

# Beste Beschikbare Technieken voor de zuivering van met PFAS belast bedrijfsafvalwater en bemalingswater

VITO Toelichting - Milieuadministraties  
Online, 28/03/2024

Tim Goelen

# Agenda

1. PFAS
2. PFAS problematiek in Vlaanderen
3. Inventarisatie waterbehandelingstechnieken PFAS
4. Selectie BBT voor waterbehandeling PFAS in bedrijfsafvalwater en bemalingswater
5. Aanbevelingen op basis van de BBT

# PFAS

## Poly- en perfluoralkylverbindingen

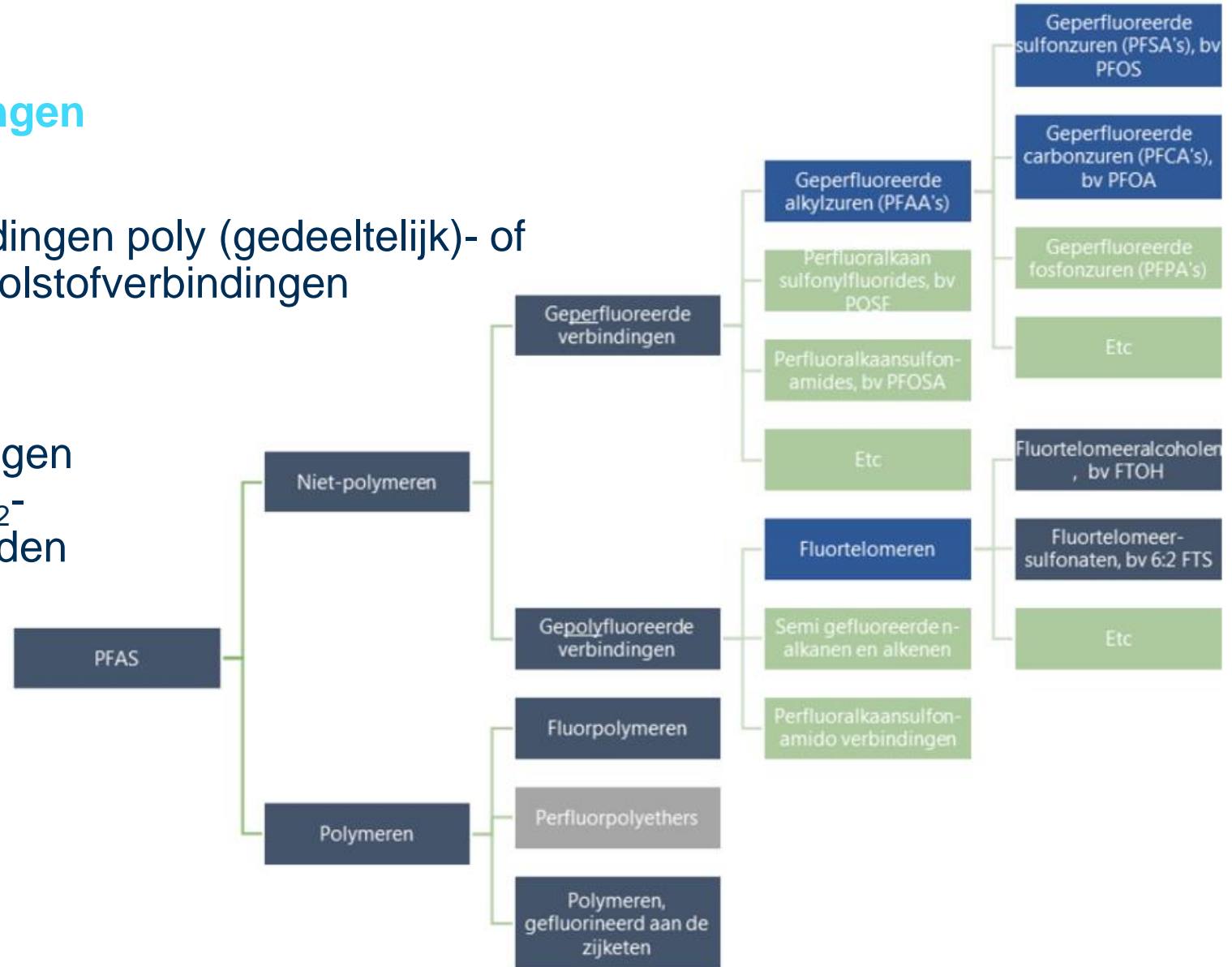
- **Verzamelnaam** >6000 verbindingen poly (gedeeltelijk)- of per (volledig)- gefluoreerde koolstofverbindingen
- **OECD definitie:** gefluoreerde koolstofverbindingen met minstens één -CF<sub>3</sub> of -CF<sub>2</sub>- zonder H/Cl/Br/I eraan verbonden

< 1%

Fractie van bekende PFAS gemonitord door target analyses

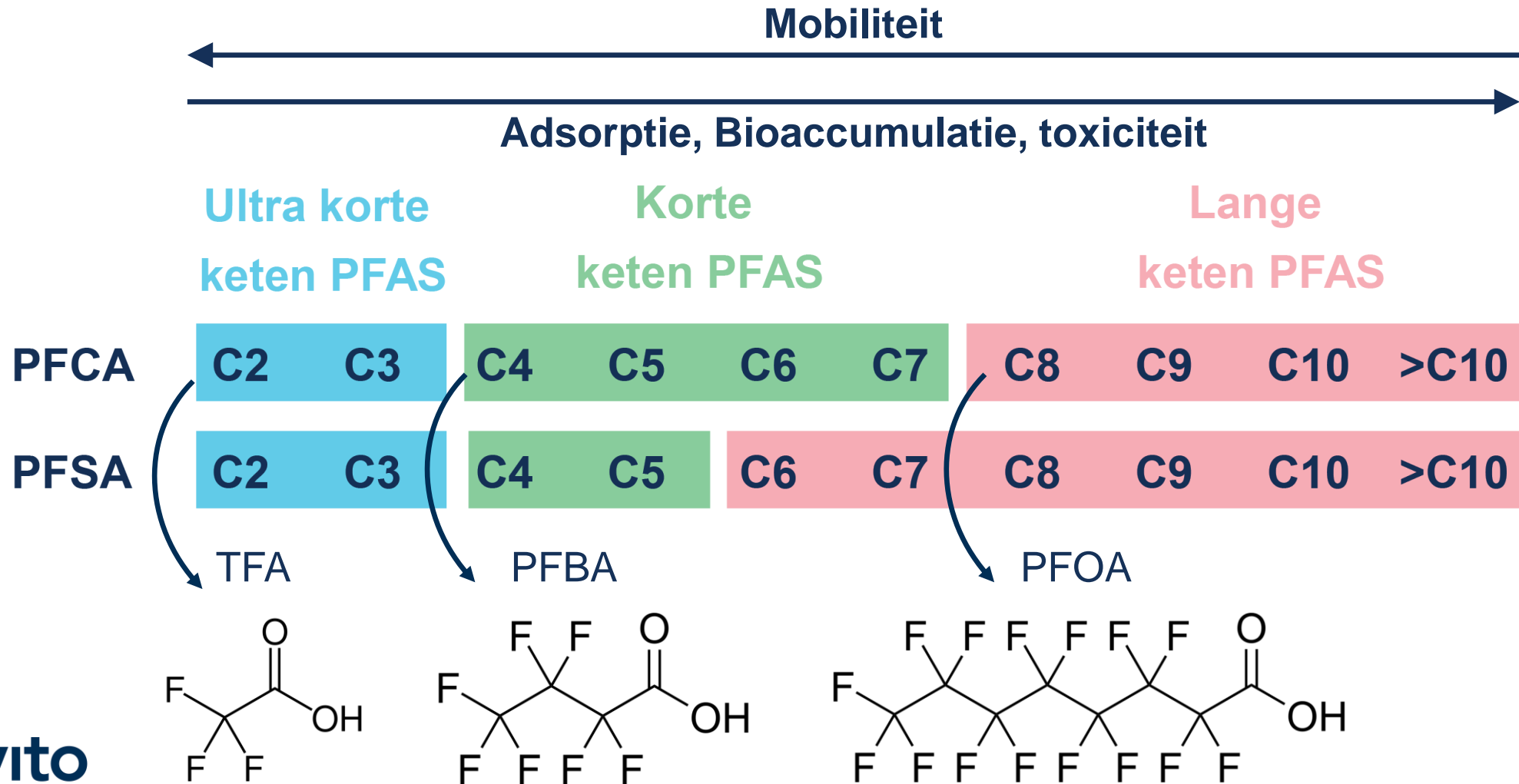
> 99%

Onbekende PFAS



# PFAS

## Korte vs. lange keten

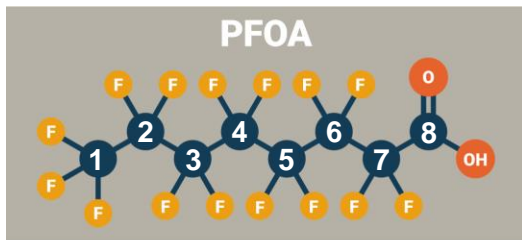


# PFAS

## Korte vs. lange keten

Mobiliteit

Adsorptie, Bioaccumulatie, toxiciteit

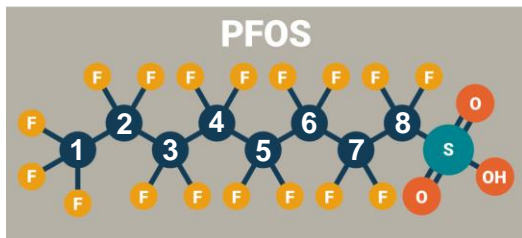


Ultra korte keten PFAS

Korte keten PFAS

Lange keten PFAS

C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	>C10
----	----	----	----	----	----	----	----	-----	------



C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	>C10
----	----	----	----	----	----	----	----	-----	------

Bron: AWWA. (2022). U.S. EPA announces much lower PFAS health advisories, grant funding. Geraadpleegd op 01/09/2023. <https://www.awwa.org/WWA-Articles/us-epa-announces-much-lower-pfas-health-advisories-grant-funding>

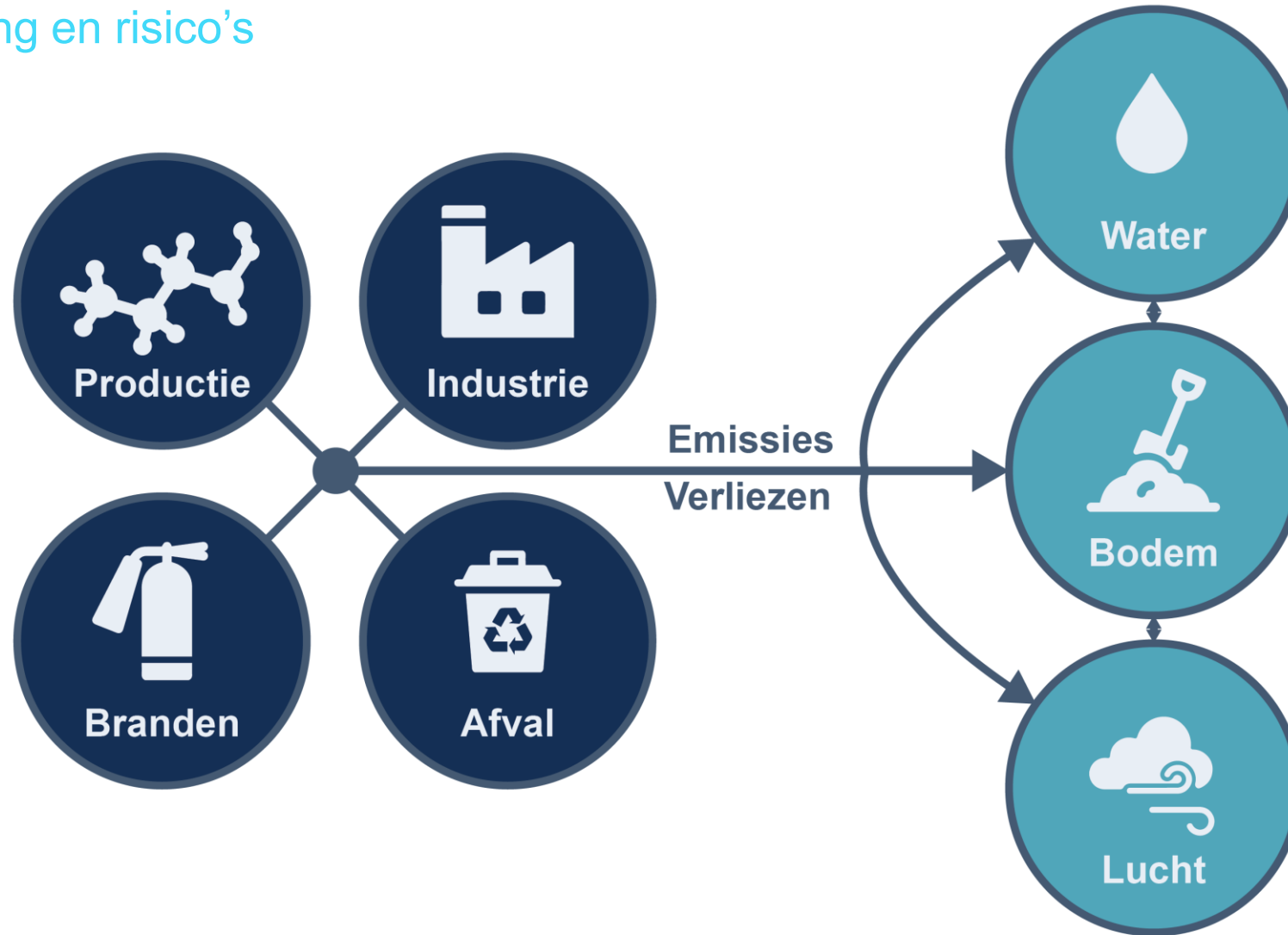
# PFAS

## Toepassingen



# PFAS

Verspreiding en risico's



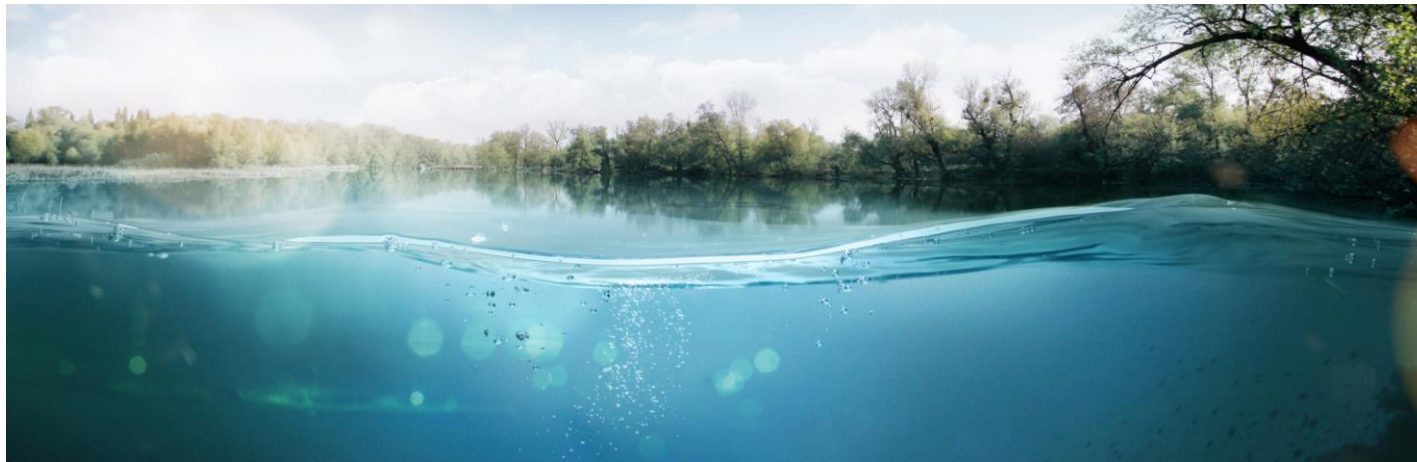
# PFAS problematiek in Vlaanderen



# PFAS problematiek in Vlaanderen

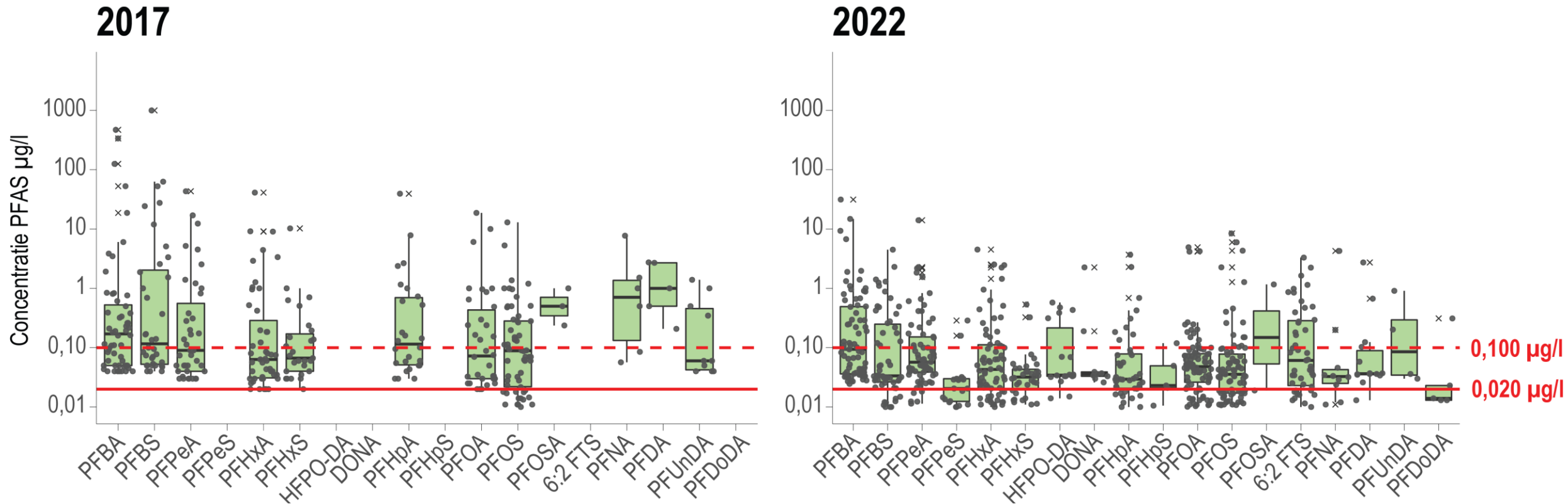
## Aanleiding BBT-studie

- **Vlaamse beleidsprioriteit:** nood aan uitfasering
- **Vlaams milieuprobleem:** huidige concentraties ver boven MKN PFOS en nieuwe ontwerpnorm
- **Ondersteuning** technische haalbaarheid → oude vs. nieuwe rapportage grenzen



# PFAS problematiek in Vlaanderen

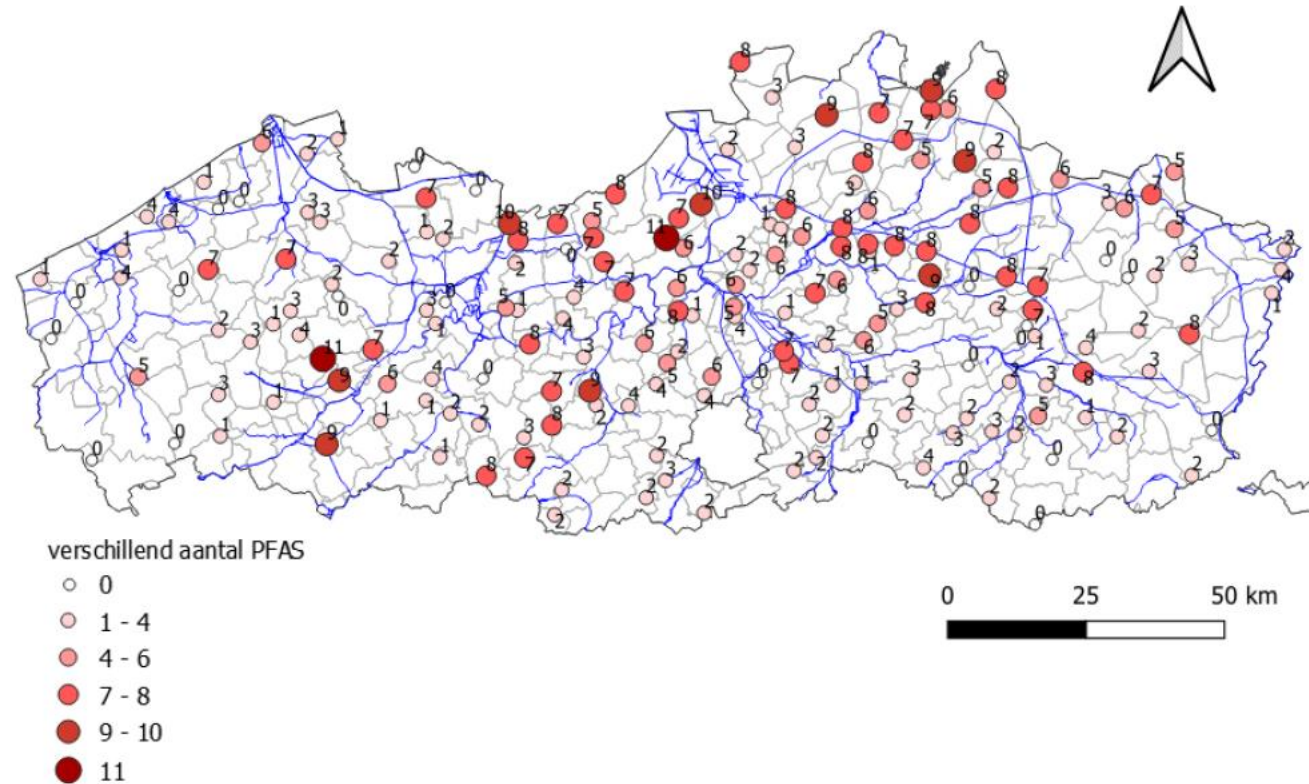
## Bedrijfsafvalwater



- **Voornaamste sectoren:** Afvalverwerking en afvalwater, Chemie, Metaalnijverheid, Papier, Petroleumraffinaderijen, Textiel, Voeding en Wasserijen

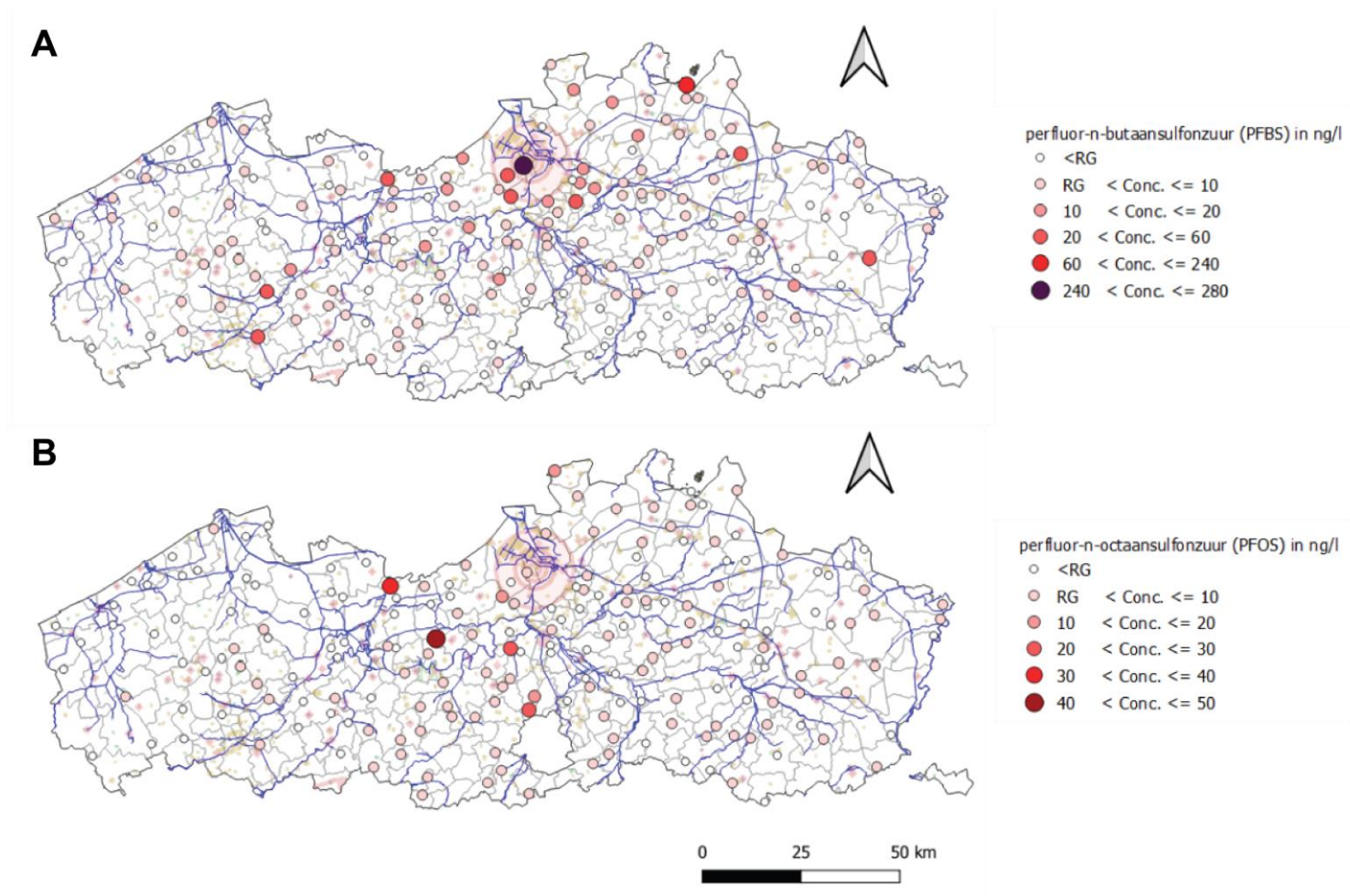
# PFAS problematiek in Vlaanderen

Diffuse verspreiding van PFAS in grondwater in Vlaanderen



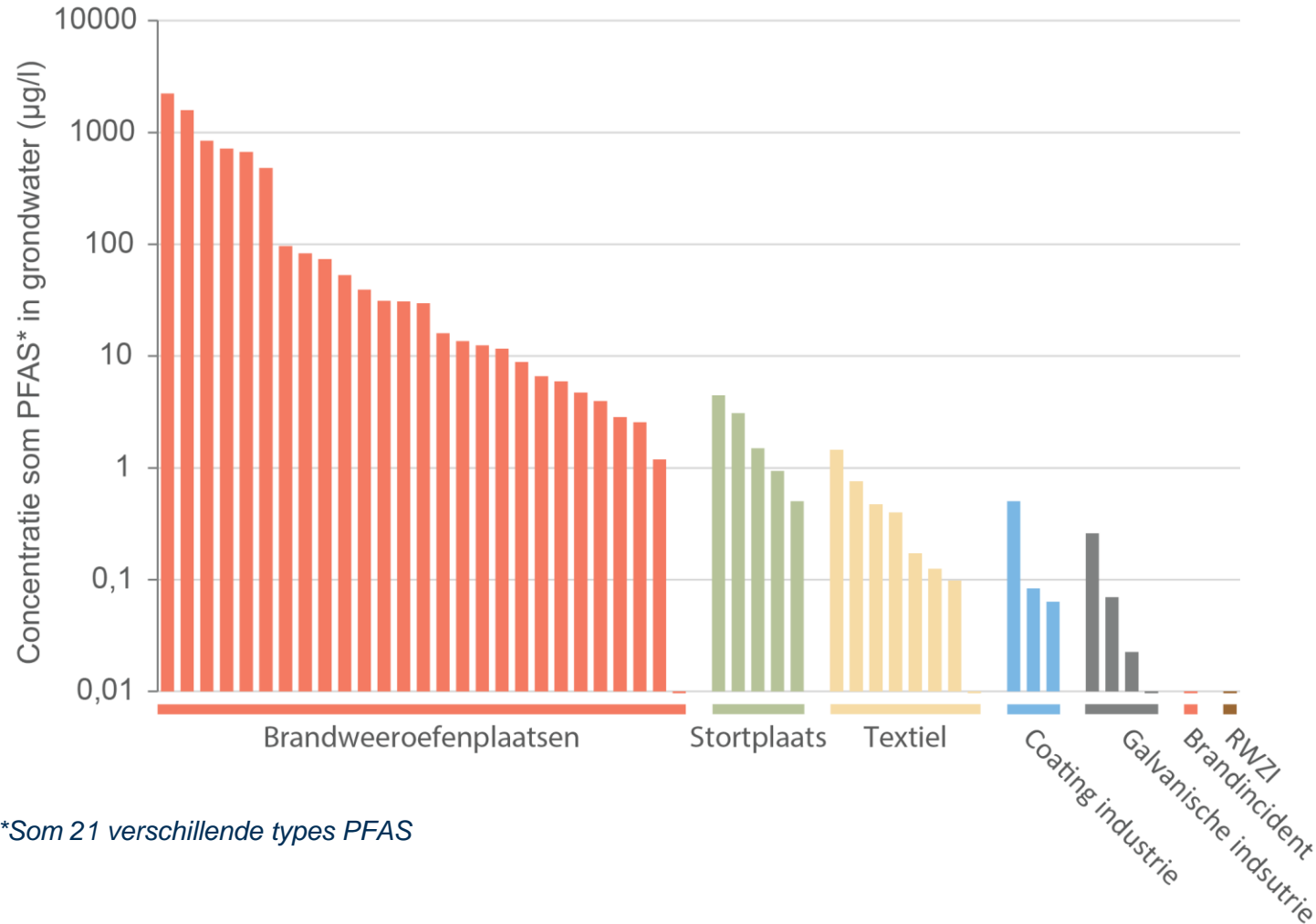
# PFAS problematiek in Vlaanderen

## Diffuse verspreiding van PFAS in grondwater in Vlaanderen



# PFAS problematiek in Vlaanderen

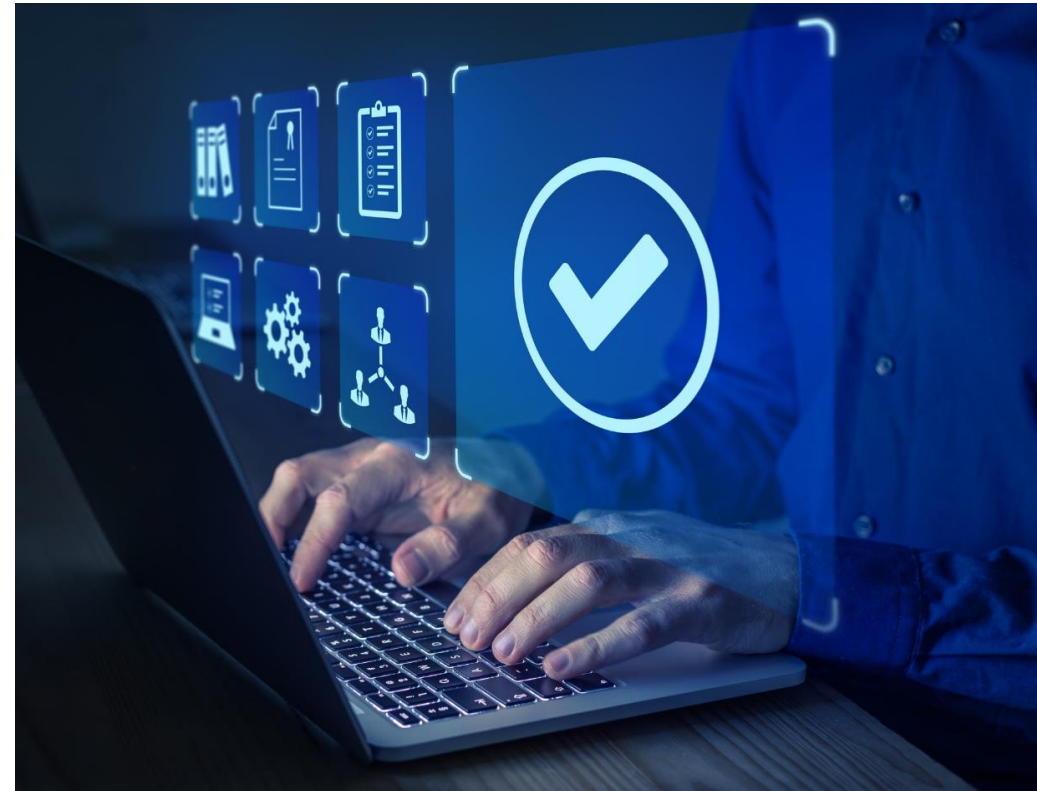
## PFAS in grondwater van risicoactiviteiten in Vlaanderen





# Doel BBT-studie

- **Sectoroverschrijdende BBT-studie:**
  - Inventarisatie van **alle mogelijke technieken** (labo/piloot/ op de markt) in VL of buitenland
  - Techniekevaluatie inclusief cross-media effecten
    - Bedrijfsafvalwater vs. bemalingswater
    - Lange keten vs. korte keten PFAS
    - Relevante contextuele informatie
- **Formuleren aanbevelingen:**
  - Vlaamse regelgeving (bijzondere voorwaarden)
  - Mogelijke subsidiëring van technieken
  - Verder onderzoek



# Inventarisatie waterbehandelingstechnieken PFAS

# Inventarisatie waterbehandelingstechnieken PFAS

## Scheidings-/concentratietechnologie

### Adsorptie

- Actief kool **TRL 9**
- Ionenuitwisselingsharsen **TRL 9**
- Andere adsorptie media **TRL 3-7**

### Coagulatie

- Coagulatie/flocculatie **TRL 6-7**
- Electrocoagulatie **TRL 5**

### Membraan-gebaseerde technieken

- Omgekeerde osmose **TRL 9**
- Nanofiltratie **TRL 9**

### Diverse technieken

- Schuim- & ozofractionatie **TRL 7-8**
- Indampen/Vacuümverdamping **TRL 7-9**

## afbraak-/degradatietechnologie

### Geavanceerde oxidatietechnieken (AOP)

- Foto-/elektrokatalyse **TRL 5-6**
- (Elektro)chemische oxidatie **TRL 3-6**
- Superkritische water oxidatie (SCWO) **TRL 4-6**

### Geavanceerde reductietechnieken (ARP)

- Chemische reductie **TRL 5**
- Niet-thermisch plasma **TRL 6-8**

### Biologische behandelingstechnieken

- Microorganisme-gebaseerde bioremediatie **TRL 3-4**

### Diverse technieken

- Thermische degradatie en verbranding **TRL 8-9**
- Sonochemische degradatie/sonolyse **TRL 4-5**
- High energy e-beam **TRL 4**
- Fotolyse **TRL 3-4**



# Inventarisatie waterbehandelingstechnieken PFAS

## Scheidings-/concentratietechnologie

### Adsorptie

- Actief kool **TRL 9**
- Ionenuisselingsharsen **TRL 9**
- Natuurlijke en oppervlakte gemodificeerde kleimineralen **TRL 5-7**

### Coagulatie

- Coagulatie/flocculatie **TRL 6-7**

### Membraan-gebaseerde technieken

- Omgekeerde osmose **TRL 9**
- Nanofiltratie **TRL 9**

### Diverse technieken

- Schuim- & ozofractionatie **TRL 7-8**
- Indampen/Vacuümverdamping **TRL 7-9**

## afbraak-/degradatietechnologie

### Geavanceerde reductietechnieken (ARP)

- Niet-thermisch plasma **TRL 6-8**

### Diverse technieken

- Thermische degradatie en verbranding **TRL 8-9**

## Demonstratiefase bereikt

**TRL  $\geq$  7**

# Actief kool

## Adsorptie

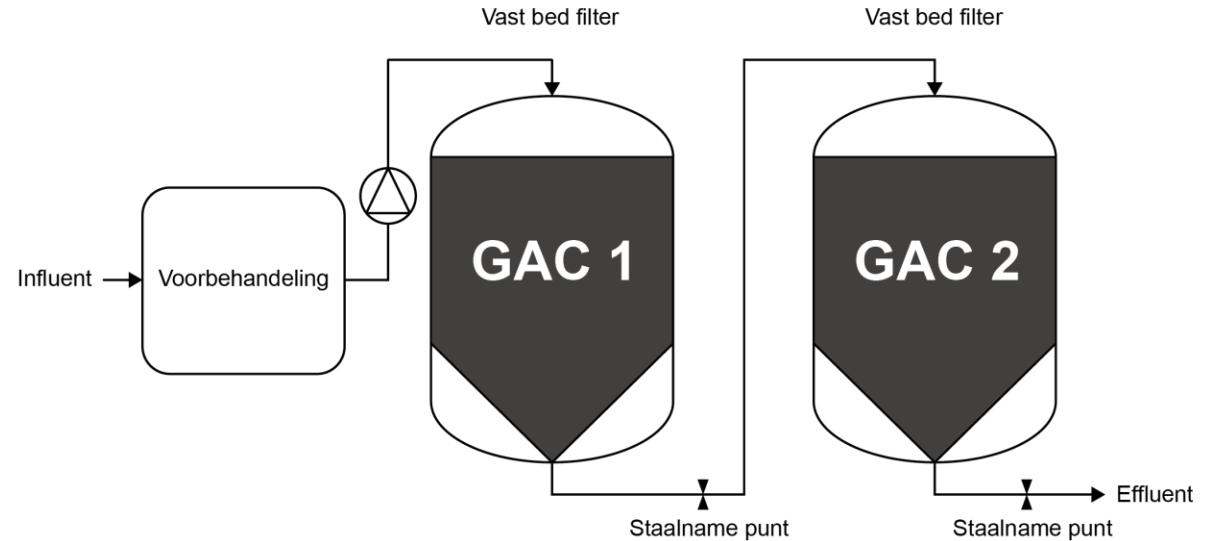


### Toepasbaarheid

- Efficiënte verwijdering lange keten PFAS
- Mogelijkheid tot reactivatie
- Hoge volume reductie

### Limitaties

- Lagere efficiëntie korte keten PFAS
- Competitie CZV
- Langere EBCT
- Materiaalverbruik/afval



Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	- +	+	15 - 45 min	+	-

# Ionenwisselingsharsen

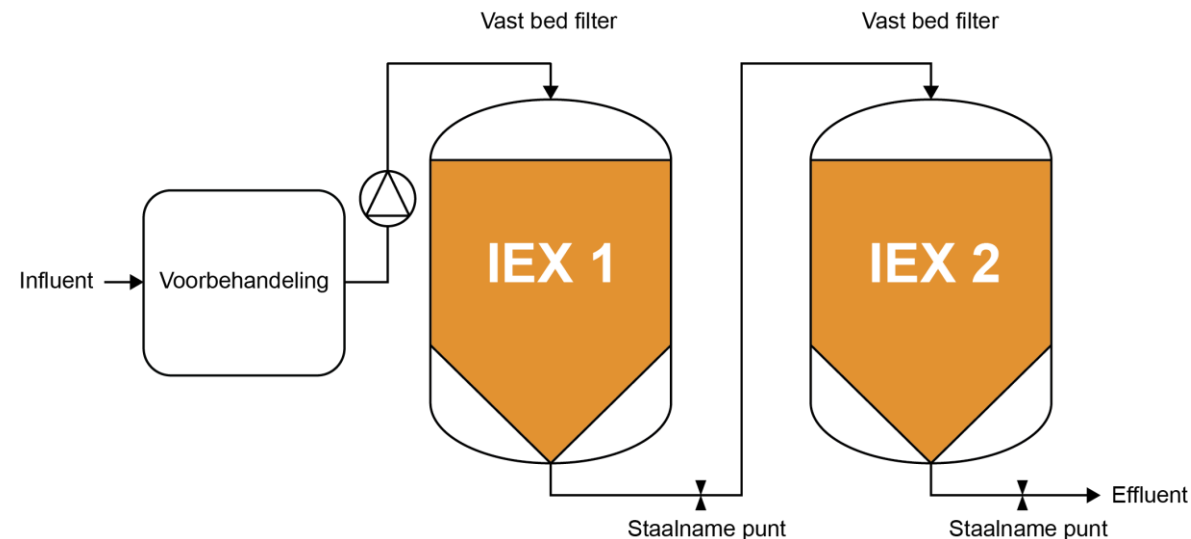
## Adsorptie

### Toepasbaarheid

- Efficiënte verwijdering lange keten PFAS
- Hogere efficiëntie korte keten PFAS
- Mogelijkheid tot regeneratie
- Hoge volume reductie
- Lagere EBCT dan GAC

### Limitaties

- Hogere gevoeligheid matrix
- Regeneratie niet algemeen toegepast
- Hogere eenheidsprijs dan GAC



Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	+	+	2 - 10 min	+	--

# Natuurlijke en oppervlakte gemodificeerde kleimineralen



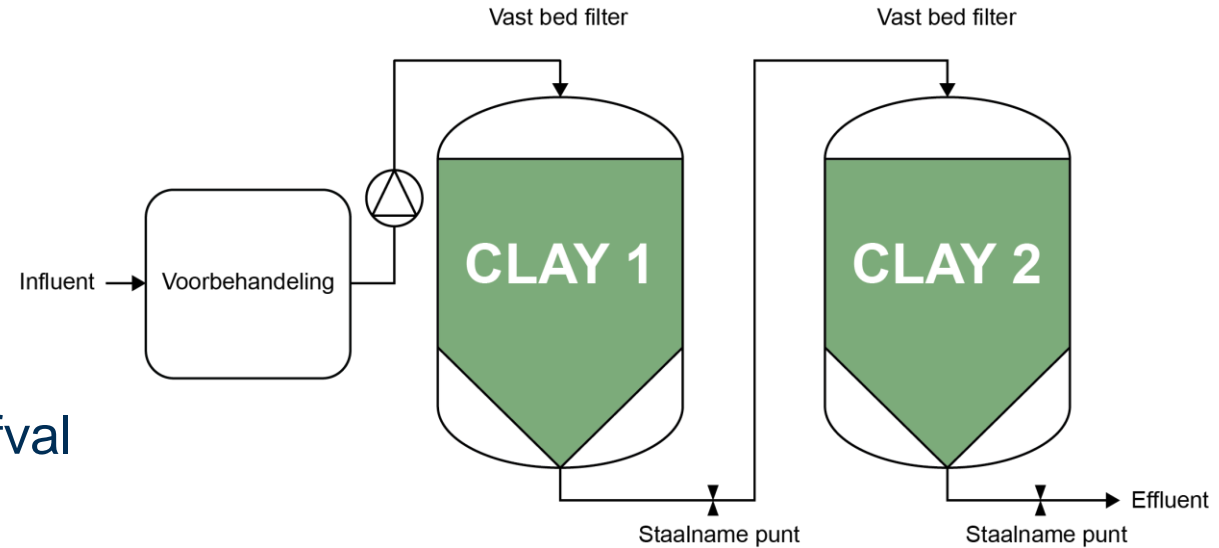
## Adsorptie

### Toepasbaarheid

- Hogere capaciteit PFAS
- Hoge volume reductie
- Lagere EBCT dan GAC
- Geen invloed organische verbindingen
- Beperkte milieu-impact en hoeveelheid afval

### Limitaties

- Beperkte toepassing op grote schaal
- Verder onderzoek korte keten PFAS
- Invloed hoge zoutconcentraties



Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	+	+	2 - 15 min	+	- +

# Coagulatie/flocculatie

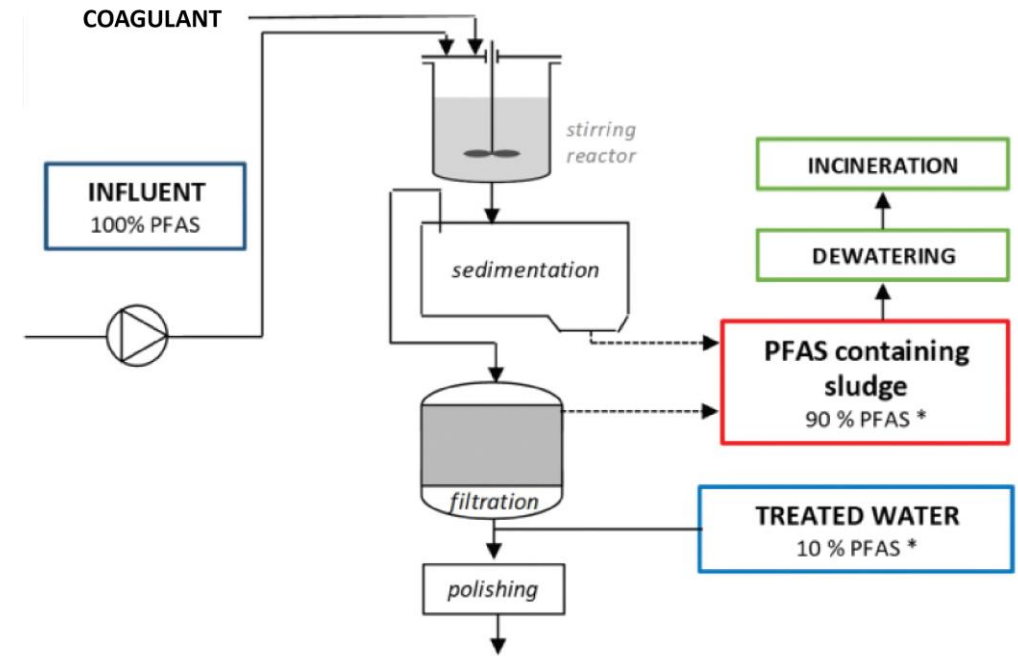
## Coagulatie

### Toepasbaarheid

- Efficiënte bulkverwijdering hoge concentratie lange keten PFAS
- Robuust wijzigende matrix en debiet
- Hoge volume reductie
- Eenvoudige sturing

### Limitaties

- Lage efficiëntie korte keten PFAS
- Nabehandeling noodzakelijk



Bron: Riegel, M., Egner, S., & Sacher, F. (2020). Review of water treatment systems for PFAS removal. Concawe, report no. 14/20.

Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijf-tijd	Volume-reductie	Matrix
++	-	- +	30 - 60 min	+	+

# Omgekeerde osmose/nanofiltratie

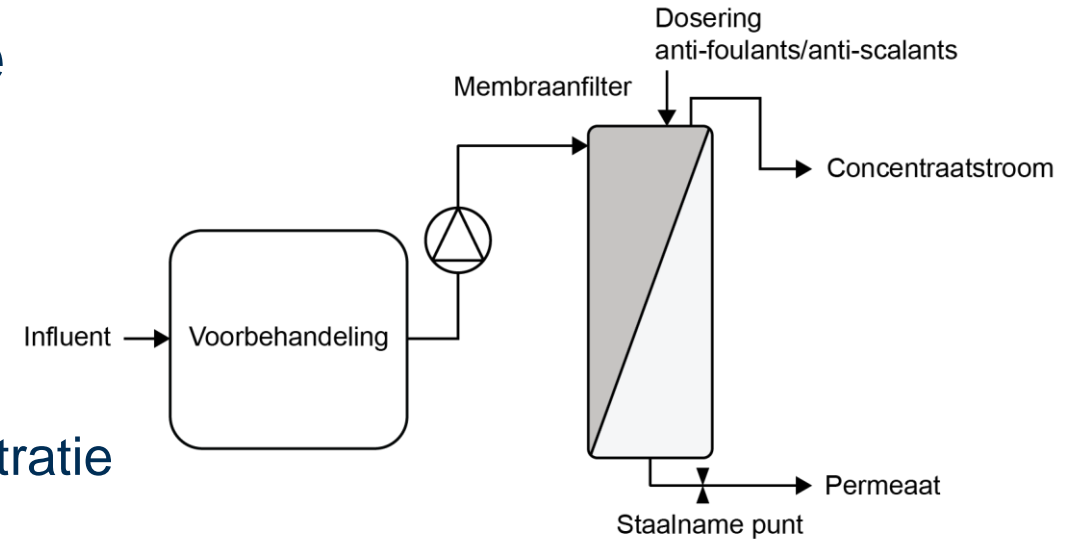
## Membraan-gebaseerde technieken

### Toepasbaarheid

- Efficiënte verwijdering PFAS
- Dimensionering onafhankelijk van PFAS concentratie
- Hoge debieten
- Verwijdering andere pollutanten

### Limitaties

- Beperkte volumereductie
- Behandeling concentraatstroom
- Voorbehandeling is noodzakelijk
- Hoge kosten & energieverbruik



	Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijf-tijd	Volume-reductie	Matrix
NF	++	- +	++	/	-	-
RO	++	++	++	/	-	-

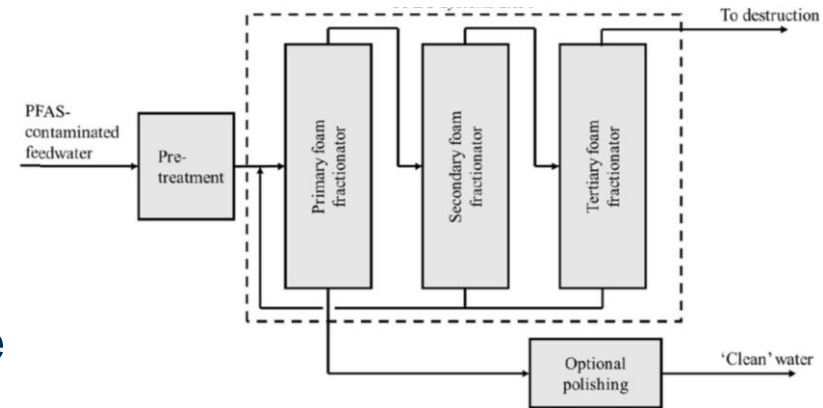
# Schuim- & ozofractionatie

## Toepasbaarheid

- Efficiënte bulkverwijdering hoge concentratie lange keten PFAS
- Zeer hoge volume reductie
- Ongevoelig matrix
- Geen hulpstoffen

## Limitaties

- Lagere efficiëntie korte keten PFAS  
→ optimalisatie mogelijk
- Mogelijk nabehandeling korte keten PFAS
- Debiet beperkter



Bron (links): Burns, D.J., Stevenson, P., & Murphy, P.J.C. (2021). PFAS removal from groundwaters using Surface-Active Foam Fractionation. *Remediation*, 31, 19-33. DOI: 10.1002/rem.21694

Bron (rechts): Envyech. (2023). PFAS Treatment and remediation – water. Geraadpleegd op 31/08/2023. <https://envytechsolutions.com/pfas-treatment-and-remediation-water/>

Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	- +	- +	30 - 45 min	++	+

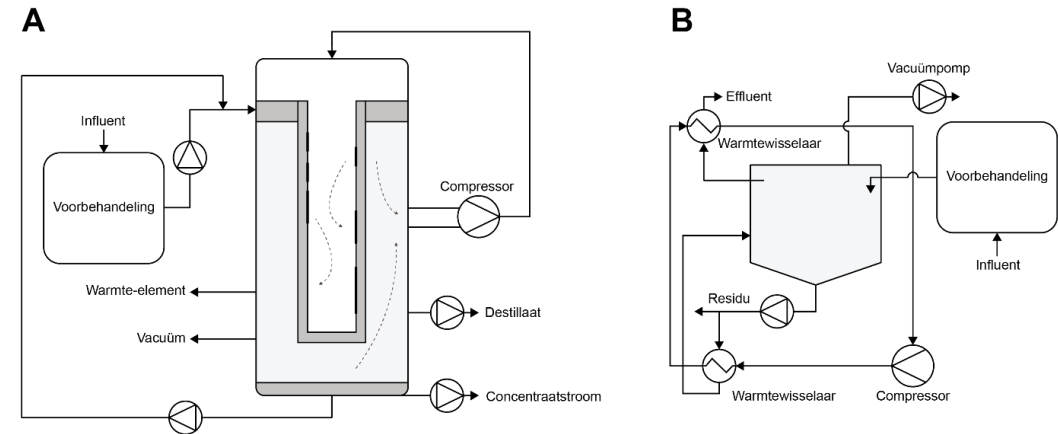
# Indampen/Vacuümverdamping

## Toepasbaarheid

- Efficiënte verwijdering lange en korte keten PFAS
- Goede volume reductie
- Beperkte invloed matrix
- Beperkte hoeveelheid afval

## Limitaties

- Beperkt debiet
- Hoog energieverbruik
- Hoge kosten
- Minder efficiënt voor vluchtige PFAS
- Mogelijk PFAS lucht emissies



Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	++	-	/	+	+



# Niet-thermisch plasma

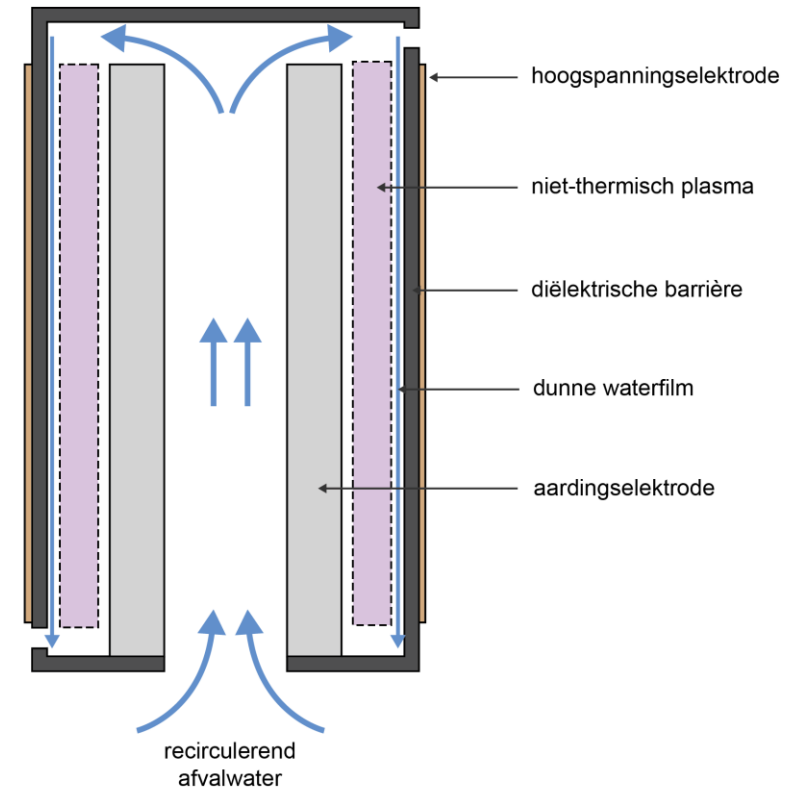
## Afbraak-/degradatietechnologie

### Toepasbaarheid

- Efficiënte verwijdering hoge concentratie lange keten PFAS
- Beperkte invloed matrix
- Beperkte onderhouds- & werkingskosten
- Geen PFAS-houdende afvalstroom

### Limitaties

- Hoge investeringskosten
- Voldoende verblijftijd noodzakelijk
- Beperkt in debiet



Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	+	-	Enkele sec.	++	+

# Thermische degradatie en verbranding

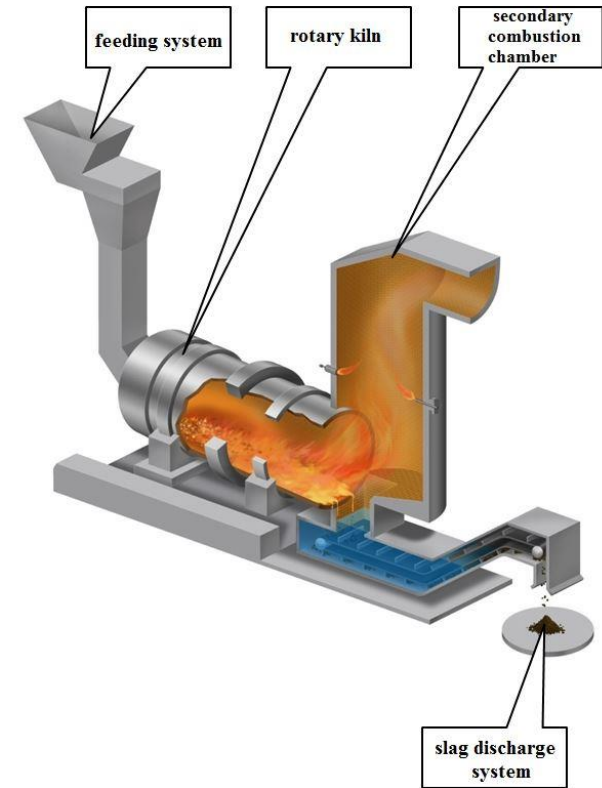
## Afbraak-/degradatietechnologie

### Toepasbaarheid

- Efficiënte verwijdering hoge concentratie lange en korte keten PFAS
- Geen invloed matrix
- Hoge destructie (>99,99%)

### Limitaties

- Energie-intensief proces
- Hoge verwerkingskosten
- Beperkte verwerkingscapaciteit
- Onzekerheid luchtemissies



Bron: Cic mining. (2023). Waste Incineration Rotary Kiln. Geraadpleegd op 31/08/2023. <http://www.cicmining.com/rotary-kiln/waste-incineration-rotary-kiln.html>

Lange keten	Korte keten	Debiet	Verblijftijd	Volume-reductie	Matrix
++	++	--	2 – 4 s	++	++

# Evaluatie

PFAS  
waterbehandelingstechnieken

Long chain	Short chain	Flow	EBCT	Volume-reduction	Matrix
++	- +	+	15 - 45 min	+	-
++	+	+	2 - 10 min	+	--
++	+	+	2 - 15 min	+	- +
++	-	- +	30 - 60 min	+	+
++	- +	++	/	-	-
++	++	++	/	-	-
++	- +	- +	30 - 45 min	++	+
++	++	-	/	+	+
++	+	-	Few sec.	++	+
++	++	--	2 - 4 s	++	++

GAC

Ionenwisseling

Kleimineralen

Coagulatie  
flocculatie

NF

RO

Schuim &  
ozofractionatie

Vacuümverdamping

NT-Plasma

Thermische  
degradatie **vito.be**

# Vergelijkend overzicht & handvaten

## Leidraad voor selectie van techniek(en)

Tabel 16: Vergelijkend overzicht van de scheidings-/concentratietechnieken en afbraak-/deconstructietechnieken voor de behandeling van met PFAS belast bedrijfsafvalwater en bemalingswater.

Techniek	Stand van de techniek	Toepasbaarheid		Ontwerp en uitvoering			Verwijderingsefficiëntie		Matrixeffecten					Kosten		Milieu-impact				
		Bedrijfsafvalwater	Bemalingswater	EBCT/verblijftijd	Capaciteit	Volumereductie	Korte keten PFAS	Lange keten PFAS	ZS	Fe/Mn	CZV	Geleidbaarheid	pH	CAPEX	OPEX	Energie	Afval	Lucht	Chemicaliën	Ketenaspecten
Actief kool	TRL 9	+	+	15-45 min <sup>21</sup>	0,1-100 m <sup>3</sup> /u	10.000 - 100.000:1	<50 - 99% <sup>22</sup>	90 -100%	-	-	-	nb <sup>23,24</sup>	-/+	€ <sup>25</sup>	€€ - €€€	0	-	0	0	-
Ionenuitwisselingsharsen	TRL 9	+	+	2-10 min <sup>26</sup>	0,1-100 m <sup>3</sup> /u	30.000-1.000.000:1	90 - >99% <sup>27</sup>	90 - >99%	--	-	-/+ <sup>28</sup>	-	0 <sup>29</sup>	€ <sup>30</sup>	€€ - €€€	0	- <sup>31</sup>	0	0	-
Natuurlijk oppervlakte gemodificeerde kleimineralen/zeolieten	TRL 5 - 7 (klei)	+	+	2-15 min	0,1-100 m <sup>3</sup> /u	20.000 - 400.000:1 <sup>32</sup>	90-99% <sup>33</sup>	99%	-	-	-/+	-/+	+	€ <sup>34</sup>	€€	0	- <sup>35</sup>	0	0	-/0
	TRL 4 - 6 (zeoliet)																			

### ■ Handvaten aanvullend

- Optimalisatie
- Combinatie met andere technieken
- Voorbeeldsituaties: bedrijfsafvalwater vs. bemalingswater
- Cases
- Kennishiaten

# Selectie BBT voor waterbehandeling PFAS in bedrijfsafvalwater en bemalingswater

# Selectie BBT voor waterbehandeling PFAS in bedrijfsafvalwater en bemalingswater

## Overzicht

- **Belangrijke conclusie:** Elke situatie vereist specifieke benadering voor selectie en optimalisatie van de meest geschikte techniek of combinatie van technieken i.f.v.
  - PFAS concentratie
  - Type PFAS
  - Debiet
  - Matrix
- Nood aan: karakterisatie + evt. verkennende labo/piloottesten
- Geen algemeen **haalbare eindconcentraties**
- Specifieke formulering **BBT per waterbehandelingstechniek** niet mogelijk  
→ Formulering **algemene BBT**

# BBT conclusies

Verwijdering van PFAS door toepassing van één of een combinatie van technieken

## Bemalingswater

- BBT afhankelijk van de specifieke situatie  
→ Bemalingsduur en debiet

- **3 categorieën:**

- **Zeer korte** bemalingen met **zeer lage** debieten →

Niet ingedeeld of Klasse 3 lozing

BBT nee

- **Korte** bemalingen met **lage** debieten →

Klasse 2 lozing

BBT vgtg

- **Lange** bemalingen of bemalingen met **hoge** debieten →

Klasse 1 lozing

BBT ja

## Bedrijfsafvalwater

BBT Ja

- Specifieke voorwaarden in omgevingsvergunning

# BBT conclusies

Verwijdering van PFAS door toepassing van één of een combinatie van technieken

## Bemalingswater

- Techniek(en) & EGW **situaties**specifiek
- Technische & economische haalbaarheid
  - Tijds- & plaatsbepenkende
  - PFAS concentraties
  - PFAS type
  - Matrix
  - Debiet
  - Ontvangende oppervlaktewater

## Bedrijfsafvalwater

- Techniek(en) & EGW **bedrijf**s specifiek
- Technische & economische haalbaarheid
  - PFAS concentraties
  - PFAS type
  - Matrix
  - Debiet



# BBT conclusies

## Algemene BBT

Opvolging en monitoring van de toegepaste waterbehandelingstechniek(en) voor de verwijdering van PFAS

BBT Ja

- Opvolging **PFAS emissies** (WAC/IV/A/025)
- **Sturing** van de waterbehandelingstechnieken
- Inzichten in **verwijderingsrendement** van toegepaste techniek(en)

# BBT conclusies

## Algemene BBT

Voorbehandeling van het bedrijfsafvalwater en bemalingswater ter verbetering van de efficiëntie en bescherming van de werking van de waterbehandelingstechnieken

BBT v.g.t.g.

- Indien **minstens één techniek** gevoelig is aan de **aanwezigheid** van één of meerdere **parameters (matrix)**
- Toegepaste technieken zelf geen invloed hebben op parameter(s)
- Voorbehandeling

# BBT conclusies

## Algemene BBT

Optimalisatie van het ontwerp en beheer van de techniek of combinatie van technieken specifiek voor de verwijdering van PFAS

BBT Ja

- Keuze type **adsorptie materiaal, type membranen, type flocculant, dosering, ...**
- **Dimensionering** (incl. debiet)
- **Benodigd verwijderingsrendement**
- **Type PFAS**

# Aanbevelingen op basis van de BBT



# Aanbevelingen op basis van de BBT

Vlaamse regelgeving: Bijzondere voorwaarden

- Elke situatie vereist **specifieke benadering**
  - **Karakterisatie** afvalwater
  - Aanvullend labo-/piloottesten
- **Bijzondere voorwaarden** in omgevingsvergunning
- Lozingsnorm aanvragen indien:
  - > 20 ng/l kwantitatieve PFAS
  - > 50 ng/l indicatieve PFAS
- **Leidraad:** vergelijkend overzicht + handvaten



# Aanbevelingen op basis van de BBT

## Ecologiepremie

- **Bestaande technologieën in LTL**
  - RO, NF of ED
  - UF & RO of MBR & RO
  - Electrocoagulatie
- **Nieuwe technologie voor LTL**
  - Niet-thermisch plasmabehandelingstechnologie
  - Nieuwe aanvragen mogelijk voor andere technieken



# Aanbevelingen op basis van de BBT

## Verder onderzoek

- **Preventieve en procesgeïntegreerde maatregelen voor het voorkomen of beperken van PFAS emissies**
  - Inventaris PFAS risico's
  - Samenstelling gebruikte producten (SDS-fiches)
  - Variabele PFAS houdende afvalstromen
  - Substitutie PFAS
  - Minimalisatie PFAS

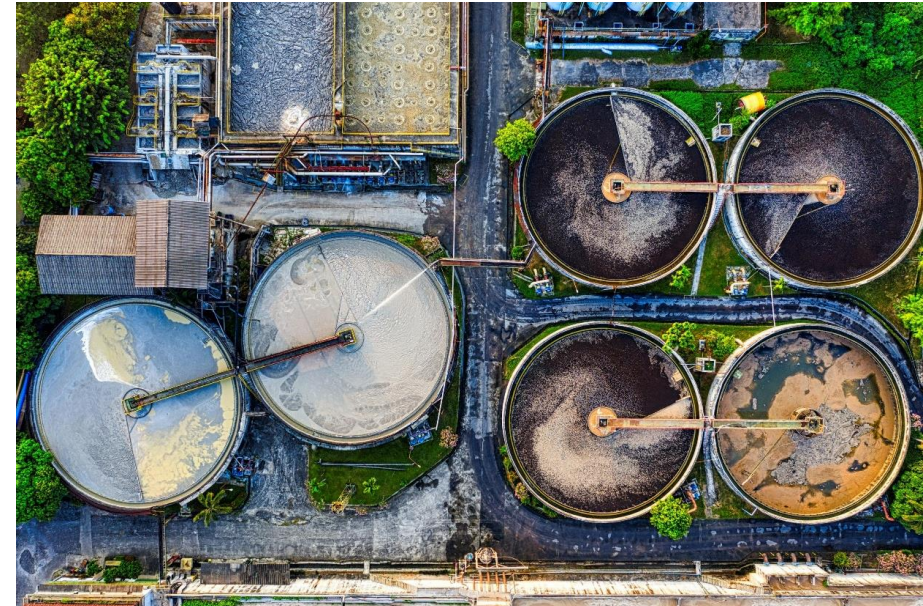




# Aanbevelingen op basis van de BBT

## Verder onderzoek

- **(Bio)transformatie van precursoren**
  - Detecteerbaar vs. niet-detecteerbaar
- **Lozen PFAS op riolering**
  - Complexere matrix
- **Individuele zuivering vs. Gecentraliseerde zuivering**
  - Bedrijven vs. RWZI
- **Ondersteuning bij de haalbaarheid van technieken bij bemalingswater**

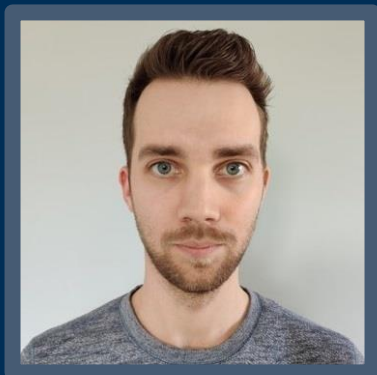


# Aanbevelingen op basis van de BBT

## Verder onderzoek

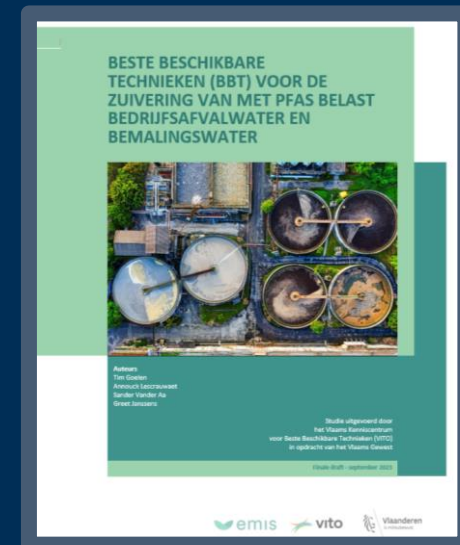
- **Ultrakorte keten PFAS**
  - Huidige technieken niet geschikt
  - Uitgezonderd RO & mogelijk niet-thermisch plasma
- **Monitoring PFAS**
  - Staalname ↔ analyseresultaten
- **Haalbaarheid rapportagegrenzen als lozingsnorm**
  - Haalbare eindconcentraties
  - Milieu-impact bijkomende inspanning
  - Beschikbaarheid & verwerkingscapaciteit





**Tim Goelen**

**Vragen?**



**Vlaams BBT-kenniscentrum**

[bbt@vito.be](mailto:bbt@vito.be)

**BBT-studie PFAS water**

<https://emis.vito.be/nl/node/100678>



**vito.be**