

WELKOM ! IPMV Webinar Reeks

Deel 4: Adsorptie, Oxidatie, Filtratie en Bemonstering

14.00 Introductie

14.10 Pilot AdOx

14.40 Pilot MicroForce

15.10 Pilot Nano + UV/H₂O₂

15.40 Robuuste bemonstering voor
bepaling verwijderingsrendementen micro's

16.10 Discussie

16.30 Afronding

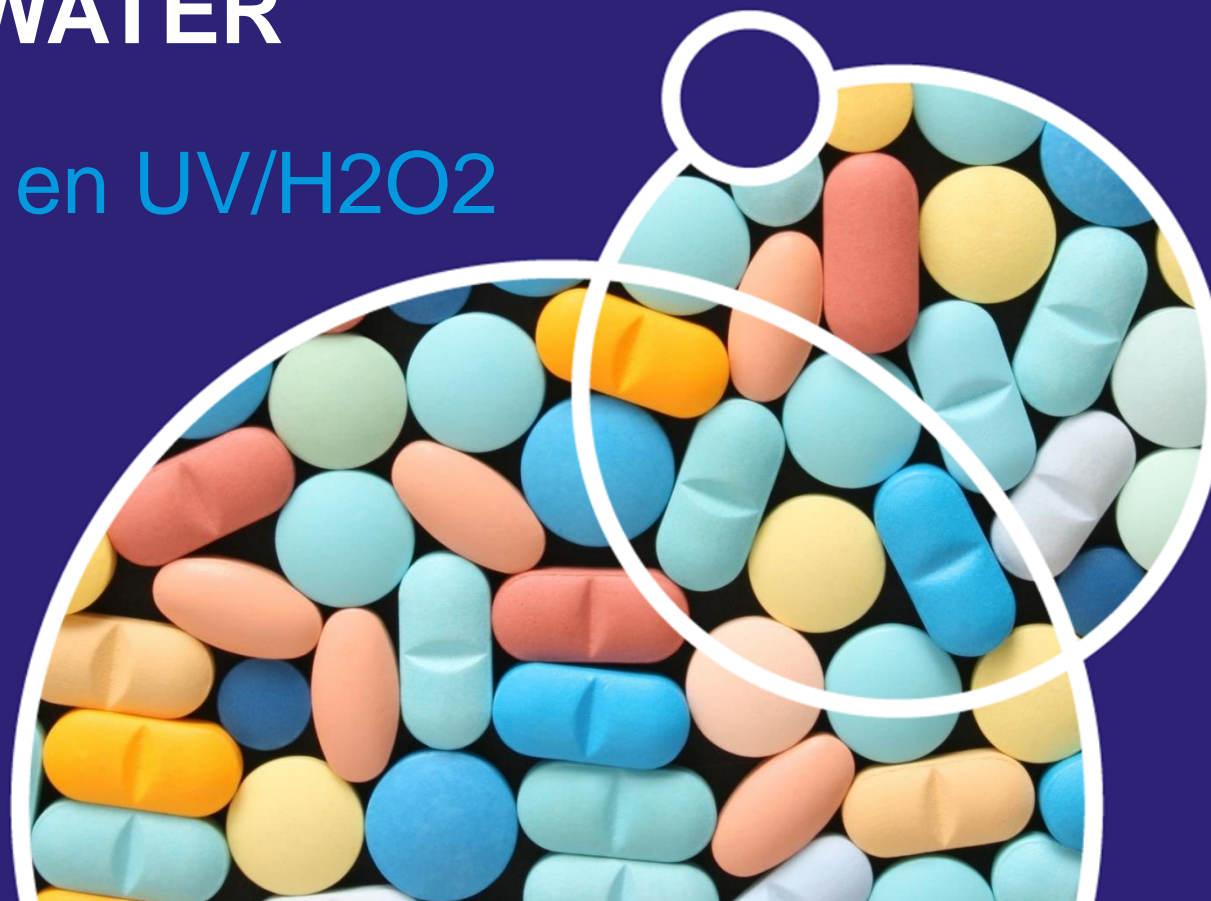


INNOVATIEPROGRAMMA MICROVERONTREINIGINGEN UIT RWZI-AFVALWATER

Directe Nanofiltratie en UV/H₂O₂

Pilot rwzi Asten

Karin Bertens Zorzano
Waterschap Aa en Maas



Aanleiding pilot

- Lange periodes van droogte;
- Waterbronnen staan steeds meer onder druk;
- Droogteschade aan landbouw en natuur;
- Ambities t.a.v. het **verwaarden** van ons effluent;
- Haalbaarheidsstudie **STOWA 2020-22**;
- Verkennend onderzoek waterschap Aa en Maas (2021)
→ Combinatie **capillaire Nanofiltratie en UV behandeling.**



Project partners



De pilotinstallatie



Eigenschappen pilot

Eigenschappen membraan installatie

- Voorfilter 200 μm
- Membraanflux 20-30 $\text{l/m}^2/\text{h}$
- Crossflowsnelheid 0,5 m/s
- Recovery 80%

Eigenschappen UV/H₂O₂ (AOP)

UV

- Aantal lampen 1
- Vermogen 120-205 W
- Inhoud reactor 5,9 L
- Doseerrange 3.000-15.000 J/m^2

H₂O₂

- Doseerconcentratie 5 – 50 mg/l

Capaciteit pilot $\approx 1 \text{ m}^3/\text{h}$

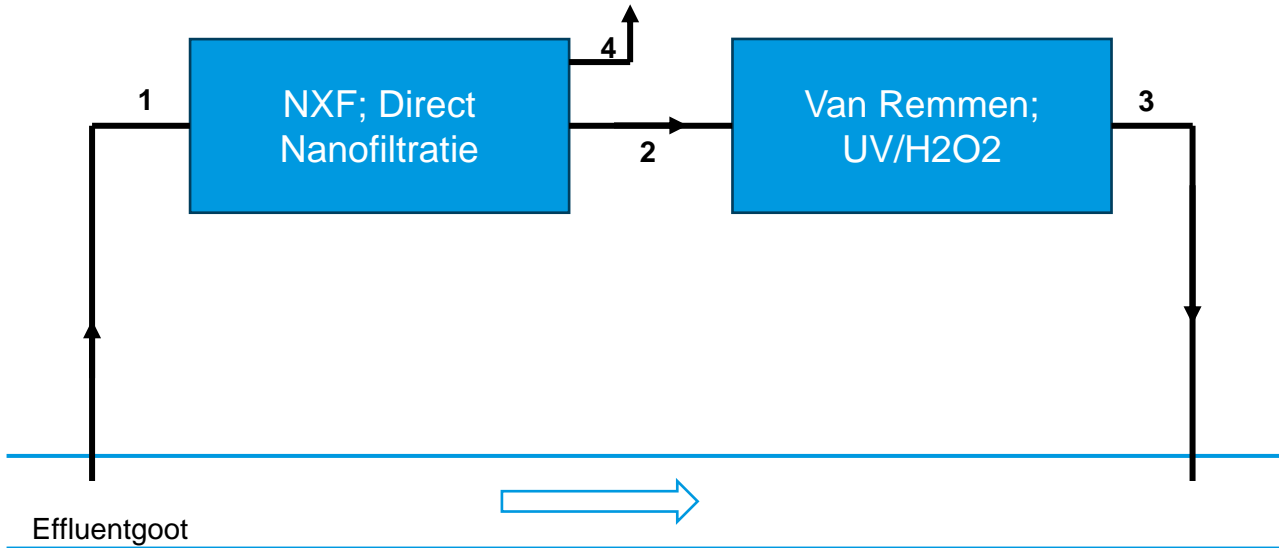
Doelen van de pilot

- Bepalen van het verwijderingsrendement is t.a.v. de gidsstoffen:
 - Verwijderingsrendement membraan
 - Verwijderingsrendement UV/H₂O₂
 - Verwijderingsrendement membraan + UV/H₂O₂
- Welke waterkwaliteit geproduceerd kan worden met de gekozen technologieën en tegen welke prijs.

De onderzoeksvragen

1. Wat is het verwijderingsrendement gidsstoffen over de pilot en over beide technologieën afzonderlijk?
2. Wat is het biologisch effect van het geproduceerde water (ecotoxiciteit)?
3. Wat is de CO₂-voetafdruk?
4. Wat zijn de operationele kosten van een full-scale installatie?
5. Wat is de kostprijs van 1 m³ water?
6. Wat zijn hergebruikmogelijkheden?
7. Wat is het verwijderingsrendement PFAS en antibiotica resistentie?

Opstelling en configuraties



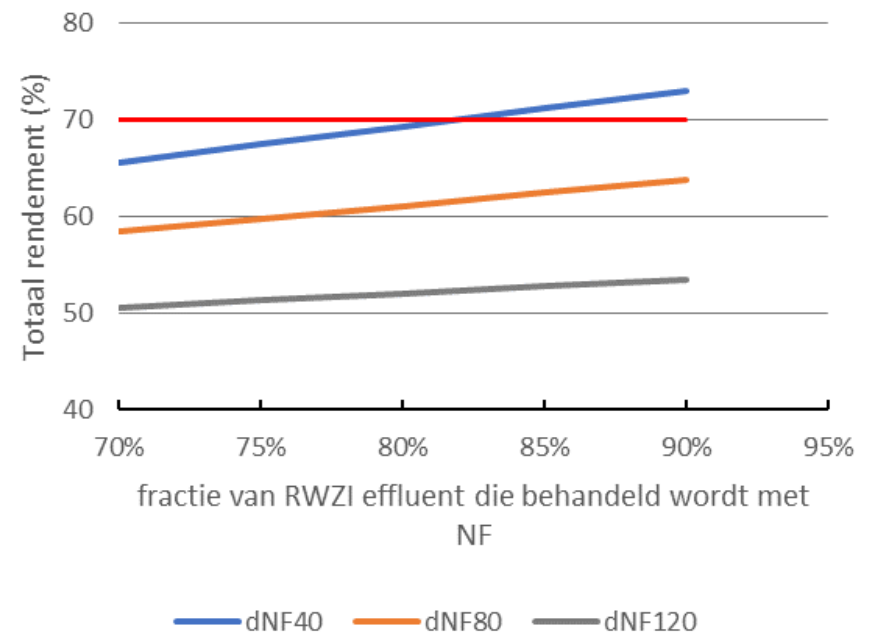
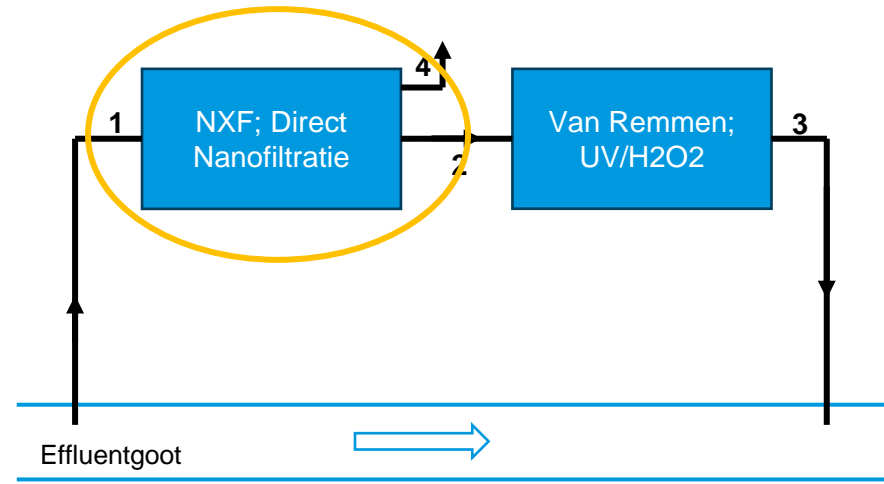
Stromen

1. Effluent rwzi / influent pilot
2. Permeaat / influent UV/H2O2
3. Effluent pilot
4. Concentraat

	Membraan	UV-dosering (J/m ²)	H ₂ O ₂ -dosering (mg/l)
1	dNF40 (400 dalton)	8.000	10
2	dNF80 (800 dalton)	3.000	10, 15
3	dNF80 (800 dalton)	6.000	10, 15
4	dNF80 (800 dalton)	12.000	10, 15
5	dNF120 (1.200 dalton)	4.000	15, 20
6	dNF120 (1.200 dalton)	12.000	15, 20

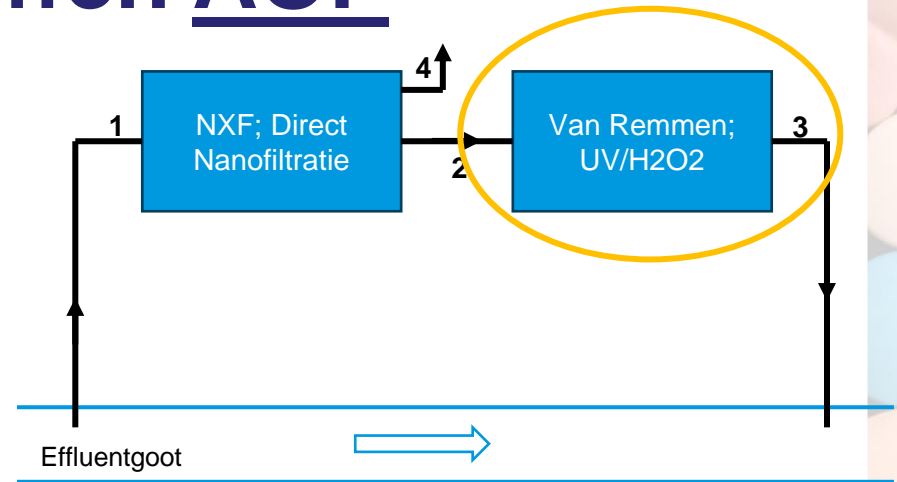
Verwijderingsrendement gidsstoffen Nanofiltratie

Gidsstof	dNF40	dNF80	dNF120
som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazol	-41%	-2%	-44%
1,2,3-benzotriazool	11%	-52%	0%
carbamazepine	35%	6%	-4%
diclofenac	89%	62%	27%
gabapentine	74%	41%	25%
hydrochloorthiazide	21%	7%	17%
Irbesartan	95%	96%	61%
Metoprolol	35%	10%	19%
Sotalol	18%	3%	6%
Trimethoprim	-120%	40%	0%
Venlafaxine	81%	50%	20%
Beste 7 uit 11	61%	44%	25%
Gemiddelde van 11 gidsstoffen	27%	24%	12%



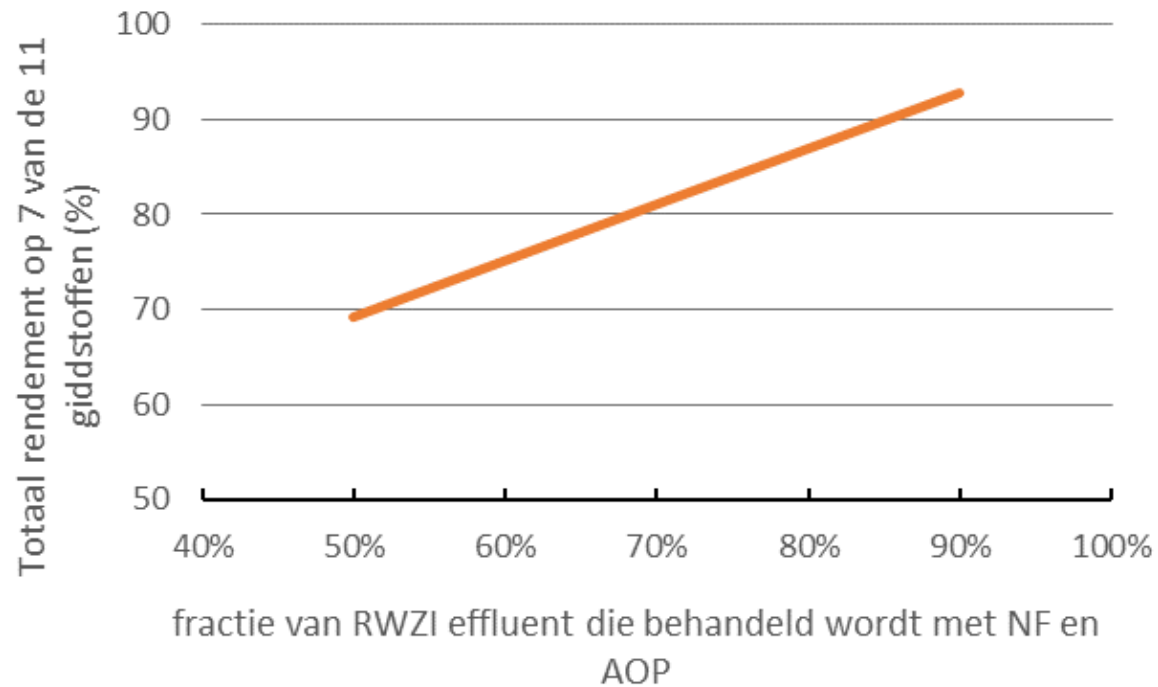
Verwijderingsrendement gidsstoffen AOP

Gidsstof	Membraan	dNF40	dNF80	dNF80	dNF80	dNF120	dNF120
	UV-dosis (J/m ²) H ₂ O ₂ -dosis (mg/l)	8.000 10	3.000 10	6.000 15	12.000 15	4.000 15	12.000 20
som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazol		22%	59%	97%	97%	64%	97%
1,2,3-benzotriazool		48%	66%	98%	99%	61%	98%
Carbamazepine		56%	66%	98%	98%	67%	97%
Diclofenac		93%	95%	92%	94%	90%	92%
Gabapentine		58%	44%	91%	92%	45%	93%
Hydrochloorthiazide		49%	63%	94%	95%	51%	91%
Irbesartan		97%	97%	-	-	56%	83%
Metoprolol		64%	70%	97%	99%	65%	98%
Sotalol		73%	76%	97%	98%	58%	97%
Trimethoprim		-40%	43%	93%	90%	60%	90%
Venlafaxine		88%	88%	80%	75%	63%	71%
Beste 7 uit 11 gidsstoffen		76%	80%	96%	97%	67%	96%
Gemiddelde van 11 gidsstoffen		55%	70%	85%	85%	62%	92%



- Permeaat NF/Influent AOP gespiked in-line (hoge transmissie)
- Hoog verwijderingsrendement met de meeste configuraties

Resultaten gidsstoffen pilot

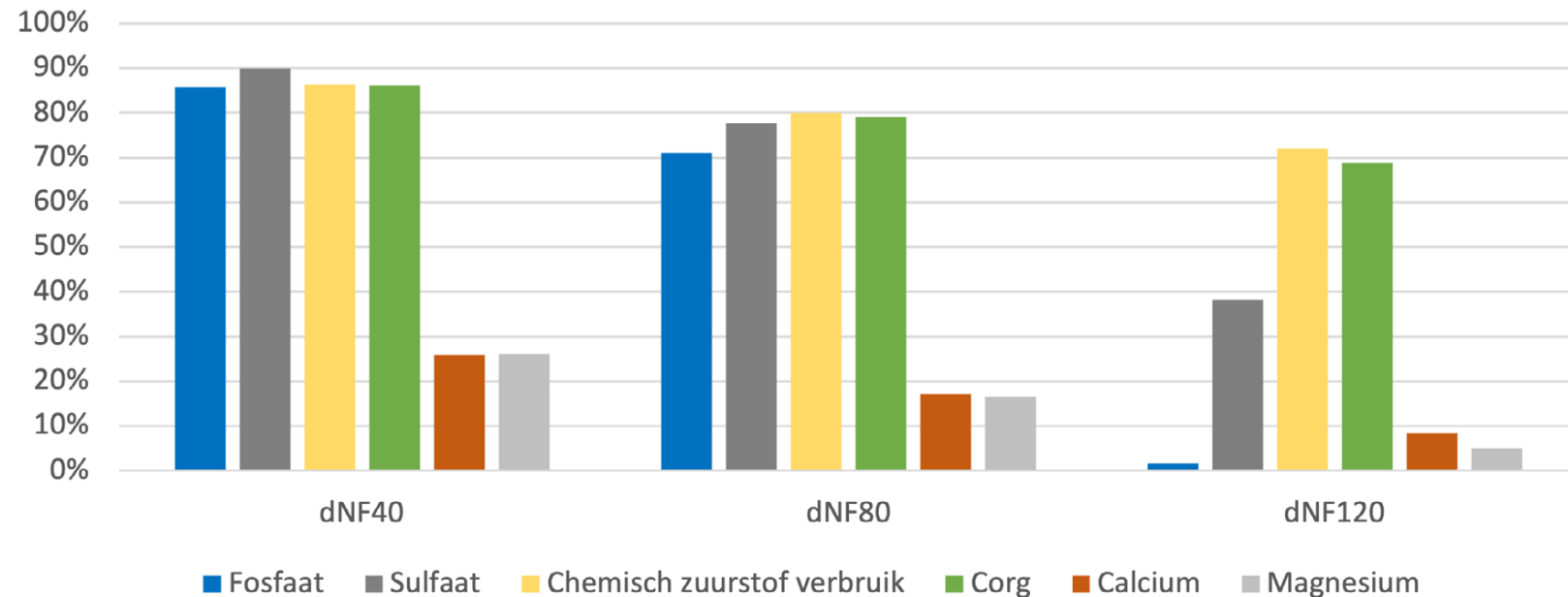


— dNF80/6000

- Gekozen configuratie
→ dNF80 + AOP 6.000
- Rwzi + nabehandeling:
 - 88% verwijderingsrendement gidsstoffen bij 82% effluentbehandeling (Webtool STOWA 2020-06)

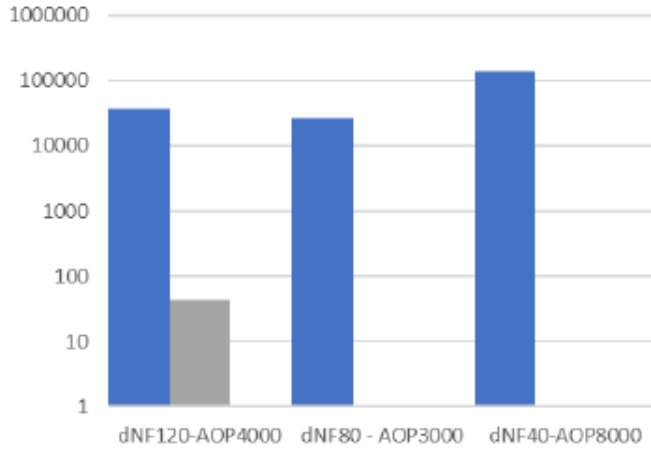
Verwijderingsrendementen overige parameters

- Goede verwijdering van grote(re) organische moleculen.
- Zouten en eenwaardige ionen worden niet verwijderd.
- Geen kleur, $C_{org} \leq 2\text{mg/l}$

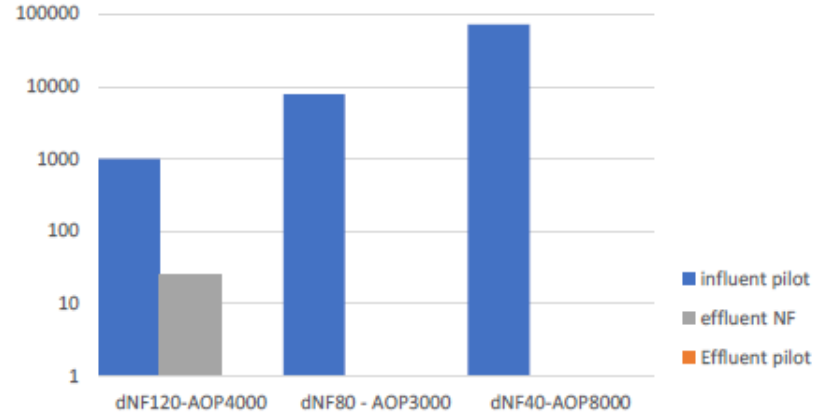


Verwijdering pathogenen

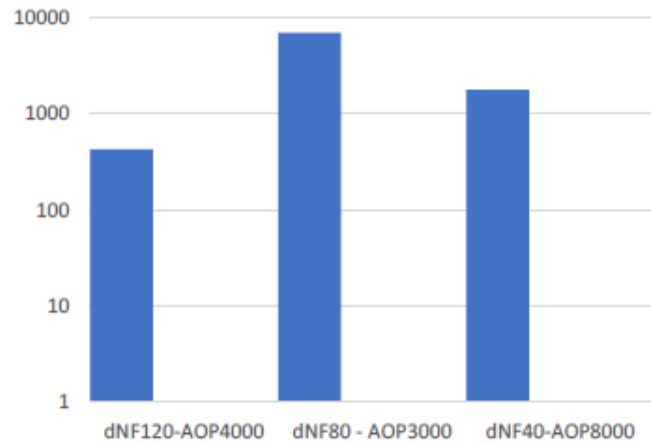
Coli (kve/100 ml)



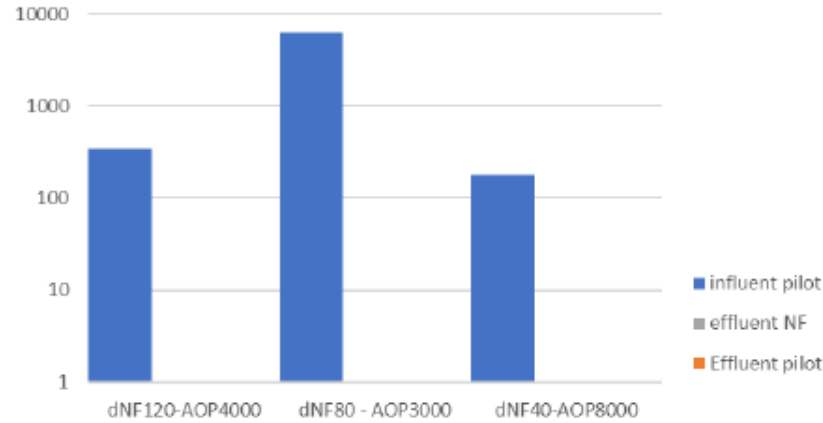
E.-Coli (kve/100 ml)



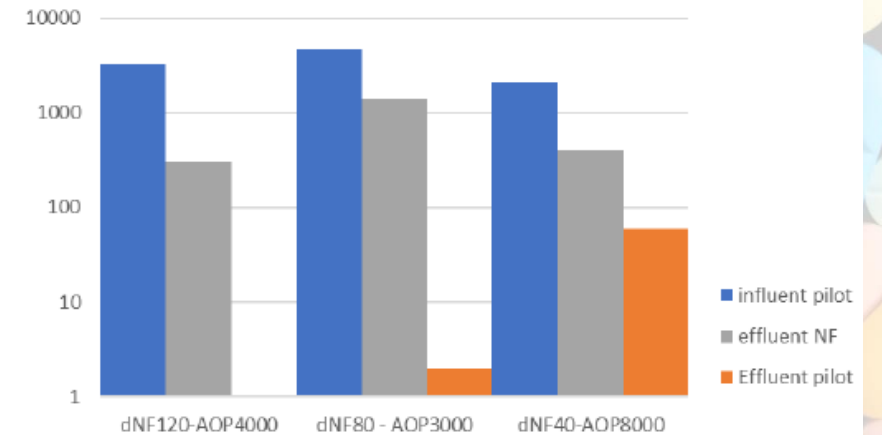
Enterokokken (kve/100 ml)



intestinale enterokokken (kve/100 ml)



Koloniegetal (kve/ml)



Ecotoxiciteit

Oppervlaktewater		0-2,5 emPAF	>2,5 emPAF	>5 emPAF	>10 emPAF	>20 emPAF
ER CALUX	ng EEQ/L	0	0,13	0,52	3,2	32
PAH CALUX	ng BaPEQ/L	0	20	41	160	565
Oppervlaktewater		0-0,2 ESW	>0,2 ESW	ESW klassen	>5 ESW	>10 ESW
Nrf2 CALUX	µg CEQ/L	0	2	10	50	100
PXR CALUX	µg NEQ/L	0	0,6	3	15	30
PPARγ CALUX	ng RosEQ/L	0	2	10	50	100
Anti-AR CALUX	µg FEQ/L	0	5	25	125	250
Microtox*	TU	0	0,01	0,05	0,25	0,5
Cytotox	TU	0	0,01	0,05	0,25	0,5
Algen	TU	0	0,01	0,05	0,25	0,5
Daphnia	TU	0	0,01	0,05	0,25	0,5

dNF40 - AOP 8000	Influent pilot (effluent rwzi)	Effluent NF	Effluent AOP	Eenheid
ERa CALUX	0,94	0,11	0,053	ng 17b Estradiol eq./l
GR CALUX	42	LOQ (<1.5)	LOQ (<1.4)	ng Dexamethasone eq./l
PAH CALUX	190	25	14	ng Benzo[a]pyrene eq./l
PXR CALUX	58	4,7	0,71	ug Nicardipine eq./l
Daphnia immobiliteitstest	0,016658007	<0.0135	<0.0125	TU/ml
Bacterie luminicentieremmingstest	0,033316014	<0.0135	<0.0125	TU/ml

dNF80 - AOP 3000	Influent pilot (effluent rwzi)	Effluent NF	Effluent AOP	Eenheid
ERa CALUX	1,4	0,45	0,26	ng 17b Estradiol eq./l
GR CALUX	30	1,1	LOQ (<0.72)	ng Dexamethasone eq./l
PAH CALUX	170	32	21	ng Benzo[a]pyrene eq./l
PXR CALUX	29	8,9	2	ug Nicardipine eq./l
Daphnia immobiliteitstest	<0.015	<0.015	<0.015	TU/ml
Bacterie luminicentieremmingstest	<0.015	0,01955072	0,019586241	TU/ml

dNF120 - AOP 4000	Influent pilot (effluent rwzi)	Effluent NF	Effluent AOP	Eenheid
ERa CALUX	1,5	2,8	1,2	ng 17b Estradiol eq./l
GR CALUX	23	16	LOQ (<1.4)	ng Dexamethasone eq./l
PAH CALUX	74	65	7,5	ng Benzo[a]pyrene eq./l
PXR CALUX	33	20	8,5	ug Nicardipine eq./l
Daphnia immobiliteitstest	0,02	<0,015	<0,015	TU/ml
Bacterie luminicentieremmingstest	0,039	0,02	<0,015	TU/ml

Kosten full-scale (OPEX) en kostprijs water

Operationele kosten	
Kapitaalslasten	1.898
Energie	209
Chemicaliën (inclusief eventuele besparingen)	13
Personeel	50
Reservering membranen	94
Onderhoud	283
Jaarlijkse kosten incl. BTW	2.547
Debiet behandeld	5.365.500
eur/m ³	0,47

Onderdeel	Energieverbruik/m³
NF + voorbehandeling	0,31
UV/Peroxide	0,04-0,07*

Vergelijking met referentietechnologieën

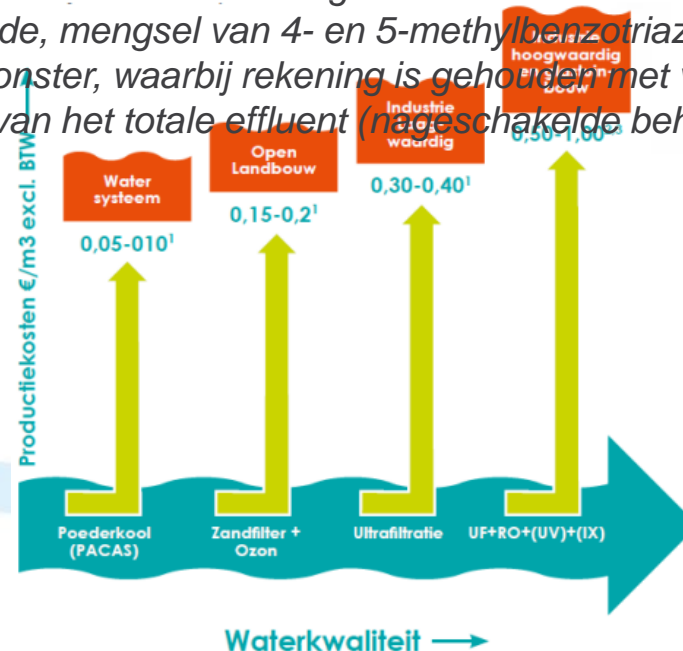
Vergelijking alleen t.o.v. verwijdering gidsstoffen

	Eenheid	PACAS	Ozon + ZF	GAK	NF+AOP
CO ₂ footprint	gCO ₂ /m ³	122	128	325	244
Kosten	€/m ³	0,05	0,17	0,26	0,47
Rendement gidsstoffen	%	70-75%	80-85%	80-85%	88%

¹ Per m³ behandeld rioolwater

² Verwijderingsrendement methode voor minimaal 7 van de 11 gidsstoffen: benzotriazool, carbamazepine, diclofenac, irbesartan, gabapentine, metropolol, hydrochloorthiazide, mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool, sotalol, trimethoprim en venlafaxine in elk 24h of 48h debiets- of tijdsproportioneel monster, waarbij rekening is gehouden met verblijftijd van het water in de rioolwaterzuivering. Hierbij is het rendement bepaald op basis van het totale effluent (nageschakelde behandeling inclusief bypass) ten opzichte van het influent van de rwzi

Vergelijking vanuit hergebruik toepassingen



Verwijdering PFAS en antibiotica resistentie

PFAS:

- Nanofiltratie houdt PFAS (deels) tegen;
- Grootste afname bij kleinste membraan, ca. 90%;
- Soms lichte stijging na UV/H₂O₂; altijd lager dan influent.

Antibiotica resistentie (bacteriën):

- Verwijdering door alle membranen;
- Effect UV/H₂O₂ niet meetbaar.

Antibiotica resistentie (genen):

- Toename genen na nanofiltratie;
- Goede verwijdering genen na UV/H₂O₂.

Hergebruiksmogelijkheden

EU Richtlijn Hergebruik effluent

- E.coli, BZV, TSS, troebelheid



Richtlijn KWR (Kennisdocument Hergebruik van restwater voor de landbouwatervoorziening)

- Toepassing open landbouw
- Glastuinbouw als pre-fabricaat of voor zouttolerante gewassen;



Risico's en onzekerheden

Getackelde risico's

- Microbiologische betrouwbaarheid water
- Stabiliteit membraan (stabiel bij DWA. Bij RWA voorbehandeling upgraden)
- Ecotoxiciteit geproduceerd water

Onzekerheden

- Afzetmarkt
- Energiemarkt
- Wat te doen met het concentraat? Biologie of afvoeren?

Conclusies 1/2

1. Bepaling verwijderingsrendement gidsstoffen over de pilot en over beide technologieën afzonderlijk;

- Alleen de membranen halen 70% verwijderingsrendement niet;
- Rwzi + dNF40 wel 70% verwijderingsrendement (theoretisch);
- UV/H₂O₂ haalt >70% verwijderingsrendement
- Nanofiltratie + UV/H₂O₂ verwijderingsrendement >70%.

2. Bepaling biologische effecten geproduceerd water (ecotoxiciteit);

- In alle gevallen is er een verbetering waargenomen.

3. Bepaling CO₂-voetafdruk;

- CO₂ voetafdruk 244 gCO₂/m³. Hoger dan PACAS en Ozon+ZF; lager dan GAK. Toepassing 'product' is echter anders.

Conclusies 2/2

4. Doorvertaling naar full-scale (OPEX);

- Voor een rwzi van 100.000 i.e. ca. € 2.550.000/jaar

5. Inschatting kostprijs water

- Voor een rwzi van 100.000 i.e. 0,47 €/m³

6. Inzicht krijgen in hergebruikmogelijkheden

- Doorlevering aan industrie
- (Glas)tuinbouw afhankelijk van gewas/teelt (zouttolerantie) of als pre-fabricaat

7. Bepaling verwijderingsrendement PFAS en antibiotica resistentie.

- Verwijdering PFAS tussen 25 - 90%
- ABR → bacteriën worden goed verwijderd door membranen; genen beter door UV/H₂O₂.



Bedankt voor je aandacht

**Karin Bertens Zorzano
Waterschap Aa en Maas**



kbertenszorzano@aaenmaas.nl

stowa

InnovatieProgramma MicroVerontreinigingen uit Afvalwater (IPMV)



**Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat**