhouden van een logboek, en het aanpassen van de ijzerdosering. De zandfiltratie is door de operators, behoudens enkele lekkages en thermische storingen, als zeer robuust ervaren.

Kosten

Omdat het hier een pilot-installatie betreft zijn kosten niet van toepassing.

BIJLAGE 3

ZANDFILTRATIE IN HET BUITENLAND

CASE: BEKKELAGET, OSLO

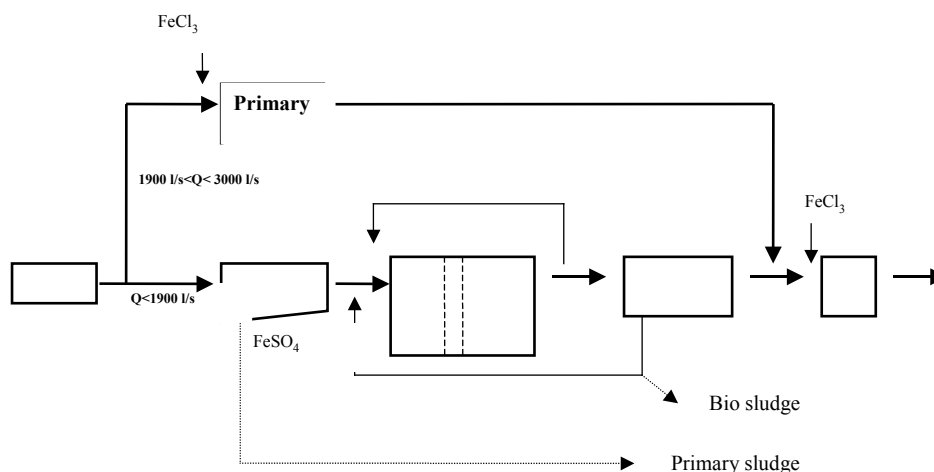
Situatieschets

Op de rwzi Bekkelaget te Oslo is de gemiddelde dagelijkse aanvoer circa 110.000 m³/dag. Bij RWA omstandigheden kan de maximale aanvoer richting de rwzi op lopen tot 260.000 m³/dag. Dit debiet wordt niet volledig biologisch behandeld. De afvalwaterhoeveelheid tussen de 164.000 m³/dag en de 260.000 m³/dag wordt na de roostergoedverwijdering, via een bypass, om de biologie heen geleid. De bypass is wel voorzien van een soort voorbezinking. Vervolgens wordt de bypass weer gekoppeld met het deel dat wel biologisch gereinigd is en gaat het volledige debiet over de zandfilters heen.

Een vereenvoudigd processchema van de zuivering is weergegeven in afbeelding 1. In afbeelding 2 is de opbouw van het filterbed weergegeven.

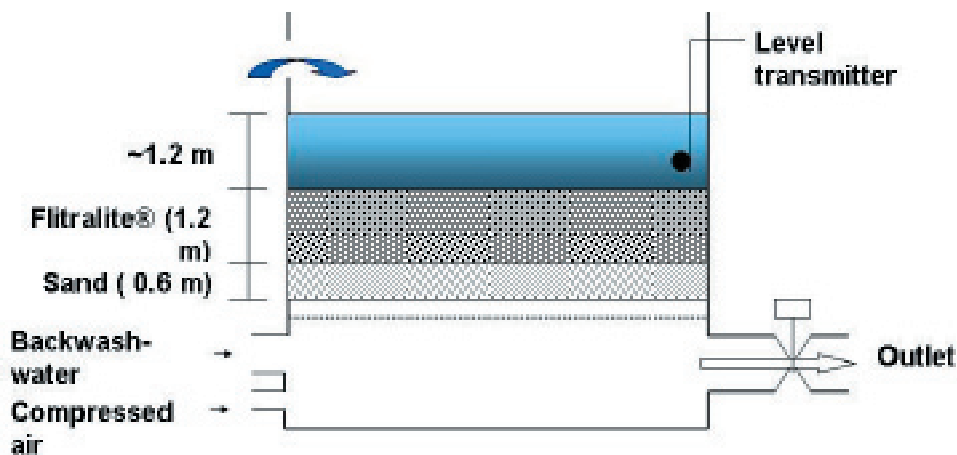
AFBEELDING 1

PROCESSCHEMA RWZI BEKKELAGET, OSLO



AFBEELDING 2

SCHEMATISCHE VOOSTELLING FILTERBED ZANDFILTER, RWZI BEKKELAGET, OSLO



Dosering chemicaliën

FeCl_3 wordt gedoseerd in het toevoerkanaal van de zandfiltratie. De menging gebeurt in het kanaal zelf; er is dus geen aparte mengtank. De dosering bedraagt circa 0,6-0,8 gram Fe/m^3 , er wordt alleen gedoseerd in perioden met hoge aanvoer.

Terugspoelen

Het spoelproces bestaat uit drie cycli waarbij met water en lucht wordt gespoeld.

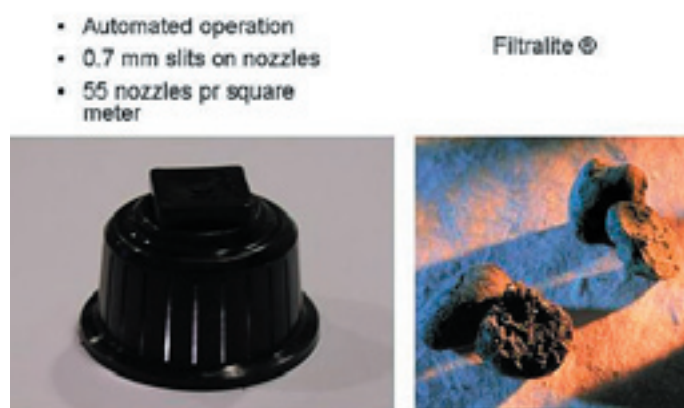
- Cyclus 1: spoelen met lucht (circa 90 seconden)
spoelen met lucht en water tot vastgesteld waterniveau
- Cyclus 2: spoelen met lucht (circa 90 seconden)
spoelen met lucht en water
- Cyclus 3: spoelen met lucht (circa 90 seconden)
spoelen met water tot een vastgesteld waterniveau

Bedrijfsvoeringsaspecten

De installatie heeft in het verleden problemen gekend door een lekkage bij een terugspoelbuis. Hierdoor is gedurende een periode met een lage snelheid terug gespoeld. Hierdoor zijn de filterdoppen onder in het filter verstopt geraakt. De verstopping is waarschijnlijk veroorzaakt door de afzetting van ijzerhydroxide als gevolg van de dosering van ijzerchloridesulfaat als coagulant. De problemen zijn verholpen door het repareren van de pijp en het toepassen van andere filterdoppen met een grotere spleetopening (van 0,5 mm naar 0,7 mm). Tevens is overgegaan naar ijzerchloride als coagulant.

AFBEELDING 3

FILTERDOP (NOZZLE) EN HET FILTRALITE® MATERIAAL

*Zuiveringsrendement*

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de zandfilters voor de parameters P-totaal en zwevende stof bedraagt respectievelijk 60% en 82%. De gemiddelde P-totaal concentratie in het filtraat bedraagt 0,2 mg P/l is.

CASE: WERDHÖLZLI, ZÜRICH

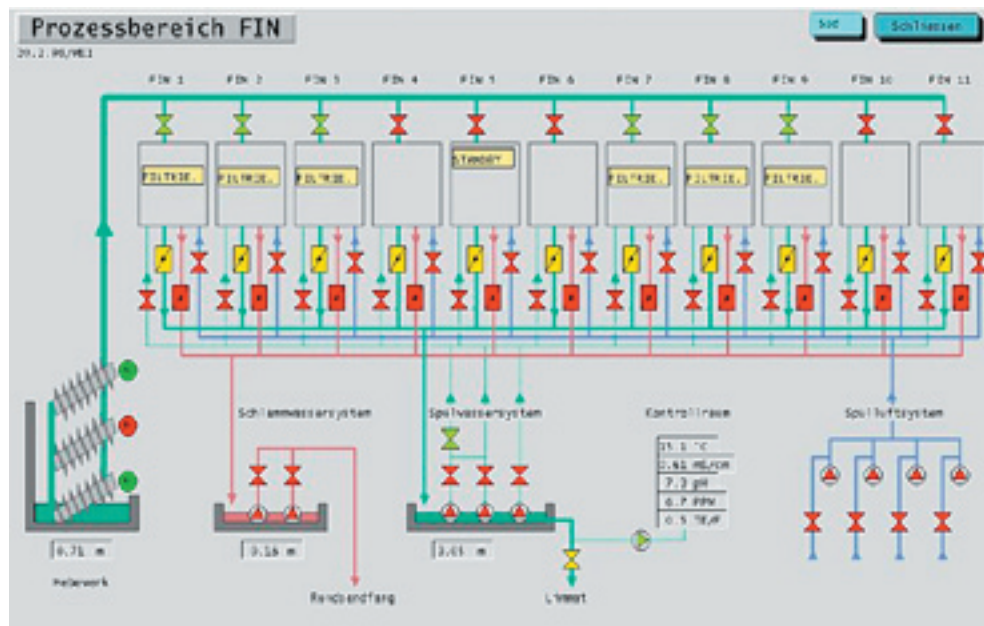
Situatieschets

Op de rwzi van Werdhölzli te Zürich is de gemiddelde dagelijkse aanvoer circa 200.000 m³/dag. Bij RWA omstandigheden kan de maximale aanvoer richting de rwzi oplopen tot 20.800 m³/uur. De zuivering bestaat uit een mechanisch voorbehandeling, een biologische en chemische reiniging, een bezinking en een zandfiltratie.

Een uitsnede van het controle scherm waarop het processchema van de zandfiltratie is gepresenteerd, is weergegeven in afbeelding 1.

AFBEELDING 1

PROCESSHEMA ZANDFILTRATIE RWZI WERDHÖLZLI, ZÜRICH



Dosering chemicaliën

De rwzi maakt voor de fosfaatverwijdering gebruik van FeClSO_4 . Dit wordt op twee plaatsen gedoseerd in de installatie. Als eerste wordt FeClSO_4 gedoseerd in het retourslibgemaal waarna het gemengd wordt met influent in de denitrificatiezone. De tweede plaats waar gedoseerd wordt is in de afloop van de nabezinktanks voordat het wordt opgepompt naar de zandfiltratie. De vlokmiddeldosering wordt alleen gebruikt als soort van bewakingsfunctie. De lozingen voor fosfaat is 0,8 mg/l. Het filtraat voldoet hier aan met een gemiddelde concentratie van 0,6 mg/l.

Terugspoelen

Het spoelproces bestaat uit twee cycli waarbij met water en lucht wordt gespoeld.

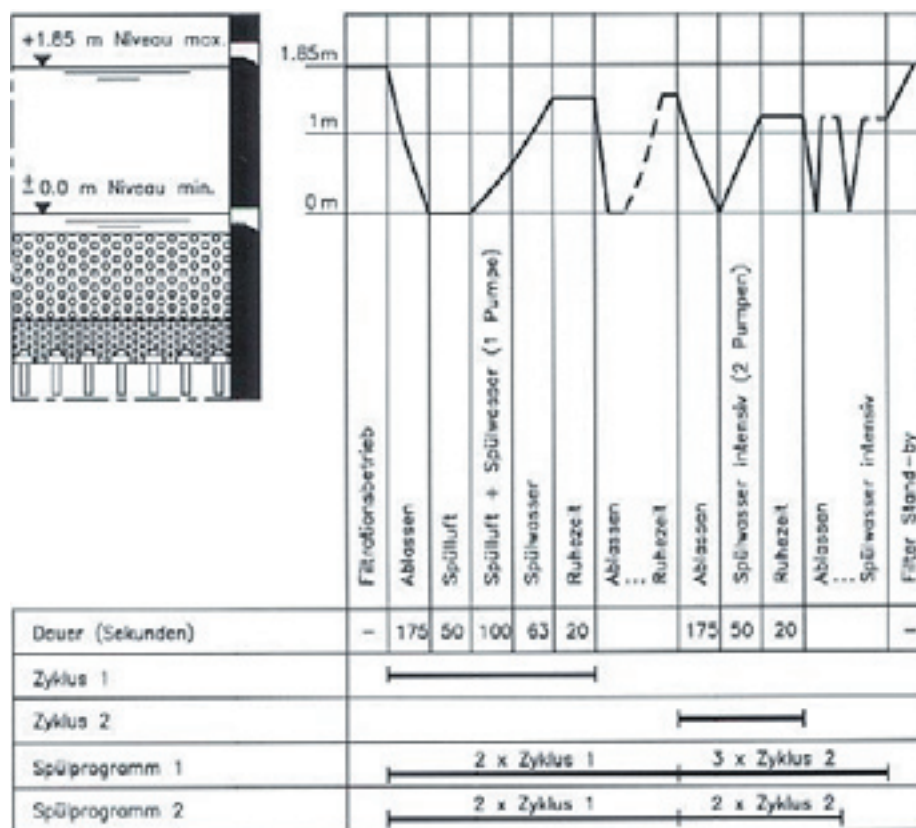
De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

QLucht:	0,81 Nm ³ /s
Duur Luchtspoeling:	2 Spoelingen van ieder 50 s
QWater:	0,95 m ³ /s
Duur Waterspoeling:	3 Spoelingen van ieder 63 s
QLucht + Water:	0,48 m ³ /s Water / 0,81 Nm ³ /s Lucht
Duur Spoeling Lucht/Water:	2 Spoelingen van ieder 100 s

In afbeelding 2 is het spoelproces in meer detail weergegeven.

AFBEELDING 2

SPOELSCHEMA RWZI WERDHÖLZLI, ZÜRICH



Zuiveringsrendement

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de zandfilters voor de parameters P-totaal en zwevende stof bedraagt respectievelijk 25% en 74%. De gemiddelde P-totaal concentratie in het filtraat bedraagt 0,6 mg P/l is.

Bedrijfsvoeringsaspecten

Het onderhoud van de filters blijkt hoger te zijn dan verwacht. Er was vanuit gegaan dat de filters elke 10 jaar groot onderhoud nodig zouden hebben maar dit blijkt bijna elke 3 jaar nodig te zijn. Dit onderhoud wordt voornamelijk veroorzaakt door het verstopen van de filterdoppen. Om de verstoppingen te beperken is men overgestapt van een ijzer-II zout naar een ijzer-III zout.

Kosten

Enkele opgegeven exploitatiekosten van de zandfilterinstallatie zijn in tabel 1 weergegeven.

TABEL 1

ENKELE EXPLOITATIEKOSTEN ZANDFILTERINSTALLATIE RWZI WERDHÖLZLI, ZÜRICH

	Kosten (€)
Exploitatiekosten	350.000
Onderhoud	140.000
Energie	60.000
Personeel	140.000
Chemicaliën	10.000

CASE: SUNDET, VÄXJÖ ZWEDEN*Situatieschets*

Op de rwzi van Växjö te Zweden is de gemiddelde dagelijkse aanvoer circa 1.500 m³/h. Bij RWA omstandigheden kan de maximale aanvoer richting de rwzi op lopen tot 3.000 m³/h. De zuivering bestaat uit een voorbezinking, een biologische reiniging, een nabezinking en een zandfiltratie. Een weergave van de overdekte hal van de zandfiltratie is weergegeven in afbeelding 1. Een schets van de zandfilterinstallatie is weergegeven in afbeelding 2.

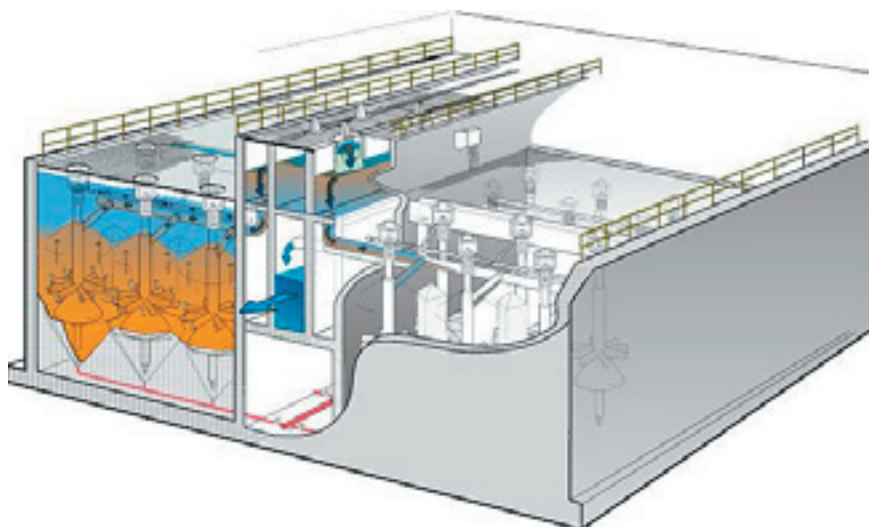
AFBEELDING 1

ZANDFILTRATIEHAL RWZI SUNDET VÄXJÖ ZWEDEN



AFBEELDING 2

OPENGEWERKTE WEERGAVE ZANDFILTRATIE SUNDET VÄXJÖ ZWEDEN



Zuiveringsrendement

Het verwijderingsrendement van de zandfilters voor de parameters P-totaal en zwevende stof en CZV bedraagt respectievelijk 70-90%, 50-80% en 30-50%. De gemiddelde P-totaal concentratie in het filtraat bedraagt 0,1 mg P/l is.

Kosten

Met betrekking tot de kosten is niets bekend gemaakt.