

**Benutting van het effluent
van de rwzi Ede**
Onderzoek op pilot-plantschaal

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA

1999-04_benutting-effluent-rwzi-Ede



99

04

**Benutting van het effluent
van de rwzi Ede**
Onderzoek op pilot-plantschaal

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079 - 361 11 88
fax 079 - 361 39 27
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.055.3

99

04

TEN GELEIDE

	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	5
2	STAND VAN ZAKEN	6
	2.1 Trends in de watervoorziening	6
	2.2 Van rwzi-effluent tot huishoudwater in Kernhem	6
	2.3 Effluent van de rwzi Ede	8
	2.4 Zuiveringsopzet voor huishoudwater	10
	2.5 Basiszuivering door middel van vlokingsfiltratie	10
	2.5.1 Vlokingsfiltratie	10
	2.5.2 Resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek	13
	2.6 Basiszuivering door middel van membraanfiltratie	14
	2.6.1 Membraanfiltratie	14
	2.6.2 Configuratie en bedrijfsvoering	15
	2.6.3 Membraanvervuiling	16
	2.6.4 Eerder uitgevoerd onderzoek	17
	2.6.5 Hygiënische kwaliteit van micro- en ultrafiltraat	17
	2.7 Aandachtspunten bij de levering van huishoudwater op basis van rwzi effluent	18
	2.7.1 Kwaliteitseisen tijdens het zuiveringsproces	18
	2.7.2 Lozing op oppervlaktewater	19
	2.7.3 Infiltratie en bodempassage	19
	2.7.4 Nagroei in transport- en distributiestelsel	19
	2.8 Te onderzoeken aspecten van de basiszuivering	19
	2.9 Resumé	21
3	MATERIALEN EN METHODEN	22
	3.1 Doel van het onderzoek	22
	3.2 Pilotplant voor de vlokingsfiltratie	22
	3.2.1 Systeemkeuze	22
	3.2.2 Beschrijving van de proefinstallatie	22
	3.2.3 Samenstelling van het filterbed	23
	3.2.4 Vlokmiddeldosering en vlokvorming	24
	3.3 Opzet van het onderzoek naar vlokingsfiltratie	24
	3.3.1 Vlokmiddeldosering	24
	3.3.2 Filtraatkwaliteit bij verschillende filtratiesnelheden	24
	3.3.3 Bovenwaterstand	25
	3.3.4 Terugspoelprocedure	25
	3.3.5 Procesbewaking en optimalisatie	25
	3.4 Pilotplant voor de membraanfiltratie	25
	3.4.1 Systeemkeuze	25
	3.4.2 Beschrijving van de proefinstallatie	25
	3.5 Opzet van het onderzoek naar ultrafiltratie	26
	3.5.1 Voorbehandeling	26
	3.5.2 Optimalisatie van de procesvoering	26
	3.6 Experimenten	27
	3.7 Analyses en metingen	29
4	RESULTATEN	31
	4.1 Effluent van de rwzi Ede	31
	4.2 Resultaten van het onderzoek naar vlokingsfiltratie	32
	4.2.1 Optimalisatie van de vlokmiddeldosering (deelonderzoek 1)	32
	4.2.2 Onderzoek naar de werking van de vlokmiddelen	33
	4.2.3 Systeemoptimalisatie (deelonderzoek 2)	33
	4.2.4 Duurproeven naar vlokingsfiltratie (deelonderzoek 3)	34
	4.3 Resultaten van het onderzoek aan de membraanfiltratie	37
	4.3.1 Deelonderzoeken 1 t/m 3	37
	4.3.2 Werking van het membraanfilter	38
	4.4 Onderzoek naar de hygiënische kwaliteit	39
	4.5 Metingen van drukval en filterlooptijden bij vlokingsfiltratie	41

4.6	Onderzoek deeltjestellingen	44
4.6.1	Vlokkingsfiltratie	44
4.6.2	Membraanfiltratie	46
5	BESPREKING VAN DE RESULTATEN	48
5.1	Vlokkingsfiltratie	48
5.1.1	Verwijdering van zwevendestof, ammonium en kleur	48
5.1.2	Verwijdering van pathogene micro-organismen	50
5.1.3	Procesconfiguratie en procesinstellingen	51
5.2	Ultrafiltratie	52
5.2.1	Verwijdering van de zwevendestof, ammonium en kleur	53
5.2.2	Verwijdering van pathogene micro-organismen	53
5.2.3	Procesinstellingen	54
5.3	Aandachtspunten bij aanvullende zuivering na de basiszuivering	54
5.3.1	Kleur en pathogene organismen	54
5.3.2	Organische microverontreinigingen	55
5.3.3	Geur	55
5.3.4	Biologische stabiliteit en nagroeipotentie	55
5.3.5	MFI	56
5.4	Vergelijking van vlokkings- en ultrafiltraat	56
6	CONCLUSIES	59
7	UITWERKING VAN DE ZUIVERINGSOPZET EN KOSTEN	
7.1	Inpassing van de basiszuivering in het zuiveringsconcept	61
7.1.1	Vlokkingsfiltratie	61
7.1.2	Ultrafiltratie	62
7.1.3	Kwaliteitsaspecten bij verdere opwerking	62
7.1.4	Opzet voor de bereiding van huishoudwater	63
7.2	Uitgangspunten voor de dimensionering en kostenramingen	64
7.2.1	Kwantiteitsaspecten	64
7.2.2	Ontwerpgrondslagen voor de vlokkingsfiltratie	65
7.2.3	Ontwerpgrondslagen voor de ultrafiltratie	65
7.2.4	Uitgangspunten van de kostenramingen	65
7.3	Dimensionering	66
7.4	Investeringskosten en exploitatiekosten	68
7.4.1	Kostenraming van de basiszuiveringen vlokkingsfiltratie en ultrafiltratie	68
7.4.2	Levering van huishoudwater	69
8	REFERENTIES	

Bijlagen

I Analysemethoden

II Overzicht analyse resultaten vlokkingsfiltratie deelonderzoek 3

III Plattegrond van de gemeente Ede

Ten geleide

Systemen voor de scheiding van biomassa en gezuiverd afvalwater genieten een toenemende interesse van het waterkwaliteitsbeheer en de drinkwaterproducenten. Vlokkingsfiltratie over meerlaagsfilters en ultrafiltratie maken het mogelijk effluent te hergebruiken voor doelen waar drinkwaterkwaliteit niet vereist is, zoals voor toilet, wasmachine en tuin.

Het gebruik van dit soort 'huishoudwater' maakt deel uit van de plannen voor de bouw van de toekomstige wijk Kernhem in Ede, waarbij als bron voor dit huishoudwater het effluent van de rwzi Ede wordt gezien. In het opwerkingsproces van effluent tot water uit het tweede leidingnet worden een basiszuivering van het effluent, een bodempassage via de Doesburgerslenk, winning en een nabehandeling voorzien.

Om meer inzicht te verkrijgen in de te behalen filtraatkwaliteit en in de optimale configuraties en instellingen van het proces is nader praktijkonderzoek uitgevoerd met behulp van een pilot-plant-opstelling op de rwzi Ede.

Het onderzoek werd uitgevoerd door Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs te Deventer (projectteam bestaande uit prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf, ir. J.F. Kramer en ing. R.G.A. Notkamp). Flankerend onderzoek aan deeltjesgrootteverdelingen, drukopbouw en filtratie-eigenschappen werd uitgevoerd door promovendi en afstudeerders van de Sectie Gezondheidstechniek van de Faculteit der Civiele Techniek TU Delft (projectleider dr.ir. J. de Koning).

Het onderzoek werd financieel gedragen door het Waterschap Vallei & Eem, NUON Water, het RIZA en de STOWA. Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieubeheer RIVM bracht het onderzoek in naar de hygiënische kwaliteit van effluent en vlokkingsfiltraat (projectleider mevr. dr.ir. E.J.T.M. Leenen).

Voor de begeleiding van het project zorgde een commissie bestaande uit ir. E. van 't Oever (voorzitter), ir. A.H. Dirkzwager, ir. J. Ebbenhorst, ir. G. Martijnse, ir. F.I.H.M. Oosterholt en ir. P.C. Stamperius.

Utrecht, april 1999

De directeur van de STOWA

ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

In 1997 is door Witteveen+Bos in opdracht van Waterschap Vallei & Eem, NV NUON Water en RIZA een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de mogelijkheid om het effluent van de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) te Ede als grondstof te gebruiken voor de productie van huishoudwater voor de toekomstige wijk Kernhem in deze gemeente. Om met het rwzi-effluent als bron voor de levering van huishoudwater aan de gestelde kwaliteitscriteria te kunnen voldoen is een zuiveringsopzet uitgewerkt bestaande uit een behandelingsinstallatie voor het rwzi-effluent gevolgd door bodempassage, winning en nabehandeling. In de zuiveringsopzet neemt de behandelingsinstallatie voor het rwzi-effluent, de basiszuivering genoemd, een centrale rol in. In de basiszuivering moet vergaande verwijdering van de 'kritische' componenten voor de levering van huishoudwater worden bereikt en moet de hygiënische kwaliteit worden verbeterd. Voor deze zuivering is uitgegaan van de toepassing van vlokingsfiltratie of ultrafiltratie.

Op grond van de uitgevoerde haalbaarheidsstudie is vastgesteld dat er nog enige onzekerheid bestond omtrent de te behalen waterkwaliteit en het effect en de toepasbaarheid van de zuiveringstechnieken. Om inzicht te verkrijgen in de te behalen filtraatkwaliteit en voor het vaststellen van de optimale procesconfiguraties en procesinstellingen is vanaf december 1997 tot en met augustus 1998 pilotplantonderzoek uitgevoerd op de rwzi Ede.

Voor de kwaliteit van huishoudwater bestaat in Nederland nog geen wettelijk toetsingskader. Als aanzet voor een normstelling voor huishoudwater is vooralsnog gebruik gemaakt van de in voorbereiding zijnde Herziening Waterleidingwet. Voor de hygiënische kwaliteit is op grond van het beperkte infectie- en blootstellingsrisico uitgegaan van de **voorlopige** EU-richtlijnen voor oppervlaktewater met als bestemming recreatie en zwembadwater. Uitgaande van de effluentkwaliteit van de rwzi Ede zijn zwevendestof, ammonium en kleur als 'kritische' componenten vastgesteld. Tevens moet door de verwijdering van pathogene micro-organismen de hygiënische kwaliteit worden verbeterd.

Voor het onderzoek naar de toepassing van vlokingsfiltratie is uitgegaan van een snelfilter, uitgevoerd als een open gravitatiefilter met een meerlaags filterbed. De toepassing van de vlokmiddelen ijzer en aluminium is onderzocht bij filtratiesnelheden van 10 tot 15 m/h. In het onderzoek naar de toepassing van ultrafiltratie zijn twee typen membraanmodules onderzocht: een horizontaal geplaatste module met tubulaire membranen en een verticaal geplaatste module met capillaire membranen. De ultrafiltratie is onderzocht in een dead-end configuratie met verschillende voorbehandelingen van het rwzi-effluent (o.a. inline coagulatie met aluminium en vlokingsfiltratie).

In de hiernavolgende tabel zijn de belangrijkste kwaliteitsparameters van het rwzi-effluent en het (gerealiseerde) vlokings- en ultrafiltraat samengevat. Tevens is in deze tabel de voorgestelde normstelling voor huishoudwater opgenomen.

Kwaliteitsparameters van rwzi-effluent, vlokings- en ultrafiltraat en huishoudwater

parameter	eenheid	rwzi-effluent	vlokingsfiltraat	ultrafiltraat	huishoudwater-norm
zwevendestof	mg/l	4,0	1,2	< 0,1	< 1,0
kleur	mg Pt/l	60	46	50	< 15
O ₂	mg/l	6-7	2-4	> 4	> 2
ammonium (N-NH ₄)	mg N /l	0,1-0,5	< 0,1	0,1 ²⁾	< 0,2
totaalfosfor	mg P/l	0,45	0,05	< 0,20	< 2,0
metalen					
- zink	µg/l	100-120	135	125	100
- aluminium	µg/l	220	180	220	200
<i>E.Coli</i>	log n/100 ml	5,5	< 4 ³⁾	< 1	< 4
bacteriën Coligroep ¹⁾	log n/100 ml	4,5	< 4	< 1	< 3,3
<i>Giardia</i>	n/10 l	ca. 500	6	< 1 ⁵⁾	< 1
<i>Cryptosporidium</i>	n/10 l	n.a. ⁴⁾	< 1	< 1 ⁵⁾	< 1
enterovirussen	n/10 l	ca. 5	< 1	< 1 ⁵⁾	< 1

- 1) totaal thermotolerante bacteriën van de Coligroep;
- 2) het onderzoek naar ultrafiltratie heeft plaatsgevonden in de periode van mei t/m augustus. In deze periode was de ammoniumconcentratie in het rwzi-effluent zeer laag (0,1 mg N-NH₄/l). Bij ultrafiltratie treedt geen ammoniumverwijdering op;
- 3) incidenteel kan een verhoogde *E.Coli*-concentratie optreden (log 4 à 5).
- 4) niet aangetoond;
- 5) aanname op basis van eerder uitgevoerd onderzoek bij de drinkwaterbereiding. Het ultrafiltraat is tijdens het hygiënisch onderzoek niet meegenomen;

Bij het onderzoek naar **vlokingsfiltratie** van rwzi-effluent is de nadruk gelegd op het optimaliseren van de vlokmiddeldosering in relatie tot filtraatkwaliteit en de filtratiesnelheid. Door de vlokingsfiltratie van rwzi-effluent is een reductie van zwevendestoffen, troebelheidveroorzakende bestanddelen, CZV, ammonium, kleur, fosfor en pathogene micro-organismen gerealiseerd. Het zwevendestofgehalte komt vrijwel overeen met de norm voor huishoudwater (< 1,0 mg/l). De zink- en aluminiumconcentraties zijn iets hoger dan de normen voor huishoudwater. De norm voor deze componenten is overgenomen uit de Herziening Waterleidingwet en is gebaseerd op dagelijkse inname. De lichte overschrijding van deze normen lijkt derhalve minder relevant.

Bij het gebruik van aluminium als vlokmiddel (2 mg Al³⁺/l) en een filtratiesnelheid van 10 m/h zijn de beste resultaten behaald voor het zwevendestofgehalte en de troebelheid in het filtraat (respectievelijk gemiddeld 1,2 mg/l en < 0,5 FTE). Om aan de normen voor huishoudwater te kunnen voldoen moet in het nageschakelde zuiveringstraject aanvullende verwijdering plaatsvinden van kleur en pathogene micro-organismen.

Door **ultrafiltratie** van rwzi-effluent wordt een vergaande reductie van zwevendestof, troebelheidveroorzakende bestanddelen en pathogene micro-organismen gerealiseerd. Tevens worden CZV, kleur en fosfor (bij in-line coagulatie) verwijderd. Om aan de normen voor huishoudwater te kunnen voldoen moet kleur verder worden verwijderd. Aangezien ultrafiltratie geen ammonium verwijderd zal bij een verhoogde

houdwater optreden en zal derhalve de vereiste reductie moeten worden bereikt in het nageschakelde zuiveringstraject.

Bij het onderzoek naar ultrafiltratie is de optimalisatie van de bedrijfsvoering gericht op het bereiken van een hoge flux waarbij een stabiele (lage) transmembraandruk (TMD) wordt gehandhaafd gedurende een periode van dagen tot weken, zonder tussentijdse grondige chemische reiniging van het membraan. Bij de tubulaire membranen is deze bedrijfsvoering bereikt bij een flux variërend van 35 tot 45 l/m².h met een recovery van 40 tot 70% (permeabiliteit 110 l/m².h.bar bij 15 °C). Hierbij is geen significant verschil in werking opgetreden tussen de verschillende voorbehandelingen van het rwzi-effluent (in-line coagulatie en voorfiltratie). De toepassing van capillaire membranen is alleen onderzocht in de toepassing direct op rwzi-effluent. Hierbij is een stabiele flux bereikt bij 70 l/m².h met een recovery van meer dan 80% (permeabiliteit 240 l/m².h.bar bij 15 °C). Bij dit type membraan is tijdens de voorwaartse spoeling lucht geïnjecteerd met als doel een verbeterde reiniging van het membraanoppervlak te bereiken.

Op grond van de resultaten van het onderzoek is de zuiveringsopzet voor de bereiding van huishoudwater nader uitgewerkt. Hierbij is uitgegaan van de levering van 250.000 m³/j aan 4.600 huishoudens in de toekomstige wijk Kernhem te Ede. De maximale benodigde capaciteit van de basiszuivering bedraagt hierbij 36 m³/h (nominaal 30 m³/h). Bij toepassing van vlokingsfiltratie als basiszuivering zal een extra zuiveringsstap moeten worden ingepast voor de verdere verwijdering van pathogene micro-organismen. Deze zal moeten plaatsvinden vóór de afvoer naar het opslag- en infiltratiesysteem (Doesburgerslenk) en zal bestaan uit desinfectie met ultraviolette straling (UV). Vanwege de optredende nitrificatie tijdens vlokingsfiltratie zal het zuurstofgehalte in het nabehandelde rwzi-effluent moeten worden verhoogd door een extra beluchtingsstap.

Met ultrafiltratie wordt direct de vereiste hygiënische kwaliteit voor huishoudwater bereikt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij ultrafiltratie geen ammoniumverwijdering optreedt. Een hoge ammoniumconcentratie kan kritisch zijn voor de nog vast te stellen norm voor afvoer naar het opslag- en infiltratiesysteem. Om een voldoende hoog zuurstofgehalte vóór het transport en eventuele ammoniumverwijdering tijdens opslag en infiltratie te kunnen garanderen zal ook bij ultrafiltratie een voorziening moeten worden opgenomen voor beluchting.

Door bodempassage (oeverinfiltratie) met een voldoende lange verblijftijd zal de hygiënische kwaliteit verder verbeteren. Tevens zal een verdere verwijdering van ammonium en opgeloste organisch stoffen optreden. In hoeverre kleurverwijdering optreedt kan op voorhand niet worden ingeschat. De vereiste duur en uitvoering van de bodempassage in relatie tot de verbetering van de hygiënische kwaliteit, de verwijdering van ammonium en assimileerbare opgeloste organische stoffen (nagroeipotentie) en de vereiste reductie van het kleurgetal, zal nader moeten worden beschouwd.

De basiszuivering vlokingsfiltratie met nageschakelde beluchting en UV-desinfectie leidt tot de laagste investeringskosten en exploitatiekosten. Deze zuivering heeft derhalve uit financieel oogpunt de voorkeur. De geraamde kostprijs bedraagt f 0,61/m³ bij een maximale leveringscapaciteit van 36 m³/h (nominaal 30 m³/h). Toepassing van ultrafiltratie leidt tot een kostprijs van f 0,99/m³.

De totale kostprijs voor de levering van huishoudwater is vooralsnog geraamd op f 1,46/m³ bij toepassing van vlokkingsfiltratie als basiszuivering, inclusief beluchting en UV-desinfectie. De kostprijs bij toepassing van ultrafiltratie als basiszuivering (inclusief beluchting) is geraamd op f 1,84.

De kostprijs voor de nabehandeling van rwzi-effluent is sterk afhankelijk van de schaalgrootte. Indien de nabehandeling van rwzi-effluent wordt gecombineerd met een andere waterlevering, bijvoorbeeld industriewater, kan door schaalvergroting een substantiële kostenreductie worden bereikt (meer dan 30% kostprijsreductie bij een schaalvergroting van 50 tot 200 m³/h).

INLEIDING

In 1997 is door Witteveen+Bos in opdracht van Waterschap Vallei & Eem, NV NUON Water en RIZA een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de mogelijkheid om het effluent van de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) te Ede als grondstof te gebruiken voor de productie van huishoudwater voor de toekomstige wijk Kernhem in deze gemeente [1]. Om aan de gestelde kwaliteitscriteria te kunnen voldoen is een zuiveringsopzet uitgewerkt bestaande uit een basiszuivering voor het effluent gevolgd door bodempassage, onttrekking en nabehandeling. Voor de basiszuivering is uitgegaan van de toepassing van vlokkingfiltratie of ultrafiltratie. Met de gekozen zuiveringsopzet kan naar verwachting een product worden verkregen dat in veel opzichten voldoet aan de gestelde criteria voor huishoudwater. De globale kwaliteitskenmerken van dit product zijn: helder water met lage gehalten aan gesuspendeerde stoffen, nutriënten, zware metalen, bacteriën en virussen.

Op grond van de uitgevoerde haalbaarheidsstudie is vastgesteld dat er nog enige onzekerheid bestond omtrent de te behalen waterkwaliteit en het effect en de toepasbaarheid van de zuiveringstechnieken. Om inzicht te verkrijgen in de te behalen filtraatkwaliteit en voor het vaststellen van de optimale procesconfiguraties en procesinstellingen is vanaf december 1997 tot en met augustus 1998 pilotplantonderzoek uitgevoerd op de rwzi Ede. Dit onderzoek is uitgevoerd door Witteveen+Bos in opdracht van Waterschap Vallei & Eem, NV NUON Water, Stowa en RIZA; flankerend onderzoek o.a. naar diverse aspecten zoals deeltjesgrootteverdeling, drukopbouw en filtratie-eigenschappen, is verricht door studenten en promovendi van de faculteit der Civiele Techniek van de TU Delft, sectie gezondheidstechniek. Onderzoek naar de hygiënische kwaliteit van het effluent van de rwzi Ede en het vlokkingfiltraat is uitgevoerd door het RIVM.

In onderhavig document zijn de achtergronden van het onderzoek opgenomen en worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd en besproken. Op basis van de resultaten en conclusies van het onderzoek is de zuiveringsopzet voor de levering van huishoudwater nader uitgewerkt.

2 STAND VAN ZAKEN

In dit hoofdstuk worden de achtergronden van het onderzoek en de zuiveringsopzet toegelicht. Tevens zijn in dit hoofdstuk de toepasbare effluentbehandelingstechnieken uitgewerkt en wordt nader ingegaan op (enige) knelpunten en te onderzoeken aspecten.

2.1 Trends in de watervoorziening

In het huidige overheidsbeleid wordt steeds meer aandacht gegeven aan een duurzame ontwikkeling van de drink- en industriewatervoorziening. Een van de aspecten hierbij is dat grond- en drinkwater steeds meer zullen worden ingezet voor kwalitatief hoogwaardige toepassingen. Voor bepaalde laagwaardige toepassingen worden alternatieve waterbronnen en leveringsconcepten gezocht [2]. Als alternatieve waterbronnen komen oppervlaktewater, oeverfiltraat en regenwater maar mogelijk ook effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen in aanmerking.

Mede als gevolg van diverse wettelijke maatregelen en daardoor geïnitieerde realisatieprogramma's is de kwaliteit van het effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen in de afgelopen tientallen jaren sterk verbeterd. Door deze kwaliteitsverbetering is een betere uitgangssituatie ontstaan voor het gebruik van effluent als bron voor de watervoorziening. Mogelijke toepassingen zijn onder andere koel- en proceswater voor industrieel gebruik, huishoudwater of natuurwater voor verdrogingsbestrijding.

De toepassing van het effluent van de rwzi Ede als bron voor de levering van huishoudwater staat centraal in het onderhavige onderzoek. Huishoudwater kan worden gebruikt voor toiletspoeling, de wasmachine en de buitenkraan.

2.2 Van rwzi-effluent tot huishoudwater in Kernhem

In de wijk Kernhem van de gemeente Ede worden tot het jaar 2015 gefaseerd ca. 4600 woningen aangelegd. De eerste huizen van deze wijk zullen in de periode vanaf 2000 tot 2005 worden opgeleverd. Bij het ontwerp van deze wijk is veel aandacht gegeven aan milieuvriendelijkheid. Dit is vertaald in de toepassing van een lokaal waternet met huishoudwater. Huishoudwater is hierbij water dat wordt gebruikt in huishoudens voor toepassingen die minder hoge kwaliteitseisen stellen dan drinkwater. Huishoudwater zal worden toegepast voor de toiletspoeling, de buitenkraan en de wasmachine. Daarnaast is in de wijk Kernhem gekozen voor een aangepaste waterhuishouding waarbij de neerslag, die in het gebied valt, nuttig kan worden gebruikt voor grondwateraanvulling en ook voor de levering van huishoudwater. Het afstromende regenwater zal worden verzameld in de Doesburgerslenk. Het verzamelde regenwater kan vervolgens worden gebruikt als bron voor huishoudwater.

Omdat de toevoer van regenwater niet continu is, kan tijdens droge periodes een tekort aan water ontstaan waardoor niet te allen tijde aan de vraag naar huishoudwater kan worden voldaan. Aanvulling vanuit een andere bron is daarom noodzakelijk. Een mogelijke bron hiervoor is het (nagezuiverde) effluent van de nabijgelegen rwzi Ede. Het effluent van de rwzi Ede is reeds van een relatief goede kwaliteit en in voldoende mate beschikbaar ($11.000.000 \text{ m}^3/\text{j}$).

kwantitatieve aspecten van huishoudwater

In tabel 1 is het waterverbruik in huishoudens per gebruiksdoel weergegeven. Deze gegevens zijn overgenomen uit een NIPO-onderzoek dat in 1998 in opdracht van VEWIN is uitgevoerd. Tevens is in tabel 1 het toekomstige waterverbruik weergegeven; hierbij wordt verwacht dat het watergebruik ten gevolge van het toepassen van waterbesparende maatregelen nog iets verder zal dalen [3].

Tabel 1. Huidig en toekomstig waterverbruik in huishoudens

gebruiksdoel	huidige verbruik in Nederland (lpppd) (1998)	toekomstig verbruik (lpppd) (> 2000)
voedsel	3	3
afwas	5	4
wastafel	6	5
douche	38	31
bad	9	7
wasmachine	26	21
gevelkraan	4	3
toilet	39	32
overig	4	4
totaal	134	110

Indien wordt uitgegaan van de toepassing van huishoudwater voor toiletten, buitenkranen en wasmachines, bedraagt het daaraan gerelateerde toekomstige waterverbruik 56 liter per persoon per dag (ca. 50% van het totale waterverbruik). Op basis van 4600 woningen en een gemiddelde woningbezetting van 2,7 personen per woning bedraagt het verbruik van huishoudwater in de wijk Kernhem circa 250.000 m³/jaar.

kwantitatieve aspecten van huishoudwater

Voor de kwaliteit van huishoudwater bestaan momenteel in Nederland nog geen bindende richtlijnen. Bij gebrek aan richtlijnen worden de beoogde kwaliteitskenmerken van huishoudwater gerelateerd aan de indeling voor drinkwater die wordt gegeven in de Herziening Waterleidingwet. Op grond van het beperkte infectie- en blootstellingsrisico kan voor de hygiënische kwaliteit worden uitgegaan van de (voorlopige) EU-richtlijnen voor oppervlaktewater met als bestemming recreatie en zwemwater. **De hieronder beschreven normstellingen moeten zuiver als indicatie worden beschouwd.**

hygiënische aspecten

Om te voorkomen dat bij de inname van kleine hoeveelheden huishoudwater ziektes optreden, dient het huishoudwater hygiënisch betrouwbaar te zijn. Voor de normen van *Giardia*, *Cryptosporidium* en virussen wordt veelal uitgegaan van de normstelling die geldt voor drinkwater. Dit uitgangspunt staat echter sterk ter discussie, aangezien het infectierisico veel lager is dan bij drinkwatergebruik [4]. Medio 1999 worden de resultaten verwacht van een onderzoek door VROM en RIVM naar het infectierisico van huishoudwater. Vooruitlopend op de definitieve normstelling wordt in onderhavig onderzoek uitgegaan van de normstelling in het kader van de (toekomstige) EU-richtlijn voor oppervlaktewater bestemd voor recreatieve doeleinden en zwemwater.

Bij oppervlaktewater dat geschikt is als zwemwater wordt algemeen geaccepteerd dat incidenteel een kleine hoeveelheid water kan worden geconsumeerd; hierbij

blijven de gevolgen voor de volksgezondheid beperkt indien bepaalde normen voor de bacteriën van de Coligroep niet worden overschreden. In de situatie van huishoudwater wordt derhalve voorgesteld om ook voor Coli's de zwemwaternorm voor oppervlaktewater toe te passen.

In tabel 2 zijn de relevante hygiënische normen voor huishoudwater opgenomen.

Tabel 2. Relevante hygiënische normen voor huishoudwater (indicatief)

parameter	waarde
<i>E. Coli</i>	< 10 ⁴ per 100 ml
Virussen	< 1 per 10 l
<i>Giardia</i>	< 1 per 10 l
<i>Cryptosporidium</i>	< 1 per 10 l

bedrijfstechnische parameters

De bedrijfstechnische parameters voor huishoudwater zijn afgeleid van de algemene eis voor een goede bedrijfsvoering van het transport- en distributiesysteem. Dit heeft geresulteerd in normen voor parameters die een belangrijke invloed hebben op de chemische en biologische stabiliteit van het water. Getracht wordt processen zoals aangroei, corrosie door agressiviteit en afzettingen in het distributienet te beheersen. Uitgegaan wordt van dezelfde normen die gelden voor drinkwater (onder andere hardheid, ijzer, mangaan). In tabel 3 zijn deze normen opgenomen.

nagroeï in transport- en distributiestelsel

Door aanwezigheid van assimileerbaar organisch koolstof (veelal uitgedrukt AOC) en nutriënten (stikstof en fosfaat) kan nagroeï van *micro-organismen* optreden in het transport- en distributiestelsel. Door vergaande verwijdering van deze componenten kan nagroeï worden voorkomen of beperkt. Dit vergt veelal een uitgebreide nazuivering van het rwzi-effluent. Door bij de distributie desinfectie met chloor en/of transportchlooring toe te passen kan echter eveneens nagroeï worden voorkomen. Derhalve zijn geen kwaliteitseisen aan het AOC-gehalte gesteld.

organoleptische/esthetische parameters

De groep organoleptische/esthetische parameters is gebaseerd op het welbevinden en gebruikerscomfort. Hierbij zijn bijvoorbeeld elementen als kleur en ijzer- en mangaanverbindingen van belang. Voor de acceptatie door de gebruikers dienen deze kenmerken voor huishoudwater gelijk te zijn aan die van drinkwater. Aan de geur van het huishoudwater zijn geen specifieke eisen gesteld.

In tabel 3 is een overzicht opgenomen van de indicatieve kwaliteitsnormen van het huishoudwater. Deze zijn gebaseerd op de in opdracht van VEWIN, door Witteveen+Bos uitgevoerde 'verkennde studie toepassing huishoud/industriewater' [5]. In deze studie zijn voor enkele belangrijke kwaliteitsparameters normen voorgesteld. Voor de overige parameters is voornamelijk gebruik gemaakt van de in voorbereiding zijnde Herziening Waterleidingwet.

2.3

Effluent van de rwzi Ede

Het effluent van de rwzi Ede is representatief voor de nieuwe derde generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen waarin vergaande verwijdering van organische

verbindingen, nutriënten en gesuspendeerde stoffen plaatsvindt. In tabel 3 zijn de gemiddelde waarden van de belangrijkste kwaliteitsparameters samengevat. Tevens zijn in deze tabel de kwaliteitseisen van huishoudwater opgenomen.

Tabel 3. Effluentkwaliteit van de rwzi Ede en de normstelling voor huishoudwatereis

parameter	eenheid	gemiddelde waarde 1997	huishoudwatereis
zwevende stoffen	mg/l	5	<1
kleur ¹⁾	mg Pt/l	39	<15
totale hardheid ¹⁾	mmol/l	ca. 1,0	1-2,5
chloride	mg/l	100	<150
<i>E.Coli</i> ¹⁾²⁾	aantal/100 ml	>8 · 10 ⁴	<10 ⁴
O ₂	mg/l	5-7	>2
kalium ¹⁾	mg/l	36,5	12
sulfaat	mg/l	51	<150
ijzer ¹⁾	mg/l	0,06	<0,2
mangaan ¹⁾	mg/l	0,05	<0,05
CZV	mg O ₂ /l	42	-
ammonium (NH ₄ ⁺)	mg N/l	<1,0	<0,2
nitriet (NO ₂)	mg N/l	0,14	<0,10
nitraat (NO ₃)	mg N/l	3,0	<50
ortho-fosfaat (PO ₄ ³⁻)	mg P/l	<1,0	<2
totaal-fosfor	mg P/l	0,45	<2
pH	-	7,7	7,5 - 9,0
zware metalen:			
- arseen	µg/l	0,62	50
- cadmium	µg/l	0,45	5
- chroom	µg/l	11	50
- koper	µg/l	10	100
- kwik	µg/l	0,08	1
- nikkel	µg/l	6,4	50
- lood	µg/l	10	50
- zink	µg/l	110	100
- aluminium	µg/l	170	200

1) Eenmalige analyse in juni 1997;

2) Veelal wordt *E.Coli* gehanteerd als belangrijke indicator voor pathogene organismen. Voor het onderzoek naar de levering van huishoudwater op basis van rwzi-effluent zijn door het RIVM diverse pathogene organismen onderzocht (zie paragraaf 3.7 en 4.4).

Uit een eerste vergelijking van de effluentkwaliteit en de (indicatieve) normen voor huishoudwater blijkt dat diverse concentraties in het effluent hoger zijn dan de gestelde normering. Uit tabel 3 zijn de volgende parameters als 'kritisch' herleid:

- zwevende stoffen;
- kleur;
- ammonium;
- *E.Coli* bacteriën;

Op grond van de normen voor huishoudwater kunnen kalium en zink ook als 'kritische' parameters worden aangeduid. De normen zijn overgenomen uit de Herziening Waterleidingwet. Deze zijn gebaseerd op mogelijke gezondheidseffecten bij langdurige inname en zijn derhalve voor huishoudwater niet relevant.

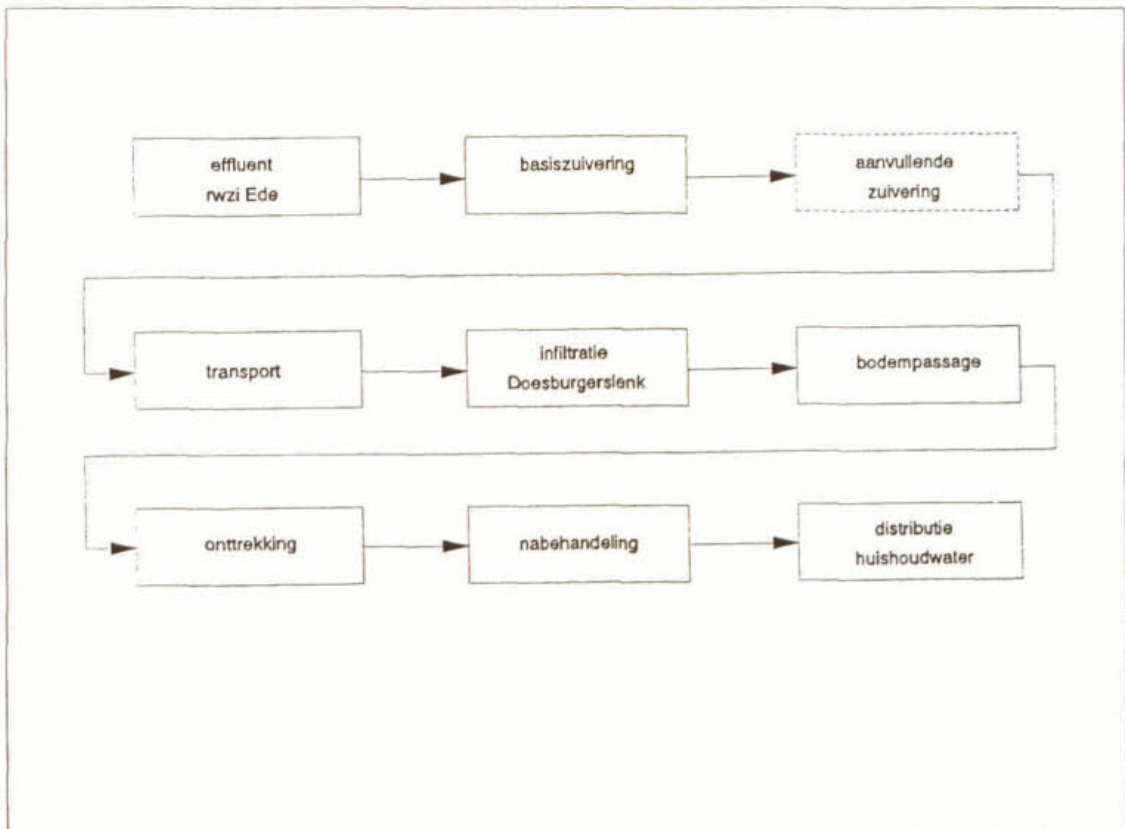
Bij de bespreking van de aandachtspunten bij de levering van huishoudwater op basis van rwzi-effluent wordt nader ingegaan op de genoemde 'kritische' parameters.

2.4 Zuiveringsopzet voor huishoudwater

Het totale concept voor de levering van huishoudwater voor de wijk Kernhem is in een eerdere studie onderzocht [1]. De opzet voor de zuivering, transport en distributie van huishoudwater is het weergegeven in afbeelding 1. Hierbij moet het effluent van de rwzi Ede als eerste stap een behandeling ondergaan door middel van vlokingsfiltratie of ultrafiltratie (basiszuivering); wellicht is nog een aanvullende behandeling nodig. Vervolgens wordt het geproduceerde water getransporteerd naar de Doesburgerslenk waar het dient als aanvulling op de waterhuishouding.

Om een verdere kwaliteitsverbetering te bereiken voor de 'kritische' parameters opgeloste organische stoffen, kleur, geur, ammonium en pathogene micro-organismen zal het opgewerkte effluent een bodempassage ondergaan. In de woonwijk Kernhem kan deze bodempassage gecreëerd worden met gebruikmaking van de Doesburgerslenk. Belangrijke bijkomende voordelen van de bodempassage zijn kwaliteitsafvlakking en voorraadvorming met het oog op leveringszekerheid. Na de bodempassage zal onttrekking en nabehandeling (beluchting) plaatsvinden waarna het huishoudwater kan worden gedistribueerd.

Afbeelding 1. Opzet voor de zuivering, transport en distributie van huishoudwater



2.5 Basiszuivering door middel van vlokingsfiltratie

2.5.1 Vlokingsfiltratie

Bij filtratie van rwzi-effluent wordt gesuspendeerd materiaal uit het water verwijderd. Doordat aan de deeltjes ook verontreinigingen zijn geadsorbeerd, zoals zware metalen en organische micro-verontreinigingen, verbetert de effluentkwaliteit ook voor deze parameters. Bij vlokingsfiltratie wordt een vlokmiddel gedoseerd aan het

rwzi-effluent, waardoor, als gevolg van precipitatie ook opgelost fosfaat, en de kleinste deeltjes die anders het filterbed passeren, worden verwijderd.

Het belangrijkste ontwerpaspect van een effluentfilter is de verhouding tussen de filtratiesnelheid en de filterlooptijd. Hogere snelheden leiden tot kortere looptijden als gevolg van een snellere verstopping of doorslag van het filter. De meeste effluentfilters die worden toegepast in Duitsland en Zwitserland, zijn ontworpen op basis van de traditionele toepassing van snelfilters in de drinkwaterbereiding. Hierbij is veelal in mindere mate rekening gehouden met de specifieke toepassing van filtratie van rwzi-effluent. De toepassing van (te) fijn filtermateriaal leidt tot korte looptijden en lage filtratiesnelheden. Door naast fijne filtermaterialen ook grovere materialen in een meerlaagsfilter toe te passen kan de looptijd worden verlengd en de filtratiesnelheid worden verhoogd zonder dat de filtraatkwaliteit verslechtert. Deze toepassing is naar verwachting zeer geschikt voor de Nederlandse situatie vanwege de lage zwevendestofgehalten in het Nederlandse rwzi-effluent.

Bij nabehandeling van rwzi-effluent door vlokkingfiltratie vinden twee hoofdprocessen plaats: het vlokformingsproces en het filtratieproces. Deze processen vinden gecombineerd plaats in het filterbed.

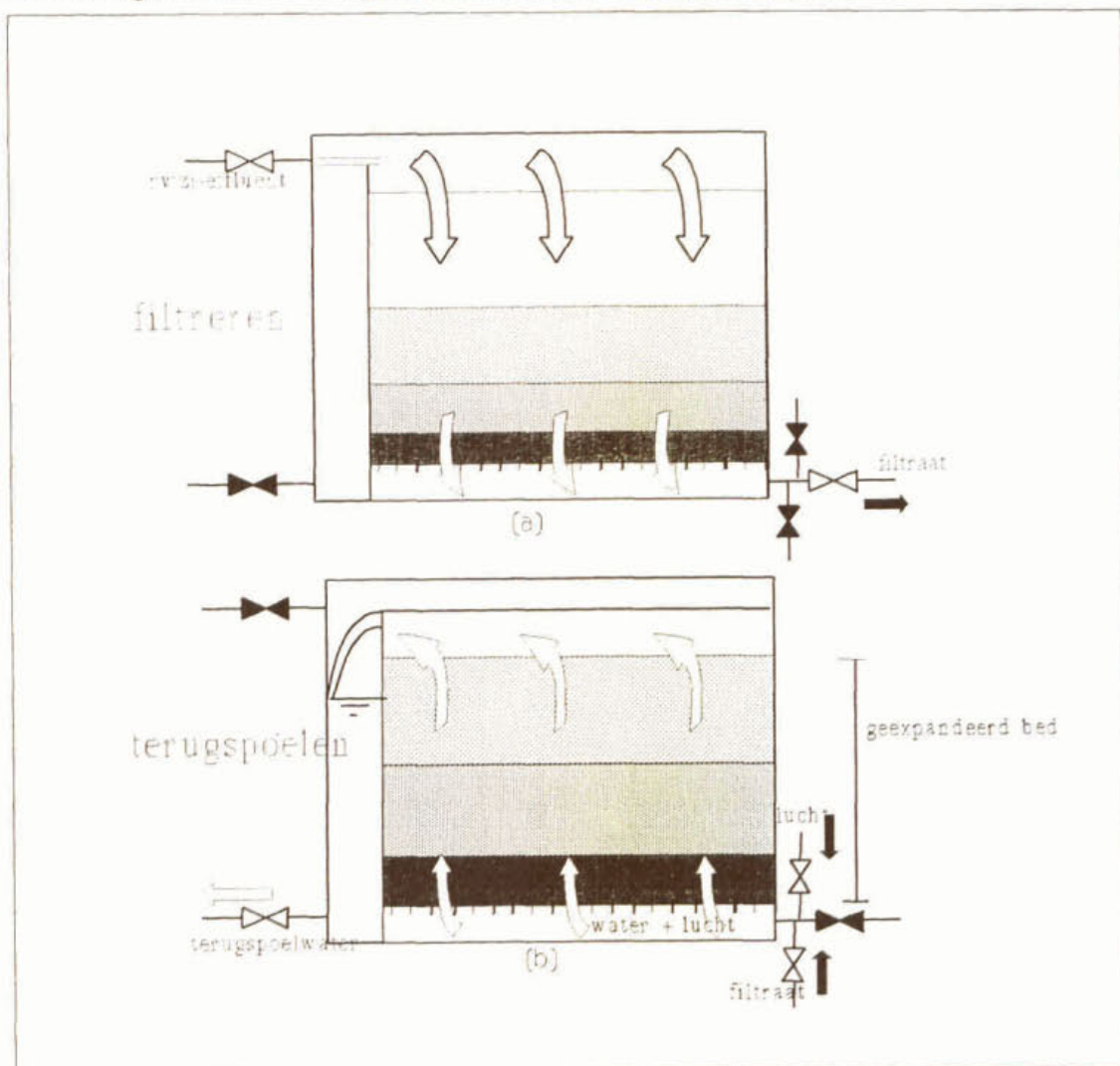
vlokformingsproces

Bij vlokkingfiltratie speelt de vlokvorming een essentiële rol. De dosering van een vlokmiddel leidt tot het aggregeren van colloïdale en gesuspendeerde deeltjes waardoor grotere, beter filtreerbare vlokken ontstaan. Door de vlokvorming wordt de ruimte- en dieptewerking van het filterbed beter benut, omdat diep in het filterbed nog vlokken worden gevormd en afgevangen. Door het gebruik van driewaardig ijzer of aluminium (Fe^{3+} of Al^{3+}) als vlokmiddel wordt ook opgelost fosfaat geprecipiteerd en verwijderd. De vloksterkte en -structuur kan verder worden verbeterd met het doseren van vlokhulpmiddelen (polyelektrolyten). Hiermee moet echter voorzichtig worden omgegaan, omdat overdosering kan leiden tot het verklevan van het filtermateriaal waardoor verstopping van het filterbed kan optreden. Om het vlokformingsproces optimaal te kunnen bedrijven moeten langs experimentele weg de relatie tussen de samenstelling van het te behandelen water, de pH, de vereiste zwevendestof- en troebelheidsverwijdering en type en dosis van het vlokmiddel worden vastgesteld.

filtratieproces

Bij vlokkingfiltratie wordt hoofdzakelijk gravitatiefiltratie toegepast. Afbeelding 2 geeft een schematische weergave van een filter. Deze filters kunnen worden uitgerust met een enkel of meerlaags filterbed.

Abbeelding 2. Schema van gravitatiefilter (a) filtratie, (b) terugspoelen



Tijdens de filtratie wordt het rwzi-effluent aan de bovenzijde van het filter aangevoerd (afbeelding a). Gedurende de passage worden de gesuspendeerde deeltjes (met geadsorbeerde verontreinigingen) en de gevormde vlokken afgescheiden. Deeltjes en vlokken die kleiner zijn dan de poriën in het bovenste gedeelte van het filter dringen diep in het filterbed en worden daar afgevangen. Ook reeds afgevangen deeltjes die als gevolg van vrijwingskrachten in het filter loslaten, worden verder in het bed getransporteerd. Het filtratieproces, waarbij deze verschijnselen optreden wordt diepbedfiltratie genoemd.

De bergingscapaciteit van het filterbed is beperkt. Een hoger filterbed heeft een hogere bergingscapaciteit. Een meerlaagsfilter heeft een hogere bergingscapaciteit dan een enkellaags filterbed. Het einde van de looptijd van het filter is bereikt als de bergingscapaciteit wordt overschreden of de maximale toelaatbare filterweerstand is bereikt. In het eerste geval worden de vlokken niet meer opgenomen in het filter en verslechtert de effluentkwaliteit. In deze situatie zal het filterbed moeten worden gereinigd door terugspoelen met water en lucht (afbeelding b).

Door de biologische activiteit in het filter worden tijdens het filtratieproces ook ammonium en opgeloste organische verbindingen verwijderd. Indien in het te

behandelen water voldoende zuurstof aanwezig is kan het ammoniumgehalte verder worden verlaagd met 1 à 2 mg/l.

2.5.2 Resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek

De toepasbare filtratiesnelheid bij vlokkingfiltratie wordt in sterke mate bepaald door de kwaliteit van het voedingswater en de gewenste filtraatkwaliteit. De toegepaste filtratiesnelheden bij installaties voor de drinkwaterbereiding liggen veelal tussen de 5 en 10 m/h. Vanwege de sterk wisselende kwaliteit van rwzi-effluent kan de toepasbare filtratiesnelheid bij vlokkingfiltratie echter sterk variëren. Door de Technische Universiteit in Delft is de afgelopen jaren onderzoek uitgevoerd naar de te behalen filtratiesnelheden bij vlokkingfiltratie van rwzi-effluent [6]. In tabel 4 zijn het zwevendestofgehalte van het rwzi-effluent en het vlokkingfiltraat, inclusief het verwijderingsrendement, weergegeven. Tijdens de filtratieproeven werd 1 à 3 mg/l ijzer (Fe^{3+}) gedoseerd.

Tabel 4. Zwevendestofverwijdering bij verschillende filtratiesnelheden [6]

filtratiesnelheid	rwzi-effluent	filtraat	verwijderingsrendement
m/h	mg/l	mg/l	%
10	7,2	0,8	89
20	7,3	0,8	89
30	5,3	0,7	87

Het rendement van de troebelheidsverwijdering tijdens deze proeven bedroeg bij 10, 20 en 30 m/h respectievelijk 62, 60 en 48 %. Tijdens het onderzoek is derhalve aangetoond dat bij de vlokkingfiltratie van rwzi-effluent ook bij een hoge filtratiesnelheid een laag zwevendestofgehalte in het filtraat (< 1 mg/l) kan worden bereikt.

De hygiënische kwaliteit van het vlokkingfiltraat kan worden beoordeeld op basis van de aanwezigheid van een aantal pathogene micro-organismen en indicatororganismen, zoals *E.Coli*, thermotolerante bacteriën van de Coligroep, Enterococcon, *Clostridium perfringens*, *Cryptosporidium*, *Giardia* en Enterovirussen. Vlokkingfiltratie van rwzi-effluent wordt met name in de Verenigde Staten op grote schaal toegepast. In praktijkinstallaties wordt een aanzienlijke verbetering van de hygiënische kwaliteit bereikt. In tabel 5 is de logverwijdering van pathogene organismen in een praktijkinstallatie in St. Petersburg, Florida, weergegeven [11]. Deze installatie bestaat uit snelfiltratie met voorgeschakelde vlokmiddeldosering (aluminium) en polymeerdosering (vlokhulpmiddel). De nabehandeling bestaat uit desinfectie met chloor. De filtratiesnelheid bedroeg 5 m/h.

Tabel 5. Verwijdering van virussen en bacteriën bij verschillende zuiveringsstappen [11]

zuiveringsstap	logverwijdering			
	feacale coliformen	Enterovirussen	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
snelfiltratie	0,05	0,81	1,68	2,00
chloring	4,95	1,45	0,41	0,65
opslag ¹⁾	0,36	1,04	0,04	0,30
totale verwijdering	5,36	3,30	2,13	2,95

1) Opslagperiode bedraagt gemiddeld 16 tot 24 uur

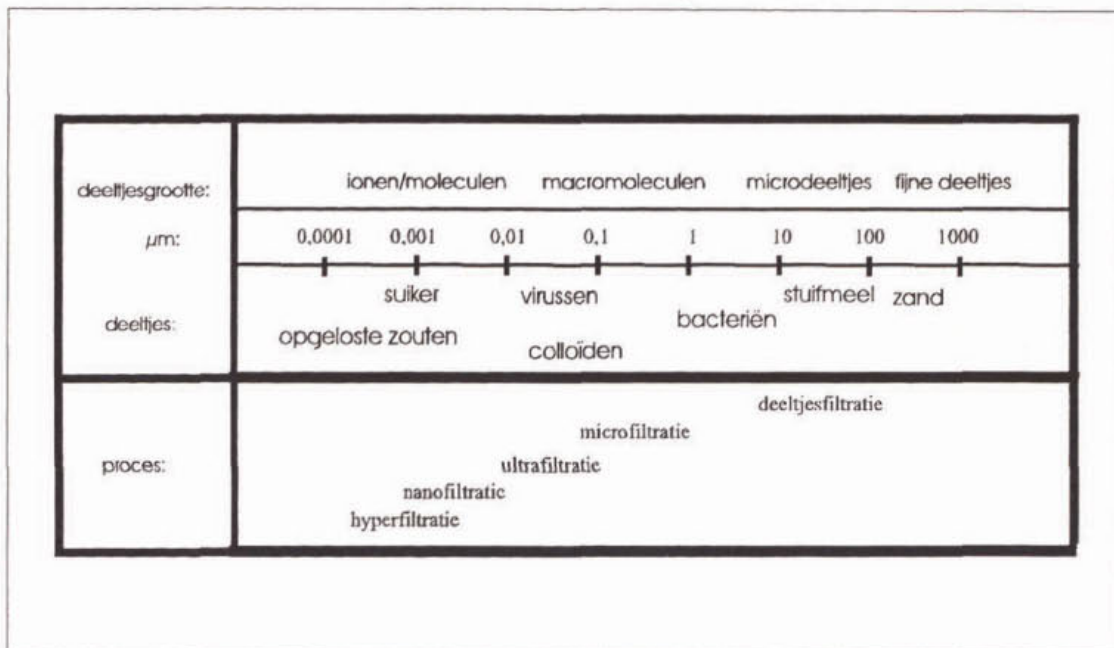
De verbetering van de hygiënische kwaliteit door verwijdering van pathogene organismen en virussen is sterk afhankelijk van de vlokmiddeldosis, de configuratie van het filter en de gehanteerde filtratiesnelheid. Indien de verwijdering van pathogene organismen en virussen door vlokkingsfiltratie te beperkt is om aan de norm voor huishoudwater te voldoen, is een aanvullende zuiveringsstap nodig (bijvoorbeeld UV-desinfectie, chloordosering of ozon). In het voorgestelde zuiveringstraject voor huishoudwater is daarom de mogelijkheid van een extra zuiveringsstap opgenomen tussen de nabehandeling (basiszuivering) van rwzi-effluent en de afvoer naar de Doesburgerslenk. De invulling van deze stap is afhankelijk van de resultaten van het experimentele onderzoek naar de werking van de basiszuivering.

2.6 Basiszuivering door middel van membraanfiltratie

2.6.1 Membraanfiltratie

Een membraan is een selectief permeabel medium waarmee stoffen en deeltjes op basis van grootte kunnen worden afgescheiden. Bij membraanfiltratie wordt de voedingsstroom gescheiden in een schone (permeaat of filtraat) en een geconcentreerde stroom (concentraat). De drijvende kracht bij membraanfiltratie is doorgaans het drukverschil. Afbeelding 3 toont de indeling van membraanprocessen naar poriegrootte. Grofweg kan worden gesteld dat afscheiding van gesuspendeerde stoffen en colloïdale deeltjes uit rwzi-effluent mogelijk is door micro- en ultrafiltratie. Voor de afscheiding van opgeloste stoffen (moleculen/ionen) moet nano- of hyperfiltratie worden toegepast.

Afbeelding 3. Indeling van drukgedreven membraanprocessen



Ook bij de nabehandeling van rwzi-effluent is de toepassing van membraanfiltratie waarmee gesuspendeerde en colloïdale deeltjes uit de waterfase kunnen worden afgescheiden volop in ontwikkeling [16]. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van micro- of ultrafiltratie. Micro- of ultrafiltratie zijn technieken waarmee in vergelijking met conventionele technieken een superieure filtraatkwaliteit kan worden verkregen. Indien een vlokmiddel in de toevoer naar de ultrafiltratie wordt gedoseerd, kan tevens het verwijderingsrendement voor fosfor, opgeloste organische stoffen en kleur worden verhoogd. Verwijdering van (zware) metalen en organische microverontreinigingen is alleen mogelijk indien deze zijn geabsorbeerd aan gesuspendeerde deeltjes.

Op verschillende plaatsen in de Verenigde Staten is pilotonderzoek uitgevoerd in toepassingen waarbij effluent via membraantechnieken geschikt wordt gemaakt voor infiltratie (o.a. Orange County Water District, Water factory 21) [9]. In Europa is nog geen langdurige ervaring op praktijkschaal met membraanfiltratie op rwzi-effluent opgedaan. In Berlijn wordt sinds 1992 bij de rwzi Ruhleben pilotonderzoek naar micro- en ultrafiltratie uitgevoerd [8]. In deze toepassing wordt uit biologisch gezuiverd effluent hygiënisch betrouwbaar water geproduceerd met als doel de productie van recreatiewater dat als bron dient voor de drinkwaterbereiding.

Uit afbeelding 3 blijkt dat bij ultrafiltratie (in tegenstelling tot microfiltratie) naast bacteriën ook virussen worden verwijderd. Vanwege de gestelde eisen voor virusverwijdering is in het onderhavige onderzoek dan ook gekozen voor de toepassing van ultrafiltratie.

2.6.2 Configuratie en bedrijfsvoering

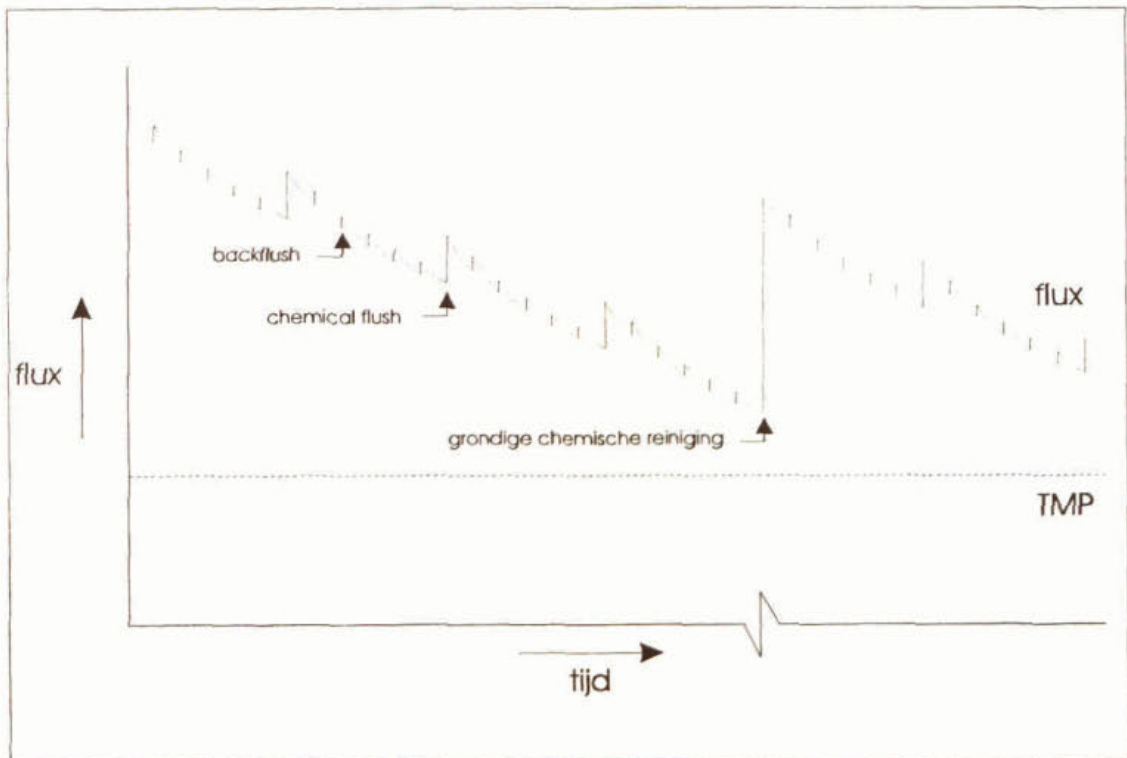
Membranen worden gebundeld in zogenaamde membraanmodules. Er zijn modules met vlakke membranen en holle vezels, capillaire of buisvormige membranen. Bij micro- en ultrafiltratie worden veelal langsaangestroomde modules gebruikt (LAM) met buisvormige of capillaire membranen. Voor de procesvoering van micro- of ultrafiltratie wordt onderscheid gemaakt in cross-flow of dead-end flow. Bij cross-

flow wordt door middel van een recirculatiestroom een hoge snelheid langs het membraanoppervlak gecreëerd [16]. Het voordeel van deze bedrijfsvoering is dat door de hoge vloeistofsnelheid afzetting van vervuiling op het membraan wordt tegengegaan. Daarentegen vraagt de recirculatie extra energie. Bij dead-end filtratie wordt de gehele aangeboden voedingsstroom direct gefiltreerd. Om vuilophoping tegen te gaan wordt het dead-end systeem periodiek teruggespoeld. Het energieverbruik van een dead-end filtratie is beduidend lager maar de vervuilingspotentie is groter. Om vuilophoping tegen te gaan wordt het dead-end systeem, maar ook het cross-flow systeem, periodiek teruggespoeld. De reiniging van het membraanoppervlak kan verder worden verbeterd door toepassing van een lucht/water-spoeling. Bij microfiltratie is het mogelijk om deze lucht/waterspoeling toe te passen tijdens de terugspoeling (back wash). Vanwege de geringe poriëgrootte kan bij ultrafiltratie de lucht/waterspoeling alleen efficiënt worden toegepast bij een voorwaartse spoeling.

2.6.3 Membraanvervuiling

Door vervuiling van het membraanoppervlak zal bij een gelijkblijvende transmembraandruk (TMD) de doorzet per eenheid membraanoppervlak (flux) afnemen. Of andersom, om een gelijkblijvende flux te handhaven is een geleidelijke toename van de TMD nodig (zie afbeelding 4). Voor de vervuiling van het membraanoppervlak is een aantal factoren verantwoordelijk. Bij micro- en ultrafiltratie kan naast verstopping van de poriën door kleinere deeltjes ook adsorptie aan het membraan of gellaagvorming optreden. Tevens kan bij de behandeling van water met veel voedingsstoffen biofouling optreden. Dit fenomeen wordt veroorzaakt door de groei en afzetting van micro-organismen op het membraanoppervlak.

Afbeelding 4. Karakteristieke ontwikkeling van de flux in de loop van de tijd



Membraanvervuiling kan worden tegengegaan door de keuze van een optimaal ontwerp en het hanteren van de juiste procescondities in combinatie met periodieke hydraulische, mechanische of chemische reiniging. Afbeelding 4 toont het karakteristieke verloop van de flux in de tijd bij gelijkblijvende transmembraandruk.

Afhankelijk van de vervuilingspotentie van het voedingswater zal een optimale instelling van de spoelprocedures (terugspoeling en/of voorwaartse spoeling) worden gekozen. Als gevolg van de vervuiling van het membraanoppervlak zal de flux echter dalen. Dit proces kan worden vertraagd door periodiek een chemische spoeling uit te voeren. Om na verloop van tijd weer de initiële flux te bereiken is een grondige chemische reiniging noodzakelijk [16].

Afhankelijk van de vervuilingspotentie van het voedingswater zal een optimum moeten worden gevonden in de spoelintervallen en de aanvullende chemische reiniging. Hoge spoelverliezen resulteren in een lage recovery (opbrengst/voeding). Bij een hoge vervuilingspotentie en daarmee hoge terugspoelverliezen (of een substantiële concentraatstroom bij cross-flow) zal een voorbehandeling moeten worden overwogen.

2.6.4 Eerder uitgevoerd onderzoek

In 1996 is op de rwzi Ede verkennend onderzoek naar de mogelijkheden van toepassing van ultrafiltratie uitgevoerd [13]. Hierbij is gebruik gemaakt van een proefinstallatie in een dead-end configuratie met een langs aangestroomde ultrafiltratiemodule. Deze membraanmodule was opgebouwd uit capillaire membranen (diameter 1,5 mm, X-flow) met een totaal membraanoppervlak van circa 4 m². In tabel 6 zijn de belangrijkste resultaten van de testen samengevat [13].

Tabel 6. Resultaten van verkennend onderzoek naar ultrafiltratie op de rwzi Ede (1996)

parameter	eenheid	rwzi-effluent	permeaat	verwijderingsrendement
zwevendestof	mg/l	5	< 0,1	> 98 %
P-totaal	mg P/l	0,16	0,10	41 %
troebelheid	FTE	2-5	0,01-0,07	> 98 %
procesparameters		eenheid		
flux	l/m ² .h	70-130		
TMD	bar	0,3-0,9		
recovery	%	> 90		

2.6.5 Hygiënische kwaliteit van micro- en ultrafiltraat

Een belangrijk voordeel van micro- en ultrafiltratie is dat in één stap zowel de verwijdering van zwevende en colloïdale stoffen als een desinfectie wordt gerealiseerd. Dit blijkt uit de resultaten van langdurig pilotonderzoek op de rwzi Ruhleben in Berlijn [8]. In het geproduceerde water zijn bacteriën van de Coligroep, feacale streptococconen en salmonella's niet aantoonbaar bij een detectielimiet van 1 kolonie vormend deeltje (kvd) per 100 ml. De verwijdering van phagen (indicator voor enterovirussen) bedraagt bij ultrafiltratie meer dan 3 log-eenheden.

De verwijdering van bacteriën bij microfiltratie wordt bepaald door de toegepaste poriegrootte en de vorm waarin de bacteriën aanwezig zijn. In het rwzi-effluent zijn de bacteriën veelal geadsorbeerd aan grotere deeltjes en kan bij een relatief grote poriediameter (ca. 1 tot 2 µm) toch een vergaande reductie worden bereikt.

In een verkennend onderzoek naar ultrafiltratie op de rwzi Elburg in 1996 [13] is eveneens hygiënische onderzoek uitgevoerd. Er konden geen bacteriën van de Coligroep worden aangetoond. Ook zijn geen feacale streptococci en salmonella's in het ultrafiltraat aangetroffen.

2.7 Aandachtspunten bij de levering van huishoudwater op basis van rwzi-effluent

2.7.1 Kwaliteitseisen tijdens het zuiveringsproces

Naast de eisen die gesteld kunnen worden aan het huishoudwater zelf, kunnen nog andere criteria gelden. Zo dient bij lozing op oppervlaktewater voldaan te worden aan de WVO; aan oppervlaktewater, in dit geval de Doesburgerslenk, kunnen ook kwaliteitseisen gesteld worden die volgen uit de Vierde Nota Waterhuishouding. Bij *infiltratie in de bodem geldt het Infiltratiebesluit*. Hierbij worden voor een groot aantal parameters extra eisen gesteld.

Of de bovengenoemde eisen ook hier van toepassing zullen zijn, is in dit stadium nog niet bekend. Voor het onderhavige onderzoek is echter van groot belang te weten in hoeverre de betreffende eisen worden onder- of overschreden. Daarom zijn in tabel 7 naast de effluentkwaliteit en de normen voor huishoudwater, de normen volgens het Infiltratiebesluit en de getalswaarden voor het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) voor oppervlaktewater uit de Vierde Nota Waterhuishouding opgenomen.

Tabel 7. Effluentkwaliteit en criteria voor bewerkingsstappen

parameter	eenheid	huishoudwater	Infiltratiebesluit	MTR ¹⁾	rwzi-effluent
zwevendestof	mg/l	1	0,5		5
kleur	mg Pt/l	15	-		39
totale hardheid	mmol/l	1 - 2,5	-		0,7
chloride	mg/l	150	200	200	100
<i>E.coli</i>	aantal/100 ml	10 ⁴	-		> 8 10 ⁴
zuurstof	mg/l	>2	-	5	5-7
kalium	mg/l	12	-		36,5
sulfaat	mg/l	150	150	100	50
ijzer	mg/l	0,2	-		0,06
mangaan	mg/l	0,05	-		0,05
ammonium	mg N/l	0,2	2,5		1,4
nitriet	mg N/l	0,1	-		0,14
nitraat	mg N/l	50	5,6		3,0
totaal fosfor	mg P/l	2	0,4	0,15	0,45
pH	-	7,5 - 9,0	-	6,5-9,0	7,7
zware metalen					
arseen	µg/l	50	10	5/10	0,62
cadmium	µg/l	5	0,4	0,08/0,4	0,45
chrom	µg/l	50	2	0,2/8,7	11
koper	µg/l	100	15	0,4/1,5	10
kwik	µg/l	1	0,05	0,01/0,02	0,08
nikkel	µg/l	50	15	3,3/5,1	6,4
lood	µg/l	50	15	0,2/11	10
zink	µg/l	100	65	2,8/9,4	110
aluminium	µg/l	200	-		170

1) Het eerste getal in een kolom is de streefwaarde, het tweede getal is de grenswaarde.

Zowel voor infiltratie in de bodem als lozing op het oppervlaktewater gelden aanvullende eisen voor organische microverontreinigingen zoals bestrijdingsmiddelen, PAK en gehalogeneerde verbindingen. Bij een uitgebreide analyse van het effluent van de rwzi Ede in 1996 op de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen werd alleen voor Diuron een verhoogde concentratie boven de detectielimiet aangetoond (0,19 $\mu\text{g/l}$, detectie 0,1 $\mu\text{g/l}$).

Om aan de normen van het infiltratiebesluit te kunnen voldoen dient het rwzi-effluent een extra behandeling te ondergaan waarbij zwevendestof, nitraat, fosfor en de zware metalen chroom, kwik en zink worden verwijderd. Om te kunnen voldoen aan de MTR-grenswaarden is, naast de kritische componenten voor infiltratie, tevens een verdergaande reductie van de zware metalen koper en nikkel vereist.

2.7.2 Lozing op oppervlaktewater

Het gezuiverde effluent wordt op de Doesburgerslenk geloosd. Hier vindt menging met opgevangen regenwater en het aanwezige oppervlaktewater plaats. Via de Doesburgerslenk zal het water infiltreren in de bodem. Voor infiltratie is het van belang dat geen of slechts beperkte algengroei in het open water optreedt. Hiertoe moet het fosfaatgehalte van het geloosde water lager zijn dan 0,03 à 0,05 mg P/l [12].

2.7.3 Infiltratie en bodempassage

Voor infiltratie zijn primair het zwevendestofgehalte en de MFI (Membrane Filtration Index, maat voor de verstoppingsnelheid bij filtratie) van belang. Als het zwevendestofgehalte en de MFI-waarde te hoog zijn kan het water moeilijk in het watervoerende pakket van de bodem infiltreren. Na beschouwing van een vergelijkbare toepassing (oppervlaktefiltratie in de duinen van het water afkomstig van WRK I en II) worden bij onderhavige situatie geen problemen verwacht bij een zwevendestofgehalte van 1,0 mg/l of lager en een MFI-waarde van 10 à 15 s/l^2 . Bodempassage met een voldoende lange verblijftijd (enkele weken) leidt tot een verbetering van het gehalte aan opgeloste organische stoffen, bacteriën en virussen. Tijdens het verblijf in de bodem is een desinfectierendement van 3 tot 5 logeenheden voor pathogene organismen mogelijk [10]. Het water zal door middel van putten aan het watervoerende pakket worden onttrokken. Na onttrekking dient het water nabehandeld te worden. Voor de nabehandeling kan worden volstaan met een beluchting en eventueel transportchloring of UV-desinfectie.

2.7.4 Nagroei in transport- en distributiestelsel

De aanwezigheid van assimileerbaar organisch koolstof (AOC) en nutriënten (N en P) heeft invloed op het optreden van nagroei in het transport- en distributienet. Nagroei kan worden voorkomen door vergaande verwijdering van AOC en nutriënten. Dit vergt een uitgebreide nabehandeling van het rwzi-effluent gericht op de vergaande verwijdering van gesuspendeerde en opgeloste stoffen (verdergaande biologische reiniging, deeltjesfiltratie en nano- of hyperfiltratie). Nagroei in het transport- en distributiestelsel kan echter ook worden voorkomen door de toepassing van transportdesinfectie.

2.8 Te onderzoeken aspecten van de basiszuivering

Door toepassing van vlokings- of ultrafiltratie als basiszuivering, eventueel gevolgd door een aanvullende zuivering, zal het rwzi-effluent worden opgewerkt. Uiteindelijk zal, uitgaande van het totale zuiveringsconcept, een waterkwaliteit moeten worden geleverd die voldoet aan de eisen voor huishoudwater. Op basis van een vergelijking van de kwaliteit van het effluent van de rwzi Ede met de gestelde kwaliteitseisen voor lozing op oppervlaktewater, infiltratie in de bodem en uiteindelijk huishoud-

water, kunnen voor enkele zeer belangrijke parameters de volgende kanttekeningen worden gemaakt.

zwevendestof (onopgeloste bestanddelen)

Door de basiszuivering moet het zwevendestofgehalte verlaagd worden tot $\leq 1,0$ mg/l. Bij een optimale procesvoering van vlokingsfiltratie wordt een reductie van het zwevendestofgehalte tot 0,5 à 1,0 mg/l haalbaar geacht. De relaties tussen de kwaliteit van rwzi-effluent, diverse procesinstellingen en de filtraatkwaliteit zullen experimenteel moeten worden vastgesteld. Met ultrafiltratie kan een vrijwel volledige verwijdering van zwevendestof worden gerealiseerd. Voor beide typen zuiverings-systemen geldt dat sterke wisselingen van het zwevendestofgehalte in het rwzi-effluent een storende invloed kunnen hebben op de werking. Bij ultrafiltratie zal een sterke verhoging van het zwevendestofgehalte leiden tot een toename in transmembraandruk, een verhoging van de reinigungsintensiteit en een daling van de recovery. Bij vlokingsfiltratie zal bij een sterke verhoging van de zwevendestofbelasting de looptijd van het filter afnemen en het spoelwatergebruik toenemen (daling van recovery). De relatie tussen de wisselende kwaliteit van het rwzi-effluent en de werking van de basiszuivering moet experimenteel worden vastgesteld.

ammonium

Om aan de huishoudwatereis te voldoen moet het ammoniumgehalte verder worden verlaagd tot 0,2 mg N/l. Tijdens de vlokingsfiltratie zal door nitrificatie in het filterbed verwijdering van ammonium optreden. Ook zal in het oppervlaktewater van de Doesburgerslenk een zo laag mogelijke waarde voor het ammoniumgehalte moeten worden nagestreefd. Tevens zal tijdens opslag, infiltratie en bodempassage eveneens ammoniumverwijdering optreden. Bij toepassing van vlokingsfiltratie bij de drinkwaterbereiding wordt veelal 1 à 2 mg N-NH₄/l verwijdering bereikt bij lage filtratiesnelheden (5 tot 10 m/h). Uitgaande van deze verwijderingscapaciteit kan met vlokingsfiltratie als basiszuivering de norm voor huishoudwater worden benaderd.

Bij ultrafiltratie zal geen ammoniumverwijdering optreden. Derhalve zal bij deze toepassing de ammoniumverwijdering moeten plaatsvinden in de nageschakelde zuiveringsstappen.

kleur

Om te kunnen voldoen aan de gestelde waterkwaliteitseisen dient het kleurgetal substantieel te worden verlaagd. Kleur wordt onder andere veroorzaakt door de aanwezigheid van complexe organische verbindingen, zoals humuszuren of metalen gebonden in een organisch complex (zoals Fe of Mn). Door vlokingsfiltratie of ultrafiltratie met coagulatie/destabilisatie kan een deel van de kleurvormende stoffen worden geëlimineerd. Het is vooralsnog onzeker of het vlokingsfilter of ultrafiltratie (met vlokmiddeldosering) voor voldoende kleurverwijdering zorgt. In de praktijk van de drinkwaterbereiding wordt ondermeer gebruik gemaakt van ozon en kaliumpermanganaat (KMnO₄) als oxidatiemiddel voor de reductie van kleur (maar ook geur en smaak).

hygiënische kwaliteit (verwijdering van pathogene micro-organismen)

Om aan de huishoudwatereis te voldoen zullen de feacale organismen (E. Coli en thermotolerante bacteriën van de Coligroep) sterk moeten worden gereduceerd. Of de reductie door vlokingsfiltratie voldoende is om direct al aan de huishoudwatereis te kunnen voldoen is onzeker (de vereiste logreductie bedraagt 0,5 tot 1,0). Omtrent de aanwezigheid en hoeveelheid van de overige hygiënische parameters zoals *Giardia*, *Cryptosporidium* en virussen in rwzi-effluent is geen informatie beschikbaar. Het ultrafiltratiemembraan is in theorie een absolute barrière voor pa-

de hygiënische parameters worden voldaan. Als gevolg van membraanbeschadigingen of defecte koppelingen tussen membraanmodules kan de hygiënische kwaliteit van het filtraat negatief worden beïnvloed.

2.9 Resumé

Voor het gebruik van het effluent van de rwzi Ede als bron voor de bereiding van huishoudwater is een zuiveringsconcept ontwikkeld bestaande uit behandeling van het rwzi-effluent in een basiszuivering, opslag en infiltratie, winning en een eventuele eindbehandeling. De 'kritische' componenten voor de levering van huishoudwater zijn zwevendestof, ammonium en kleur. Tevens dient de hygiënische kwaliteit sterk te worden verbeterd.

In het ontwikkelde zuiveringsconcept neemt de basiszuivering een centrale rol in. Hiervoor wordt uitgegaan van toepassing van vlokingsfiltratie of membraanfiltratie met een eventuele extra zuiveringsstap. In deze basiszuivering moet verdergaande verwijdering van de 'kritische' componenten worden gerealiseerd en moet de hygiënische kwaliteit sterk worden verbeterd.

Op grond het bovenstaande is door Witteveen+Bos in opdracht van Waterschap Vallei & Eem, NUON Water, Stowa en RIZA een voorstel voor pilotplantonderzoek opgesteld en is in januari 1998 gestart met praktijkonderzoek op de rwzi Ede.

3 MATERIALEN EN METHODEN

3.1 Doel van het onderzoek

Het doel van het pilotplantonderzoek is meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden voor de inzet van rwzi-effluent als bron voor de bereiding van huishoudwater door toepassing van vlokkingfiltratie en ultrafiltratie als basiszuivering. Door het onderzoek wordt inzicht verkregen in de te behalen filtraatkwaliteit en de optimale procescondities. Voor de filtraatkwaliteit richt het onderzoek zich met name op de verwijdering van de 'kritische' componenten zwevendestof, ammonium, kleur en pathogene micro-organismen.

Voor de vlokkingfiltratie zijn de volgende onderzoeksopdrachten geformuleerd:

- Toetsen van de verwachte verwijdering van de componenten zwevendestof, ammonium en kleur.
- Vaststellen van de hygiënische kwaliteit van het rwzi-effluent en het vlokkingfiltraat.
- Vaststellen van de kwaliteit van het vlokkingfiltraat voor de overige relevante parameters voor de productie en levering van huishoudwater.
- Vaststellen van de optimale filterbedconfiguratie, filtratiesnelheid en vlokmiddeldosering mede in relatie tot de filtraatkwaliteit.

Voor de ultrafiltratie zijn de volgende onderzoeksopdrachten geformuleerd:

- Toetsen van de verwachte verwijdering van de componenten zwevendestof, ammonium en kleur.
- Vaststellen van de kwaliteit van het ultrafiltraat voor de overige relevante parameters voor de productie en levering van huishoudwater.
- Onderzoek naar optimale procesinstellingen voor flux, transmembraandruk en spoel/reinigingsprocedures.

3.2 Pilotplant voor de vlokkingfiltratie

3.2.1 Systeemkeuze

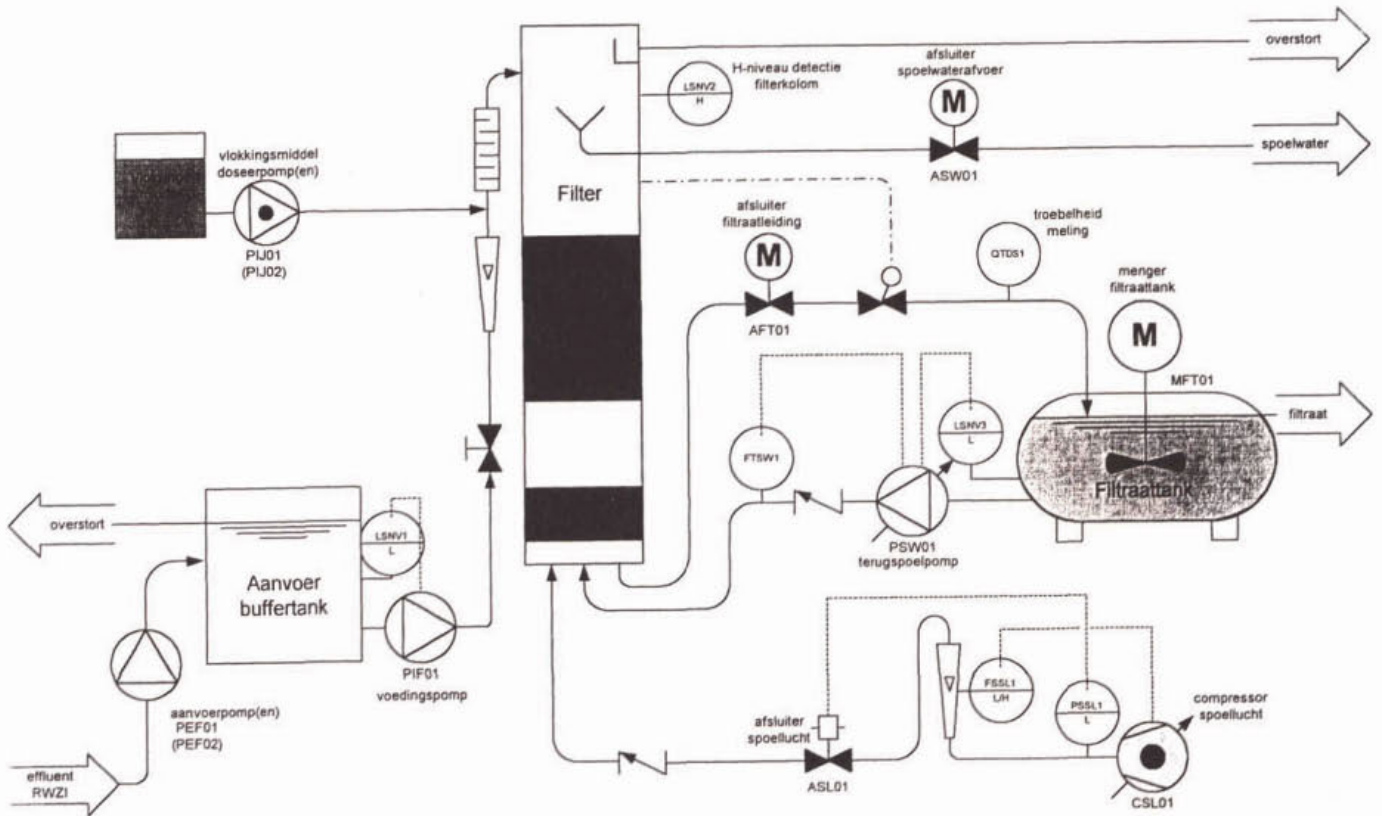
Voor de proefinstallatie is gekozen voor een snelfilter in de uitvoering als een 'open gravitatiefilter'. Dit systeem heeft de voorkeur boven continue zandfiltratie omdat variaties in de kwaliteit en kwantiteit van de voeding door een open gravitatiefilter beter worden opgevangen en tevens een betere filtraatkwaliteit kan worden verkregen door het toepassen van meerdere filterlagen.

3.2.2 Beschrijving van de proefinstallatie

Afbeelding 5 toont het schema van de proefinstallatie. De besturing van de installatie is volledig geautomatiseerd en voorzien van een dataverwerkingssysteem voor alle continue metingen (o.a. pompcapaciteiten en troebelheidsmeting). Het rwzi-effluent wordt vanuit een continu doorstroomde buffertank aangevoerd. In de toevoerleiding is na de vlokmiddeldosering een statische menger geplaatst. Het rwzi-effluent stroomt via het filterbed in de filtraattank. Het benodigde water voor terugspoeling wordt aan deze tank onttrokken. De installatie is voorzien van een compressor voor de luchttoevoer tijdens het terugspoelen.

De proefinstallatie kan worden bedreven met zowel een oplopende waterstand als een vaste waterstand boven het filter (met een vast debiet). Tijdens het onderzoek is uitgegaan van de laatstgenoemde optie.

Afbeelding 5. Schema van de proefinstallatie voor de vlokingsfiltratie



3.2.3 Samenstelling van het filterbed

Voor de samenstelling van het filterbed is uitgegaan van eerder door de Technische Universiteit Delft uitgevoerd onderzoek naar de toepassing van vlokingsfiltratie op rwzi-effluent [6]. Uitgegaan is van een dubbellaagsfilterbed met twee filtermaterialen van verschillende korrelgrootte en -dichtheid; de bovenste laag bestaat uit het grovere en lichtere materiaal, de onderste laag uit fijn en zwaar materiaal. De bovenste laag houdt met name grote deeltjes tegen zonder snel te verstopen; de vervuiling dringt bij voorkeur diep in het bed door. In de fijne onderste laag worden de laatste vervuilende deeltjes tegengehouden. Zo wordt voorkomen dat het filter snel dichtslaat bij hoge filtratiesnelheden en hoge belasting met zwevendestof. Indien de filtraatkwaliteit bij een tweelaagsfilterbed niet voldoet, bestaat de mogelijkheid voor het aanbrengen van een derde filterlaag bestaande uit fijn materiaal met een hoge dichtheid. De filterbedhoogte dient minimaal 600 mm te bedragen om tot redelijke resultaten en looptijden te komen. Bij dubbellaagsfilters is het van belang de grove bovenlaag dikker te nemen dan de dunne fijne onderlaag. Voor de boven- en onderlaag wordt veelal uitgegaan van respectievelijk antraciet en kwartszand.

In tabel 8 is de opbouw van het filterbed weergegeven. De derde extra onderlaag is na ca. 4 maanden onderzoek aangebracht (tijdens deelonderzoek 2, zie paragraaf 3.6).

Tabel 8. Opbouw van het filterbed

laag	bedhoogte (mm)	materiaal	korreldiameter (mm)	dichtheid (kg/m ³)
bovenlaag	800	antraciet	2,0-4,0	1.400
onderlaag	400	kwartszand	1,5-2,25	2.600
extra onderlaag	300	granaatzand	0,5-0,8	3.500

3.2.4 Vlokmiddeldosering en vlokvorming

IJzer- en aluminiumzouten worden veelal als vlokmiddel toegepast bij vlokkingfiltratie. Uitgegaan wordt van de toepassing van beide type vlokmiddelen in de vorm van ijzerchloride en aluminiumchloride. Door de dosering van een vlokhulpmiddel kan de stabiliteit van de gevormde vlokken nog verder worden verbeterd. Belangrijk nadeel van de toepassing van vlokhulpmiddelen is echter het risico van verstopping van het filterbed. Derhalve is in dit onderzoek afgezien van het gebruik van vlokhulpmiddelen.

De hoeveelheid te doseren vlokmiddel is afhankelijk van de kwaliteit van het rwzi-effluent en de gewenste filtraatkwaliteit. De optimale vlokmiddeldosering moet experimenteel worden vastgesteld. Hierbij wordt uitgegaan van een debietproportionele dosering.

Voor een optimale vlokvorming moet na dosering van het vlokmiddel in de aanvoerleiding een korte en intensieve menging plaatsvinden (mengtijd < 1 s, G-waarde 500-1.000 s⁻¹). De benodigde mengintensiteit is gecreëerd door het aanbrengen van een overstort aan de bovenzijde van het filter. Tevens is tijdens het onderzoek een statische menger in de toevoerleiding aangebracht.

3.3 Opzet van het onderzoek naar vlokkingfiltratie

3.3.1 Vlokmiddeldosering

Ter bepaling van de optimale vlokmiddeldosering is gestart met een proevenreeks waarbij ijzer (ijzerchloride) als vlokmiddel is gebruikt. In een latere fase is overgeschakeld op aluminium (aluminiumchloride). Het filter is bij een constante filtratiesnelheid gedurende korte looptijden (4 tot 7 uur) belast. Per looptijd is de vlokmiddeldosering verhoogd. Tijdens de eerste looptijd is geen ijzer gedoseerd. Gedurende de looptijd zijn het zwevendestofgehalte en de troebelheid bepaald. Gestreefd is naar het vaststellen van de laagste ijzerdosering waarbij het zwevendestofgehalte en de troebelheid de laagste waarde hebben.

3.3.2 Filtraatkwaliteit bij verschillende filtratiesnelheden

In paragraaf 2.5 is aangegeven dat in vergelijkbare toepassingen van vlokkingfiltratie bij een verhoging van filtratiesnelheid tot 20 m/h de verwijderingsrendementen van de troebelheid en zwevendestof niet substantieel verslechteren. Van de hygiënische kwaliteit zijn gegevens beschikbaar uit onderzoek op praktijkschaal uitgevoerd in de VS. De filtratiesnelheid is bij deze toepassingen echter relatief laag (ca. 5 m/h). De hygiënische kwaliteit na vlokkingfiltratie bij hoge filtratiesnelheden van 10 tot 20 m/h is onbekend.

Gedurende het onderzoek is het filter, bij de optimale vlokmiddeldosering, met een filtratiesnelheid van 10 tot 15 m/h belast. Gestreefd is naar een optimale filtratiesnelheid waarbij nog geen substantiële verslechtering van de filtraatkwaliteit optreedt.

3.3.3 Bovenwaterstand

De proefinstallatie is voorzien van de mogelijkheid om de filtratie uit voeren bij een oplopende of vaste waterstand boven het filterbed. Het onderzoek is uitgevoerd bij een vaste waterstand boven het filterbed (1.500 tot 2.000 mm).

3.3.4 Terugspoelprocedure

Voor de reiniging van het filterbed is gebruik gemaakt van een gecombineerde water- en lucht-spoeling in drie fasen (lucht, lucht + water, water). Getracht is het spoelprogramma gedurende het onderzoek te optimaliseren door aanpassing van de duur van de spoelfasen en variatie van de toevoercapaciteit van lucht en terugspoelwater. Het terugspoelprogramma start automatisch bij beëindiging van de filterlooptijd. Bij het bereiken van de maximale druk over het filterbed of na een ingestelde tijd wordt de filterlooptijd beëindigd.

3.3.5 Procesbewaking en optimalisatie

Voor de bewaking en optimalisatie van het filtratieproces zijn de volgende procesparameters gemeten en geregistreerd:

- debiet van voeding, vlokmiddeldosering, filtraat en terugspoelwater;
- troebelheidsmeting in voeding en filtraat;
- looptijd en drukopbouw;
- zwevendestofgehalte van rwzi-effluent en het filtraat.

Op basis van de bovengenoemde metingen en de resultaten van de periodieke uitgebreide analyses van het rwzi-effluent en het geproduceerde filtraat, werd de actuele werking van het filter beoordeeld, en eventueel bijgesteld. In paragraaf 3.7. wordt nader ingegaan op uitgevoerde analyses en metingen.

3.4 Pilotplant voor de membraanfiltratie

3.4.1 Systeemkeuze

Voor het membraanfiltratieonderzoek is gekozen voor ultrafiltratie boven microfiltratie, omdat bij ultrafiltratie virussen effectief worden afgevangen en daarmee een volledige desinfectie wordt bereikt. In de proefinstallatie is een horizontale 8 inch ultrafiltratiemodule geplaatst met tubulaire membranen met een diameter van 5,2 mm een lengte van 3 meter (type STORK 38 PEF4385). De membraankeuze is gebaseerd op referenties in vergelijkbare toepassingen. In de laatste fase van het onderzoek is de module vervangen door een verticaal geplaatste 8 inch module met 1,5 mm capillaire membranen met een lengte van 1 meter (type STORK EO-15-010). Bij deze module is gebruik gemaakt van de mogelijkheid om een gecombineerde lucht- en waterspoeling uit te voeren met als doel een verbetering van de verwijdering van de membraanvervuiling.

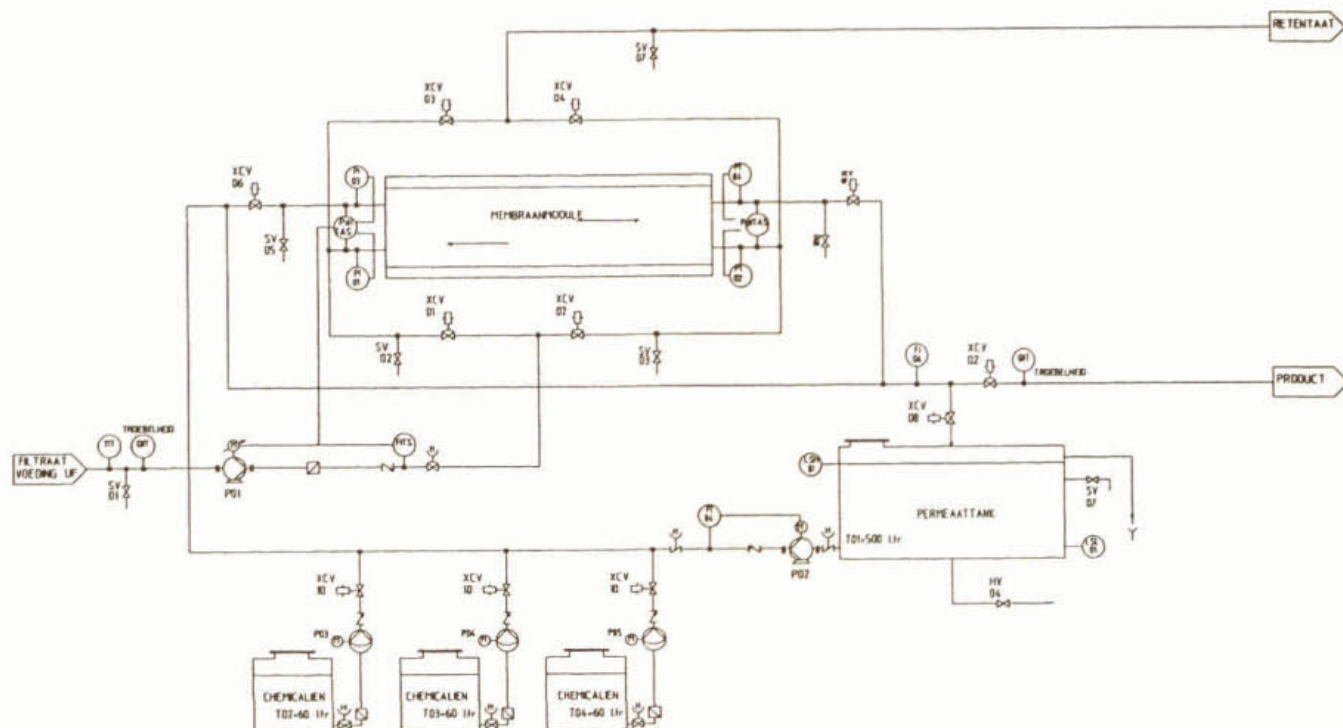
3.4.2 Beschrijving van de proefinstallatie

Afbeelding 6 toont het schema van de proefinstallatie. De installatie is volledig geautomatiseerd en voorzien van een dataverwerkingssysteem voor alle continue metingen (o.a. pompcapaciteiten, druk en troebelheidsmeting). De kern van de installatie bestaat uit een membraanmodule waarin de micro- of ultrafiltratiemembranen kunnen worden geplaatst.

Het rwzi-effluent wordt vanuit een continu doorstroomde buffertank aangevoerd. De installatie is flux-gestuurd. Dit betekent dat een vast debiet (flux) wordt ingesteld en dat de druk varieert afhankelijk van tijd en vuilaanbod. Het filtraat (permeaat) wordt opgevangen in een buffervat. Vanuit dit buffervat wordt het terugspoelwater

geleverd. De installatie is voorzien van een aparte chemicaliëndosering, bestaande uit drie containers met doseervoorzieningen.

Abbeelding 6. Schema van de proefinstallatie voor de ultrafiltratie



3.5 Opzet van het onderzoek naar ultrafiltratie

Het membraanonderzoek is in vier deelonderzoeken uitgevoerd waarbij verschillende voorbehandelingen van het rwzi-effluent werden toegepast en tijdens het laatste deelonderzoek een tweede type membraan is getest (zie experimentenoverzicht in paragraaf 3.6.). Het onderzoek heeft gedurende vier maanden plaatsgevonden.

3.5.1 Voorbehandeling

Ultrafiltratie is gedurende het onderzoek getest in drie opstellingen met verschillende voorbehandelingen. Gestart is met de toepassing direct op rwzi-effluent. Hierna is een buisfloculator voorgeschakeld met de dosering van een vlokmiddel (in-line coagulatie met aluminium). Tenslotte is de ultrafiltratie-installatie in serie geschakeld met het vlokingsfilter.

Voor het bereiken van een optimale vlokvorming is bij toepassing van in line coagulatie, een buisfloculator voorgeschakeld met een buislengte van 30 meter en een diameter van 30 mm (G-waarde $200-500 \text{ sec}^{-1}$). Deze voorbehandeling is toegepast om de procesvoering en de filtraatkwaliteit te verbeteren.

3.5.2 Optimalisatie van de procesvoering

De optimalisatie van de ultrafiltratie is gericht op het maximaliseren van de flux waarbij een stabiele bedrijfsvoering van het ultrafiltratieproces kan worden gehand-

haafd. Kenmerkend voor een stabiele bedrijfsvoering is het handhaven van een lage transmembraandruk (0,3-0,6 bar) gedurende een lange periode van dagen tot weken, zonder dat tussentijds een grondige chemische reiniging van het membraan nodig is.

Om het effect van diverse spoelprocedures te testen is ieder deelonderzoek gestart met vervuilingsexperimenten bij een flux van 35, 70 en 100 l/m².h. Voor de optimalisatie van de spoeling bij de periodieke reiniging van het membraan is gebruik gemaakt van terugspoeling (back wash), voorwaartse spoeling (forward flush) en terugspoeling in combinatie met een dosering van chloorbleekloog en een beperkte inweektijd (6 tot 10 minuten). Op basis van de vervuilingstesten is een keuze gemaakt van de initiële procesinstellingen voor het betreffende deelonderzoek.

De maximaal toelaatbare duur van het tijdsinterval tussen twee spoelingen is ingesteld op basis van de toename van de transmembraandruk (TMD) en is gedurende de deelonderzoeken verder geoptimaliseerd. Tijdens de experimenten is een maximale TMD van 0,9 bar gehanteerd. Gestreefd is naar een stabiele bedrijfsvoering in een TMD-bereik van 0,3 tot 0,6 bar.

Voor de (grondige) chemische reinigingen is uitgegaan van de toepassing van chloorbleekloog, zoutzuur en door de leverancier ter beschikking gestelde reinigingsmiddelen (detergenten).

3.6 Experimenten

Het onderzoek naar vlokingsfiltratie is uitgevoerd in de periode vanaf januari tot augustus 1998. Het onderzoek naar ultrafiltratie is uitgevoerd vanaf mei tot september 1998.

vlokingsfiltratie

Het onderzoek naar vlokingsfiltratie bestaat uit de volgende deelonderzoeken:

- deelonderzoek 1: optimalisatie ijzerdosering en filtratiesnelheid;
- deelonderzoek 2: systeemoptimalisatie;
- deelonderzoek 3: duurproeven bij vaste procesinstellingen (uitgaande van een drielaagsfilterbed).

Op basis van de resultaten van de deelonderzoeken 1 en 2 is het experimentenprogramma voor de duurproeven van deelonderzoek 3 opgesteld. In tabel 9 zijn de procesinstellingen bij de verschillende duurproeven van deelonderzoek 3 samengevat. Tijdens deelonderzoek 2 is een extra filterlaag toegevoegd. Alle duurproeven tijdens deelonderzoek 3 zijn uitgevoerd met het drielaagsfilterbed.

3.7 Analyses en metingen

In bijlage I is een overzicht opgenomen van de uitgevoerde analyses en metingen, de gehanteerde analysemethoden en analysefrequentie.

Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van mobiele meetinstrumenten (troebelheid, zuurstof, MFI) en de op de rwzi Ede aanwezige analysevoorzieningen (o.a. CZV, N-NH₄, P-totaal).

Bij de laboratoriumbepaling van de zwevendestof in het vlokkingfiltraat is uitgegaan van de inzet van een groter monstervolume dan volgens de standaardanalyse NEN6621 vereist is (2 à 3 l). Hierdoor was een lagere detectielimiet mogelijk (< 2 mg/l). Opgemerkt dient te worden dat bij lage zwevendestofgehaltenes de nauwkeurigheid en daarmee de betrouwbaarheid van de zwevendestofbepaling sterk afneemt. Derhalve is bij zeer lage zwevendestofgehaltenes in het ultrafiltraat (< 0,1 mg/l) een inschatting van het zwevendestofgehalte gemaakt op basis van de deeltjesanalyse.

onderzoek naar de hygiënische kwaliteit

Door het RIVM zijn in juni en juli drie monsters genomen van het effluent van de rwzi Ede en het vlokkingfiltraat. Het ultrafiltraat is niet meegenomen in het onderzoek. Deze aanname is gebaseerd op het feit dat door ultrafiltratie pathogene micro-organismen met een zeer hoog rendement worden verwijderd. Het aantonen van dit hoge verwijderingsrendement zou buitensporige inspanningen bij monsternamen en analyse vergen. De bepaling is dan bovendien storingsgevoelig en derhalve onnauwkeurig.

De onderzochte parameters zijn:

- ***E.Coli* en thermotolerante coliforme bacteriën**; dit zijn indicatororganismen om faecale verontreinigingen aan te tonen. De aanwezigheid van faecale verontreinigingen impliceren een mogelijke aanwezigheid van humaan pathogene micro-organismen;
- **sporen van *Clostridium Perfringens***; dit pathogene organisme kan gastroenteritis veroorzaken en is een mogelijke indicator voor de verwijdering van *Cryptosporidium*;
- ***Cryptosporidium parvum***; dit is een ziekteverwekker (gastroenteritis);
- ***Giardia***; waarschijnlijk pathogene protozoa;
- **Enterovirussen en Reovirussen**: zijn niet pathogeen maar dienen als indicator voor pathogene virussen zoals Norwalk-like virussen, rotavirus, poliovirus.

Tijdens de verschillende deelonderzoeken van zowel vlokkingfiltratie als ultrafiltratie zijn in de periode vanaf april tot juli 1998 regelmatig bepalingen uitgevoerd van *E.Coli* bacteriën en thermotolerante coliforme bacteriën.

drukmetingen bij de vlokkingfiltratie

Tijdens de duurproeven (deelonderzoek 3) zijn drukmetingen uitgevoerd op verschillende hoogtes van het filterbed. Hierbij is gebruik gemaakt van de monsterpunten op de filterkolom (17 monsterpunten gelijkmatig, met een tussenafstand van 10 cm, verdeeld over de gehele bedhoogte).

deeltjestellingen

Tijdens de duurproeven van het vlokkingfiltratieonderzoek en tijdens deelonderzoeken van het ultrafiltratieonderzoek zijn deeltjestellingen uitgevoerd in de in- en

uitgaande stromen. Tevens zijn deeltjestellingen uitgevoerd op verschillende hoogtes in het filterbed door gebruik te maken van de apart aangebrachte monsterpunten ter hoogte van de monsterpunten voor de drukmetingen.

De deeltjesanalyses zijn uitgevoerd ter ondersteuning van de optimalisatie van het filtratieproces. Door deze metingen is inzicht ontstaan in de wijziging in deeltjesgrootteverdeling tijdens het filtratieproces.

De gehanteerde deeltjesteller (Met-One) heeft een bereik van 2-750 μm . Voor het onderzoek is een verdeling gemaakt in vier meetbereiken:

- 2-5 μm ;
- 5-8 μm ;
- 8-20 μm ;
- 20-100 μm of 20-750 μm .

De deeltjesanalyses zijn uitgevoerd ter ondersteuning van de optimalisatie van het filtratieproces. Door deze metingen is inzicht ontstaan in de wijziging in deeltjesgrootteverdeling tijdens de filtratie in het filterbed.

4 RESULTATEN

4.1 Effluent van de rwzi Ede

Tijdens het onderzoek is het effluent van de rwzi Ede gebruikt als bron voor de verschillende experimenten. De analysegegevens van het effluent tijdens de onderzoeksperiode zijn samengevat in tabel 11. Voor de analyses is uitgegaan van debietproportionele dagmonsters (21 metingen).

Tabel 11. Effluentkwaliteit gedurende het onderzoek (1/1/98 - 1/10/98)

parameter	eenheid	gem. ¹⁾	min.	max.
debiet	m ³ /dag	35.860	17.281	114.373
CZV	mg O ₂ /l	40	21	59
BZV ₅	mg O ₂ /l	2,9	0,5	7,6
Kj-N ²⁾	mg N/l	3,1	1,4	9,9
NO ₃	mg N/l	3,0	1,3	7,3
NO ₂	mg N/l	0,1	0,0	0,8
totaal-P	mg P/l	0,6	0,1	3,9
onopgeloste bestanddelen ³⁾	mg/l	4,0	0,5	8,6
pH	-	7,7	7,0	8,3
Cr	µg/l	11,4	2,4	24,0
Cu	µg/l	12,3	2,00	35,6
Ni	µg/l	6,6	0,01	16,0
Pb	µg/l	10,1	0,01	21,6
Zn	µg/l	113	73	205
Hg	µg/l	0,1	0,02	0,5
Cd	µg/l	0,5	0,01	1,00
As	µg/l	0,6	0,3	1,0
Al	µg/l	200	50	400
chloride	mg/l	98	33	137
sulfaat	mg/l	51	22	78

1) de analyseresultaten van 23 september 1998 zijn niet opgenomen in de berekeningen vanwege de sterk verslechterde effluentkwaliteit als gevolg van een calamiteit bij bedrijfsvoering van de zuivering;

2) het ammoniumgehalte (N-NH₄) wordt niet periodiek gemeten. In de onderzoeksperiode was het gemiddelde ammoniumgehalte ca. 0,5 mg N-NH₄/l.

3) zwevendestof.

De resultaten van analyses op organische micro-verontreinigingen zijn samengevat in tabel 12 (dagmonsters d.d. 21 april, 20 juli en 12 oktober 1998).

Tabel 12. Organische microverontreinigingen in het effluent van de rwzi Ede

datum	21-04-98	20-07-98	12-10-98
PAK's $\mu\text{g/l}$ (dmv. HPLC)			
totaal 6 Borneff	n.a.	n.a.	n.a.
totaal 10 VROM	n.a.	n.a.	0,1
totaal 16 EPA	n.a.	n.a.	0,1
aromaten $\mu\text{g/l}$ (dmv GC)			
benzeen	<0,5	<0,5	<0,5
tolueen	<0,2	0,2	<0,2
ethylbenzeen	<0,2	<0,2	<0,2
meta- en paraxyleen	<0,2	<0,2	<0,2
orthoxyleen	<0,2	0,5	<0,2
naftaleen	<0,5	<0,5	<0,5
som xylenen	n.a.	0,5	n.a.
organohalogeenvbindingen			
AOX uitgedrukt als chloor $\mu\text{g/l}$	1	6	<1
minerale oliën m.b.v. IR-spectroscopie			
minerale oliën (mg/l)	<0,05	<0,05	-

4.2 Resultaten van het onderzoek naar vlokingsfiltratie

4.2.1 Optimalisatie van de vlokmiddeldosering (deelonderzoek 1)

In tabel 13 zijn de zwevendestof- en troebelheidsmetingen opgenomen tijdens de optimalisatie-experimenten van deelonderzoek 1 waarbij ijzer als vlokmiddel is toegepast. Tijdens de experimenten varieerde de temperatuur van 9,5 tot 11,7 °C. De pH varieerde van 7,3 tot 7,8 (-).

Tabel 13. Invloed van de ijzerdosering op de kwaliteit van het vlokingsfiltraat bij een filtratiesnelheid van 20 m/h

Fe-dosering (mg/l)	zwevendestof (mg/l)		troebelheid (FTE)	
	rwzi-effluent	filtraat	rwzi-effluent	filtraat
0	3,8	1,4	1,8	0,7
2	3,9	7,5	2,1	1,9
4	4,5	17	2,0	3,6
6	4,7	19	2,7	4,2
7,5	4,9	18	1,8	3,4
10	1,0	20	3,2	3,8

Uit de tabel blijkt dat bij een toenemende ijzerdosering het zwevendestofgehalte en de troebelheid in het filtraat ook toenemen. Hierbij is het gehalte aan zwevendestof in het filtraat hoger dan in het rwzi-effluent. Dit betekent dat vrijwel volledige doorslag van ijzer optreedt en de toename van zwevendestof wordt veroorzaakt door de vorming van ijzerhydroxide. Bij de beschouwing van de troebelheid valt op dat relatief lage waarden zijn gemeten bij hoge zwevendestofgehaltenes. Dit kan worden verklaard doordat de troebelheid direct is gemeten en de bepaling van de zwevendestof later is uitgevoerd in het laboratorium. In de tijd tussen monsternamen en analyse is het doorslagende ijzer waarschijnlijk geprecipiteerd (uitgevlokt).

Op basis van de resultaten uit tabel 13 is geconcludeerd dat bij de gehanteerde procesinstelling de dosering moet worden verlaagd tot minder dan 2 mg Fe^{3+}/l om doorslag te voorkomen.

4.2.2 Onderzoek naar de werking van de vlokmiddelen

Na afloop van deelonderzoek 1 is de werking van de vlokmiddelen ijzer en aluminium oriënterend onderzocht op laboratoriumschaal door middel van de standaard bekerglasproef conform KIWA-voorschrift. Na toevoeging van het vlokmiddel aan het rwzi-effluent is na intensieve menging, vlokvorming bij een lage mengintensiteit en een bezinktijd van 20 minuten, de troebelheid van het supernatant bepaald. Voor het aluminium is uitgegaan een $AlCl_3$ -oplossing. Voor ijzer is uitgegaan van een $FeCl_3$ -oplossing.

De vlokvormings-pH lag tussen 7,4 en 7,6 (-). De temperatuur was 15°C.

Tabel 14. Resultaten van bekerglasexperimenten

vlokmiddel dosering (mg/l)	Fe troebelheid (FTE)	Al troebelheid (FTE)
0	0,8	0,8
1	1,2	1,0
2	1,7	1,2
3	2,2	0,7
4	2,8	0,7
5	3,3	0,6

Uit tabel 14 blijkt dat de initiële troebelheid van het rwzi-effluent laag is. Bij een lage troebelheidswaarde en daarmee een geringe hoeveelheid vlokverzwarende bestanddelen zal het gehydrolyseerde metaalzout slecht bezinken. Bij toepassing van ijzer als vlokmiddel ontstaat kennelijk minder goed bezinkbare (micro)vlokken in vergelijking met aluminium. Hieruit kan worden afgeleid dat de dosering van ijzer tot relatief kleine vlokken leidt die moeilijk bezinken. De dosering van aluminium geeft daarentegen grotere en goed bezinkbare vlokken. Uitgaande van deze redenering zou de dosering van ijzer, onder de heersende procescondities, meer een diepbedfiltratie opleveren vanwege de vorming van kleinere vlokken. Bij hoge filtratiesnelheden treedt dan doorslag op, hetgeen wordt bevestigd door de experimenten tijdens deelonderzoek 1. Aluminium als vlokmiddel leidt tot grotere vlokken die via oppervlaktefiltratie makkelijk te verwijderen zijn (in de bovenste laag van het filterbed).

Mede op grond van de bovenstaande beschouwing is besloten om naast ijzer ook aluminium als vlokmiddel toe te passen tijdens de duurproeven in deelonderzoek 3. Als richtdosering is 2 mg/l aangehouden hetgeen in overeenstemming is met de gangbare praktijk bij effluentfiltratie, o.a. in de Verenigde Staten [7].

4.2.3 Systeemoptimalisatie (deelonderzoek 2)

Gedurende het deelonderzoek 2 is getracht door stapsgewijze aanpassingen van de procesinstellingen en de systeemconfiguratie de werking van het filter te optimaliseren. De volgende aanpassingen zijn gerealiseerd:

- verlaging van de filtratiesnelheid tot 10 m/h (ijzerdosering 0-2 mg/l);
- aanbrengen van een statische menger in de toevoerleiding voor de verbetering van de menging na vlokmiddeldosering, en plaatsing van een roerder in de bovenstaande waterlaag ter bevordering van de vlokvorming (G -waarde 50 s^{-1});
- toevoeging van een derde filterlaag bestaande uit granaatzand met korrelgrootte van 0,6 tot 0,8 mm.

De verlaging van de filtratiesnelheid en het aanbrengen van de mengvoorziening resulteerden bij een ijzerdosering van 1 tot 2 mg/l in een verbetering van de zwevendestof- en troebelheidverwijdering ten opzichte van deelonderzoek 1. Het zwevendestofgehalte in het filtraat varieerde van 2 tot 3 mg/l.

Na het aanbrengen van de derde filterlaag is een substantiële verbetering van de zwevendestof- en troebelheidverwijdering opgetreden en is de kwaliteit van het filtraat verder verbeterd (zwevende stof < 2,0 mg/l, troebelheid ca. 1,0 FTE).

4.2.4 Duurproeven naar vlokingsfiltratie (deelonderzoek 3)

De resultaten van deelonderzoek 3 zijn samengevat in tabel 15. In bijlage II is een uitgebreide tabel met de meetresultaten opgenomen; hierin zijn de minimale en maximale waarden en het aantal metingen en analyses opgenomen.

zwevendestof

Het gemiddelde zwevendestofgehalte in het rwzi-effluent varieerde tijdens het deelonderzoek van 1,8 tot 6,3 mg/l. Het gemiddelde zwevendestofgehalte in het filtraat varieerde van 1,2 tot 2,0 mg/l. De laagste waarde in het filtraat is gemeten bij duurproef C, namelijk 1,2 mg/l. De proeven A, B en C tonen een verwijderingsrendement voor zwevendestof van 60 tot 75 %. Het verwijderingsrendement bij een hogere filtratiesnelheid (duruproef E en F) is enigszins lager dan bij de overige duurproeven. Het ingaande zwevendestofgehalte was bij deze proeven echter lager in vergelijking met de overige proeven.

troebelheid

De verwijdering van de troebelheid is het hoogst bij proef C (74%). De laagste absolute troebelheid in het filtraat is behaald bij de proeven C en F waarbij aluminium als vlokmiddel werd gebruikt (gemiddeld 0,5 FTE).

P-totaal

Het P-gehalte van het effluent van de rwzi Ede is reeds zeer laag en neemt bij vlokingsfiltratie verder af door de chemische precipitatie van ortho-fosfaat. Bij duurproef C is de laagste concentratie bereikt (20 $\mu\text{g P}_{\text{tot}}/\text{l}$, gemiddeld 50 $\mu\text{g/l}$).

ammonium en zuurstof

Tijdens het onderzoek varieerde het ammoniumgehalte (N-NH_4) in het rwzi-effluent van 0,1 tot 3,5 mg/l (gemiddeld circa 0,3 mg/l). De afname van ammonium in het filter varieerde van 0,1 tot 0,6 mg $\text{N-NH}_4/\text{l}$. Waarschijnlijk daalt het zuurstofgehalte tijdens filtratie als gevolg van nitrificatie in het filterbed. De ingaande zuurstofconcentratie varieerde van 6 tot 7 mg/l. Het zuurstofgehalte neemt tijdens filtratie af met 1,0 à 2,0 mg/l.

De verwijdering van 1 mg $\text{N-NH}_4/\text{l}$ door nitrificatie vergt 4,57 mg O_2/l . De afname in zuurstofgehalte komt derhalve globaal overeen met de geconstateerde ammoniumverwijdering in het filterbed.

Tabel 15. Samenvatting van de resultaten van de duurproeven met vlokingsfiltratie

duurproef		A	B	C	D	E	F
vlokmiddel		-	Fe	Al	-	Fe	Al
filtratiesnelheid	m/h	10	10	10	15	15	15
rwzi-effluent							
zwevendestof	mg/l	6,3	4,7	3,3	-	1,8	3,6
troebelheid	FTE	1,7	2,6	1,7	3,9	5,1	1,2
P-totaal	mg P/l	0,34	0,49	0,20	0,45	0,13	0,56
ammonium	mg N/l	0,88	0,41	0,11	1,73	1,03	-
CZV	mg O ₂ /l	34	36	32	41	31	34
filtraat							
zwevendestof	mg/l	1,5	2	1,2	-	1,3	1,5
troebelheid	FTE	0,6	1,2	0,5	1,7	1,2	0,5
P-totaal	mg P/l	0,12	0,25	0,05	0,41	0,05	0,17
ammonium	mg N/l	0,52	0,53	0,04	1,56	0,36	-
CZV	mg O ₂ /l	31	31	15	35	-	30
rendement (%)							
zwevendestof		74	58	60	-	30	55
troebelheid		58	47	74	56	60	54
P-totaal		49	46	75	13	62	70
ammonium		29	-	65	21	65	-
CZV		9	14	34	13	-	13

Tijdens duurproef C is het verloop van de ammoniumconcentratie gedurende een gedeelte van de looptijd van het vlokingsfilter bepaald. De resultaten van dit experiment zijn weergegeven in tabel 16.

Tabel 16. Ammoniumverwijdering bij vlokingsfiltratie

looptijd (min)	in (mg N-NH ₄ /l)	uit (mg N-NH ₄)	verwijderingsrendement (%)
60	0,15	0,05	67
120	0,12	0,05	58
180	0,11	0,05	55
240	0,09	0,04	56
350	0,10	0,04	60

Uit tabel 16 volgt dat ondanks de zeer lage ingangconcentratie verdergaande ammoniumverwijdering optreedt tijdens vlokingsfiltratie. Het verwijderingsrendement bedraagt gemiddeld ca. 60%.

CZV

De afname van CZV is beperkt en varieert van 10 tot 34 %. Bij test C is de grootste CZV-afname geconstateerd (34 %).

MFI

Tijdens het uitvoeren van de testen is gebleken dat de meetapparatuur voor de MFI-bepaling zeer gevoelig is voor (biologische) vervuiling. De MFI-metingen zijn daarom voorafgegaan door een uitgebreide reiniging. De MFI-waarde van het effluent varieerde van 67 tot 278 s/l². De MFI-daling door vlokingsfiltratie varieerde van 50 tot 70 %. De laagste MFI-waarden werden bereikt tijdens deelonderzoek C (ca. 40 s/l²).

kleur en geur

Het kleurgetal van het rwzi-effluent varieerde van 50 tot 60 mg Pt/l. Bij toepassing van ijzer als vlokmiddel is geen kleurverwijdering geconstateerd. Bij toepassing van aluminium is echter wel enige kleurreductie aangetoond.

Bij alle analyses is de geur gekwalificeerd als 'riool'.

Tabel 17. Resultaten van de kleurbepalingen

duurproef	kleur rwzi-effluent (mg Pt/l)	kleur filtraat (mg Pt/l)	verwijderingsrendement (%)
A	57	60	-
A	58	55	7
B	58	62	-
B	49	56	-
C	59	34	42
C	76	58	24

metalen

De resultaten van de analyses van de metalen zijn opgenomen in tabel 18.

Tabel 18. Resultaten van de metaalanalyses

duurproef	Fe (mg/l)		Cu (µg/l)		Zn (µg/l)		Al (µg/l)	
	rwzi-effluent	filtraat	rwzi-effluent	filtraat	rwzi-effluent	filtraat	rwzi-effluent	filtraat
A	< 0,3	< 0,3	< 20	< 20	< 100	< 100	-	-
A	< 0,3	< 0,3	< 20	< 20	< 100	< 100	-	-
B	< 0,3	0,77	< 20	< 20	< 100	< 100	-	-
B	-	-	< 20	< 20	< 100	< 100	-	-
C	0,14	0,17	-	-	120	120	340	180
C	0,13	0,08	16	2	110	150	220	780

Door het gebruik van aluminium als vlokmiddel (test C) stijgt de aluminiumconcentratie in het filtraat. De dosering van ijzer geeft een vergelijkbaar effect, echter in mindere mate. Zink wordt niet verwijderd in het filter.

Aanvankelijk zijn de analyses op koper uitgevoerd bij een hoge detectielimiet. Uit de meting uitgevoerd bij een lagere detectiegrens (1 µg/l i.p.v. 20 µg/l), blijkt dat koper aanzienlijk wordt verwijderd door vlokkingfiltratie.

4.3 Resultaten van het onderzoek aan de membraanfiltratie

4.3.1 Deelonderzoeken 1 t/m 3

De resultaten van de deelonderzoeken 1 t/m 3 zijn opgenomen in tabel 19. Tijdens het vierde deelonderzoek is geen onderzoek uitgevoerd naar de filtraatkwaliteit. Dit onderzoek was namelijk alleen gericht op het optimaliseren van de bedrijfsvoering.

Tabel 19. Resultaten van de deelonderzoeken 1 t/m 3 met ultrafiltratie

deelonderzoek		1	2	3
ruwwaterbron		rwzi-effluent	rwzi-effluent	filtraat vlokkingfilter ¹⁾
vlokmiddel		geen	aluminium	geen
ruwwater				
zwevendestof	mg/l	5,3	3,0	1,3
troebelheid	FTE	1,84	2,5	0,5
CZV	mg O ₂ /l	22,4	35,74	16,2
P-totaal	mg P/l	0,15	0,15	0,15
N-NO ₃	mg N/l	2,22	3,04	5,16
N-NH ₄	mg N/l	0,85	0,09	0,06
filtraat				
zwevendestof ²⁾	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Troebelheid	FTE	0,06	0,06	0,04
CZV	mg O ₂ /l	18,5	29,86	11,4
P-totaal	mg P/l	0,15	0,05	-
N-NO ₃	mg N/l	2,24	3,12	4,92
N-NH ₄	mg N/l	0,94	0,07	0,04
MFI	s/l ²	9	6	9
rendement				
zwevendestof	%	> 98	> 96	97
troebelheid	%	95	96	> 95
CZV	%	22	16	30

1) vóór vlokkingfiltratie is 2 mg/l aluminium gedoseerd;

2) zwevendestof bepaald op basis van deeltjesmetingen en labanalyse.

zwevendestof

In het ultrafiltraat is geen zwevende stof aangetoond (detectielimiet 0,1 mg/l). Dit is conform de verwachting dat (bijna) volledige verwijdering van zwevendestof bij

ultrafiltratie plaatsvindt. Dit wordt bevestigd door resultaten van de deeltjestellingen in het filtraat (zie ook paragraaf 4.6) waarbij in de gemeten fracties zeer geringe aantallen deeltjes zijn aangetroffen.

troebelheid

De troebelheid van het ultrafiltraat tijdens de drie deelonderzoeken bedraagt 0,06 FTE. Het rendement van de troebelheidverwijdering voor de drie deelonderzoeken is hoog, namelijk 96 %.

CZV

Tijdens deelonderzoek 3 is de laagste CZV-waarde geconstateerd. Deze lage waarde is echter het gevolg van de voorschakeling van het vlokkingfilter waarbij CZV-verwijdering optreedt. De CZV-verwijdering over de ultrafiltratie-installatie is voor alle deelonderzoeken gelijk, namelijk 5 mg/l.

P-totaal, nitraat en ammonium

Ammonium, nitraat en P-totaal worden niet verwijderd door ultrafiltratie. Alleen bij toepassing van in-line coagulatie met aluminium is fosfor/fosfaat verwijderd door precipitatie. Hierbij was het verwijderingsrendement 66%.

MFI

De MFI-waarden na membraanfiltratie zijn lager dan 10 s/l^2 . De MFI na dosering van aluminium is lager dan zonder dosering (respectievelijk gemiddelde 6,0 en $9,0 \text{ s/l}^2$).

Op basis van het resultaat van de MFI-metingen van het ultrafiltraat is de indruk ontstaan dat met de gebruikte meetopstelling relatief hoge waarden worden gemeten. Na ultrafiltratie wordt meestal een zeer lage MFI-waarde ($< 2 \text{ l/s}^2$) bereikt. Deze verhoogde meetwaarden zijn waarschijnlijk te wijten aan de toepassing van hetzelfde apparaat voor verschillende kwaliteiten water. Met name bij de MFI-bepaling van onbehandeld rwzi-effluent treedt een sterke vervuiling van het apparaat op. Ondanks een grondige reiniging kan vervuiling achterblijven die bij de MFI-meting van een ander waterproduct tot hogere waarden kan leiden.

kleur en geur

Tijdens het onderzoek zijn twee analyses op kleur en geur uitgevoerd. De geur van het ultrafiltraat is geclassificeerd als 'riool'. Het kleurgetal na ultrafiltratie bedraagt 50 mg Pt/l. Het verwijderingsrendement bedraagt 20 tot 30%.

(zware) metalen

Het mangaangehalte wordt door ultrafiltratie verlaagd. Voor de overige gemeten metalen treedt geen aantoonbare reductie op (Fe, Al, Cu en Zn).

4.3.2 Werking van het membraanfilter

schoonwaterflux

Tijdens het onderzoek is na iedere grondige chemische reiniging de schoonwaterflux (SWF) bepaald om de effectiviteit van de reiniging te kunnen vaststellen. De genormaliseerde schoonwaterflux ofwel permeabiliteit is voorafgaande aan de start van deelonderzoek 1 vastgesteld op 350 tot $400 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$ bij een temperatuur van $15 \text{ }^\circ\text{C}$. De chemische reinigingen zijn uitgevoerd met chloorbleekloog, zuur en/of specifieke door de membraanleverancier ter beschikking gestelde reinigingsmidde-

len (detergenten). Na alle chemische reinigingen is de initiële membraanpermeabiliteit bereikt.

operationele parameters

In tabel 20 zijn de gehanteerde procesparameters tijdens de deelonderzoeken samengevat. Tijdens deelonderzoeken 1 t/m 3 zijn tubulaire, horizontaal geplaatste ultrafiltratiemembranen getest. Tijdens deelonderzoek 4 is een verticale opzet met de mogelijkheid tot lucht- en waterspoeling tijdens de voorwaartse spoeling onderzocht.

Tabel 20. Operationele parameters bij de deelonderzoeken 1 t/m 4

	eenheid	onderzoek 1 rwzi-effluent	onderzoek 2 in-line coagulatie	onderzoek 3 vlokkings- filtraat	onderzoek 4 rwzi effluent
flux	l/m ² .h	35-85	35-70	35-45	70
permeabiliteit bij 15 °C	l/m ² .h.bar	60-280	50-250	80-240	140-240
looptijd	min	9,5-12	10-15	12	10
terugspoeling	l/m ² .h	225-300	225-300	250	250
spoeltijd	s	30	30	30	45
chemische reiniging					
type	-	HOCl	HOCl/HCl	HOCl/HCl	HOCl
inweektijd	min	8-10	7-12	12	12
cyclustijd	uur	1,0-1,5	1,5-3	3,5	1,5
TMD	bar	0,3-0,9	0,3-0,9	0,3-0,9	0,3-0,5
toename (TMD)	bar/h	0,01-0,1	0,01-0,1	0,01-0,1	0,01-0,02
recovery	%	40-70	40-70	40-70	80

Bij alle deelonderzoeken is vanuit een stabiele bedrijfssituatie met een lage flux en transmembraandruk getracht de werking en de opbrengst van het systeem te verhogen. Vanwege de wisselende kwaliteit van het rwzi-effluent is bij de optimalisatie van de werking van het membraanfilter gestreefd naar een semi-evenwicht waarbij de transmembraandruk binnen een acceptabele bandbreedte varieerde (0,3-0,6 bar, maximaal 0,9 bar).

Tijdens deelonderzoek 2 waarbij aluminium als vlokmiddel is toegevoegd, is voor de chemische reiniging naast chloorbleekloog ook een zure reiniging (HCl, pH 1 à 2) toegepast om eventuele neerslagen van aluminium te verwijderen.

4.4 Onderzoek naar de hygiënische kwaliteit

In tabel 21 zijn de resultaten samengevat van het onderzoek naar de aanwezigheid van *E.Coli* en het totaal aantal thermotolerante bacteriën van de coligroep in het rwzi-effluent en het vlokkings- en ultrafiltraat (uitgevoerd als onderdeel van de uitgebreide periodieke laboratoriumanalyses door Waterlaboratorium Oost, zie paragraaf 3.6).

Uit de tabel blijkt dat de logreductie van *E.Coli* bacteriën bij vlokkingsfiltratie varieert van 0,2 tot 0,7 (-). De logreductie voor thermotolerante bacteriën van de Coligroep varieert bij vlokkingsfiltratie van 0,3 tot 1,0 (-). Op basis van de membraanporiegrootte bij ultrafiltratie mag worden verwacht dat volledige verwijdering van *E.Coli* wordt gerealiseerd bij ultrafiltratie. Desondanks zijn deze bacteriën aangetoond in het ultrafiltraat (respectievelijk 18 en 6 per 100 ml). Mogelijke oorzaak kan een herbe-

smetting zijn bij monsternamen of een defect van het membraan. Aangezien geen thermotolerante bacteriën van de Coli-groep zijn aangetoond in het ultrafiltraat, ligt de eerstgenoemde oorzaak het meest voor de hand.

Tabel 21. Verwijdering van E. Coli en thermotolerante bacteriën van de Coligroep door vlokkingfiltratie en ultrafiltratie

	deelonderzoek (duurproef)	rwzi-effluent (log n/100 ml)	filtraat (log n/100 ml)	afname (log n/100 ml)
E.Coli (37 °C)				
vlokkingfiltratie	A	>3,9	> 3,9	-
	B	5,3	5,0	0,3
	B	4,5	3,9	0,7
	C	6,4	5,8	0,7
	C	5,7	5,5	0,2
ultrafiltratie	1	4,5	1,2	3,3
	2	6,4	0,8	5,6
thermotolerante bacteriën van de Coli-groep (44 °C)				
vlokkingfiltratie	A	> 3,9	> 3,9	-
	A	4,8	3,8	1,0
	B	5,5	4,8	0,7
	C	3,7	3,2	0,5
	C	3,9	3,6	0,3
ultrafiltratie	1	3,7	n.a. ¹⁾	≤ 3,7
	2	3,9	n.a.	≤ 3,9

1) niet aangetoond

Tabel 22 toont de resultaten van onderzoek (verricht door het RIVM) naar de verwijdering van diverse pathogene organismen (protozoa, virussen en bacteriën). Zoals reeds vermeld in paragraaf 3.7 is het ultrafiltraat niet meegenomen in het onderzoek.

De verwijdering van *E.Coli* bacteriën en thermotolerante bacteriën van de Coligroep tijdens het RIVM-onderzoek komt overeen met de geconstateerde logverwijdering bij het onderzoek in de maanden mei t/m juni (zie tabel 21).

Tabel 22. Verwijdering van pathogene micro-organismen door vlokkingfiltratie tijdens deelonderzoek 3, test C (RIVM-onderzoek)

micro-organisme	log verwijderd (gemiddeld)	percentage verwijderd (gemiddeld)	concentratie in filtraat (gemiddeld per 100 ml)
<i>E.Coli</i>	0,34	50	3966
Thermotolerante bacteriën van de Coligroep	0,39	59	7920
Enterococcen	0,90	86	174
Sporen van <i>C. perfringens</i>	0,59	70	500
			concentratie in filtraat (gemiddeld per 200 l)
<i>Cryptosporidia</i> ¹⁾	-	-	1
<i>Giardia</i>	1,95	95	123
Enterovirussen	1,03	90	8
Reovirussen	1,38	96	6

1) verwijdering is niet te berekenen, omdat geen *Cryptosporidiën* in de ingaande stroom aanwezig waren, maar er wel enkele in de uitgaande stroom werden teruggevonden.

4.5 Metingen van drukval en filterlooptijden bij vlokkingfiltratie

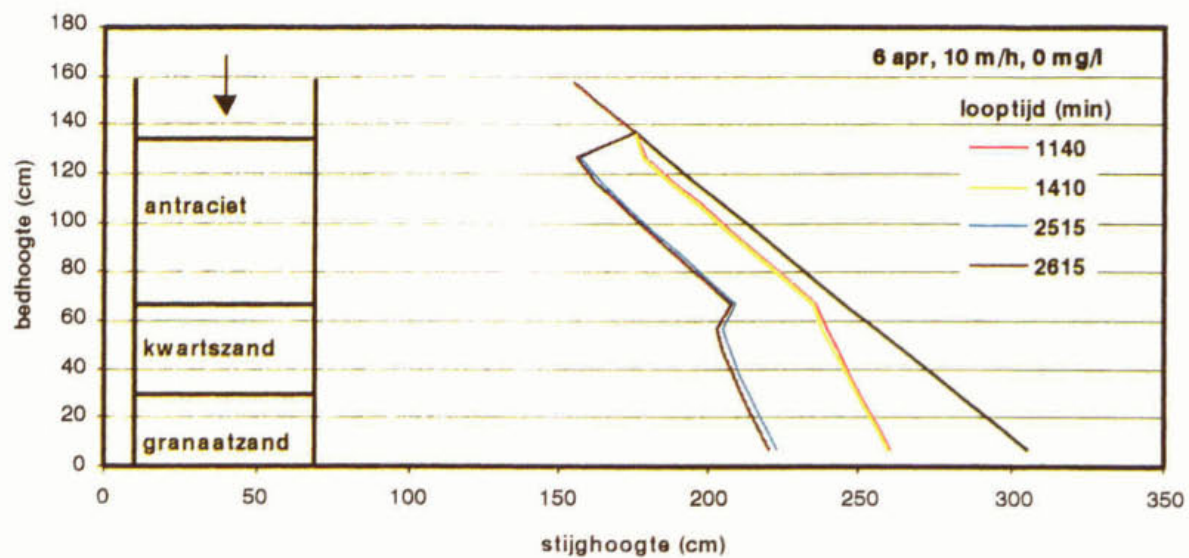
Tijdens de duurproeven van deelonderzoek 3 zijn drukmetingen over het filterbed uitgevoerd. Voor de duurproeven A, B en C zijn representatieve drukmetingen verwerkt in Lindquistdiagrammen. In het Lindquistdiagram is het verloop van de drukval over het filterbed in de tijd weergegeven. Afbeelding 8 toont het diagram bij een filtratiesnelheid van 10 m/h zonder vlokmiddeldosering gedurende een looptijd van 44 uur. De gemiddelde zwevendestofbelasting van het filter was 60 g/m².h. De zwevendestof werd gedurende de looptijd verwijderd met een rendement van 72%.

Afbeelding 9 toont het diagram bij een filtratiesnelheid van 10 m/h met vlokmiddeldosering gedurende een looptijd van 23 uur. De zwevendestofbelasting van het filter was hierbij 64 g/m².h. (verwijderingsrendement 74 %).

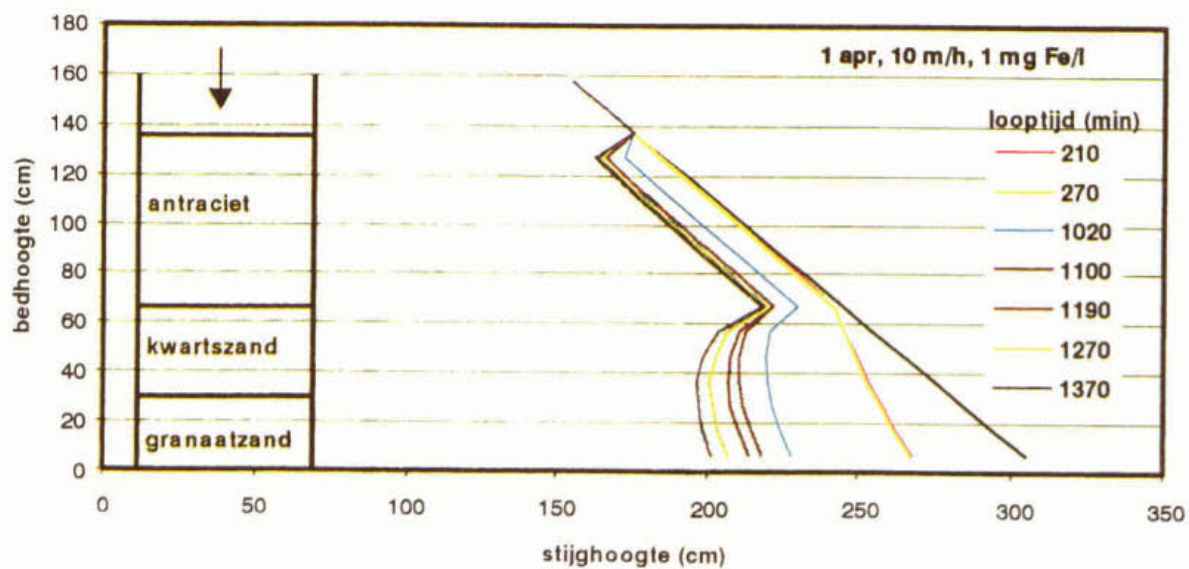
Afbeelding 10 betreft de bedrijfssituatie tijdens duurproef C waarbij een filtratiesnelheid van 10 m/h en dosering van 2 mg aluminium is toegepast. De totale looptijd was 7 uur bij een gemiddelde zwevendestofbelasting van 34 g/m².h (verwijderingsrendement 60%).

Als gevolg van precipitatie van het vlokmiddel ontstaat extra zwevendestof dat in het filterbed moet worden afgevangen. Uitgaande van de vorming van een hydroxydeverbinding zal bij ijzer- en aluminiumdosering respectievelijk 1,9 en 2,9 mg extra zwevendestof ontstaan per milligram gedoseerd vlokmiddel. Dit betekent dat de werkelijke zwevendestofbelasting bij toepassing van ijzer of aluminium als vlokmiddel hoger is dan de berekende waarde op basis van de zwevendestofaanvoer. De werkelijke gemiddelde zwevendestofbelasting bij duurtest B en C was respectievelijk 80 en 90 g/m².h.

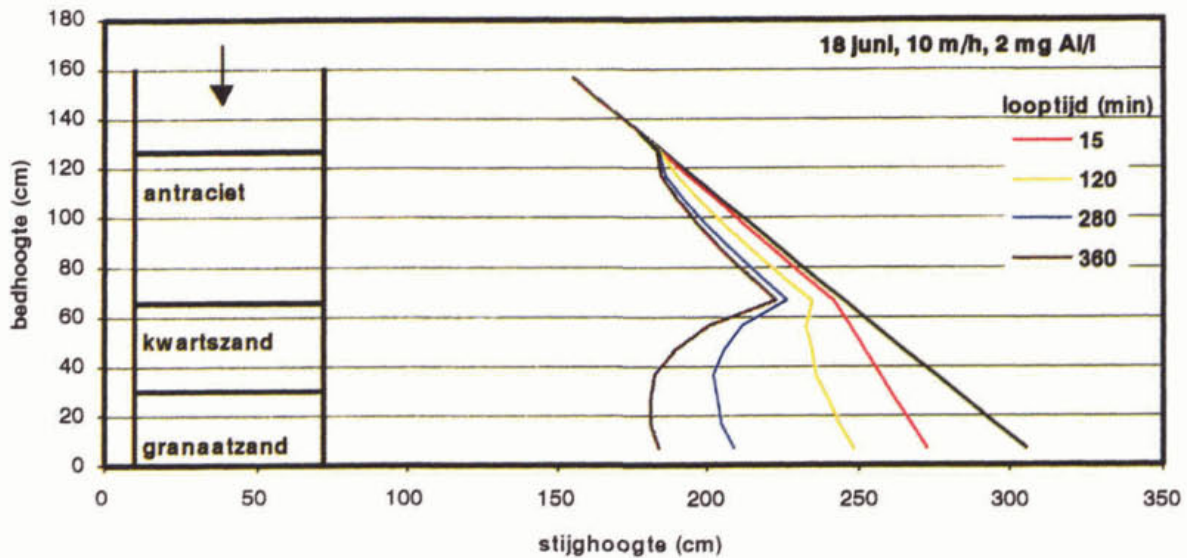
Afbeelding 8. Lindquistdiagram duurproef A (10 m/h, geen vlokmiddel)



Afbeelding 9. Lindquistdiagram duurproef B (10 m/h, 1 mg Fe³⁺/l)



Afbeelding 10. Lindquistdiagram duurproef C (10 m/h, 2 mg Al³⁺/l)



Ten gevolge van de afhankelijkheid van de drukval van de deeltjesgrootte van het filtermateriaal zijn de verschillende lagen filtermateriaal in het Lindquistdiagram goed te onderscheiden; op de grenslaag tussen twee filterlagen is een buigpunt op de stijghoogtelijn waarneembaar. In de Lindquistdiagrammen in afbeeldingen 8 t/m 10 is bij een kolomhoogte van circa 700 mm slechts één buigpunt waarneembaar. Het tweede buigpunt voor de overgang van kwartzand naar granaatzand was niet aantoonbaar. Op basis van visuele waarnemingen is vastgesteld dat het kwartzand en granaatzand (de onderste en middelste filterlaag) volledig zijn gemengd. De scheidingslaag tussen de onderste en middelste laag is daarom ook niet uit het Lindquistdiagram af te leiden.

Opvallend is de sterke afname van de stijghoogte in de eerste 10 à 20 cm van de antracietlaag, met name in de afbeeldingen 8 en 9. Dit duidt mogelijk op verstopping en ongelijkmatige zwevendestofberging. Bij de overgang van de antracietlaag naar de 'gemengde' laag met kwartzand en antraciet treedt een duidelijk afname van stijghoogte op. Uit het verloop van de stijghoogtecurves in de 'gemengde' laag blijkt dat een gelijkmatigere drukopbouw optreedt over de beddiepte in vergelijking met de antracietlaag.

Als gevolg van de door de vlokmiddeldosering verhoogde zwevendestofbelasting is de looptijd van het filter tijdens duurproef B en C verkort waardoor het filter sneller dient te worden teruggespoeld. Indien geen vlokmiddel wordt gedoseerd zijn de looptijden langer dan bij de dosering van ijzer of aluminium. In tabel 23 zijn de looptijden bij de verschillende procesinstellingen tijdens de duurtesten samengevat.

Tabel 23. Filterlooptijden tijdens de duurproeven van deelonderzoek 3

duurproef	looptijd (uren)
A	> 24
B	> 12
C	7
D	17
E	11
F	6

4.6 Onderzoek deeltjestellingen

4.6.1 Vlokkingsfiltratie

In tabel 24 zijn de resultaten van de deeltjestellingen van het rwzi-effluent en het vlokkingsfiltraat tijdens de verschillende duurproeven samengevat. Alle metingen zijn uitgevoerd na een minimale looptijd van twee uur.

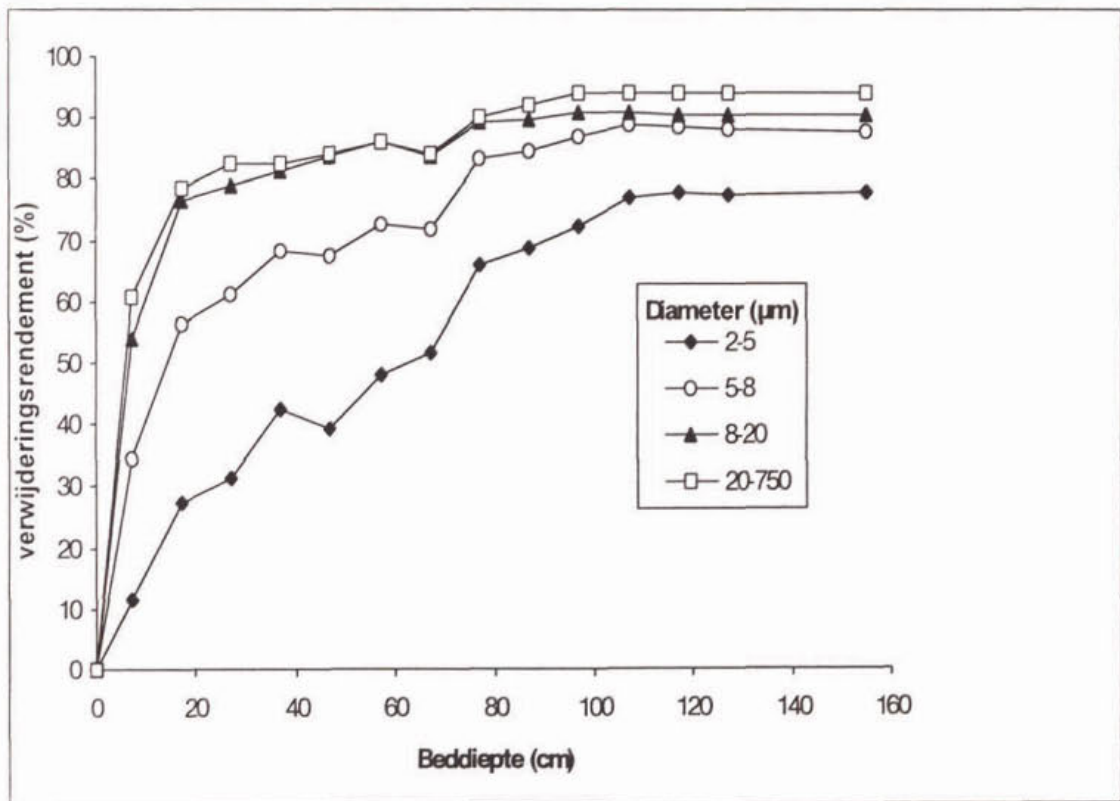
Tabel 24. Resultaten van de deeltjestellingen tijdens duurproeven A t/m F

	A	B	C	D	E	F
vlokmiddel	-	Fe	Al	-	Fe	Al
rwzi-effluent (aantal deeltjes/ml)						
2-5 μm	1.746	5.321	3.291	4.416	2.899	4.101
5-8 μm	1.824	1.880	4.020	2.415	1.638	3.037
8-20 μm	1.338	1.826	1.335	1.098	865	1.258
20-100 μm	113	125	224	90	69	94
filtraat (aantal deeltjes/ml)						
2-5 μm	1226	1.258	970	-	752	2.333
5-8 μm	1306	635	641	1.215	273	581
8-20 μm	488	419	81	322	91	140
20-100 μm	15	20	6	8	4	5
verwijderingsrendement (%)						
2-5 μm	30	76	71	-	74	43
5-8 μm	28	66	84	50	83	81
8-20 μm	64	77	94	71	89	89
20-100 μm	87	84	97	91	94	95

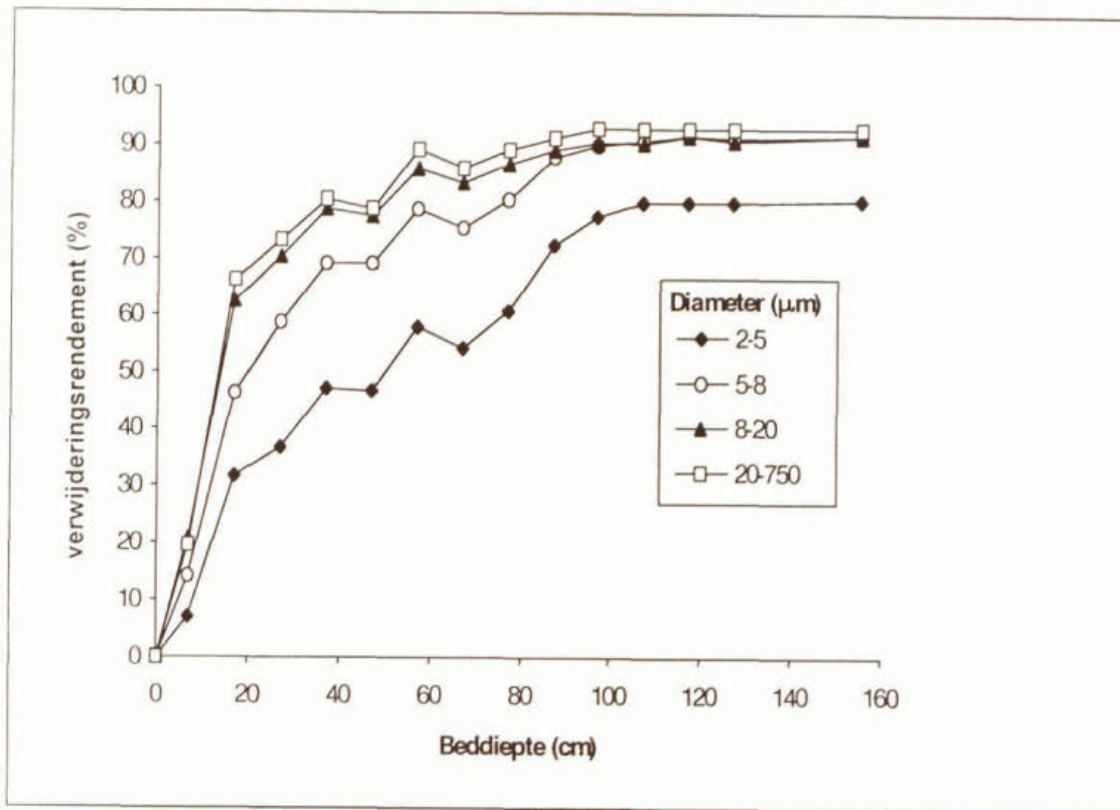
De deeltjestellingen dienen als hulpmiddel bij de optimalisatie van het filtratieproces. De gepresenteerde gegevens zijn afkomstige uit steekmonsters (momentopname) en geven derhalve een indicatie van de deeltjesverdeling na een bepaalde looptijd. De duurproeven waarbij geen vlokmiddel is gedoseerd (A en D) geven met name voor de kleinere fracties een relatief slechte verwijdering in het filtraat. Belangrijk constatering hierbij is dat bij de meting van de kleinere deeltjes (2-5 μm en 5-8 μm) de onnauwkeurigheid van de meting toeneemt. De grovere fractie (20-100 μm) wordt bij alle proeven met een hoog rendement verwijderd. Het verwijderingsrendement is het hoogst tijdens de proeven waarbij aluminium is gedoseerd (testen C en E).

Tijdens de duurproeven E en F zijn deeltjesmetingen uitgevoerd over de gehele beddiepte na 4 uur looptijd van het filter. In afbeeldingen 11 en 12 zijn de curves met het verwijderingsrendement voor de verschillende deeltjesgrootte over de filterbeddiepte weergegeven.

Afbeelding 11. Verwijderingsrendement voor deeltjes over de gehele beddiepte (duurproef E, Fe 1 mg/l, 15 m/h, na ca. 4 uur looptijd)



Afbeelding 12. Verwijderingsrendement van deeltjes over de gehele beddiepte (duurproef F, Al 1,6 mg/l, 15 m/h, na ca. 2 uur looptijd)



Beide grafieken geven vrijwel hetzelfde beeld. Het hoogste verwijderingsrendement wordt behaald in de eerste (bovenste) 10 à 20 cm van het filterbed. Voor de deeltjes groter dan 8 µm wordt een totaal verwijderingsrendement van 80 tot 90% behaald. De verwijdering van kleinere deeltjes (2-5 µm) blijft echter achter en bedraagt ongeveer 70%.

Het relatieve afscheidingsrendement voor de kleinste deeltjes is het grootst aan het begin van de antracietlaag en bij de scheiding tussen de antraciet en de gemengde laag met kwartzand en granaatzand. Tevens is tijdens de metingen geconstateerd dat het verwijderingsrendement van de kleinste deeltjes toeneemt bij het verstrijken van de looptijd. Bij aanvang van de looptijd treedt zelfs een negatief verwijderingsrendement op in de antracietlaag. Dit fenomeen kan waarschijnlijk worden verklaard door coagulatie in het filterbed waarbij zeer kleine deeltjes aangroeien tot de kleinste deeltjes die via de deeltjesmonitor kunnen worden aangetoond.

4.6.2 Membraanfiltratie

Tijdens membraanfiltratie geldt dat een bijna volledige verwijdering van deeltjes optreedt. De resultaten uit tabel 25 bevestigen de verwachting van de (bijna) volledige verwijdering van gesuspendeerde deeltjes door ultrafiltratie. De aanwezigheid van de kleine deeltjes met een diameter van 2 tot 5 µm in het ultrafiltraat wordt waarschijnlijk veroorzaakt door vervuiling tijdens monsternamen.

Tabel 25. Resultaten van de deeltjestellingen in het ultrafiltraat tijdens deelonderzoeken 1 t/m 3

	Deelonderzoek 1	Deelonderzoek 2	Deelonderzoek 3
rwzi-effluent (aantal deeltjes/ml)			
2-5 μm	2980	2890	2810
5-8 μm	2718	2645	2490
8-20 μm	1833	1416	1484
20-100 μm	216	131	156
filtraat (aantal deeltjes/ml)			
2-5 μm	161	29	83
5-8 μm	46	8	23
8-20 μm	16	4	9
20-100 μm	11	1	1
verwijderingsrendement (%)			
2-5 μm	64	99	84
5-8 μm	98	100	99
8-20 μm	99	100	98
20-100 μm	99	100	100

5 BESPREKING VAN DE RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek naar vlokkingfiltratie en ultrafiltratie geëvalueerd. De onderzoeksvragen uit paragraaf 3.1 vormen hierbij de leidraad. Voor beide technieken wordt de verwijdering van de 'kritische' componenten voor de bereiding van huishoudwater beschouwd en wordt nader ingegaan op de toegepaste procesconfiguratie en -instellingen. Tenslotte worden in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk vlokkingfiltraat en ultrafiltraat in kwalitatief opzicht met elkaar vergeleken en wordt nader ingegaan op de inpasbaarheid van vlokking- en ultrafiltratie in het (vooraf opgestelde) zuiveringsconcept voor de levering van huishoudwater aan de toekomstige wijk Kerhem in de gemeente Ede.

5.1 Vlokkingfiltratie

In relatie tot de normen voor huishoudwater zijn zwevendestof, ammonium, kleur en pathogene organismen als 'kritisch' aangeduid. Het onderzoek heeft zicht gericht op de vergaande verwijdering van deze componenten uit het rwzi-effluent.

5.1.1 Verwijdering van zwevendestof, ammonium en kleur

zwevendestof

Om aan de norm voor huishoudwater te kunnen voldoen moet het zwevendestofgehalte van het rwzi-effluent verlaagd worden tot 1 mg/l. Met het oog op het bereiken van de gestelde norm voor huishoudwater en het optimaal functioneren van de nageschakelde zuiveringsstappen is getracht om het zwevendestofgehalte vergaand te verwijderen. In tabel 26 zijn de bereikte zwevendestofgehaltenes in het vlokkingfiltraat bij de verschillende procesinstellingen van de duurproeven weergegeven.

Tabel 26. Zwevendestofgehaltenes in het filtraat bij verschillende procesinstellingen¹⁾

filtratiesnelheid (m/h)	zwevendestofgehalte (mg/l) ²⁾		
	geen vlokmiddel	Fe ³⁺ (1 mg/l)	Al ³⁺ (2 mg/l)
10	1,5 (A)	2,0 (B)	1,2 (C)
15	- (D)	1,3 (E)	1,5 (F)

1) tussen haakjes is de betreffende duurproef aangegeven;

2) voor de zwevendestofbepaling is uitgegaan van NEN6621 waarbij is getracht de detectielimiet van de bepaling (2 mg/l) te verlagen door de inzet van een groter monstervolume (zie paragraaf 3.7).

Tijdens de duurproeven varieert het gemiddelde zwevendestofgehalte in het rwzi-effluent van 0,5 tot 8,6 mg/l; het gemiddelde zwevendestofgehalte in het filtraat varieert van 1,2 tot 2,0 mg/l (voor alle procesinstellingen). Afhankelijk van de kwaliteit van het rwzi-effluent, de gehanteerde procesinstellingen en de vlokmiddeldosis varieert het verwijderingsrendement van 30 tot 74%. De laagste waarde van 1,2 mg/l is bereikt bij toepassing van aluminium als vlokmiddel bij een filtratiesnelheid van 10 m/h. Een verhoging van de filtratiesnelheid tot 15 m/h resulteert in een geringe stijging van het zwevendestofgehalte tot 1,5 mg/l.

De onderzoeksresultaten bij de toepassing van ijzer als vlokmiddel zijn niet eenduidig. Bij een filtratiesnelheid van 10 m/h is een zwevendestofgehalte van 2,0 mg/l in het filtraat bereikt. Daarentegen is bij een filtratiesnelheid van 15 m/h, bij meting over één looptijd, een lager zwevendestofgehalte van 1,3 mg/l bereikt. Op basis van

de bereikte eindwaarde van zwevendestofgehalte in het filtraat kan derhalve vooralsnog geen voorkeur voor het type vlokmiddel en de optimale filtratiesnelheid worden uitgesproken. Indien echter naast de zwevendestofverwijdering de reductie van de troebelheid wordt beschouwd, heeft aluminium een duidelijke voorkeur. Bij toepassing van aluminium is een gemiddelde troebelheidswaarde van 0,5 FTE bereikt terwijl bij ijzer de gemiddelde troebelheidswaarde boven 1,0 FTE ligt.

In vergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek naar de toepassing van vlokkingfiltratie van rwzi-effluent (zie paragraaf 2.5.2) blijkt dat tijdens het onderhavige onderzoek enigszins hogere zwevendestofgehalten in het filtraat zijn bereikt (respectievelijk 0,8 en 1,2 mg/l). Dit kan worden verklaard door het verschil in effluentkwaliteit waardoor het mechanisme van het coagulatieproces gewijzigd is. Kenmerkend voor het effluent van de rwzi Ede is het lage zwevendestof- en fosfaatgehalte en de relatief hoge pH (7,5 tot 8,0). Hierbij is zowel bij de toepassing van ijzer als aluminium de precipitatie-coagulatie ofwel 'sweep' coagulatie waarschijnlijk het bepalende coagulatiemechanisme [14,15]. Bij dit coagulatiemechanisme treden destabilisatie van gesuspendeerde deeltjes op en insluiting van deze deeltjes in ijzer- of aluminiumhydroxidevlokken. Kenmerkend voor het rwzi-effluent uit het bovengenoemde eerder uitgevoerde onderzoek waren het hoge fosfaatgehalte en de relatief lage pH (6,5 tot 7,0) waardoor eerder adsorptieve coagulatie zal optreden. De adsorptieve coagulatie leidt uiteindelijk tot een verbeterde vlokafscheiding bij vlokkingfiltratie, ook bij hogere filtratiesnelheden (tot 20 m/h); hiermee kan de enigszins betere kwaliteit van het filtraat uit de eerdere experimenten worden verklaard.

ammonium

Bij het ontwerp van het zuiveringsproces van de rwzi Ede is uitgegaan van het bereiken van vergaande stikstofverwijdering, ook bij een lage afvalwatertemperatuur. Dit blijkt uit de in het effluent gemeten ammoniumconcentraties tijdens het onderzoek. Bij de laagste afvalwatertemperatuur (8 à 9°C) varieert de ammoniumconcentratie van 0,5 tot 1,0 mg N-NH₄/l. Bij een hoge afvalwatertemperatuur (16-17°C) is de ammoniumconcentratie zeer laag, 0,2 mg N-NH₄/l en wordt zonder verdere nabehandeling reeds aan de eis voor huishoudwater voldaan.

Na de inlooperperiode is tijdens de resterende periode van het onderzoek een lage ammoniumconcentratie van gemiddeld 0,2 mg N-NH₄ in het filtraat bereikt bij een afvalwatertemperatuur van 12 tot 19°C. De ammoniumverwijdering in het vlokkingfilter als gevolg van nitrificatie in het filterbed varieert van 0,1 tot 0,6 mg N-NH₄/l. Als gevolg van de lage ingangswaarde was de ammoniumverwijdering in het filterbed beperkt en is geen zuurstoflimitatie opgetreden. Bij vergelijkbare toepassingen van vlokkingfiltratie blijkt dat verwijdering van 1 tot 2 mg N-NH₄/l mogelijk is, ook bij een lage watertemperatuur. Belangrijke voorwaarde hierbij is dat de ingangconcentratie ammonium en het zuurstofgehalte voldoende hoog zijn, zodat een actieve biofilm op filtermateriaal ontstaat. Door de lage ammoniumconcentratie in het effluent van de rwzi Ede heeft zich echter op het filtermedium waarschijnlijk een minder actieve nitrificerende biofilm ontwikkeld met een beperkte verwijderingscapaciteit, waardoor ingaande pieken in ammoniumconcentratie tot ca. 2 mg/l slechts gedeeltelijk kunnen worden opgevangen. Naast het vlokkingfilter zal ook tijdens de bodempassage ammonium worden verwijderd waardoor binnen het totale zuiveringsconcept extra capaciteit aanwezig is om eventueel pieken in ammonium te kunnen verwijderen.

Bij alle duurproeven wordt aan de huishoudwatereis voor ammonium voldaan (0,2 mg N-NH₄/l). De duurproeven zijn echter uitgevoerd bij relatief hoge afvalwatertempera-

tuur (14-17 °C) en een lage ingangconcentratie. Bij een lagere afvalwatertemperatuur kan vanwege de hogere ingangswaarde en de beperkte nitrificatiecapaciteit een enigszins hogere gemiddelde ammoniumwaarde optreden. Daarentegen zal bij een aanhoudende hoge ingangconcentratie een hogere nitrificatiecapaciteit kunnen worden ontwikkeld, wanneer het afvalwater een voldoende hoge temperatuur heeft (meer dan 8 à 9 °C).

Tijdens het filtratieproces neemt het zuurstofgehalte af als gevolg van het zuurstofverbruik voor nitrificatie (4,57 mg O₂/mg N). Het ingaande zuurstofgehalte varieert van 5 tot 7 mg O₂/l. Uitgaande van het zuurstofgehalte van het effluent van de rwzi Ede kan de verwijderingscapaciteit voor ammonium worden ingeschat op ca. 1 mg N-NH₄/l. Aandachtspunt hierbij is dat na de vlokkingfiltratie waarschijnlijk een beluchtingsstap, bijvoorbeeld een cascadebeluchting, moet worden geplaatst om het vereiste zuurstofgehalte vóór lozing op de Doesburgerslenk te bereiken.

kleur

Het effluent van de rwzi Ede is helder en lichtbruin van kleur. Het gemiddelde kleurgetal bedraagt 60 mg Pt/l. Alleen bij de toepassing van aluminium als vlokmiddel is een significante reductie van het kleurgetal aangetoond met respectievelijk 24 en 42%. Met vlokkingfiltratie wordt slechts een beperkte kleurverwijdering behaald die onvoldoende is om te kunnen voldoen aan de huishoudwatereis (15 mg Pt/l). Het laagste kleurgetal is bereikt tijdens duurproef C en bedraagt 34 mg Pt/l (vlokmiddel aluminium, 10 m/h). Opvallend is dat tijdens deze proef ook een hogere CZV-verwijdering is geconstateerd waarmee een mogelijke verklaring kan worden gegeven voor de kleurverwijdering; de CZV-waarde wordt immers mede bepaald door de aanwezigheid van kleurveroorzakende opgeloste organische verbindingen zoals humuszuren.

5.1.2 Verwijdering van pathogene micro-organismen

De verwijdering van faecale coliformen (*E.Coli* en thermotolerante bacteriën van de Coligroep) komt overeen met de resultaten van een vergelijkbaar onderzoek op praktijkschaal in de Verenigde Staten [11]. Dit onderzoek is echter uitgevoerd bij een lagere filtratiesnelheid (respectievelijk 10 m/h en 5-7 m/h). De logreductie van deze indicatororganismen varieert van 0,2 tot 1,0 (-). Hierbij is geen verschil geconstateerd in het wel of niet doseren van een vlokmiddel. De gemiddelde concentratie van *E.Coli* is lager dan 10⁴ per 100 ml en voldoet hiermee aan de voorgestelde huishoudwatereis, die gebaseerd is op de zwemwaternorm voor oppervlaktewater. Incidenteel kunnen echter hogere concentraties *E.Coli* optreden. De eis voor thermotolerante bacteriën van de Coligroep wordt overschreden. De concentratie-eis bedraagt maximaal 10^{3,3} per 100 ml, terwijl de concentratie in het vlokkingfiltraat uitkomt op 10^{3,9} per 100 ml.

Voor *Giardia* is een gemiddelde reductie van log 1,95 bereikt. Dit komt overeen met de verwachte logverwijdering. De gemiddelde concentratie in het filtraat is echter nog hoog, namelijk 123 per 200 l (6 per 10 l). Dit is hoger dan de gestelde eis van minder dan 1 of 'niet aantoonbaar' in 10 liter monstervolume. Deze hoge *Giardia* concentratie kan mede veroorzaakt zijn door de lozing van het afvalwater van de nabijgelegen kalvergier-bewerkingsinstallatie.

De verwijdering van enterovirussen (log 1,03) is hoger dan verwacht. De gemiddelde concentratie in het filtraat van 8 per 200 liter (< 1 per 10 l) voldoet aan de voorgestelde eis van minder dan 1 of 'niet aantoonbaar' in 10 liter monstervolume.

Voor de verwijdering van *Cryptosporidium* is op basis van het hygiënisch onderzoek geen uitspraak mogelijk omdat er in het rwzi-effluent geen aantoonbaar is. De concentratie in het filtraat bedraagt 1 per 200 liter monstervolume. Hieruit mag echter nog niet worden geconcludeerd dat tijdens vlokingsfiltratie een toename van *Cryptosporidium* kan optreden. Vanwege de gevoelige monsternametechniek en daarbij horende onnauwkeurigheid bestaat namelijk het risico dat bij aanwezigheid van *Cryptosporidium* toch niets wordt aangetoond. De concentratie van *Cryptosporidium* is echter zodanig laag dat voldaan wordt aan de eis voor huishoudwater (< 1 per 10 l).

Op basis van de resultaten van het hygiënisch onderzoek kan worden geconcludeerd dat de verwijdering van *Giardia*, Enterovirussen en faecale coliformen overeenkomt met de verwijdering deze organismen in eerder uitgevoerd praktijkonderzoek [11]. In vergelijking met dit praktijkonderzoek is in het onderhavige een hogere filtratiesnelheid toegepast (respectievelijk 5 tot 7 m/h en 10 m/h).

De hygiënische kwaliteit van het filtraat voldoet aan de voorgestelde normen voor huishoudwater, met uitzondering van *Giardia* en thermotolerante bacteriën van de Coligroep. Voor de verdere verhoging van het verwijderingsrendement van *Giardia* en de thermotolerante bacteriën van de Coligroep en voor extra veiligheid in de *E.Coli*-verwijdering kan een aanvullende zuivering van het vlokingsfiltraat nodig zijn (desinfectie). Bij de uitwerking van het zuiveringsconcept in hoofdstuk 7 zal hierop worden ingegaan.

5.1.3 Procesconfiguratie en procesinstellingen

filtraatkwaliteit

Bij het onderzoek naar de vlokingsfiltratie van rwzi-effluent voor de bereiding van huishoudwater is de nadruk gelegd op het optimaliseren van de vlokmiddeldosering in relatie tot filtraatkwaliteit. Uit het onderzoek blijkt dat bij dosering van ijzer en aluminium lage waarden in zwevendestof en troebelheid kunnen worden bereikt. Aluminium geeft bij een dosis van 2 mg/l en een stabiele bedrijfsvoering de laagste waarden voor zwevendestof en troebelheid. De 'optimale' filtraatkwaliteit is bereikt bij een filtratiesnelheid van 10 m/h.

Belangrijk aandachtspunt bij het gebruik van aluminium als vlokmiddel in een praktijktoepassing is het risico van het optreden van een verhoogde concentratie aluminium in het filtraat als gevolg van overdosering. Deze verhoogde concentratie kan leiden tot overschrijding van de huishoudwatereis voor aluminium (200 µg/l) en eventuele verstoppingsproblemen bij infiltratie. Tijdens één meting gedurende duurproef C is een significante verhoging van de aluminiumconcentratie in het filtraat geconstateerd (780 µg/l). Deze overdosering is mede ontstaan omdat bij een wisselende kwaliteit van het rwzi-effluent een constante debietproportionele dosering is toegepast. Om overdosering te voorkomen dient in de praktijk de vlokmiddeldosering beter te worden afgestemd op de kwaliteit van het rwzi-effluent. Sturing van de vlokmiddeldosering op basis van een representatieve continue kwaliteitsmeting in het rwzi-effluent (bijvoorbeeld troebelheid) kan een mogelijke oplossing zijn.

werking van het filterbed

Uit de Lindquistdiagrammen in paragraaf 4.5 blijkt dat een onevenwichtige drukopbouw optreedt over de eerste filterlaag (antraciet). In de bovenste 10 à 20 centimeter treedt een snelle drukopbouw op. De drukopbouw in het resterende gedeelte van de eerste filterlaag is beperkt; de dieptewerking van het filter wordt dus onvoldoende benut. Uit de Lindquistdiagrammen blijkt dat in de 'gemengde' filterlaag met

kwartzand en granaatzand een gelijkmatige drukopbouw optreedt. Dit betekent dat in deze laag wel dieptewerking optreedt voor de kleinere deeltjes.

Waarschijnlijk heeft in de bovenstaande waterlaag (verblijftijd ca. 6 minuten) reeds een aanzienlijke vlokvorming plaatsgevonden waardoor de bovenste laag van het filter snel verstopt raakt. Hierdoor is een tussenvorm ontstaan tussen vlokken- en vlokkingsfiltratie. De resultaten van de deeltjesanalyse over het gehele filterbed bevestigen het beeld van een ongelijkmatige deeltjesverwijdering over de hoogte van het filterbed. Voor iedere verdeling van de deeltjesgrootte (2-5, 5-8, 8-20, 20-750 μm) geldt dat de grootste verwijdering wordt bereikt in de eerste 10 à 20 cm van de antracietlaag. De dieptewerking van het filter kan mogelijk worden verbeterd door de vlokkingsfiltratie te bedrijven met een oplopende bovenwaterstand.

Ondanks de beperkte dieptewerking in de antracietlaag van het filter zijn acceptabele looptijden opgetreden. De kortste looptijd is opgetreden bij de dosering van aluminium (> 7 uur). Zonder vlokmiddeldosering stijgt de looptijd tot minimaal 24 uur. Hierbij wordt echter een mindere filtraatkwaliteit bereikt.

filtermedia

De toevoeging van de derde filterlaag (granaatzand) heeft geleid tot verbetering van de afscheiding van zwevendestof. Uit visuele waarnemingen en de Lindquistdiagrammen is gebleken dat de derde laag is opgemengd met de kwartzandlaag en dat na een spoelcyclus de gelaagdheid niet wordt hersteld. Hiervoor zijn de volgende verklaringen mogelijk:

- Ongelijkmatige afbouw van de terugspoelcapaciteit in de laatste spoelcyclus met water waardoor geen volledige ontmenging van de filtermedia plaatsvindt. In de laatste terugspoelfase moet de toevoercapaciteit gelijkmatig worden afgebouwd. Tijdens duurproef C is het besturingssysteem van het filter zodanig aangepast dat een gelijkmatigere afbouw van het terugspoeldebiet wordt gerealiseerd. Dit heeft echter niet tot het gewenste resultaat geleid.
- Onvoldoende groot dichtheidsverschil tussen de twee filtermedia waardoor geen volledige ontmenging van de filtermedia mogelijk is. Dit ligt niet voor de hand omdat dezelfde materialen veelvuldig met succes zijn toegepast bij vlokkingsfiltratie. Het dichtheidsverschil bedraagt ca. 900 kg/m^3 .
- Te geringe diameter van de fijnste filterlaag waardoor tijdens de spoelprocedure met lucht/water volledige menging van granaatzand met kwartzand optreedt en de ontmenging tijdens de laatste spoelfase daardoor minder efficiënt verloopt. Dit probleem is oplosbaar door toepassing van een enigszins grotere diameter van het granaatzand (bijvoorbeeld 0,8 tot 1,0 mm i.p.v. 0,5 tot 0,8 mm).

Vanwege de beperkte beschikbare tijd voor verdergaande optimalisatie is de laatstgenoemde optie niet onderzocht. Aanbevolen wordt om in een praktijkinstallatie granaatzand toe te passen met een korrelgrootte van 0,8 tot 1,0 mm.

5.2 Ultrafiltratie

Het ultrafiltratieonderzoek is uitgevoerd in een (beperkte) periode van 4 maanden. In deze periode zijn drie deelonderzoeken uitgevoerd waarbij de in- en uitgaande waterkwaliteit is gevolgd. Na afloop van deze onderzoeksperiode is de proefinstallatie voorzien van een ultrafiltratiemodule met andere type membranen, waarmee gedurende twee maanden verdergaand onderzoek is uitgevoerd, specifiek gericht op bedrijfsvoeringsaspecten.

5.2.1 Verwijdering van de zwevendestof, ammonium en kleur

zwevende stof en ammonium

In tabel 27 zijn de zwevendestofgehaltenes en de ammoniumconcentraties in het ultrafiltraat bij de verschillende toegepaste voorbehandelingen weergegeven.

Tabel 27. Zwevendestofgehaltenes en ammoniumconcentraties in het ultrafiltraat bij verschillende procesinstellingen

parameter (mg/l)	deelonderzoeken		
	geen voorbehandeling (1)	in-line coagulatie met aluminium (2)	voorbehandeling door vlokingsfiltratie (3)
zwevende stof	< 0,1	< 0,1	< 0,1
ammonium (N-NH ₄)	0,94	< 0,2	< 0,2

Voor de verwijdering van de kritische componenten zijn geen significante verschillen tussen deelonderzoeken opgetreden. Zwevendestof wordt bijna volledig verwijderd door ultrafiltratie. Voor ammonium is geen verwijdering aangetoond tijdens de deelonderzoeken.

kleur

Zowel bij deelonderzoek 1 als bij deelonderzoek 2, respectievelijk zonder en met aluminiumdosering, is kleurverwijdering geconstateerd. De daling van het kleurgetal bedraagt 30%. Opvallend is de kleurverwijdering bij ultrafiltratie zonder enige voorbehandeling. Het kleurgetal wordt in hoofdzaak bepaald door opgeloste organische componenten die normaliter niet via het ultrafiltratiemembraan worden afgescheiden. Mogelijke verklaring hiervoor is de aanwezigheid van colloïdale kleurcomponenten die wel door ultrafiltratie kunnen worden verwijderd.

5.2.2 Verwijdering van pathogene micro-organismen

Door toepassing van ultrafiltratie kan een desinfectie van het rwzi-effluent worden gerealiseerd. Dit blijkt uit de resultaten van het hygiënische onderzoek. In het ultrafiltraat zijn geen thermotolerante bacteriën van de Coligroep aangetoond. Dit komt overeen met een reductie van minimaal 4 logeenheden. De reductie voor *E.Coli* bacteriën is 3,3 logeenheden. In het ultrafiltraat zijn nog enige *E.Coli* bacteriën aangetoond; waarschijnlijk wordt voor *E.Coli* een volledige verwijdering bereikt door ultrafiltratie maar is bij monsternamen herbesmetting opgetreden.

De aanwezigheid van *Cryptosporidium*, *Giardia* en enterovirussen in het ultrafiltraat is niet verder onderzocht vanwege de verwachte hoge verwijderingsrendementen waardoor het gebruik van complexe en geavanceerde monsternamen- en concentratietechnieken nodig is. Uit onderzoek bij de drinkwaterbereiding blijkt dat bij toepassing van ultrafiltratie voor *Cryptosporidium*, *Giardia* en enterovirussen een minimale reductie met 4 logeenheden kan worden bereikt [10].

Op basis van de resultaten van het uitgevoerde hygiënische onderzoek en de huidige inzichten omtrent de verwijdering van *Cryptosporidium*, *Giardia* en enterovirussen bij toepassing van ultrafiltratie bij de drinkwaterbereiding, wordt geconcludeerd dat de hygiënische kwaliteit van het ultrafiltraat (ruimschoots) zal voldoen aan de voorgestelde eisen voor huishoudwater.

5.2.3 Procesinstellingen

deelonderzoeken 1 t/m 3

Tijdens alle uitgevoerde deelonderzoeken is de optimalisatie van de bedrijfsvoering van het ultrafiltratieproces gericht op het verhogen van de flux en het handhaven van een stabiele (lage) transmembraandruk (TMD) gedurende een lange periode van dagen tot weken, zonder tussentijdse grondige chemische reiniging van het membraan. Deze bedrijfssituatie is tijdens de deelonderzoeken 1 t/m 3 opgetreden bij een flux variërend van 35 tot 45 l/m².h. Bij een stapsgewijze toename van de flux treedt, ondanks de optimalisatie van de terugspoelprocedure in combinatie met periodieke chemische reiniging, een niet beheersbare stijging van de TMD op.

De verbeterde voorbehandeling van het rwzi-effluent door toepassing van in-line coagulatie met aluminium (deelonderzoek 2) en voorschakeling van het vlokkingfilter (deelonderzoek 3) heeft slechts geleid tot een marginale verbetering. Hiermee blijven de resultaten van deelonderzoek 1 t/m 3 duidelijk achter bij het resultaat van eerder uitgevoerd onderzoek op de rwzi Ede (zie paragraaf 2.6.4.). De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk in de verminderde effectiviteit van de toegepaste terugspoeling. De maximale capaciteit bij terugspoeling bedraagt 9 m³/h. Uitgaande van een membraanoppervlak van 30 m² betekent dit een maximale terugspoelflux van 300 l/m².h. Bij deze capaciteit kan in de toegepaste tubulaire membranen met een diameter van 5,2 mm onvoldoende turbulentie worden gecreëerd voor een effectieve verwijdering van de vervuiling op het membraanoppervlak (Reynoldsgetal 2.000, benodigd > 2.300). Op basis van deze constatering is na afronding van deelonderzoek 3 een nieuwe membraanmodule geïnstalleerd met capillaire UF-membranen met de mogelijkheid om voldoende turbulentie op het membraanoppervlak te creëren door luchtdosering in combinatie met voorwaartse spoeling (deelonderzoek 4).

deelonderzoek 4

Tijdens deelonderzoek 4 is een duidelijke verbetering van de werking van de ultrafiltratie-installatie opgetreden door de efficiëntere reiniging van het membraanoppervlak. Na optimalisatie is een stabiele bedrijfsvoering bereikt bij een flux van 70 l/m².h (permeabiliteit: 240 l/m².h.bar bij 15 °C) in een TMP-range van 0,3 tot 0,5 bar. Hiermee is een resultaat bereikt dat overeenkomt met het eerder uitgevoerde onderzoek op de rwzi Ede [1]. Vanwege de beperkte beschikbare onderzoeksperiode zijn de onderzoeken met de voorbehandeling van het rwzi-effluent conform deelonderzoek 2 en 3, niet uitgevoerd. Verwacht wordt dat door de voorbehandeling van het rwzi-effluent een verdere verbetering van de werking kan worden bereikt.

5.3 Aandachtspunten bij aanvullende zuivering na de basiszuivering

5.3.1 Kleur en pathogene organismen

Om aan de gestelde eisen voor de huishoudwaterlevering te kunnen voldoen moet in het zuiveringstraject na vlokkingfiltratie nog een verdere verwijdering plaatsvinden van kleur en pathogene organismen. Door toepassing van een bodempassage uitgevoerd als oeverfiltratie via de Doesburgerslenk, zal een verdere kleurverbetering optreden. Of deze kleurverbetering voldoende is om de gestelde norm te kunnen bereiken (15 mg Pt/l), kan op voorhand moeilijk worden ingeschat. Bodempassage zal waarschijnlijk wel voldoende verwijdering van pathogene organismen opleveren, indien een voldoende lange verblijftijd in de bodem optreedt. De vereiste verblijftijd zal in een volgende fase moeten worden vastgesteld. De minimaal bereikbare reductie van pathogene micro-organismen tijdens oeverinfiltratie is in onderzoek door het RIVM vastgesteld op minimaal log 2,0 (-) en maximaal log 5,0 (-) [10]. De maximaal benodigde reductie van *Giardia* bedraagt minder dan log 1,0 (-). De vereiste logreductie van thermotolerante bacteriën van de Coligroep bedraagt maximaal log 1,0 (-) uitgaande van de maximaal gemeten concentratie in het vlokkingfiltraat.

Bij toepassing van ultrafiltratie geldt dat ergens in het nageschakelde zuiveringstraject verdere verwijdering van ammonium moet plaatsvinden. Voor ammonium moet een gemiddelde reductie van 0,3 mg N-NH₄/l worden bereikt. Deze verwijdering zal moeten plaatsvinden tijdens opslag in de Doesburgerslenk en de bodempassage en is afhankelijk van de verblijftijd in de bodem, de aanwezigheid van voldoende zuurstof (> 4 mg/l) en de watertemperatuur. De verwachting is dat de vereiste reductie van het ammoniumgehalte na een verblijftijd van 1 à 2 dagen wordt bereikt.

5.3.2 Organische microverontreinigingen

Vooralsnog bestaat geen inzicht in de normstelling voor organische microverontreinigingen in huishoudwater. Omdat in het zuiveringsconcept voor de huishoudwaterlevering aan de wijk Kernhem is uitgegaan van een bodempassage zijn de beschikbare analyseresultaten van de organische microverontreinigingen in het rwzi-effluent van 1998 (o.a. PAK's, aromaten, organohalogeenvverbindingen, minerale oliën) vergeleken met de normen uit het infiltratiebesluit. Uit deze vergelijking blijkt dat geen van de onderzochte componenten kritisch is voor deze normstelling.

Uit onderzoek naar de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen in 1996 is het bestrijdingsmiddel Diuron aangetoond (0,2 µg/l, detectielimiet 0,1 µg/l). In hoeverre de aanwezigheid van dit bestrijdingsmiddel in het nabehandelde rwzi-effluent kritisch kan zijn in het licht van het infiltratiebesluit, dient nader te worden onderzocht.

5.3.3 Geur

De geur van het vlokings- en ultrafiltraat is geclassificeerd als 'riool'. Verwacht wordt dat in het zuiveringstraject na de basiszuivering tijdens opslag en bodempassage verdergaande verwijdering van geurcomponenten zal optreden.

5.3.4 Biologische stabiliteit en nagroeipotentie

Belangrijk aspect bij de levering van huishoudwater op basis van rwzi-effluent is het bereiken van een waterproduct met een voldoende biologische stabiliteit zodat zuurstofverbruik en eventuele nagroei van micro-organismen in het distributiestelsel worden tegengegaan of beperkt. De mate van biologische stabiliteit is in het algemeen afhankelijk van de aanwezigheid van opgeloste assimileerbare organische componenten en nutriënten. In welke mate de nog aanwezige opgeloste organische verbindingen en nutriënten in het vlokingsfiltraat of ultrafiltraat een bijdrage kunnen leveren aan het optreden van biologische activiteit en nagroei is nog onduidelijk. Alhoewel in de rwzi Ede een vergaande verwijdering van biologisch afbreekbare opgeloste componenten en nutriënten plaatsvindt, zal in het geproduceerde halffabrikaat een beperkte voedingsbodem aanwezig zijn voor eventuele nagroei. In de nageschakelde bodempassage wordt, bij een voldoende lange verblijftijd, naar verwachting een tevredenstellende verlaging van de nagroeipotentie worden bereikt.

Door de vergaande verwijdering van fosfor bij vlokingsfiltratie en ultrafiltratie met aluminiumdosering is een sterke daling van het fosforgehalte gerealiseerd (> 60%), ondanks de zeer lage ingangconcentratie (< 0,2 mg/l). Bij beide technieken bedroeg de gemiddelde fosforconcentratie in het filtraat ca. 50 µg/l, met als laagste waarde 20 µg/l (bij vlokingsfiltratie tijdens duurproef C). Op basis van de bereikte fosforconcentratie kan het filtraat, in de toepassing als natuurwater, worden gekenmerkt als oligo/mesotroof water [12]. Dit betekent dat het risico op algengroei bij de 'open infiltratie' via de Doesburgerslenk sterk wordt gereduceerd.

Door de ammoniumverwijdering in het vlokkingfilter wordt de biologische stabiliteit van het vlokkingfiltraat verder verbeterd. In dit opzicht heeft het vlokkingfilter een duidelijk voordeel ten opzichte van ultrafiltratie.

5.3.5 MFI

vlokkingfiltraat

Bij een stabiele bedrijfsvoering tijdens duurproef C zijn de laagste MFI-waarden van het onderzoek bereikt, variërend tussen 40 en 50 l/s². Op grond van deze metingen kan worden geconcludeerd dat in het filtraat nog componenten aanwezig zijn die bij filtratie op microniveau tot een versnelde verstopping leiden en dat derhalve het vlokkingfiltraat minder geschikt is voor directe infiltratie in de bodem (MFI < 15 l/s²). Voor het creëren van een bodempassage zal moeten worden uitgegaan van een minder verstoppingsgevoelig 'open' infiltratiesysteem. In de gekozen zuiveringsopzet is uitgegaan van een 'open' infiltratie in de Doesburgerslenk (zie paragraaf 2.4).

Het resultaat van de MFI-meting is direct gerelateerd aan de hoeveelheid en grootte van de aanwezige gesuspendeerde deeltjes. Uit de resultaten van de deeltjesanalyses zoals weergegeven in tabel 24, blijkt dat de kleinere (micro)deeltjes met een diameter van 2-5 en 5-8 µm relatief slecht worden verwijderd in vergelijking tot de grotere deeltjes. Verdergaande verwijdering van microdeeltjes door optimalisatie van het coagulatieproces, kan mogelijk leiden tot een verdere daling van de MFI-waarde en het zwevendestofgehalte en mogelijk een verbetering van de hygiënische kwaliteit, onder andere door de verbeterde verwijdering van *Cryptosporidium* en *Giardia* (oo)cysten (3-20 µm).

ultrafiltraat

Vanwege de vrijwel volledige verwijdering van gesuspendeerde stoffen en kolloïdale deeltjes bij ultrafiltratie is de MFI-waarde van het filtraat laag. Bij alle deelonderzoeken is een MFI-waarde lager dan 10 l/s² gemeten. Op basis van de MFI-waarden kan derhalve worden gesteld dat het geproduceerde halffabrikaat geschikt is voor directe infiltratie.

5.4 Vergelijking van vlokking- en ultrafiltraat

Tabel 28 toont de kwaliteitsparameters van het vlokking- en ultrafiltraat. Tevens is in deze tabel de voorgestelde huishoudwatereis opgenomen. Het filtraat is het halffabrikaat voor de bereiding van huishoudwater dat ontstaat na de nabehandeling van het effluent van de rwzi Ede.

Tabel 28. Kwaliteit van vlokings- en ultrafiltraat in relatie tot de normen voor huishoudwater

parameter	eenheid	vlokingsfiltraat	ultrafiltraat	huishoudwaternorm
zwevende stoffen	mg/l	1,2	< 0,1	< 1,0
kleur	mg Pt/l	34/58	50	< 15
O ₂	mg/l	> 4	> 4	> 2
CZV	mg O ₂ /l	15	15	-
ammonium (N-NH ₄)	mg N /l	< 0,1	0,5	<0,2
totaalfosfor	mg P/l	0,05	< 0,20	< 2,0
metalen				
- zink	µg/l	135	125	100
- aluminium	µg/l	180	220	200
<i>E.Coli</i>	log n/100 ml	4	< 1	< 4
totaal Coligroep ¹⁾	log n/100 ml	4	n.a.	< 3,3
<i>Giardia</i>	n/10 l	6	< 1 ²⁾	< 1
<i>Cryptosporidium</i>	n/10 l	< 1	< 1 ²⁾	< 1
enterovirussen	n/10 l	< 1	< 1 ²⁾	< 1

1) thermotolerante bacteriën van de Coligroep

2) aanname op basis van eerder uitgevoerd onderzoek bij de drinkwaterbereiding [10]. Het ultrafiltraat is tijdens het hygiënisch onderzoek niet meegenomen (zie paragraaf 3.7)

Bij de inzet van **vlokingsfiltraat** als halffabrikaat voor de huishoudwaterbereiding is een verdere verlaging vereist van de parameters kleur, *Giardia* en thermotolerante bacteriën van de Coligroep. Het zwevendestofgehalte komt overeen met de huishoudwatereis (respectievelijk 1,2 en 1,0 mg/l). De zinkconcentratie is iets hoger dan de huishoudwatereis. De eis voor deze component is echter overgenomen uit de Waterleidingwet en is gebaseerd op dagelijkse inname. De lichte overschrijding van zink lijkt derhalve minder relevant.

Bij de inzet van **ultrafiltraat** als halffabrikaat voor de huishoudwaterbereiding moet nog een verdere verwijdering van kleur plaatsvinden. Voor zink geldt dezelfde overwegingen als bij vlokingsfiltratie. Bij een lage afvalwatertemperatuur kan het ammoniumgehalte in het rwzi-effluent stijgen tot boven de huishoudwatereis. Aangezien bij ultrafiltratie geen ammonium wordt verwijderd zal in deze situatie overschrijding van de huishoudwatereis optreden en zal de vereiste reductie moeten worden bereikt tijdens bodempassage.

Ten aanzien van de verwijdering van gesuspendeerde stoffen en de hygiënische kwaliteit levert ultrafiltratie een duidelijk betere kwaliteit dan vlokingsfiltratie. Door toepassing van aluminium als vlokmiddel wordt bij beide technieken kleurverwijdering gerealiseerd en kan een vergaande daling van het fosforgehalte worden bereikt. Tevens wordt met ultrafiltratie een lagere MFI-waarde bereikt waardoor het risico op verstoppingen bij infiltratie afneemt. Het voordeel van vlokingsfiltratie ten opzichte van ultrafiltratie is de verwijdering van ammonium als gevolg van nitrificatie in het filterbed.

Op basis van de resultaten van het onderzoek wordt geconcludeerd dat de basiszuiveringen vlokkingfiltratie en ultrafiltratie kunnen als basiszuivering voor de levering van huishoudwater aan de toekomstige wijk Kernhem in de gemeente Ede. Onzekerheid blijft bestaan omtrent de bereikbare extra kleurverwijdering tijdens bodempassage. Het risico bestaat dat de vereiste kleurverwijdering wel wordt benaderd maar niet wordt bereikt. Voor de lozing op de Doesburgerslenk kunnen mogelijk nog aanvullende eisen worden gesteld aan de verwijdering van pathogene organismen. Indien de hygiënische kwaliteit moet voldoen aan de eisen voor oppervlaktewater dat geschikt is voor recreatie en zwemmen, zal na vlokkingfiltratie een extra desinfectiestap moeten volgen voor de verwijdering van *Giardia* en thermotolerante bacteriën van de Coligroep.

In welke mate de nog aanwezige opgeloste assimileerbare organische verbindingen en nutriënten in het halffabrikaat (na de vlokkingfiltratie of ultrafiltratie) een bijdrage kunnen leveren aan het optreden van biologische activiteit en nagroei is onduidelijk. Op grond van de vergaande verwijdering van gesuspendeerde deeltjes, fosfor en ammonium (alleen bij vlokkingfiltratie) kan worden geconcludeerd dat een sterke verbetering van de biologische stabiliteit zal optreden na de vlokkingfiltratie en in iets mindere mate na de ultrafiltratie. Op basis van de bereikte fosforconcentratie na vlokkingfiltratie kan het filtraat, in de toepassing als natuurwater, worden gekenmerkt als oligo/mesotroof water [12].

effluent van de rwzi Ede als bron voor de huishoudwaterproductie

- Het effluent van de rwzi Ede heeft een uitstekende kwaliteit door de vergaande verwijdering van gesuspenderde stoffen en nutriënten.
- Uitgaande van een *voorlopige normstelling voor huishoudwater* zijn voor toepassing van rwzi-effluent als bron voor de bereiding van huishoudwater de parameters zwevendestof, ammonium, kleur en pathogene micro-organismen als 'kritisch' vastgesteld. De eisen voor de hygiënische kwaliteit van het huishoudwater zijn afgeleid uit de voorlopige EU-normstelling voor oppervlaktewater bestemd als recreatie- en zwemwater.

onderzoek aan de vlokingsfiltratie

- Door vlokingsfiltratie van rwzi-effluent is een reductie van zwevendestoffen, troebelheidveroorzakende bestanddelen, CZV, ammonium, fosfor en pathogene micro-organismen gerealiseerd. Bij het gebruik van aluminium als vlokmiddel (2 mg Al³⁺/l) en een filtratiesnelheid van 10 m/h zijn de beste resultaten behaald voor het zwevendestofgehalte en de troebelheid in het filtraat, (respectievelijk gemiddeld 1,2 mg/l en < 0,5 FTE).
- De gemiddelde ammoniumconcentratie in het filtraat bedraagt 0,2 mg N-NH₄ bij een afvalwatertemperatuur van 12 tot 19°C. De ammoniumverwijdering door nitrificatie in het filterbed varieert van 0,1 tot 0,6 mg N-NH₄/l. Bij een hogere afvalwatertemperatuur (15 °C) daalt de ammoniumconcentratie in het filtraat tot < 0,1 mg N-NH₄/l.
- Bij toepassing van aluminium als vlokmiddel wordt het kleurgetal verlaagd. Een maximale kleurreductie leidt tot een kleurgetal van het filtraat van rond 30 mg Pt/l.
- Zink wordt niet verwijderd tijdens vlokingsfiltratie. Koper wordt wel verwijderd (tot ongeveer 2 µg/l in het filtraat).
- De verwijdering van *E.Coli* bacteriën en thermotolerante bacteriën van de Coli-groep varieert van log 0,2 tot log 1,0. De verwijdering van enterovirussen bedraagt log 1,0. Voor *Giardia* is een logverwijdering geconstateerd van ca. 2,0. Cryptosporidium is niet aangetoond in het rwzi-effluent maar wel in betrekkelijk lage aantallen in het vlokingsfiltraat (1 per 200 l).
- Toevoeging van een derde, fijnere, filterlaag (granaatzand 0,6-0,8 mm) aan het tweelaagsfilterbed (antraciet 2,0-4,0 mm, kwartszand 1,5-2,3 mm) leidt tot een verbetering van de verwijdering van zwevendestof en troebelheidveroorzakende bestanddelen.

De filterlagen met kwarts- en granaatzand zijn gedurende het onderzoek opgemengd. Om de ontmenging aan het einde van een spoelcyclus te bevorderen wordt aanbevolen om granaatzand toe te passen met de korreldiameter van 0,8 tot 1,0 mm.

- Zwevendestofverwijdering in het filter vindt voornamelijk plaats in de bovenste 10 à 20 cm van het filterbed. De dieptewerking van het filter is derhalve beperkt. Bij de toegepaste bovenwaterstand van 2 meter heeft wellicht vlokvorming gedeeltelijk plaatsgevonden in de bovenstaande waterlaag, waardoor een tussenvorm van vlokken- en vlokingsfiltratie is ontstaan. Als mogelijke oplossing voor de verbetering van de dieptewerking wordt aanbevolen om een bedrijfsvoering met een oplopende waterspiegel toe te passen.
- De looptijd van het vlokingsfilter bedraagt minimaal 7 uur bij toepassing van aluminium als vlokmiddel (2 mg Al³⁺/l), filtratiesnelheid 10 m/h en een gemiddeld

zwevendestofgehalte in het rwzi-effluent van ongeveer 6 mg/l. Door de verbetering van de dieptewerking van het filterbed kan de looptijd nog aanzienlijk worden verlengd.

onderzoek aan de ultrafiltratie

- Door ultrafiltratie van rwzi-effluent wordt een vergaande reductie van zwevende-stof, troebelheidveroorzakende bestanddelen en pathogene micro-organismen gerealiseerd. Het zwevendestofgehalte in het ultrafiltraat ligt onder detectiegrens (0,1 mg/l). De troebelheidswaarde is zeer laag (< 0,06 FTE).
- Thermotolerante bacteriën van de Coligroep zijn niet aangetoond in het ultrafiltraat. Dit komt overeen met een minimale reductie van 4 logeenheden. De minimale reductie voor *E.Coli* bacteriën is 3,3 logeenheden.
- Zink en ammonium worden niet verwijderd door ultrafiltratie (alsmede andere opgeloste stoffen).
- Bij het gebruik van tubulaire membranen is een stabiele bedrijfsvoering bereikt met een flux van 35 tot 45 l/m².h in een TMD-range van 0,3 tot 0,6 bar (15 tot 16°C). De recovery bedraagt ca. 70%. Verbetering van de werking van het ultrafiltratieproces door toepassing van in line coagulatie met aluminium of voorgeschakelde vlokingsfiltratie leidt niet tot een significante verbetering.
- Bij toepassing van capillaire membranen met luchtinjectie tijdens de voorwaartse spoeling is zonder verdergaande optimalisatie een stabiele bedrijfsvoering bereikt met een flux van 70 l/m².h in een TMD-range van 0,3 tot 0,5 bar (16-17°C). De recovery bedraagt ca. 80%. De verbeterde werking ten opzicht van tubulaire membranen wordt verklaard door de verhoogde turbulentie aan het membraanoppervlak tijdens de periodieke spoeling, waardoor vervuiling beter wordt verwijderd en de transmembraandruk minder snel oploopt.

inpasbaarheid van de basiszuivering in het zuiveringsconcept voor de levering van huishoudwater

- De basiszuiveringen vlokingsfiltratie of ultrafiltratie kunnen worden ingepast in het vooraf opgestelde concept voor de levering van huishoudwater aan de toekomstige wijk Kernhem in de gemeente Ede. Onzekerheid blijft echter bestaan omtrent de bereikbare extra kleurverwijdering tijdens een bodempassage. Het risico bestaat dat het vereiste kleurgetal wel wordt benaderd maar niet wordt bereikt.
- In welke mate de nog aanwezige opgeloste assimileerbare organische verbindingen en nutriënten in het vlokings- en ultrafiltraat een bijdrage kunnen leveren aan het optreden van biologische activiteit en nagroei van micro-organismen is onduidelijk. Op grond van de vergaande verwijdering van gesuspendeerde actief-slibdeeltjes, fosfor en ammonium (alleen bij vlokingsfiltratie) kan worden geconcludeerd dat de biologische stabiliteit verbetert na vlokingsfiltratie of ultrafiltratie. Op basis van de bereikte fosforconcentratie na vlokingsfiltratie en ultrafiltratie met in-line coagulatie (< 50 µg/l) kan het filtraat, in de toepassing als natuurwater, worden gekenmerkt als oligo/mesotroof water. Het risico van het optreden van algengroei in een 'open' infiltratiesysteem (Doesburgerslenk) wordt hiermee beperkt.

7 UITWERKING VAN DE ZUIVERINGSOPZET EN KOSTEN

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de inpassing van de basiszuiveringen vlokkingfiltratie en ultrafiltratie in het voorgestelde zuiveringsconcept voor de bereiding van huishoudwater. Op basis van de resultaten en conclusies van het onderzoek is een inschatting gemaakt van de eventueel extra benodigde zuiveringsstappen tussen de nabehandeling van het effluent van de rwzi Ede en de opslag van het opgewerkte rwzi-effluent in de Doesburgerslenk. Vervolgens worden op basis van een globale dimensionering voor beide basiszuiveringen de bouw- en investeringskosten en de operationele kosten berekend en toegelicht.

7.1 Inpassing van de basiszuivering in het zuiveringsconcept

Het zuiveringsconcept voor de bereiding van huishoudwater op basis van rwzi-effluent is beschreven in hoofdstuk 2. Het effluent zal via vlokkingfiltratie of ultrafiltratie worden gezuiverd en aansluitend worden geïnfiltreerd in de Doesburgerslenk. Vervolgens vindt winning plaats gevolgd door eventuele nabehandeling. Na opslag in een berging wordt het huishoudwater gedistribueerd in de wijk Kernhem te Ede. Hieronder wordt voor beide basiszuiveringen aangegeven welke extra zuiveringsinspanningen nodig zijn voordat infiltratie in de Doesburgerslenk kan plaatsvinden. Tevens worden enkele aspecten van het nageschakelde zuiveringssysteem beschouwd (bodempassage, winning en distributie).

7.1.1 Vlokkingfiltratie

Bij toepassing van vlokkingfiltratie als basiszuivering zal voor de levering van huishoudwater een extra zuiveringsstap moeten worden ingepast voor de verwijdering van thermotolerante bacteriën van de Coligroep, *E.Coli* bacteriën en *Giardia*. Hiervoor zal een desinfectietechniek moeten worden ingezet. Tevens dient het zuurstofgehalte te worden verhoogd door een extra beluchtingsstap.

desinfectie

De concentratie-eis voor thermotolerante bacteriën van de Coligroep bedraagt maximaal $10^{3,3}$ per 100 ml, terwijl de concentratie in het vlokkingfiltraat uitkomt op $10^{3,9}$ per 100 ml. Derhalve moet een reductie van 0,6 logeenheden worden bereikt. Incidenteel kan een overschrijding van de norm voor *E.Coli* bacteriën optreden. Derhalve moet veiligheidshalve ook voor *E.Coli* bacteriën een extra verwijdering worden gerealiseerd (logreductie ca. 1,0). Voor *Giardia* is, om aan de voorlopige zwemwatereis van minder 1 per 10 l te kunnen voldoen, een logreductie van ca. 0,7 vereist. Voor *Cryptosporidium* en virussen is geen overschrijding van de gehanteerde normen geconstateerd.

Als desinfectantia komen in aanmerking chloor, ozon en ultraviolette straling (UV). In tabel 29 worden deze technieken op basis van verschillende aspecten geëvalueerd [7]. Desinfectie met UV heeft op grond van betrouwbaarheid, de efficiënte werking en geen vorming van bijproducten de voorkeur boven de andere desinfectiemiddelen. UV-desinfectie wordt zowel in Nederland als daarbuiten op praktijkschaal toegepast voor de desinfectie van biologisch gezuiverd afvalwater. Dit vindt veelal plaats bij lozing van rwzi-effluent op oppervlaktewater dat dient als zwem- en recreatiewater.

Tabel 29. Evaluatie van toepasbare desinfectietechnieken¹⁾

aspect	chloor	ozon	ultraviolette straling
Complexiteit	+	--	+
Betrouwbaarheid	+ +	+ / -	+
Kosten	+ +	--	+
Veiligheidsvoorzieningen	-	-	+ / -
Toxiciteit	-	+	+
Verwijdering:			
bacteriën	+	+	+
virussen	+ / -	+	+
protozoa	+ / -	+	+ / -
Kleur/geur verwijdering	+ +	+ +	-
Vorming van bijproducten	-	+	+
Contacttijd	-	-	+ +

1) +: positief, + / -: neutraal, -: negatief

Voor de uitwerking van de zuiveringsopzet wordt uitgegaan van de toepassing van UV-desinfectie. Op basis van het kleurgetal en de troebelheid van het vlokkingsfiltraat is de benodigde UV-dosis geschat op 30-50 mJ/cm². Bij deze dosis kan voor zowel bacteriën als virussen een verwijdering met meer dan 3,0 logeenheden worden bereikt. Voor *Giardia* is de logreductie met UV ingeschat op ca. 1,0 [7].

beluchting

Het zuurstofgehalte in het rwzi-effluent bedraagt ongeveer 6 mg O₂/l. Bij verwijdering van 1 mg ammonium (N-NH₄) zal het zuurstofgehalte in het filtraat dalen tot circa 1 mg/l. Vóór de afvoer naar de Doesburgerslenk zal herbeluchting moeten plaatsvinden. Dit kan op eenvoudige wijze worden gerealiseerd door het aanbrengen van een cascade-overstort of een beluchtingssysteem in de filtraatbuffer.

7.1.2 Ultrafiltratie

Met ultrafiltratie wordt in één stap de vereiste hygiënische kwaliteit voor huishoudwater bereikt. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij ultrafiltratie geen ammoniumverwijdering optreedt. Een hoge ammoniumconcentratie kan kritisch zijn voor de nog vast te stellen norm voor afvoer naar de Doesburgerslenk.

Tijdens ultrafiltratie zal geen of slechts een geringe daling van het zuurstofgehalte optreden. Om echter een voldoende hoog zuurstofgehalte voor het transport en eventuele ammoniumverwijdering tijdens opslag en infiltratie te kunnen garanderen, zal ook bij ultrafiltratie een voorziening moeten worden opgenomen voor beluchting.

7.1.3 Kwaliteitsaspecten bij verdere opwerking

opslag en infiltratie

Het opgewerkte rwzi-effluent zal in de Doesburgerslenk worden gemengd met het aanwezige oppervlaktewater. Omdat het oppervlaktewater wordt gevoed door afstromend regenwater en er derhalve geen continue aanvoer plaatsvindt, zal een wisselende kwaliteit ontstaan. De kwaliteitswisselingen zullen door toepassing van bodempassage, gedeeltelijk worden afgevlakt door de menging en buffering in de bodem. Desondanks kunnen kwaliteitsfluctuaties optreden in het gewonnen water hetgeen een extra nadruk legt op de nabehandeling (kwaliteitsbewaking).

bodempassage

Door bodempassage (oeverinfiltratie) met een voldoende lange verblijftijd zal de hygiënische kwaliteit sterk verbeteren. Tevens zal een verdere verwijdering van ammonium en opgeloste organische stoffen optreden. In hoeverre kleurverwijdering optreedt, kan op voorhand niet worden ingeschat. De vereiste duur van de bodempassage in relatie tot de verbetering van de hygiënische kwaliteit, de verwijdering van ammonium en assimileerbare opgeloste organische stoffen (nagroeipotentie) en de vereiste reductie van het kleurgetal, zullen in een latere fase moeten worden beschouwd.

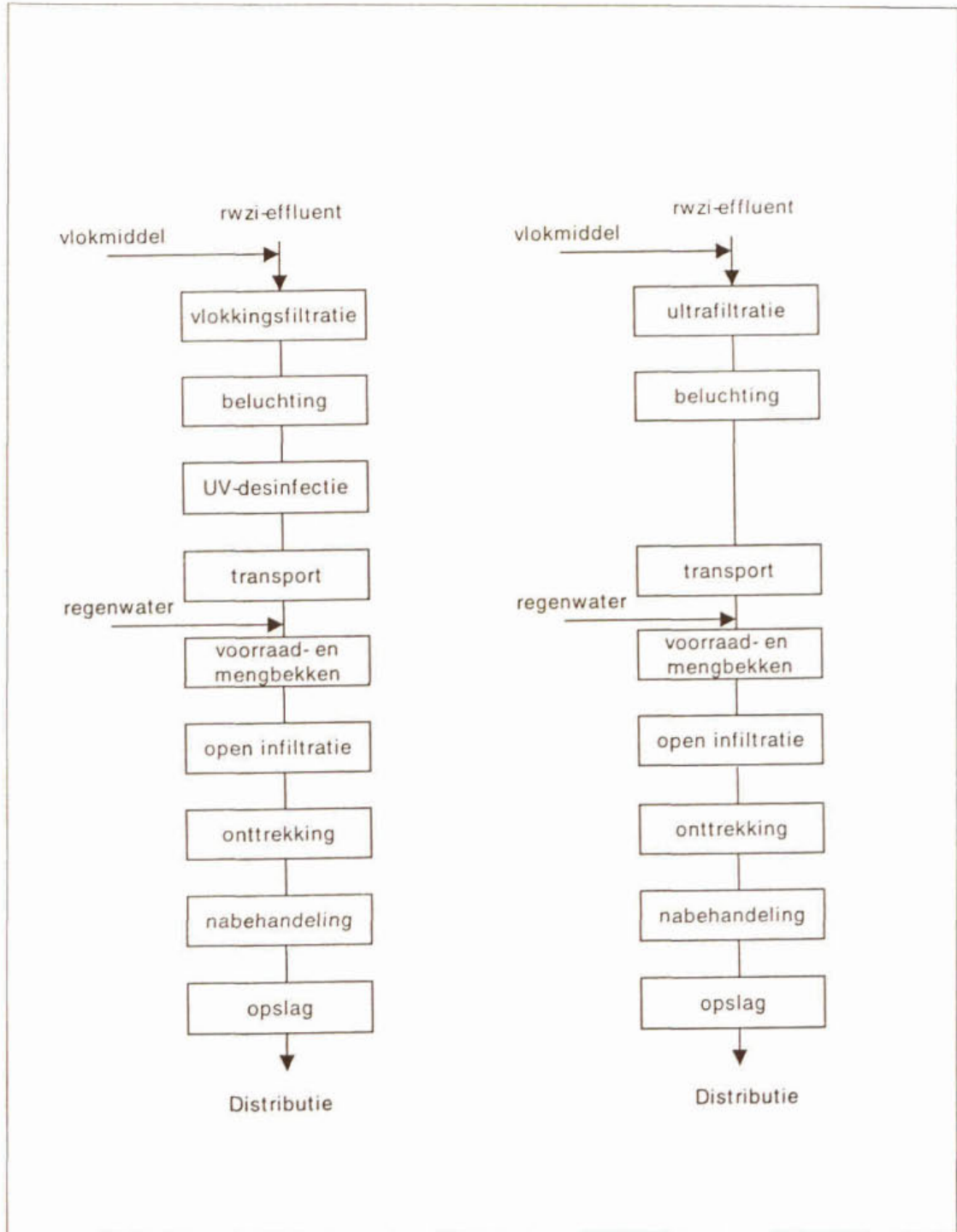
nagroeï tijdens transport en distributie

Ondanks de vergaande zuivering zijn in het nabehandelde rwzi-effluent nog voedingsstoffen aanwezig waardoor nagroeï in de transportleiding vanaf de rwzi Ede naar de Doesburgerslenk kan optreden. De negatieve invloed op de waterkwaliteit door eventuele nagroeï zal echter beperkt zijn door de korte transportafstand (1,5 km) en de korte verblijftijd in de transportleiding. Door toepassing van bodempassage (oeverinfiltratie) zal een reductie van de nagroeïpotentie optreden. De nagroeïpotentie dient echter nader onderzocht te worden. Indien nodig moet bij distributie transportdesinfectie worden toegepast.

7.1.4 Opzet voor de bereiding van huishoudwater

In het blokschema van afbeelding 13 is de opzet van het zuiveringssysteem voor de levering van huishoudwater weergegeven uitgaande van de toepassing van vlokingsfiltratie of ultrafiltratie als basiszuivering.

Afbeelding 13. Opzet van het zuiveringssysteem voor de bereiding van huishoudwater



7.2 Uitgangspunten voor de dimensionering en kostenramingen

7.2.1 Kwantiteitsaspecten

- het aantal huishoudens in de wijk Kernhem waaraan huishoudwater geleverd wordt bedraagt 4600. Uitgaande van een verbruik van 56 lpppd en een gemiddelde woningbezetting met 2,7 personen, zal het jaarverbruik 255.000 m³ bedragen;
- het gemiddelde uurverbruik bedraagt 30 m³/uur; uitgaande van een veiligheidsfactor van 1,2, bedraagt de ontwerpcapaciteit van de zuiveringsinstallatie 36 m³/h. De

de aanwezige voorraad in de bodem kan deze tijdelijk verhoging van de water-vraag worden opgevangen. Voor het ontwerp van de vlokingsfiltratie wordt derhalve uitgegaan van een ontwerpcapaciteit 36 m³/uur;

- de leveringszekerheid van het huishoudwater is gewaarborgd door de koppeling met het drinkwaternet waarbij in het huishoudwaternet een lagere druk wordt gehanteerd ten opzicht van het drinkwaternet.

7.2.2 Ontwerpgrondslagen voor de vlokingsfiltratie

- de maximaal toelaatbare filtratiesnelheid tijdens vlokingsfiltratie is 10 m/h;
- de installatie is opgebouwd uit 2 filters van 1,9 m² per stuk. Uitgangspunt hierbij is dat een continue afvoer naar de Doesburgerslenk plaatsvindt. Indien één filter buiten werking wordt gesteld voor onderhoud en/of reparatie kan bij waterschaarste (onvoldoende voorraad in de bodem) tijdelijk drinkwater worden gesuppleerd (maximaal 18 m³/uur);
- aluminium wordt toegepast als vlokmiddel. Om bij debietproportionele vlokmiddeldosering overdosering te voorkomen, moet de vlokmiddeldosis worden bijgestuurd op basis van een representatieve kwaliteitsmeting in het rwzi-effluent (bijvoorbeeld troebelheid). Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat bij toepassing van aluminium als vlokmiddel bij filtratie van het effluent van de rwzi Ede een tussenform is ontstaan tussen vlokken- en vlokingsfiltratie. Voor de praktijkinstallatie wordt uitgegaan van voldoende flexibiliteit om beide filtratievormen te kunnen optimaliseren. Derhalve wordt de vlokingsfiltratie-installatie voorzien van de mogelijkheid om een voorgeschakelde vlokvormingsstap (twee coagulatietanks) in te passen;
- voor terugspoeling wordt gebruik gemaakt van het geproduceerde filtraat (maximaal 50 m/h) en lucht (maximaal 50 m/h);
- na vlokingsfiltratie vinden beluchting en UV-desinfectie plaats. De beluchting kan plaatsvinden in de filtraatbuffer door het aanbrengen van een cascade-overstort. De benodigde UV-dosis bedraagt 30-50 mJ/cm² (aan het einde van de looptijd). De levensduur van de lampen is geschat op 13.000 uur.

7.2.3 Ontwerpgrondslagen voor de ultrafiltratie

- de ultrafiltratie-installatie wordt ontworpen op een nominale flux van 70 l/m².h en maximaal 100 l/m².h;
- de maximale capaciteit bedraagt 36 m³/h;
- toepassing van ultrafiltratiemodules van het type STORK EO 15-010 (conform de onderzochte membraanmodule tijdens deelonderzoek 4). Bij dit type ultrafiltratiemodule wordt uitgegaan van de toepassing van de gecombineerde lucht- en waterspoeling;
- het werkgebied in TMD varieert van 0,3 tot maximaal 1,0 bar;
- uitgegaan wordt van een minimale recovery van 80%;
- vóór ultrafiltratie wordt een buisflocculator geschakeld ten behoeve van in line coagulatie met aluminium;

7.2.4 Uitgangspunten van de kostenramingen

De kostenraming is gebaseerd op een globale dimensionering en draagt derhalve een indicatief karakter. Hierbij gelden de volgende uitgangs- en aandachtspunten:

- voor de kostenramingen is gebruik gemaakt van eenheidskosten en kostenramingen in projecten van vergelijkbare schaalgrootte;
- de nauwkeurigheid van de bouwkostenraming bedraagt ± 50%. Bij de raming van de bouwkosten is uitgegaan van een onvolledigheidspercentage van 20 %;

- de kapitaalkosten zijn berekend voor de totale civiele en electro/mechanische installatie inclusief bijkomende kosten (50 % van de bouwkosten). De afschrijvingstermijnen zijn 30 jaar voor de civiele installatie, 15 jaar voor de E/M-installatie, 4 jaar voor de membranen en 1,5 jaar voor de UV-lampen;
- de basiszuivering heeft een geautomatiseerd besturingssysteem;
- de totale jaarlijkse kosten bestaan uit kapitaalkosten en operationele kosten. In de operationele kosten zijn de kosten voor chemicaliën, energie, onderhoud, personeel en membraanvervanging (bij ultrafiltratie) verrekend;
- onderhoudskosten: mechanisch/elektrische installatie: 2,5 % van de jaarlijkse bouwkosten; civiele installatie: 0,5 % van de jaarlijkse bouwkosten;
- personeelskosten: f 90.000/mensjaar.

7.3 Dimensionering

De globale dimensionering van de vlokkingfiltratie en UV-desinfectie is samengevat in tabel 30. In tabel 31 is de globale dimensionering van de ultrafiltratie-installatie samengevat.

Tabel 30. Globale dimensionering van de basiszuivering vlokingsfiltratie met beluchting en UV-desinfectie

type	open gravitatiefilter met stijgende waterspiegel	
Capaciteit:	255.000	m ³ /j
nominaal	30	m ³ /h
maximaal	36	m ³ /h
Spoelverlies, maximaal	5	%
filtratiesnelheid:		
nominaal	10	m/h
maximaal	15	m/h
vlokvorming		
statische menger, G-waarde	1.000	s ⁻¹
voorgeschakelde vlokvorming (optioneel)		
verblijftijd	4	min
volume	2,5	m ³
menging, G-waarde	50-70	s ⁻¹
filters:		
aantal	2	-
benodigd oppervlakte ¹⁾	2 x 19	m ²
hoogte	4	m
filterbed:		
bovenlaag	antraciet	
korrelgrootte	2-4	mm
hoogte	800	mm
tussenlaag	kwartzand	
korrelgrootte	1,7-2,2	mm
hoogte	400	mm
onderlaag	granaatzand	
korrelgrootte	0,8-1,0	mm
hoogte	300	mm
totale filterbedhoogte	1500	mm
terugspoeling:		
water	50	m ³ /m ² /h
lucht	50	m/h
regeling	tijd,druk	
volume filtraatopslag	20	m ³
- O ₂ na cascade-beluchting	> 5	mg O ₂ /l
vlokmiddel	aluminium	
doseerconcentratie (Al ³⁺)	1-4	mg/l
UV desinfectie		
stralingsdosis	30-50	mJ/cm ²
levensduur lampen	13.000	uur
contactruimte	1,0	m ³

1) inclusief correctie voor spoelwaterverlies

Tabel 31. Globale dimensionering ultrafiltratie en beluchting

type	dead-end ultrafiltratie	
capaciteit UF		
nominaal	30	m ³ /h
maximaal	36	
bruto flux	70 (max 100)	l/m ² .h
TMD ¹⁾	0,6 (0,3-1,0)	bar
Recovery	> 80	%
membranen:		
capillair	1,5	mm
poriegrootte	ca 0,02 µm (norm)	µm
oppervlak ²⁾	643	m ²
levensduur	4	j
membraanmodule	Stork EO 15-010	
membraanoppervlak	15	m ²
aantal modules	44	-
volume filtraatopslag	20	m ³
- O ₂ na cascade-beluchting	> 5	mg O ₂ /l

1) TMD: Transmembraandruk

2) het benodigde membraanoppervlak is berekend op basis van de maximale leveringscapaciteit uitgaande van de ontwerpflux.

7.4 Investeringskosten en exploitatiekosten

7.4.1 Kostenraming van de basiszuiveringen vlokingsfiltratie en ultrafiltratie

In tabel 32 is het resultaat van de raming van de bouw- en investeringskosten voor de basiszuiveringen vlokingsfiltratie, inclusief nabehandeling, en ultrafiltratie weergegeven. Tevens is in de tabel de berekening van de operationele kosten en de totale kostprijs opgenomen.

De basiszuivering vlokingsfiltratie met nageschakelde beluchting en UV-desinfectie leidt tot de laagste investeringskosten en exploitatiekosten (*f* 0,61). Deze zuivering heeft derhalve uit financieel oogpunt de voorkeur. De berekende kostprijs komt overeen met de kostprijs voor opgewerkt rwzi-effluent in de Verenigde Staten bij een vergelijkbare zuiveringsopzet en schaalgrootte (*f* 0,60/m³ - *f* 0,80/m³) [7].

De totale kosten voor de basiszuivering van rwzi-effluent door ultrafiltratie bedragen *f* 0,99/m³. De jaarlijkse kosten voor de toepassing van ultrafiltratie liggen in dezelfde ordergrootte als de jaarlijkse kosten voor een vergelijkbare toepassing op de rwzi Ruhleben in Berlijn (*f* 1,10/m³) [8].

De ontwerpgrondslagen voor ultrafiltratie zijn gebaseerd op de resultaten van het deelonderzoek 4 waarbij nog geen optimalisatie heeft plaatsgevonden. Verdere optimalisatie kan leiden tot bijstelling van de ontwerpgrondslagen waardoor besparingen kunnen worden gerealiseerd op bouwkosten en membraanvervangingskosten.

Tabel 32. Kostenraming van vlokkingsfiltratie met nabehandeling en ultrafiltratie

	vlokkingsfiltratie	ultrafiltratie
kostenposten	pompinstallatie coagulatie vlokkingsfilters (2) filtraatbuffer nageschakelde beluchting UV-desinfectie spoelwaterafvoer gebouw verbindend leidingwerk chemicaliënopslag procesbesturing	pompinstallatie ultrafiltratie-installatie filtraatbuffer nageschakelde beluchting spoelwaterafvoer gebouw verbindend leidingwerk chemicaliënopslag procesbesturing
bouwkosten (f)	662.000	745.000 ³⁾
investeringen (f)	993.000	1.118.250
kapitaalslasten (f/ij)	104.200	124.940
kostprijs (f/m ³)	0,41	0,49
Operationele kosten (f/m ³)		
- energie	0,06	0,05
- chemicaliënverbruik	0,03	0,10
- personeel ¹⁾	0,03	0,03
- onderhoud	0,06	0,08
- spoelwaterbehandeling ²⁾	0,02	0,02
- membraanvervanging	-	0,22
subtotaal	0,20	0,50
totale kostprijs	0,61	0,99

1) procesbewaking/controle circa 3 uur/week

2) de spoelwaterbehandeling is mogelijk via de slibverwerking in de rwzi Ede. De kosten voor afvoer- en verwerking van het ingedikte slib zijn verwerkt in de kostenberekening à f 1.000,-/tds;

3) exclusief membraankosten, de afschrijvingskosten voor de membraanmodules zijn opgenomen bij de operationele kosten.

7.4.2 Levering van huishoudwater

De raming van de kosten voor de levering van huishoudwater op basis van het effluent van de rwzi Ede is samengevat in tabel 33. Hierbij is uitgegaan van de benodigde eindcapaciteit voor de levering aan de wijk Kernhem. De kosten voor transport, infiltratie, winning, nabehandeling en distributie zijn overgenomen uit het eerder uitgevoerde haalbaarheidsonderzoek [1]. De lengte van de transportleiding bedraagt 1,5 km (zie bijlage III). De kosten voor infiltratie en winning zijn sterk afhankelijk van de mogelijkheden om activiteiten bij aanleg- en inrichting van de Doesburgerslenk te combineren.

Tabel 33. Kostenraming voor de levering van huishoudwater (f/m³)

basiszuivering	vlokkingsfiltratie	ultrafiltratie
totale exploitatiekosten	0,61	0,99
transport	0,25	0,25
infiltratie en winning	0,25	0,25
nabehandeling ¹⁾	0,05	0,05
distributie	0,30	0,30
totaal	1,46	1,84

1) beluchting en eventueel nadesinfectie

Uit de tabel 33 blijkt dat globaal de helft van de totale kostprijs voor huishoudwater wordt bepaald door kosten voor de nabehandeling van het effluent van de rwzi Ede. De kostprijs voor de nabehandeling is sterk afhankelijk van de schaalgrootte. Indien de nabehandeling van rwzi-effluent wordt gecombineerd met een andere waterlevering, bijvoorbeeld industriewater, kan door de schaalvergroting een substantiële kostenreductie worden bereikt. Bij toepassing van vlokkingsfiltratie resulteert de toename van de schaalgrootte van 50 naar 200 m³/h in een kostprijzdaling van globaal 30%.

- [1] Waterschap Vallei & Eem, NUON Water NV, RIZA, Benutting effluent rwzi Ede, Witteveen+Bos, kenmerk: Ed73.1, juni 1997;
- [2] Ministerie van VROM (1995), 'Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening', 's Gravenhage;
- [3] VEWIN, Waterspiegel, no. 4, december 1998, Resultaten van NIPO-onderzoek naar het toekomstige waterverbruik in huishoudens;
- [4] Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu, gezondheidsrisico's en normstelling van huishoudwater, september 1997;
- [5] Witteveen+Bos i.o.v. Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN), Verkennende studie toepassing huishoudwater, Deventer 1997;
- [6] Graaf, J.H.J.M. van der, A.F. van Nieuwenhuijzen, Experiments on high rate effluentfiltration in the Netherlands, *Water science and Technology*, volume 38, nr.3 pg 127-134, 1998;
- [7] Crook, J., Ammerman, D.K., Okun, D.A., Matthews, R.L., Guidelines for Water Reuse, Camp Dresser & McKee Inc., Cambridge Massachusetts, oktober 1992;
- [8] J. Ditrich, R Knirß, A. Peter-Frohlich, F. Sarfert, Microfiltration of municipal waste water for disinfection and advanced phosphorus removal, *Water Science Technolgy*, No. 9, pp 125-131, 1996;
- [9] G.L. Leslie et. al. (Orange County Water District, California) en R.G. Sudak (Separation Processes Inc., California)/Water Reuse, conference Proceedings American Water Works Association;
- [10] Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu, Eliminatie van virussen, en *Giardia* door drinkwaterprocessen, Rapportnr. 289202016, december 1996;
- [11] York, D.W., Burg, N.R., Protozoan Pathogens: A Comparison of Reclaimed Water and Other Irrigation Waters, Proceedings of 1998 AWWA Water Reuse Conference, February 1-4, 1998 Lake Buena Vista, Florida;
- [12] M. Klinge, M.P. Grim, S.H. Hoser: Eutrophication and ecological rehabilitation of Dutch Lakes: presentation of a new conceptual framework; *Water Science and Technology*, Vol 31, No 8, pp 207-218, 1995
- [13] Kramer, J.F., 1997, Membraanfiltratie van gezuiverd afvalwater. Presentatie tijdens NVA symposium 'Biologisch gereinigd effluent', 16 oktober 1997;
- [14] A. Amirthajarah, A. Mills, 1983, K.M. Rapid Mix Design for Mechanisme of Alum Coagulation; *Journal AWWA* 74:4:210;

- [15] P.N. Johnson, A. Amirthajarah, 1983, Ferric Chloride and Alum as Single and Dual Coagulants, Journal AWWA, 75:5:232.N.
- [16] Stowa-rapport 98-34 "Mogelijkheden voor toepassing van membraanfiltratie op rwzi's".

BIJLAGE I Analysemethoden

chemische parameters

parameter	eenheid	methode	frequentie
ammonium	NH ₄ -N mg/l	Dr Lange; meetbereik 0,015-2,0 (LCK 304)	per filterrun
P-totaal/P-ortho	P mg/l	Dr Lange; meetbereik 0,05-1,5	per filterrun
CZV	mg/l	Dr Lange; meetbereik 5-60	per filterrun
zuurstof	mg/l	zuurstofmeter	steekmonsters
nitriet	N-NO ₂ mg/l	fotometrisch NEN 6653	per instelling
ijzer	mg/l	AAS-vlam NEN 6460	per instelling
mangaan	mg/l	AAS-vlam NEN 6461	per instelling
koper	µg/l	ICP NEN 6426	per instelling
zink	µg/l	ICP NEN 6426	per instelling
totale hardheid	DH	berekening uit Ca, Mg	per instelling

fysische parameters

parameter	eenheid	methode	frequentie
kleur	mg Pt/l	fotometrisch, KIWA 4-03-1	per instelling
geur (kwalitatief)		organoleptisch	per instelling
zwevendestof	mg/l	glasvezelfilter; NEN6621	per filterrun
troebelheid	FTE	mobiele troebelheidsmeter	per filterrun
temperatuur	EC	thermometer	continu
MFI	s/l ²	MFI-meetopstelling	per filterrun

monstername en analyse bij het hygiënisch onderzoek

rwzi-effluent

10-liter monsters worden genomen voor bepalingen van *Cryptosporidium* en *Giardia* en 10 liter voor enterovirusbepaling. Tevens wordt 1 liter genomen voor de bepaling van *Clostridium perfringens*, thermotolerante coliforme bacteriën, enterococci faecale streptococci en *E.Coli*.

filtraat uit vlokingstank

200-300 liter wordt ter plaatse geconcentreerd voor bepalingen van *Cryptosporidium* en *Giardia* en 1000 liter voor enterovirusbepaling. Eén liter voor *C. perfringens*, thermotolerante Coli's, enterococci (faecale streptococci) en *E. coli*. Alle

analysemethoden voor de bacteriën

E. coli, thermotolerante bacteriën van de coligroep, enterococci en de sporen van *Clostridium perfringens* zijn alle conform NEN uitgevoerd.

analysemethode voor de enterovirussen

Watermonsters werden ter plekke geconcentreerd volgens een tweetrapsmethode, zoals beschreven door Van Olphen *et al.* (1989). Water werd met een snelheid van maximaal 450 l/h, na een dosering van 0,5 M HCl tot een pH-waarde van 3,8 en dosering van 4.17 M MgCl₂ tot een waarde van 0,05 M, door een geplooide, negatief geladen filterkaars gefiltreerd. Na elutie (op het RIVM) van de aan het filter geabsorbeerde virussen met 3%-Tris buffer-beefextract oplossing (pH 9.0) werd gereconcentreerd door middel van ultrafiltratie (druk van 3 bar) door een cellulose-acetaat filter met een NMWL-waarde van 10000. Totaal rendement van filtratie, elutie en ultrafiltratie ligt rond de 50%. De virussen worden gekweekt op Buffalo Green Monkey (BGM) niercellen. De cellijn (passage 43 tot 55) werd aangehouden in plastic flessen en in een weekcyclus gekweekt in Medium 199 met Hank's-zouten gesupplementeerd met 0,05% bicarbonaat, 10% foetaal kalfsserum, 100 IU/ml penicilline en 100 mg/mg streptomycine (Van Olphen *et al.*, 1989).

De virusdetectie is volgens de plaque-overlay methode uitgevoerd (Van Olphen *et al.* 1989). Na een contacttijd van 1 uur met een mix van antibiotica en amphotericine B werd 1,5 ml monster-antibioticummengsel geënt per fles, welke een conflente monolaag van BGMcellen bevatte. Na 2 uur adsorptietijd werd 0,9% bact agar, 0,2% bicarbonaat, 10% foetaal kalfsserum, 100 IU penicilline en 100 mg/ml streptomycine bevattend Medium 199 met Earl' zouten over de monolaag aangebracht. Na 9 dagen kweek werd een tweede laag aangebracht die bestond uit een oplossing van 0,9% agar en 0,03% neutraalrood in fosfaat gebufferde saline (PBS). Na ongeveer 24 uur werden de virusplaques geteld.

analysemethode voor de protozoa

Watermonsters werden ter plekke geconcentreerd met een centrifugaalpomp door een gewonden polypropyleenfilter (nominale poriëgrootte 1 µm). Na gekoeld transport werden de filters opengesneden, in porties verdeeld, gewassen in PBS-Tween 80-SDS-wasoplossing en gehomogeniseerd. Na 3 tot 5 maal herhalen werd het eluaat achtereenvolgens gecentrifugeerd, gewassen, gesonificeerd, gefloeteerd (in Percoll-sucrose flotatiemedium), gecentrifugeerd. Hierna werd het supernatant gefiltreerd door een 1,2 µm filter, gelabeld met monoclonale antilichamen en geïncubeerd bij 37°C (30-45 min.). De concentraten werden verder gezuiverd met een FACSort (Becton Dickenson) en daarna met een epifluorescentiemicroscop (voorzien van een FITC-filter) gescreend bij 250 x vergroting.

Oöcysten waren zichtbaar als ronde en ovaalronde objecten met een doorsnede van 3-7 µm en een heldergroen fluorescerende rand. *Giardia* cysten kenmerkten zich als ronde tot ovaalronde objecten van 8-18 µm lengte en 5-15 µm breedte met een heldergroen fluorescerende rand. De protozoa werden alleen geteld indien ze aan deze voorwaarden voldeden, ook na beoordeling bij 1000 x vergroting, en indien zij geen autofluorescentie bij UV of groene belichting vertoonden.

BIJLAGE II Overzicht van de analyseresultaten van de vlokkingsfiltratie, deelonderzoek 3

		A (10 m/h)			B (10 m/h, Fe)			C (10 m/h, Al)		
		gem.	min/max	n ¹⁾	gem.	min/max	n ¹⁾	gem.	min/max	n ¹⁾
ruwwater										
zwevendestof	mg/l	6,3	5,1/7,4	3	4,7	4,3/5,3	3	3,3	2,2/4,26	3
troebelheid	FTE	1,7	0,7/3,7	9	2,6	1,3/5,8	7	1,7	0,9/6,4	26
P-totaal	mg/l	0,34	0,1/0,83	5	0,49	0,18/0,87	5	0,15	0,05/0,8	12
ammonium	mg N/l	0,88	0,11/1,72	4	0,41	0,07/0,92	3	0,11	0,04/0,39	11
CZV	mg O ₂ /l	34	28/74	6	36	25/42	5	32	16,2/42,2	9
filtraat										
zwevendestof	mg/l	1,5	1,4/1,7	3	2	1,8/2,3	3	1,3	1/1,44	3
troebelheid	FTE	0,6	0,3/1,1	9	1,2	0,9/1,6	6	0,5	0,2/0,9	7
P-totaal	mg/l	0,12	0,06/0,17	4	0,25	0,08/0,6	5	0,05	0,01/0,1	6
ammonium	mg N/l	0,52	0,06/1,13	6	0,53	0,06/1,22	3	0,04	0,03/0,06	6
CZV	mg O ₂ /l	31	26/36	5	31	22/38	5	15	12/17	3
rendement										
zwevendestof	%	74	73/77	3	58	57/60	3	60	55/66	3
troebelheid	%	58	38/80	9	47	31/76	6	74	50/89	3
P-totaal	%	49	29/86	5	46	31/67	5	58	10/99	4
ammonium	%	29	-16/91	4	-14	-33/14	3	45	0/85	6
CZV	%	9	2/24	6	14	9/24	5	34	33/34	2

1) aantal monsters

		D (15 m/h)			E (15 m/h, Fe)			F (15 m/h, Al)		
		gem.	min/max	n ¹⁾	gem.	min/max	n ¹⁾	gem.	min/max	n ¹⁾
rwzi-effluent										
zwevendestof	mg/l	-	-	-	1,8	-	1	3,6	2,4/4,8	2
troebelheid	FTE	3,9	1,3/9,5	7	5,1	1,2/9	2	1,2	0,8/1,5	3
P-totaal	mg/l	0,45	0,15/75	3	0,13	-	1	0,56	-	1
ammonium	mg N/l	1,73	0,44/3,37	3	1,03	-	1	-	-	-
CZV	mg O ₂ /l	41	32/52	4	31	-	1	34	-	1
filtraat										
zwevendestof	mg/l	-	-	-	1,3	-	1	1,5	1,3/1,7	2
troebelheid	FTE	1,7	0,6/4,4	7	1,2	0,7/1,7	2	0,5	0,4/0,7	3
P-totaal	mg/l	0,41	0,12/0,7	3	0,05	-	1	0,17	-	1
ammonium	mg N/l	1,56	0,25/3,36	3	6,36	-	1	-	-	-
CZV	mg /l	35	30/40	4	-	-	-	30	-	1
rendement										
zwevendestof	%	-	-	-	30	-	1	55	46/65	2
troebelheid	%	56	36/82	7	60	40/80	2	54	46/67	3
P-totaal	%	13	7/20	3	62	-	1	70	-	1
ammonium	%	21	0/43	3	65	-	1	-	-	-
CZV	%	13	6/23	4	-	-	-	13	-	1

1) aantal monsters

BIJLAGE III

Plattegrond Ede
schaal 1:25 000

nieuwbouwwijk Kernhem

zuiveringsinstallatie Ede



