

# Evaluatie IPMV



18 september 2024

Patricia Clevering-Loeffen, Joost van den Bulk, Mirit Hoek en Nazanin Moradi

# Aanleiding en aanpak

- InnovatieProgramma MicroVerontreinigingen uit rwzi-afvalwater
- 2019 – 2023
- 22 haalbaarheidsstudies en 15 pilotprojecten
- Actualiseren kosten en CO<sub>2</sub>-kengetallen (2018 → 2024)
- Updaten referenties (en naar 80%)
- Betrekken projectuitvoerders – factsheets
- Vergelijken technieken
- Doorkijk nieuwe EU richtlijn
- Resultaten zijn indicatief
- Maatwerk & locatie specifiek
- Doorontwikkeling van technieken

## Referentie technieken 2018

Onderwerp	Eenheid	PACAS	Ozon	Ozon + ZF	GAK****
<b>CO<sub>2</sub>-voetafdruk</b>					
CO <sub>2</sub> -voetafdruk verwijdering micro's	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> behandeld	122	98	128	325
CO <sub>2</sub> -voetafdruk verwijdering micro's	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> rwzi-influent*	122	69	90	228
<b>Kosten</b>					
Jaarlijkse kosten	€/m <sup>3</sup> behandeld	0,06	0,13	0,17	0,26
Jaarlijkse kosten	€/m <sup>3</sup> rwzi-influent*	0,06	0,09	0,12	0,18
<b>Verwijderingsrendement gidsstoffen Min I&amp;W**</b>					
Rendement technologie	%	70-75	80-90	80-90	80-90
Rendement inclusief rwzi ***	%	70-75	80-85	80-85	80-85

## Referentie technieken 2024 - UPDATE

Onderwerp	Eenheid	PACAS	Ozon	GAK <sup>4</sup>
<b>CO<sub>2</sub>-voetafdruk</b>				
CO <sub>2</sub> -voetafdruk verwijdering micro's	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> behandeld <sup>1</sup>	184	109	361
CO <sub>2</sub> -voetafdruk verwijdering micro's	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> rwzi-influent	184	77	253
<b>Kosten<sup>5</sup></b>				
Jaarlijkse kosten	€/m <sup>3</sup> behandeld <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,31
Jaarlijkse kosten	€/m <sup>3</sup> rwzi-influent	0,10	0,07	0,22
<b>Verwijderingsrendement gidsstoffen Min IenW<sup>2</sup></b>				
Rendement technologie	%	80-85	80-90	80-90
Rendement inclusief rwzi <sup>3</sup>	%	80-85	80-85	80-85

# Beschouwde technieken

Combinatietechnieken vallen binnen meerdere categorieën

- Poeder actief kool (PAK)
  1. Poeder Actief Kool in combinatie met doekfiltratie (PAK+doek) (RWZI Vinkel)
  2. PACAS Nereda (Simpelveld)
- Granulair actief kool (GAK)
  3. Biological Oxygen-Dosed Active Carbon (BODAC ) (RWZI Emmen)
  4. Continu Bio-GAK + lucht (BioGAK+lucht) (RWZI Emmen)
  5. O3-STEP (RWZI Horstermeer)
  6. Continu Upflow microGAK (UpflowGAK) (RWZI Hapert)
- Oxidatieve technieken
  7. ZF+UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (RWZI Aarle Rixtel)
  8. O<sub>3</sub>+Ultrasound USONiQ (RWZI Winterswijk)
  9. PAC O<sub>3</sub> (PAK+O<sub>3</sub>) (RWZI Leiden)
  10. O<sub>3</sub> biofilm (Microforce) (RWZI Walcheren)
  11. Biologische voorbehandeling met O<sub>3</sub> (Aurea (BO<sub>3</sub>)) (RWZI Horstermeer)
- Alternatieve adsorptiemiddelen
  12. Cyclodextrines, Dextorb, DEXfilter (DEXfilter) (RWZI Lelystad)
  13. AdOx, zeoliet met filtratie (AdOx) (Leiden-Noord)
- Filtratie
  14. Nanofiltratie met geavanceerde oxidatie (NF+UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (RWZI Asten)
  15. Waterfabriek Ge(0) zond: ozon met keramische microfiltratie (O<sub>3</sub>+keramische MF) (RWZI Wervershoof)



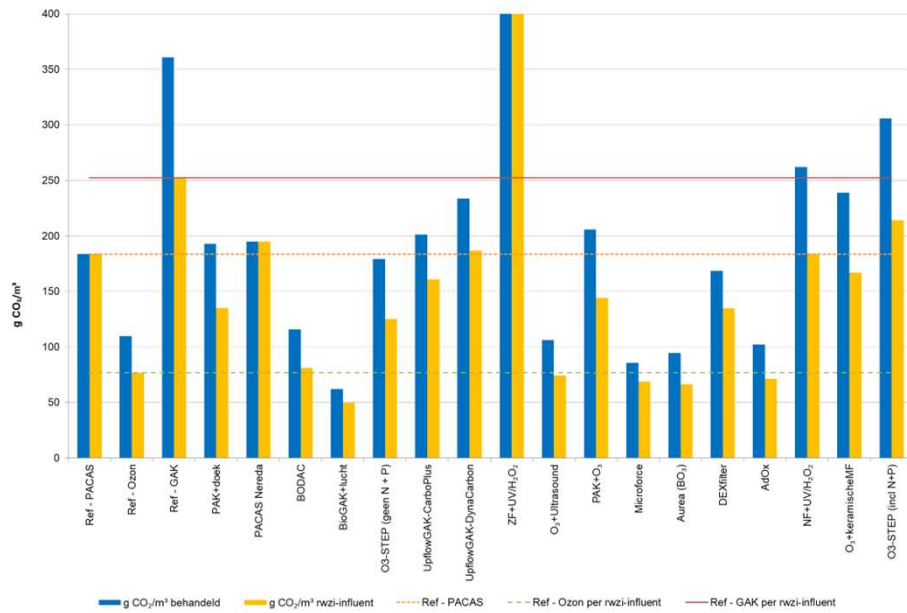
# Verwijderingsrendementen – 80% jaarrendement haalbaar

- 80% jaarrendement in theorie haalbaar (7/11, influent-totaal effluent)
- Breder palet bij combinatietechnieken?
  - Soms wel, soms niet
- EU gidsstoffen:
  - Andere stoffen
  - 2 categorieën
  - 80% in (bijna) elk monster

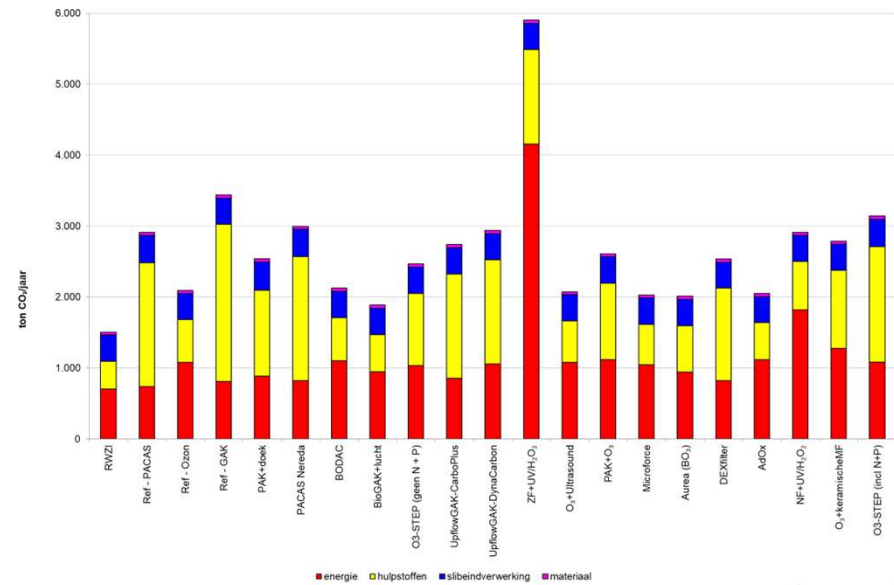
Werkingsprincipe en technologie	Totaal jaarrendement	Totaal jaarrendement
Gidsstoffen	Nederland 7/11	EU
<b>Adsorptie aan Poeder Actiefkool (PAK)</b>		
Referentie PACAS	80-85	75-85
PAK+doek	ca. 80	75-80
PACAS Nereda	80-85 (84)	75-85
PAK+O <sub>3</sub>	ca. 85	ca. 80
<b>Adsorptie aan Granulair Actiefkool (GAK)</b>		
Referentie GAK	80-85	75-85
O3-STEP (zonder N en P-verwijdering)	ca. 80	ca. 80
upflow GAK	80-85	75-85
BODAC	ca. 80	70-80
Bio-GAK + lucht	ca. 80	75-80
Aurea (BO <sub>2</sub> )	ca. 85	75-80
<b>Adsorptie aan overige niet-fossiele materialen</b>		
DEXfilter	80-85	75-85
AdOx	ca. 75 <sup>5</sup>	70-75
<b>Oxidatieve technieken en filtratie technieken</b>		
Referentie Ozon	80-85	75-85
ZF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	75-80	ca. 75
O <sub>3</sub> +Ultrasound	85-90	80-85
O3-STEP (zonder N en P-verwijdering)	ca. 80	ca. 80
PAK+O <sub>3</sub>	ca. 85	ca. 80
Microforce	ca. 80	75-80
Aurea (BO <sub>2</sub> )	ca. 85	75-80
NF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	85-90	ca. 85
O <sub>3</sub> + keramischeMF	ca. 80	75-85

# CO<sub>2</sub>-voetafdruk

- Relatieve CO<sub>2</sub>-voetafdruk



- Totale CO<sub>2</sub>-voetafdruk (hele zuivering)

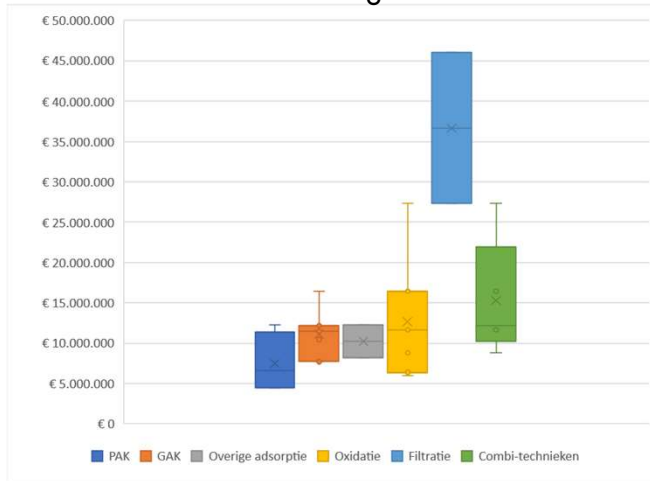


# CO<sub>2</sub>-voetafdruk – gevoeligheidsanalyse

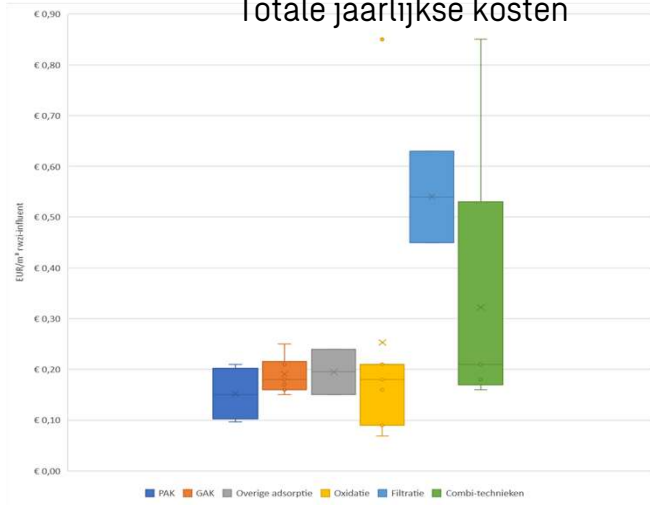
Relatieve CO <sub>2</sub> -voetafdruk	Basis CO <sub>2</sub> -voetafdruk
<50 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>rwzi-influent</sub>	
<85 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>rwzi-influent</sub>	Referentie Ozon BODAC Bio-GAK + lucht Aurea (BO <sub>3</sub> ) AdOx O <sub>3</sub> +Ultrasound Microforce
85-120 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>rwzi-influent</sub>	
120-160 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>rwzi-influent</sub>	PAK+doek PAK+O <sub>3</sub> O3-STEP (zonder N en P- verwijdering) DEXfilter
160-200 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>rwzi-influent</sub>	Referentie PACAS PACAS Nereda Upflow GAK NF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +keramischeMF
>200 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>rwzi-influent</sub>	Referentie GAK ZF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> O3-STEP (met N en P-verwijdering)

# Kosten

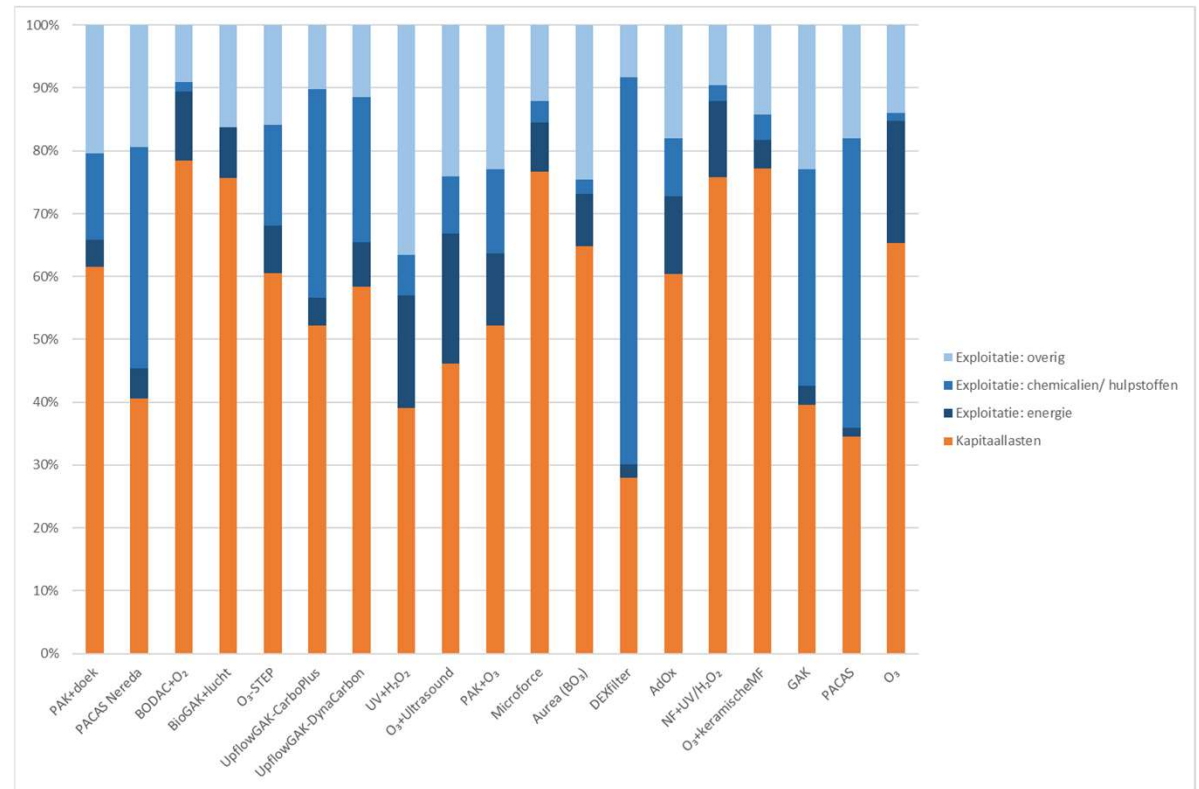
## Stichtingskosten



## Totale jaarlijkse kosten



Jaarlijkse kosten verdeeld in kapitaallasten en exploitatiekosten.  
Verdeling is percentueel per techniek en zegt niets over de absolute kosten.



# Bijvangst en raakvlak KRW

(mogelijke) verwijdering nutriënten

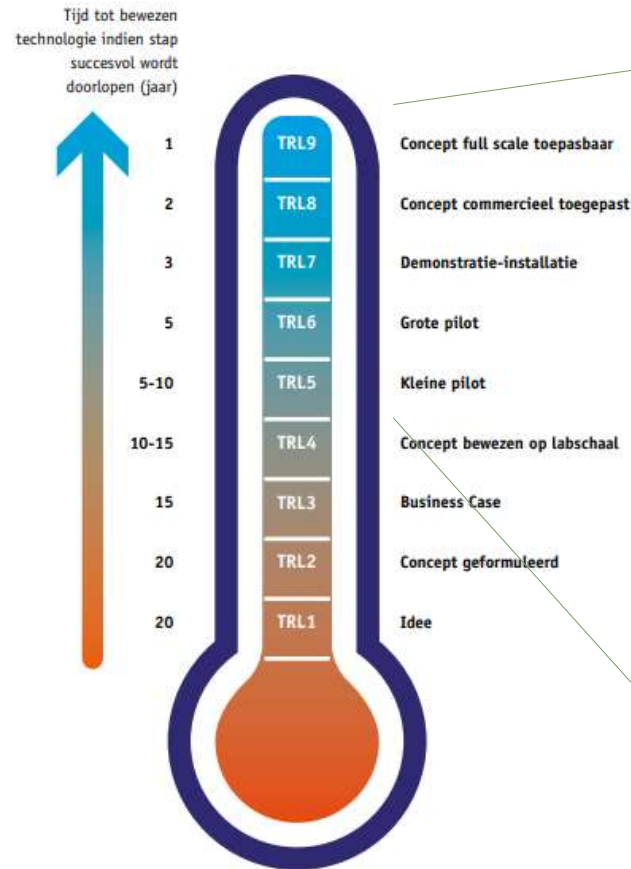
- Verbetering ecotoxiciteit >50%
- (Mogelijke) verwijdering van nutriënten (KRW)
- Minimalisatie bromaatvorming
- Verwijdering antibiotica resistentie (STOWA 2024-30)
- Verwijdering PFAS (STOWA 2024-29)
- Verwijdering microplastics
- (Hoogwaardig) hergebruik effluent

Werkingsprincipe en technologie	Ammonium	Nitraat	Fosfaat	Opmerkingen
<b>Adsorptie aan Poeder Actiefkool (PAK)</b>				
PAK +Doek	-	-	x (-)	() bij FeCl <sub>3</sub> dosering
PACAS Nereda	-	-	-	
PAK+O <sub>3</sub>	-	-	-	
<b>Adsorptie aan Granulair Actiefkool (GAK)</b>				
O <sub>3</sub> -STEP	-	- (x)	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> en methanol dosering
Continue upflow GAK	-	-	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> dosering
BODAC	x	-	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> dosering
Continue Bio-GAK + lucht	x	-	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> dosering
Aurea (BO <sub>3</sub> )	x	-	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> dosering
<b>Adsorptie aan overige niet-fossiele materialen</b>				
DEXfilter	- (x)	- (x)	- (x)	() onderzoek nodig
AdOx	- (x)	-	-	() andere zeolietamenstelling
<b>Oxidatieve technieken en filtratie technieken</b>				
ZF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	- (x)	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> en methanol op ZF
O <sub>3</sub> + Ultrasound	-	-	-	
O <sub>3</sub> -STEP	-	- (x)	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> en methanol dosering
PAK-O <sub>3</sub>	-	-	-	
Microforce	x	-	-	
Aurea (BO <sub>3</sub> )	x	-	- (x)	() bij FeCl <sub>3</sub> dosering
NF en UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	-	-	
O <sub>3</sub> + keramischeMF	-	-	-	



# Technology Readiness Level (TRL)

- Gestegen in TRL
- Echt wat te kiezen!



TRL	technieken
9	Referentie PACAS Referentie ozon Referentie GAK
8	PACAS Nereda O <sub>3</sub> -STEP Continue upflow GAK
7-8	PAK + O <sub>3</sub>
7	PAK+doek
6-7	BODAC bioGAK+lucht
6	Aurea (BO <sub>3</sub> ) Microforce O <sub>3</sub> +keramische MF
5-6	ZF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
5	O <sub>3</sub> +ultrasound DEXfilter AdOx NF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>

# Samenvatting

Techniek	Overall rendement 7/11 (%)	CO <sub>2</sub> -voetafdruk (gCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> <sub>influent</sub> ) <sup>rwzi-</sup>	Kosten (EUR/m <sup>3</sup> <sub>influent</sub> ) <sup>rwzi-</sup>	Bijvangst	TRL
Referentie PACAS	80-85	184	0,08 - 0,12		9
Referentie GAK	80-85	253	0,18 - 0,26		9
Referentie Ozon	80-85	77	0,08 - 0,12		9
PAK+doek	ca. 80	135	0,17 - 0,25	P-verwijdering mogelijk	7
PACAS Nereda	80-85 (84)	195	0,10 - 0,14		8
BODAC	ca. 80	81	0,14 - 0,22	NH <sub>4</sub> verwijdering, P-verwijdering mogelijk	6-7
Bio-GAK	ca. 80	50	0,12 - 0,18	NH <sub>4</sub> verwijdering, P-verwijdering mogelijk	6-7
O3-STEP (zonder N+P verwijdering)	ca. 80	125	0,17 - 0,25	NO <sub>3</sub> en P-verwijdering mogelijk	8
UpflowGAK-Carboplus	80-85	161	0,14 - 0,20	P-verwijdering mogelijk	8
UpflowGAK-Dynacarbon	80-85	187	0,20 - 0,30	P-verwijdering mogelijk	8
ZF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	75-80	574	0,68 - 1,02	NO <sub>3</sub> en P-verwijdering mogelijk	5-6
O <sub>3</sub> +ultrasound	85-90	74	0,08 - 0,12		5
PAK+O <sub>3</sub>	ca. 85	144	0,14 - 0,22		7-8
Microforce	> 80	69	0,17 - 0,25	NH <sub>4</sub> verwijdering	6
Aurea (BO <sub>3</sub> )	ca. 85	66	0,13 - 0,19	NH <sub>4</sub> verwijdering, P-verwijdering mogelijk	6
DEXfilter	80-85	135	0,19 - 0,29	Mogelijk NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> en P-verwijdering -> onderzoek	5
AdOx	ca. 75 <sup>1</sup>	71	0,12 - 0,18	NH <sub>4</sub> verwijdering ander zeoliet labschaal	5
NF+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	85-90	183	0,36 - 0,54	Hoogwaardig hergebruik effluent mogelijk , P-verwijdering	5
O <sub>3</sub> +keramischeMF	ca. 80	167	0,50 - 0,76	Hoogwaardig hergebruik effluent mogelijk	6

# Conclusies

- Binnen het IPMV zijn **in korte tijd een groot aantal technieken ontwikkeld** en dichterbij technologische volwassenheid gekomen.
- Referentietechnieken ozon en PACAS blijven vanuit kosten oogpunt interessant.
- Nieuwe technieken bieden op CO<sub>2</sub>-voetafdruk, verwijderingsrendement, kosten en de verwijdering van nutriënten voordelen.
- DEXfilter, AdOx, NF+UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>+ultrasound en ZF+UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en de membraantechnieken behoeven nader onderzoek.
- Rendement van 80% op 7 van de 11 gidsstoffen over de gehele rwzi kan in theorie gehaald worden met alle geteste technieken.
- Combinatietechnieken hebben voordelen qua flexibiliteit en CO<sub>2</sub>-voetafdruk. Anderzijds wel duurder.
- Ozon is qua kosten en CO<sub>2</sub>-voetafdruk gunstig en inmiddels meer ervaring met minimalisatie bromaatvorming.
- Ontwikkeling BAKF belangrijk binnen IPMV, want gunstige CO<sub>2</sub> en kosten. Standtijd GAK speerpunt vervolgonderzoek.
- Technieken die N en/of P kunnen verwijderen zijn interessant als ook aanvullende eisen hiervoor zijn (KRW)
- De ecotoxiciteit wordt door de onderzochte technieken met meer dan 50% gereduceerd.
- Membraanfiltratie met oxidatiestap geven goede resultaten om hoogwaardig effluent te realiseren met verwijdering van micro's.
- Gevoeligheidsanalyse: duurzaamheidsmaatregelen (groene stroom, duurzame PAK) geven dusdanige verbetering van CO<sub>2</sub>-voetafdruk, dat onderlinge rangschikking verandert.

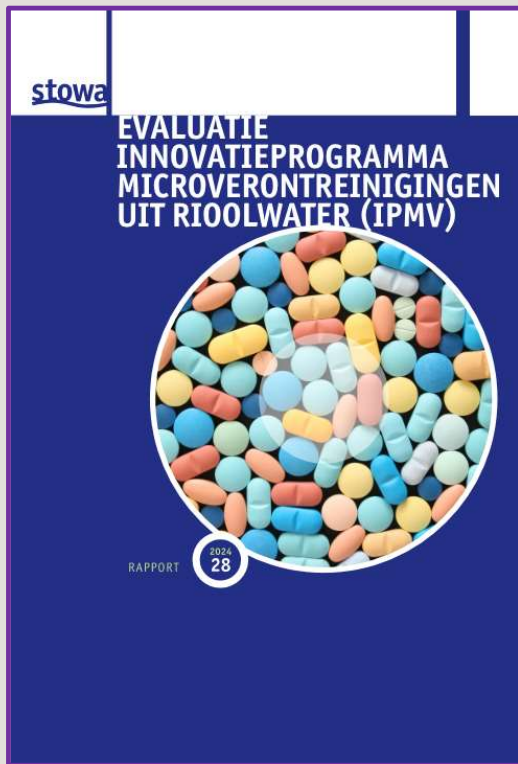
# Beschouwing

- Toepassing technieken is maatwerk:
  - Rioolstelsel en aanvoerpatroon (DWA/RWA) – ken je rwzi (meten)
  - Verwijderingsrendement biologie rwzi – ken je rwzi (meten)
  - Individuele norm(en) EU Richtlijn prioritaire stoffen
  - Koppeling KRW
  - Capaciteit elektriciteitsnet
  - Bromideconcentraties influent
  - Hergebruik effluent
  - Ontwikkelingen (duurzame PAK, BAKF, alternatieve adsorptie, ...)
  - TRL
  - Ambities waterschap
  - ...



# Beschouwing

- Resultaten geven indicatie
  - Markt is volop in beweging: komende jaren gaat veel meer bekend worden over te realiseren full scale/demo/pilot installaties en over verduurzaming van grondstoffen
  - Projectaanpak, markt en locatiespecifieke aspecten bepalen daadwerkelijk kostenniveau
- Of technieken met benoemde ontwerpuitgangspunten daadwerkelijk voldoen aan de EU richtlijn is afhankelijk hoe de EU richtlijn inclusief bemonstering in Nederlandse wetgeving wordt verankert
  - Andere stoffen
  - Jaarrendement versus minimaal rendement in elk monster
  - 2 categorieën versus 7/11
- Nog onzeker: voor welke stof(fen) komt een individuele norm komt in EU richtlijn prioritaire stoffen



**2024-28**

Evaluatie Innovatieprogramma  
microverontreinigingen uit rwzi-afvalwater  
(IPMV)