

9 oktober 2024



# Adsorbentia voor waterzuivering

Roberta Hofman-Caris

**KWR**

Bridging Science to Practice



# Inhoud

1. Adsorptieprocessen
2. Zandfiltratie
3. Actieve kool
  - grondstoffen
  - LCA
  - belang meso/micro-poriën
4. Alternatieve adsorbentia
  - mineralenmengsel
  - zeolieten
  - cyclodextrines
  - klei
  - affiniteitsadsorptie
5. Ionenwisseling
6. Steenwol voor verwijdering microplastics
7. Verwijdering van nanodeeltjes
8. Conclusies

# Adsorptieprocessen

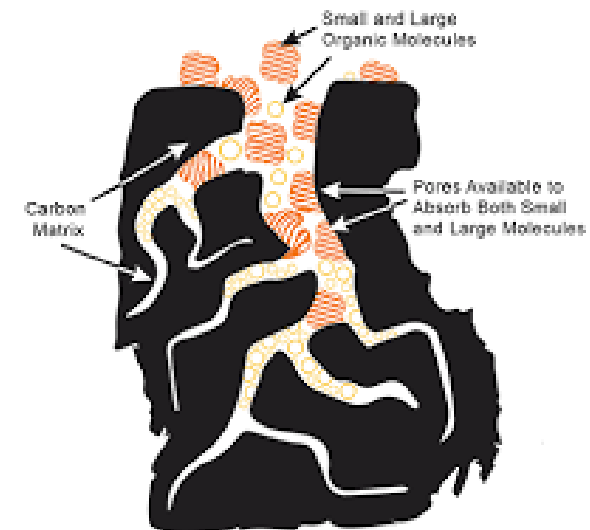
Adsorptie vindt plaats aan oppervlak

- Interacties tussen C-C-ketens en oppervlak
- Ladingsinteracties

Actief proces:

- Continu adsorptie en desorptie
- Verdringing kleinere moleculen door grotere

## Activated Carbon Granule



© 2018 WaterProfessionals®

www.WaterProfessionals.com



# Zandfiltratie

Drinkwater:

Langzame zandfiltratie

Snelfiltratie

- Verwijdering van deeltjes
- Adsorptie
- Biodegradatie



# Actieve kool

- 500 – 2000 m<sup>2</sup>/g
- Macroporiën (> 50 nm)
- Mesoporiën (2 – 50 nm)
- Microporiën (< 2)

## Interacties

- Adsorptie aan porie-oppervlak
- Adsorptie op oppervlak (porieblokkering)
- Biodegradatie

# Actieve kool

Grondstoffen:

- Steenkool
- Turf/hout
- Kokosnootschalen
- Ander afval uit landbouw (stro, maisafval, abrikozenpitten, snoeihout), cellulose uit RWZI, enz.

Verschil:

Verhouding microporiën/mesoporiën



# Actieve kool

LCA

Idee: fossiele grondstoffen scoren slecht.

Uitwerking:

Meeste impact door reactivatie

Steenkool geeft betere verhouding meso/micro

Minder vaak reactiveren/langere standtijd

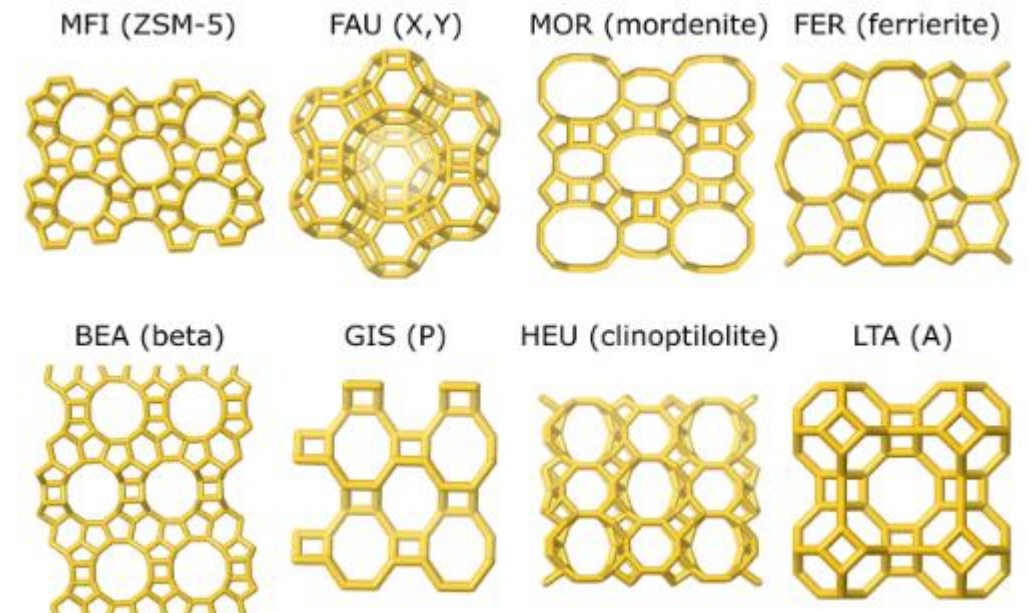
Lagere impact steenkool GAK



# Alternatieve adsorbentia: zeolieten

Adsorptie afhankelijk van verhouding Si/Al  
en poriegrootte

- AdOX project:
- Adsorptie geneesmiddelen in zeolieten
- Reactivatie m.b.v.  $O_3$
- Opnieuw gebruiken



Pérez-Botella, E., S. Valencia and F. Rey (2022). "Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects." *Chemical Reviews* 122(24): 17647-17695.  
Proefschrift Max Fu TUD

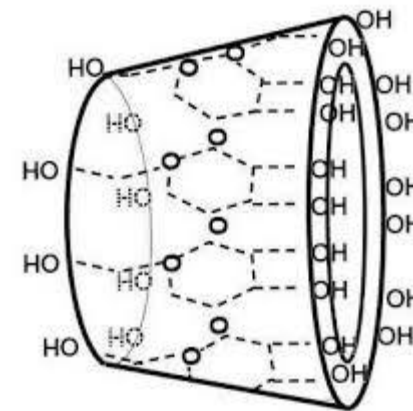


# Alternatieve adsorbentia: cyclodextrines

- Adsorptie in 'bekertje'
- Soms adsorptie aan buitenkant
- Structuur is te functionaliseren

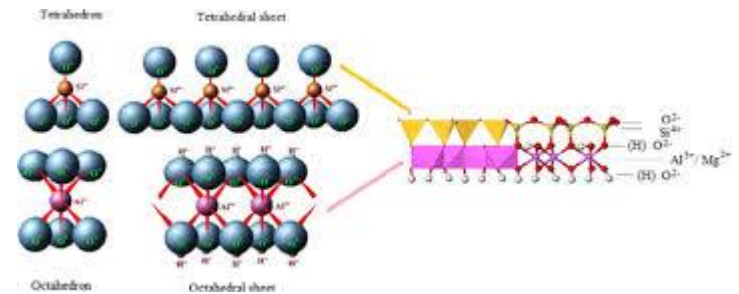
Okasha, A. T., A. A. Abdel-Khalek, N. A. Alenazi, A. A. AlHammadi, W. Al Zoubi, S. Alhammadi, Y. G. Ko and M. R. Abukhadra (2023). "Progress of synthetic cyclodextrins-based materials as effective adsorbents of the common water pollutants: Comprehensive review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 11(3).

Syeda, S. E. Z., D. Nowacka, M. S. Khan and A. M. Skwierawska (2022). "Recent Advancements in Cyclodextrin-Based Adsorbents for the Removal of Hazardous Pollutants from Waters." *Polymers* 14(12).



# Alternatieve adsorbentia: klei

- Gelaagde structuur
- Eventueel gemodificeerd
- bentoniet, montmorilloniet, kaoliniet



Ewis, D., M. M. Ba-Abbad, A. Benamor and M. H. El-Naas (2022).  
"Adsorption of organic water pollutants by clays and clay minerals  
composites: A comprehensive review." Applied Clay Science 229

# Alternatieve adsorbentia: ‘mineralenmix’

TKI Circular Rain (KWR 2024.047)

Combinatie van schelpenbuffer en mineralenmix (AA Minerals)

Vijf pilots:

- BON (Wijster)
- Hockeyvelden (Goes)
- Speelwater (Amsterdam)
- Speelwater/proceswater (Den Helder)
- Volkstuinjes/speelwater (Wetteren)

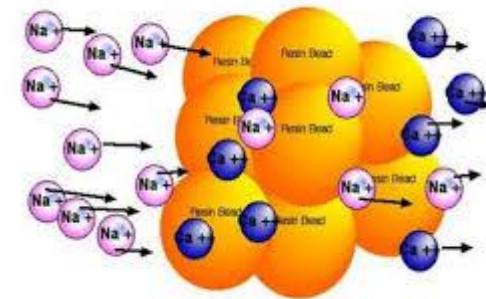
Verwijdering van

- (zware) metalen
- PAKs
- Deeltjes (troebelheid)



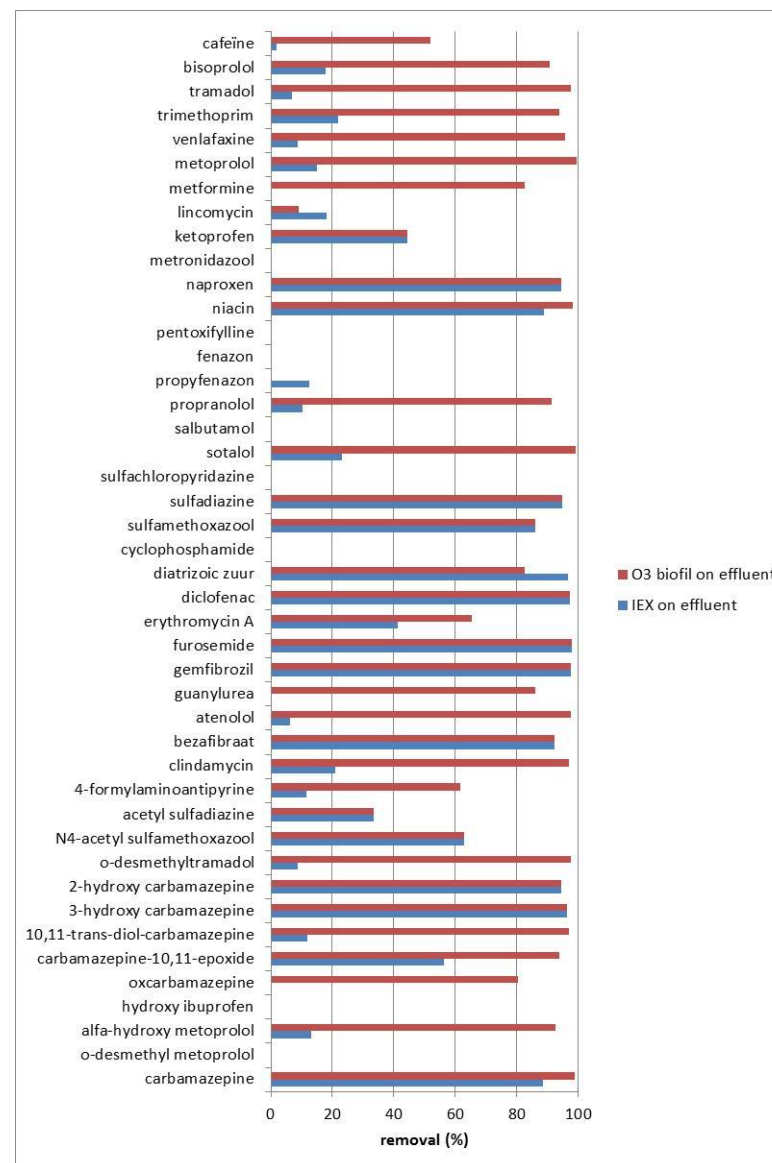
# ~ Ionenwisseling

- Hars met lading op oppervlak
- Interactie via lading en deels organische keten met polymeren
- Toegepast op b.v. geneesmiddelen en PFAS



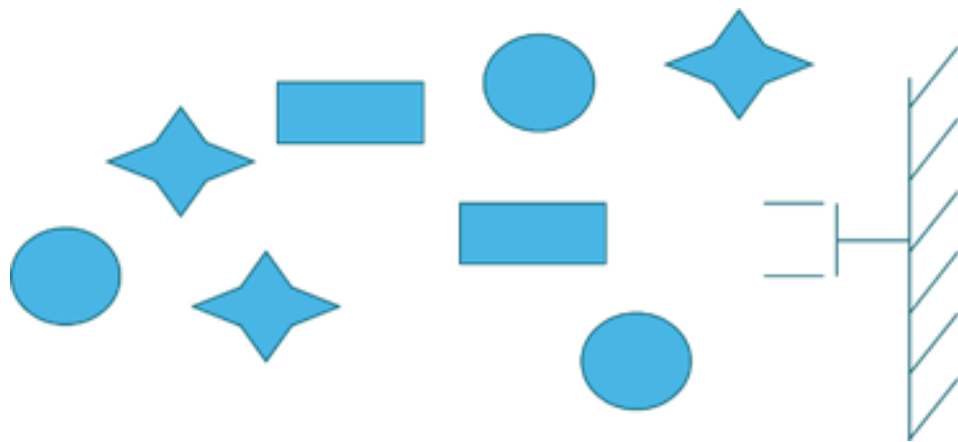
# Ionenwisseling

- Hars met lading op oppervlak
- Interactie via lading en deels organische keten met polymeren
- Toegepast op b.v. geneesmiddelen en PFAS
- Regeneratie bv. met 10 % NaCl-oplossing



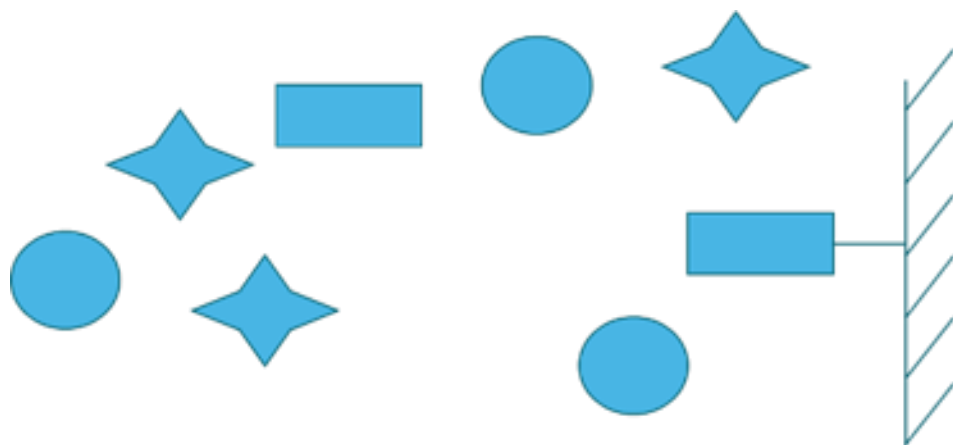
# ~ Affiniteitsadsorptie

Principe:



# ~ Affiniteitsadsorptie

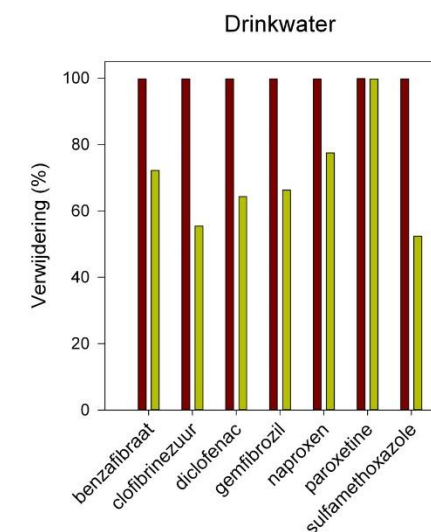
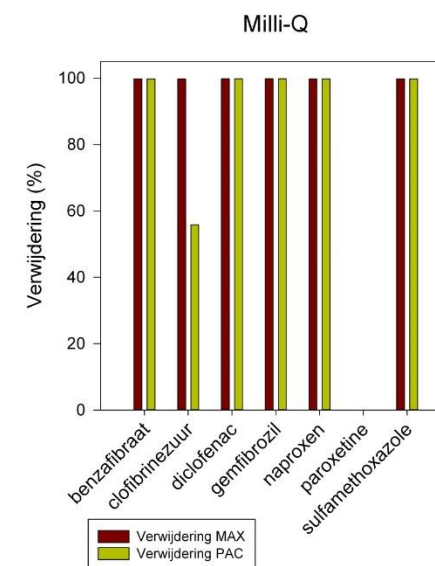
Principe:



# Affiniteitsadsorptie

Voordelen:

- Specifieke interactie met te verwijderen stoffen
- Weinig concurrentie van bv. NOM
- Zand als dragermateriaal
- Lage CO<sub>2</sub>-voetafdruk





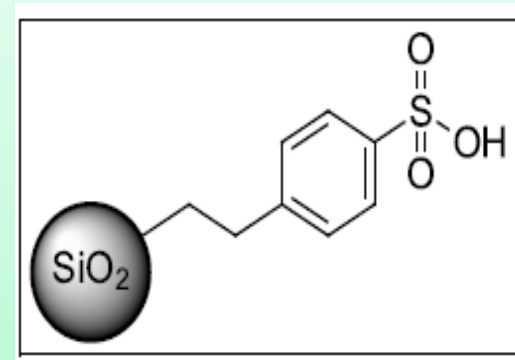
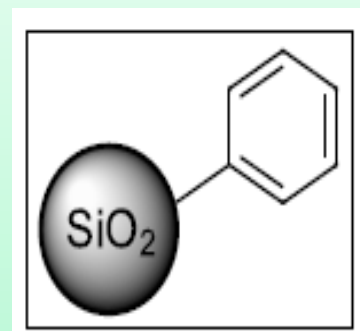
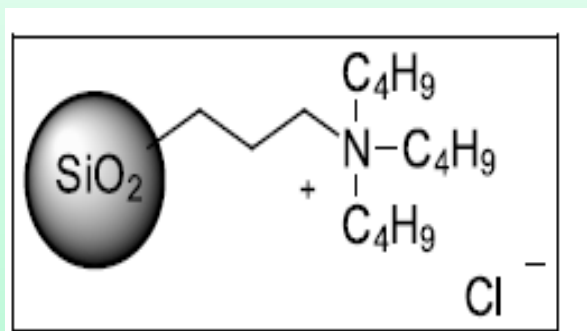
# Eerste resultaten

SiO<sub>2</sub>, gemodificeerd met silanen

Particle size ca. 50 μm

Specific surface area ca. 500 m<sup>2</sup>/g

Density ca. 2,65 g/cm<sup>3</sup>



# Eerste resultaten

SiO<sub>2</sub>, gemodificeerd met silanen

- Goede adsorptie-resultaten
- Erg duur

| compound     | Adsorption capacity (mg/g) |
|--------------|----------------------------|
| Diclofenac   | 12                         |
| Benzoic acid | 24                         |
| Ibuprofen    | 30                         |
| Carbamazepin | 12                         |

# Ontwikkeling praktisch adsorbens

Dragermateriaal:

- Goedkoop
- Niet giftig/schadelijk
- Dichtheid  $\geq 2$  g/ml
- Diameter:  $\mu\text{m}$  range
- Oppervlaktemodificaties mogelijk
- Groot specifiek oppervlak ( $\text{m}^2/\text{g}$ )



# Affiniteitsadsorptie

Adsorptie van diclofenac:

| Adsorption | Milli-Q | Drinking water | Artificial urine |
|------------|---------|----------------|------------------|
| mg/g       | 33      | 48.78          | 46.36            |
| mmol/g     | 0,111   | 0,165          | 0,157            |

N.B. circa 0,20 mmol actieve groepen per g

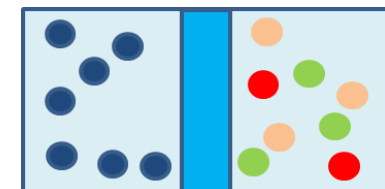
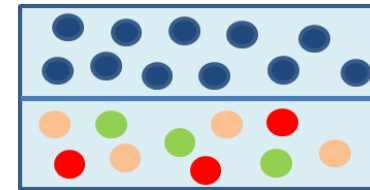
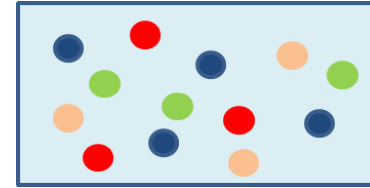
# Pilot trials, WL

2 x discharge into municipal sewer system



# CatchAmed voor zandfilters

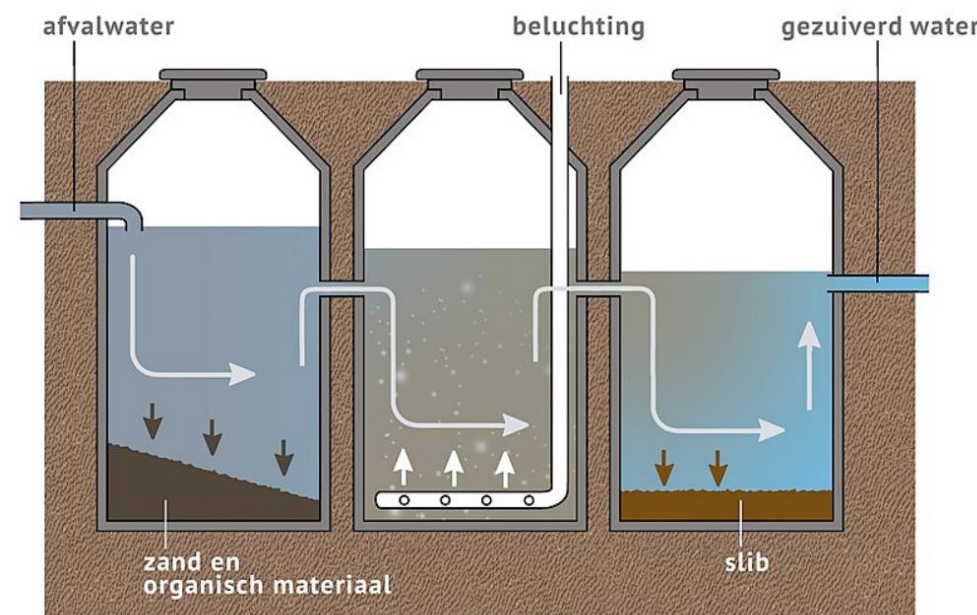
- Combinatie van zandfilter met CatchAmed
- Inventarisatie bestaande zandfilters op Nederlandse RWZI's
- Hoe inrichten?
- Wat voor adsorbentia nodig?
- Functie zandfilter mag niet worden aangetast



# Affiniteitsadsorptie

Getest in IBA

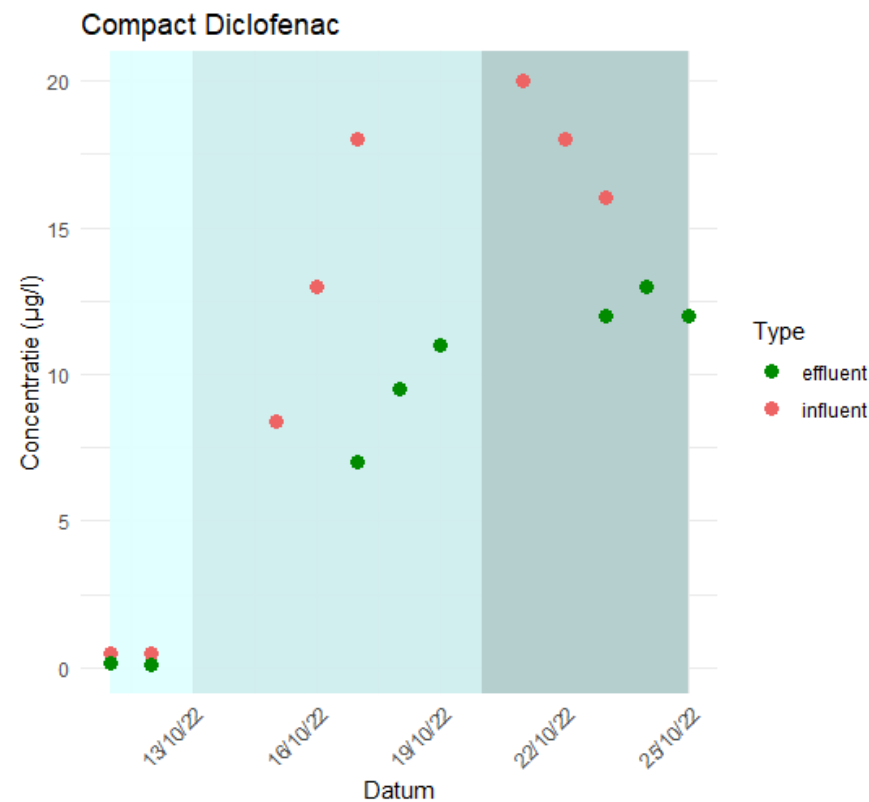
Duidelijke verwijdering van geneesmiddelen (propranolol, diclofenac, benzotriazool, azitromycine en sulfamethoxazool)



# Affiniteitsadsorptie

Getest in IBA

Duidelijke verwijdering van geneesmiddelen (propranolol, diclofenac, benzotriazool, azitromycine en sulfamethoxazool)





# Verwijdering microplastics met steenwol

50 en 400  $\mu\text{m}$  goed te verwijderen via filtratie over steenwol



Afstromend hemelwater van industrieterrein (Roermond)

- 80 % 1 – 3  $\mu\text{m}$
- 17 % 3 – 5  $\mu\text{m}$
- 6 % 5 – 10  $\mu\text{m}$
  
- 70 – 80 % verwijdering tussen 1-3 en 20 – 30  $\mu\text{m}$



## Verwijdering nanodeeltjes

- nAg en nAu
- Negatief geladen oppervlak
- Negatief effect negatief geladen NOM
- Positief effect kationen ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ )
- Zandfilters: positief effect van biomassa
- GAK-filters: negatief effect van biomassa



# Verwijdering nanodeeltjes

Nanoplastics 50 en 200 nm

200 nm meest efficiënt verwijderd via  
coagulatie/flocculatie/sedimentatie/snelfiltratie

50 nm meest efficiënt verwijderd via GAK-filtratie

Hofman-Caris, C. H. M., P. S. Bäuerlein, W. G. Siegers, S. M. Mintenig, R. Messina, S. C. Dekker, C. Bertelkamp, E. R. Cornelissen and A. P. van Wezel (2022). "Removal of nanoparticles (both inorganic nanoparticles and nanoplastics) in drinking water treatment - coagulation/flocculation/sedimentation, and sand/granular activated carbon filtration." *Environmental Science: Water Research and Technology* 8(8): 1675-1686.



# Conclusies

Adsorptieprocessen kunnen effectief zijn voor verwijdering verontreinigingen

Hangt af van:

- Type adsorbens (korrelgrootte, poriegrootteverdeling, oppervlaktesamenstelling)
- Structuur en eigenschappen stoffen
- Matrix

Ook bruikbaar voor verwijdering deeltjes.



Groningehaven 7  
3433 PE Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)

I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



[@KWR\\_Water](https://twitter.com/KWR_Water)



[KWR](https://www.linkedin.com/company/kwr)



[KWR\\_Water](https://www.instagram.com/KWR_Water)



  
Roberta Hofman-Caris

[Roberta.hofman-caris@kwrwater.nl](mailto:Roberta.hofman-caris@kwrwater.nl)

+31 (0) 653198167