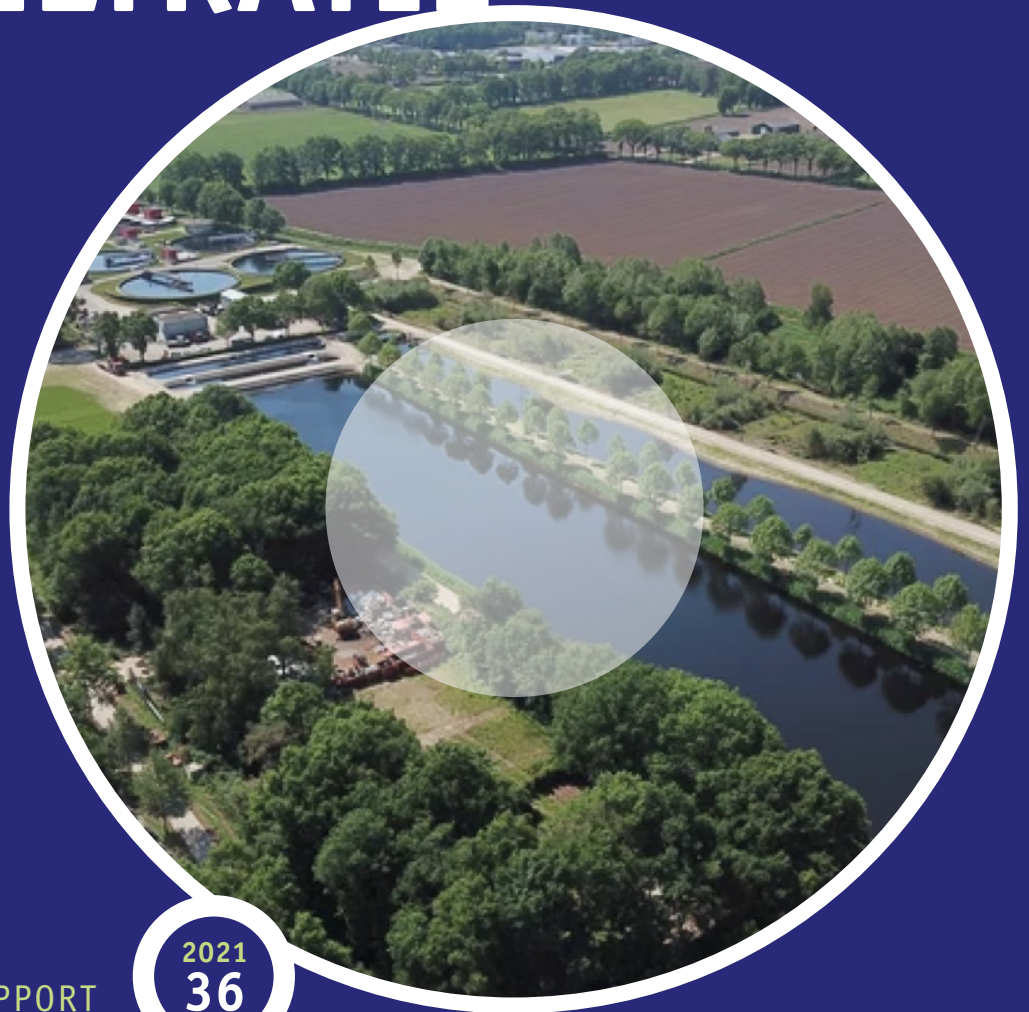




Ministerie van Infrastructuur  
en Waterstaat

stowa

# HAALBAARHEID UPFLOW GAK FILTRATIE



RAPPORT

2021  
36

HAALBAARHEID UPFLOW GAK FILTRATIE

RAPPORT

2021

36

ISBN 978.90.5773.957.6



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS J. van den Bulk (TAUW)

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

P. Wessels – Isle Utilities  
M. Mulder – Mirabella Mulder Wastewater Management  
E. Driessen – Isle Utilities  
G.B.J. Rijs – Rijkswaterstaat  
A. Deeke – Waterschap de Dommel  
J.F. Kramer – Witteveen en Bos  
C. de Jong – Witteveen en Bos  
C.A. Uijterlinde – STOWA  
J. Foekema – CABOT  
M. Bechger – Waternet

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv  
STOWA STOWA 2021-36  
ISBN 978.90.5773.957.6

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.  
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

## **UPFLOW GAK FILTRATIE VEELBELOVEND VOOR VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN**

**In dit onderzoek is de haalbaarheid van twee upflow Granulair Actief Kool (GAK) filtratie technieken onderzocht voor de Nederlandse situatie. De onderzochte technieken lijken veelbelovend te zijn voor de verwijdering van medicijnresten en andere microverontreinigingen uit Nederlands afvalwater. Met name vanwege de standtijd van de kool en het gebruik van gereactiveerde kool is de techniek concurrerend qua kosten en CO2 footprint.**

In het kader van het Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit Afvalwater (IPMV) is een haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd naar twee nieuwe varianten op GAK filtratie; fluidized bed GAK filtratie (CarboPlus concept) en upflow GAK filtratie (DynaCarbon concept).

Voor dit haalbaarheidsonderzoek is uitgegaan van de verwijderingsrendementen en verbruiksgegevens van full scale installaties in Duitsland en Zwitserland. Zowel het CarboPlus als het DynaCarbon concept worden in het buitenland full-scale toegepast voor de verwijdering van micro verontreinigingen. De resultaten van deze buitenlandse installaties zijn vertaald naar de Nederlandse situatie.

De ervaringen die opgedaan zijn op Zwitserse en Duitse rwzi's wijzen er op dat beide systemen aanzienlijk minder GAK verbruiken dan een "gangbaar" neerwaarts doorstroomd GAK filter, wat resulteert in een langere standtijd. Hierdoor nemen zowel het GAK verbruik als de kosten aanzienlijk af en verbetert de duurzaamheid. De oorzaak hiervoor moet gezocht worden in het betere contact tussen water en GAK in upflow systemen. In het DynaCarbon systeem is mogelijk ook sprake van biologische omzetting in het GAK filter. De duurzaamheid van beide GAK systemen valt niet alleen gunstig uit door het lagere GAK verbruik maar ook doordat gebruik gemaakt wordt van gereactiveerd kool. De CO2 footprint van gereactiveerd kool is aanzienlijk lager dan die van vers kool.

Uit dit haalbaarheidsonderzoek komt naar voren dat beide alternatieven kansrijk zijn voor de Nederlandse situatie. Vooral qua duurzaamheid maar ook qua kosten bieden beide GAK varianten perspectief ten opzichte van de referentietechniek GAK. De resultaten uit het haalbaarheidsonderzoek dienen voor de Nederlandse situatie getoetst te worden met pilot testen op rwzi Hapert.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

Dit rapport gaat in op de toepassing van actiefkool op de rwzi Hapert. Hierbij is specifiek gekozen voor een granulair actiefkoolfilter (GAK filter) omdat het bij poederkool toepassingen niet mogelijk is om de gebruikte kool her te gebruiken. Voor GAK filters geldt in Nederland een neerwaarts doorstroomd GAK filter als referentie. Het nadeel hiervan is dat dit type filter hoge investeringen vereist en het filterbed snel doorslaat waardoor het GAK verbruik per m<sup>3</sup> afvalwater hoog is. Dit resulteert in hoge kosten per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater en slechte score op duurzaamheid.

Kansrijke alternatieven voor GAK filtratie betreffen het fluidized bed GAK filter (CarboPlus concept) wat geleverd wordt door de firma Stereau en het upflow GAK filter (DynaCarbon concept) geleverd door Nordic Water. Beide concepten worden in het buitenland al full scale toegepast en kenmerken zich door een lager GAK verbruik. In beide gevallen wordt het GAK filter van onderaf doorstroomd en wordt het filterbed in beweging gehouden. In Duitsland, Zweden en Zwitserland zijn praktijkervaringen met deze systemen voor de nabehandeling van rwzi effluent waardoor de TRL van beide concepten 9 is.

In deze haalbaarheidsstudie is fluidized bed GAK filtratie (CarboPlus) en upflow GAK filtratie (DynaCarbon) vergeleken met referentie systemen. Allereerst is een schetsontwerp opgesteld voor een CarboPlus en DynaCarbon systeem op de rwzi Hapert waarna beide technieken voor een 100.000 i.e. case uitgewerkt zijn.

Het CarboPlus concept kenmerkt zich door een beperkte footprint en een laag GAK verbruik van 15 mg/l. Het concept wordt nageschakeld aan de nabezinktank en kan vanwege de modulaire opbouw toegepast worden op alle hotspot rwzi's (klein tot groot) waar PACAS niet geschikt is en er geen noodzaak is tot aanvullende N en P verwijdering. Ook het DynaCarbon filter kan vanwege de modulaire opbouw op kleine en grote rwzi's toegepast worden.

Uitgangspunt voor het ontwerp van het CarboPlus en DynaCarbon concept is de behandeling van 80% van het influent van de 100.000 i.e. referentie rwzi, wat overeenkomt met 6.132.000 m<sup>3</sup> per jaar. De kosten per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater bedragen in het geval van het CarboPlus systeem 17 cent per m<sup>3</sup> waarmee ze gelijk zijn aan O<sub>3</sub>+zandfiltratie en aanzienlijk goedkoper dan referentie GAK. Ook bij een lagere GAK dosering van 12 mg/l blijft de prijs per m<sup>3</sup> afgerond 17 cent terwijl bij een hogere GAK dosering van 18 mg/l de prijs oploopt naar 18 cent per m<sup>3</sup>.

Uitgaande van een standtijd van 2 jaar (24.000 bedvolumes) is voor het DynaCarbon systeem eveneens een prijs van 17 cent per m<sup>3</sup> berekend. Indien de standtijd 1 jaar bedraagt lopen de kosten op naar 19 cent per m<sup>3</sup> terwijl een standtijd van 3 jaar resulteert in een prijs van 16 cent per m<sup>3</sup>. PACAS is met 5 cent per m<sup>3</sup> aanzienlijk goedkoper dan beide GAK systemen. De totale jaarlijkse kosten voor het CarboPlus systeem bedragen 1.069.000 EUR/jaar tegenover 1.017.000 EUR/jaar voor het DynaCarbon systeem.

De CO<sub>2</sub> footprint van het CarboPlus en DynaCarbon systeem is uitgewerkt voor het scenario waarbij enkel geregenereerde GAK wordt toegepast en voor het scenario waarbij de initiële vulling bestaat uit vers GAK en de GAK na vier regeneraties vervangen wordt door vers GAK (20% vers GAK, 80% geregenereerd GAK). De CO<sub>2</sub> footprint voor het CarboPlus systeem ligt met

58 – 80 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> heel veel lager dan referentie GAK wat een CO<sub>2</sub> emissie heeft van 325 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>. In vergelijking met PACAS en O<sub>3</sub>+zandfiltratie stoot het CarboPlus systeem de helft minder CO<sub>2</sub> uit. Wat verder opvalt is dat de CO<sub>2</sub> emissie toeneemt indien er uitgegaan wordt van 20% vers GAK maar dat de totale CO<sub>2</sub> emissie met 80 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> nog steeds heel laag is in vergelijking met referentietechnieken. Het DynaCarbon concept resulteert in een uitstoot van 104 – 131 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>. In vergelijking met PACAS en O<sub>3</sub>+zandfiltratie resulteert het DynaCarbon concept in minder CO<sub>2</sub> uitstoot indien enkel geregenereerd GAK wordt toegepast en een gelijke uitstoot indien 20% van de vullingen vers GAK betreft.

De verklaring voor de lage CO<sub>2</sub> emissies van CarboPlus en DynaCarbon is het relatief lage GAK verbruik per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater en het feit dat voornamelijk geregenereerd GAK gebruikt wordt.

In een vervolgfase worden het CarboPlus en DynaCarbon systeem op pilot schaal getest op de rwzi Hapert.

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# HAALBAARHEID UPFLOW GAK FILTRATIE

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>METHODE</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>BESCHRIJVING TECHNIEKEN</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	CarboPlus	5
<b>3.2</b>	DynaCarbon	6
<b>3.3</b>	Granulair actief kool	8
<b>4</b>	<b>VERWIJDERINGSRENDEMENT MICRO VERONTREINIGINGEN</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	CarboPlus	9
<b>4.2</b>	DynaCarbon	12
<b>5</b>	<b>DUURZAAMHEID GAK</b>	<b>15</b>
<b>5.1</b>	PAK en GAK	15
<b>5.2</b>	Toegepast GAK in CarboPlus en DynaCarbon systemen	15
<b>5.3</b>	Duurzaamheid geregenereerde GAK	16
<b>5.4</b>	GAK dosering en CO <sub>2</sub> emissie GAK	17
<b>6</b>	<b>DOORVERTALING NAAR NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK</b>	<b>18</b>
<b>6.1</b>	Inleiding	18
<b>6.2</b>	Technology readiness level	18
<b>6.3</b>	Dimensioneringsgrondslagen	19
<b>6.4</b>	Verwijderingsrendement micro verontreinigingen	21
<b>6.5</b>	Effect op ecotoxiciteit	22
<b>6.6</b>	Uitspoeling van GAK naar effluent	22
<b>6.7</b>	Inpassing in de Nederlandse zuivering praktijk	23



<b>7</b>	<b>SCHETSONTWERP RWZI HAPERT EN DOORVERTALING 100.000 I.E. ZUIVERING</b>	<b>25</b>
7.1	Inleiding	25
7.2	Uitgangspunten rwzi Hapert	25
7.3	Ontvangen budgetramingen	25
7.4	Schetsontwerp	26
7.5	Inpassing op rwzi Hapert	29
7.6	Doorvertaling naar 100.000 i.e. referentie rwzi	30
<b>8</b>	<b>DUURZAAMHEID</b>	<b>31</b>
8.1	Inleiding	31
8.2	Uitgangspunten	31
8.3	CO <sup>2</sup> footprint	32
<b>9</b>	<b>KOSTEN</b>	<b>34</b>
9.1	Inleiding	34
9.2	Investeringskosten	34
9.3	CAPEX en OPEX	35
<b>10</b>	<b>LEEMTEN IN KENNIS EN DOORKIJK NAAR VERVOLGFASE</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIES</b>	<b>39</b>
<b>12</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>41</b>
BIJLAGE 1	VERWIJDERINGSRENDEMENT CARBOPLUS RWZI PENTHAZ	42
BIJLAGE 2	VERWIJDERINGSRENDEMENT DYNACARBON RWZI EMMINGEN-LIPTINGEN EN SIMRISHAMN	48
BIJLAGE 3	PFD DYNACARBON	51
BIJLAGE 4	BUDGETRAMING CARBOPLUS	52
BIJLAGE 5	BUDGETRAMING DYNACARBON	53
BIJLAGE 6	SPECIFICATIE ENERGIEVERBRUIK CARBOPLUS RWZI HAPERT	54

# 1

## INLEIDING

### AANLEIDING

Binnen diverse trajecten, Schone Maas Waterketen, landelijke en regionale hotspotanalyse is er aandacht voor nieuwe stoffen in afvalwater en de aanpak hiervan. Eind 2017 is de landelijke hotspotanalyse geneesmiddelen RWZI's verschenen (STOWA rapport 2017-42). In het rapport zijn de RWZI's geïdentificeerd die een relatief grote invloed hebben op de waterkwaliteit ten gevolge van het lozen van medicijnresten. In navolging van deze landelijke hotspotanalyse is een nadere regionale hotspotanalyse voor het Maasstroomgebied gemaakt om een duidelijker handelingsperspectief voor de Maas-waterschappen te creëren.

Een groep van 10 RWZI's is als resultaat van deze studie te bestempelen als 'hotspot' binnen het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied, omdat de impact van maatregelen op de waterkwaliteit en de drinkwaterinnamepunten hier groot zijn. Dit zijn RWZI's Aarle-Rixtel, Eindhoven, Tilburg-Noord, Land van Cuijk, Oijen, Hapert, Rijen, Hoensbroek, Dinther en Biest-Houtakker. Samen zijn deze RWZI's verantwoordelijk voor 70% van de binnenlandse invloed van zuiveringen in het Maasstroomgebied. De RWZI Soerendonk scoort ook hoog maar net buiten de top 10.

Voor Eindhoven en Tilburg zijn maatregelen in de vorm van PACAS voorzien in de meerjarenbegroting. Voorafgaand hieraan is een pilot voorzien. Diverse werkzaamheden op Eindhoven staan een pilot op dit moment in de weg daarop is recent besloten om de pilot op één van de andere (kleinere) hotspots uit te voeren.

### DOEL

Elk van de gangbare technieken (PACAS, Ozon en GAK) heeft zijn eigen voor- en nadelen. Omdat Tilburg en Eindhoven ook verschillende toekomstige ontwikkelingen hebben is ervoor gekozen 2 verschillende technieken verder uit te werken in de vorm van een (Full scale) pilot. Ozon op Soerendonk en actiefkool op Hapert.

Dit rapport gaat in op de toepassing van actiefkool op de rwzi Hapert. Hierbij is specifiek gekozen voor een granulair actiefkoolfilter (GAK filter) omdat het bij poederkool toepassingen niet mogelijk is om de gebruikte kool her te gebruiken. Voor GAK filters geldt in Nederland een neerwaarts doorstroomd GAK filter als referentie. Het nadeel hiervan is dat dit type filter hoge investeringen vereist en het filterbed snel doorslaat waardoor het GAK verbruik per m<sup>3</sup> afvalwater hoog is. De snelle verzadiging van de GAK wordt veroorzaakt door voorkeursstromingen die er voor zorgen dat het filterbed lokaal verzadigd raakt en door gaat slaan terwijl een groot deel van de GAK dan nog niet verzadigd is. Dit resulteert in hoge kosten per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater en slechte score op duurzaamheid.

Kansrijke alternatieven voor GAK filtratie betreffen het fluidized bed GAK filter (CarboPlus concept) wat geleverd wordt door de firma Stereau en het upflow GAK filter (DynaCarbon concept) geleverd door Nordic Water. Beide concepten worden in het buitenland al full scale toegepast en kenmerken zich door een lager GAK verbruik. In beide gevallen wordt het GAK filter van onderaf doorstroomt en wordt het filterbed in beweging gehouden. In het geval van het fluidized bed GAK filter bestaat de vulling uit zeer kleine GAK korrels die door de opwaartse stroming een gefluïdiseerd bed vormen waardoor er maximaal contact tussen het GAK en micro verontreinigingen mogelijk is. Het upflow GAK filter betreft een continue zandfilter (type Dynasand) wat gevuld is met GAK. Het filterbed wordt met behulp van een mammoetpomp in beweging gehouden. In Duitsland, Zweden en Zwitserland zijn praktijkervaringen met deze systemen.

In deze haalbaarheidsstudie worden fluidized bed GAK filtratie (CarboPlus) en upflow GAK filtratie (DynaCarbon) vergeleken met referentie systemen. Allereerst is een schetsontwerp opgesteld voor een CarboPlus en DynaCarbon systeem op de rwzi Hapert waarna beide technieken voor een 100.000 i.e. case uitgewerkt zijn.

### **LEESWIJZER**

Hoofdstuk 2 beschrijft de methode waarna in hoofdstuk 3 het CarboPlus en DynaCarbon concept beschreven worden. Hoofdstuk 4 bespreekt het verwijderingsrendement van beide systemen op micro verontreinigingen in full scale referentieprojecten. Hoofdstuk 5 gaat specifiek in op de GAK die toegepast wordt in het CarboPlus en DynaCarbon systeem waarna in hoofdstuk 6 een doorvertaling volgt naar de praktijk. In hoofdstuk 7 is een schetsontwerp opgesteld voor de rwzi Hapert en is een doorvertaling gemaakt naar een 100.000 i.e. referentie zuivering. In hoofdstuk 8 is de duurzaamheid van het CarboPlus en DynaCarbon concept uitgewerkt in vergelijking met referentie GAK waarna in hoofdstuk 9 de kosten uitgewerkt zijn. In hoofdstuk 10 volgen de leemtes in kennis en een doorkijk naar een vervolgfase waarna in hoofdstuk 11 de conclusies volgen.

# 2

## METHODE

In deze haalbaarheidsstudie zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Literatuuronderzoek
- Beschrijving technieken en productieproces GAK
- Doorvertaling naar de Nederlandse zuiveringspraktijk
- Schetsontwerp rwzi Hapert en doorvertaling naar 100.000 i.e. zuivering
- Duurzaamheid
- Investeringskosten en jaarlijkse kosten
- Leemten in kennis en doorkijk vervolgfase

### **LITERATUURONDERZOEK**

Via literatuuronderzoek van referentieprojecten (pilot en full scale) is informatie verzameld over de techniek, dimensioneringsgrondslagen, verwijderingsrendementen, GAK verbruik en kosten. Vervolgens zijn gesprekken gevoerd met de leveranciers van het fluidized bed GAK filter en het upflow GAK filter alsmede een leverancier van GAK.

### **BESCHRIJVING TECHNIKEN EN TOEGEPAST GAK**

Op basis van de informatie uit het literatuuronderzoek en de interviews zijn de beide GAK filtratie systemen beschreven en wordt specifiek ingegaan op de toegepaste GAK en de CO<sub>2</sub> footprint daarvan.

### **VERWIJDERINGSRENDEMENT GIDSSTOFFEN EN DUURZAAMHEID GAK**

Aan de hand van het literatuuronderzoek en de interviews is het verwijderingsrendement van beide technieken vastgesteld en is de duurzaamheid van de toegepaste GAK beschreven.

### **DOORVERTALING**

Aan de hand van de techniekbeschrijving is de TRL van beide technieken bepaald, zijn dimensioneringsgrondslagen vastgesteld en zijn de verwijderingsrendement op micro's bepaald. Vervolgens is een doorvertaling gemaakt naar de Nederlandse zuiveringspraktijk.

### **SCHETSONTWERP RWZI HAPERT EN DOORVERTALING 100.000 I.E. REFERENTIE RWZI**

In overleg met Waterschap de Dommel zijn uitgangspunten opgesteld voor de rwzi Hapert waarna budgetramingen opgevraagd zijn bij de leveranciers van beide GAK systemen. Op basis van deze budgetramingen zijn schetsontwerpen opgesteld voor de inpassing van beide systemen op de rwzi Hapert. Op basis van de budgetramingen is een doorvertaling gemaakt naar een 100.000 i.e. referentie rwzi.

### **DUURZAAMHEID**

De duurzaamheid van beide GAK filtratie systemen is uitgewerkt aan de hand van de CO<sub>2</sub> footprint en de vermindering van de ecotoxiciteit. De CO<sub>2</sub> footprint is berekend met het 'Model CO<sub>2</sub> footprint rwzi's micro's 100.000 i.e.' en hangt samen met het energieverbruik, GAK verbruik, slibproductie, opvoerhoogte, waswater en het verbruik van overige toeslagstoffen.

### **KOSTEN**

Op basis van turn-key budgetramingen van leveranciers is een doorvertaling gemaakt van de investeringskosten en operationele kosten voor een referentiezuiivering van 100.000 i.e.

### **LEEMTEN IN KENNIS EN DOORKIJK NAAR VERVOLG**

Aan de hand van de resultaten van het onderzoek zijn leemten in kennis geformuleerd, is een doorkijk gegeven naar de vervolfase en zijn conclusies geformuleerd.

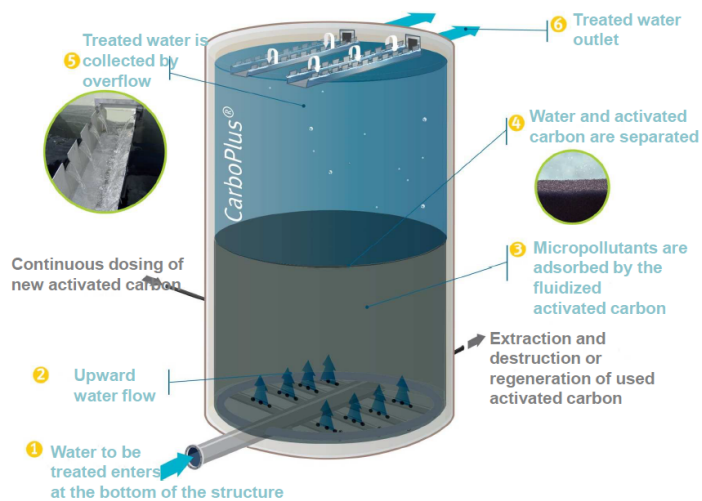
# 3

## BESCHRIJVING TECHNIEKEN

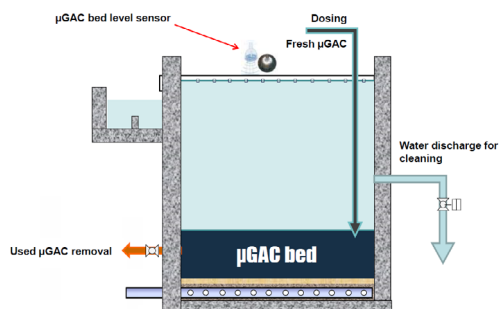
### 3.1 CARBOPLUS

Een recent ontwikkelde methode voor de verwijdering van micro verontreinigingen uit rwzi effluent is het CarboPlus concept van de Franse firma Stereau. Het CarboPlus concept betreft een continue bedreven 'fluidized bed' filter waarbij het GAK filterbed van onderaf in suspensie gehouden wordt. Het schone water wordt bovenaan via een overflow afgevoerd. Door een geautomatiseerde toe- en afvoer van GAK blijft de verwijderingsprestatie continu en stabiel gewaarborgd. Met een vaste frequentie wordt vers GAK automatisch toegevoerd en afgevoerd (bijvoorbeeld eenmaal per twee dagen). GAK wat afgevoerd is uit het filter wordt direct op locatie ontwaterd. Figuur 3.1 geeft een schematisch weergave van het CarboPlus systeem. Als er aanvoer is vormt het GAK een gefluïdiseerd bed (rechts onder), als er geen aanvoer is, zoals 's nachts, zakt het GAK naar beneden (linksonder).

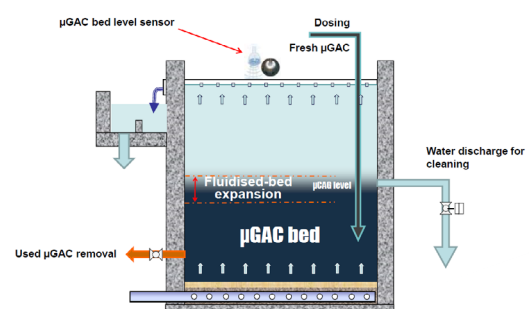
FIGUUR 3.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE CARBOPLUS SYSTEEM (BOVEN), GAK BED IN RUST (LINKS ONDER), GEFLUÏDISEERD GAK BED (RECHTS ONDER); BRON STEREAU



System in rust



System in bedrijf



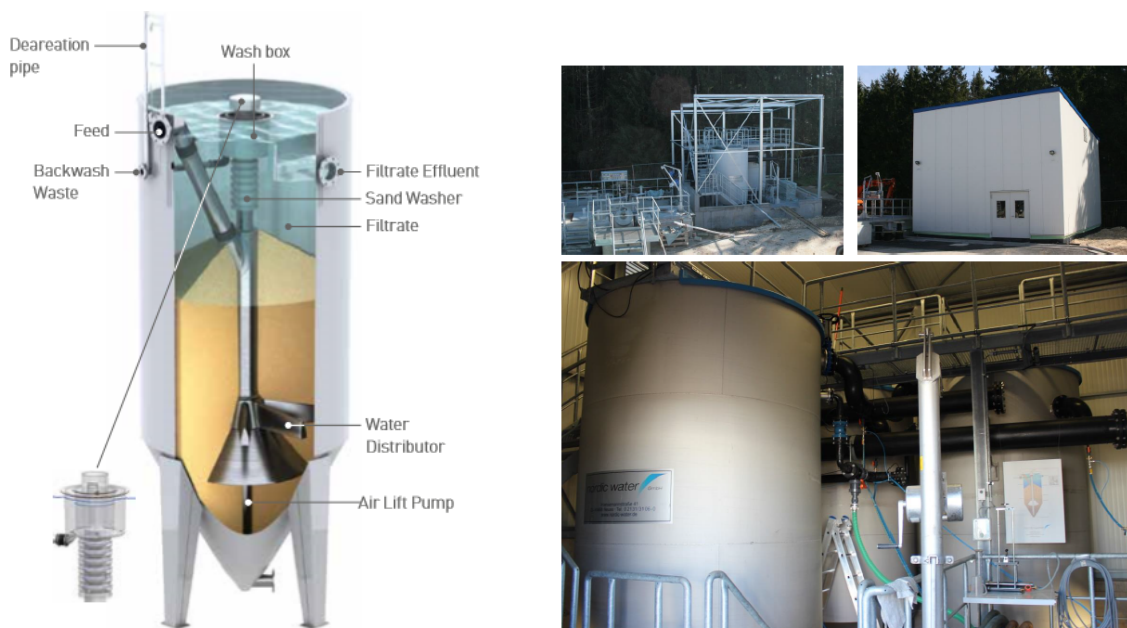
Het CarboPlus systeem is oorspronkelijk ontwikkeld voor drinkwaterproductie maar wordt sinds enkele jaren ook toegepast voor de zuivering van afvalwater. Op de rwzi Penthaz in Zwitserland staat sinds 2018 het eerste full scale CarboPlus filter op rwzi effluent. In de periode 2015 – 2018 zijn op de rwzi Penthaz diverse pilot onderzoeken uitgevoerd met het CarboPlus systeem (Triform, 2017), (Triform, 2018). Het GAK verbruik van het CarboPlus systeem op de rwzi Penthaz bedraagt 15 mg/l. Zowel in het pilot onderzoek als bij de praktijkinstallatie wordt 15 mg/l GAK gedoseerd waarbij een verwijderingsrendement van meer dan 80% gehaald is op de 12 Zwitserse indicatorstoffen (Stereau, 2019) (zie verder hoofdstuk 4). Het DOC gehalte in het effluent van de rwzi Penthaz bedraagt 6 mg/l. Ook op andere rwzi's zijn pilots uitgevoerd met het CarboPlus systeem in Parijs (Frankrijk) en Lausanne (Zwitserland) (Saur, 2020).

Het CarboPlus filter is gevuld met granulair kool met een zeer kleine korrelgrootte van circa 0,5 mm (0,42 – 1,4 mm), ook wel micrograins genoemd. De micrograins worden geproduceerd uit geregenereerd kool. Door de kleine granulometrie zijn de micrograins geschikt voor toepassing in een gefluidiseerd bed. Bij de juiste stroomsnelheid spoelen ze niet uit en bezinken ze ook niet. In paragraaf 3.3 wordt het verschil tussen micrograins, gangbaar granulair kool en poederkool beschreven.

### 3.2 DYNACARBON

Het DynaSand filter gevuld met granulair actiefkool wordt sinds enkele jaren door Nordic Water vermarkt als DynaCarbon filter. Het DynaCarbon filter is gelijk aan een gangbaar DynaSand filter met als verschil dat er een kleinere mammoetpomp gebruikt wordt. Het DynaSand filter is schematisch weergegeven in Figuur 3.2. Het filter wordt van onderaf doorstroomt met rwzi effluent. Het filterbed wordt continue in beweging gehouden door een mammoetpomp en gereinigd met een water die doorstroomt wordt met filtraat uit het DynaCarbon filter zelf.

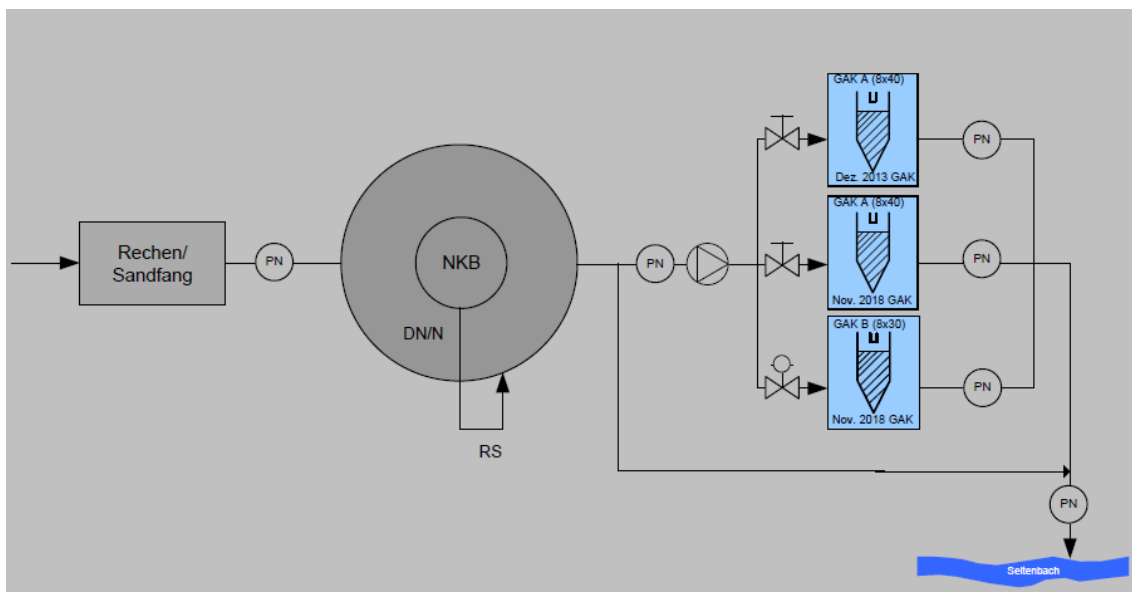
FIGUUR 3.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE DYNASAND FILTER MET MAMMOETPOMP (LINKS), 3 DYNACARBON FILTERS IN GEBOUW RWZI EMMINGEN-LIPTINGEN (RECHTS); BRON NORDIC WATER



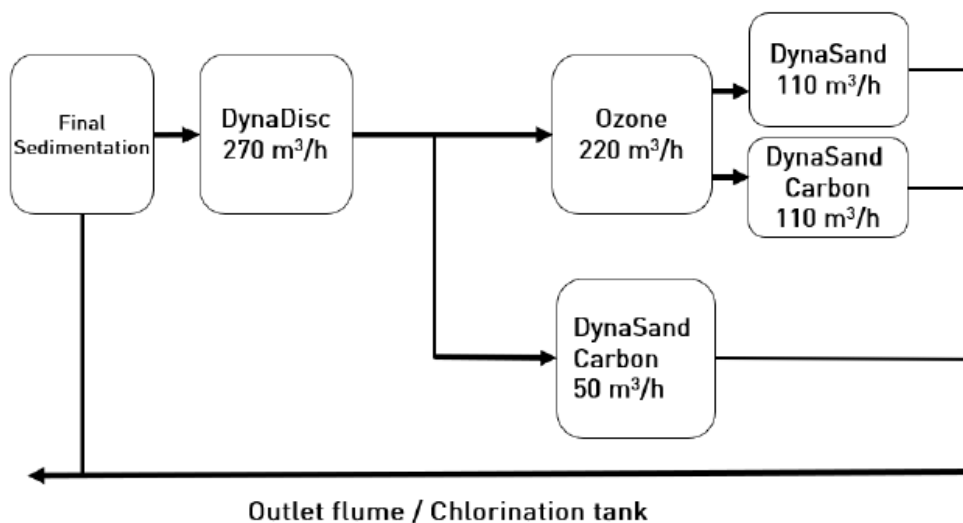
Het DynaCarbon filter is gerealiseerd op de rwzi's Weißenburg, Regensdorf en Emmingen-Liptingen (allen Duitsland) en Simrishamn (Zweden). Op de rwzi's Regensdorf en Weißenburg staat het DynaCarbon filter nageschakeld aan een ozon installatie. Op de rwzi Emmingen-Liptingen en Simrishamn functioneert het DynaCarbon filter zonder voorgeschakelde ozon installatie. Op de rwzi Rietberg is in 2012-2013 een full scale pilot uitgevoerd waarbij bestaande DynaSand filters omgebouwd zijn naar DynaCarbon filter.

Op de rwzi Emmingen-Liptingen is in 2013 de eerste van de drie aanwezige DynaSand filters omgebouwd naar een DynaCarbon filter. In 2018 zijn ook de twee andere DynaSand filters omgebouwd naar DynaCarbon filter. In Figuur 3.3 is een schematische weergave opgenomen van de rwzi Emmingen-Liptingen met nageschakelde DynaCarbon filters. Deze filters zijn gevuld met 2 m<sup>3</sup> GAK per filter. In Figuur 3.4 is een schematische impressie opgenomen van de rwzi Simrishamn met nageschakeld DynaCarbon, ozon+DynaCarbon en ozon+DynaSand.

FIGUUR 3.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE RWZI EMMINGEN-LIPTINGEN MET NAGESCHAKELD DYNACARBON FILTER. BRON: (LOCHER, 2019)



FIGUUR 3.4 SCHEMATISCHE WEERGAVE RWZI SIMRISHAMN MET NAGESCKAKELD DYNACARBON EN OZON+DYNASAND/CARBON. BRON: (NORDIC WATER, 2020)

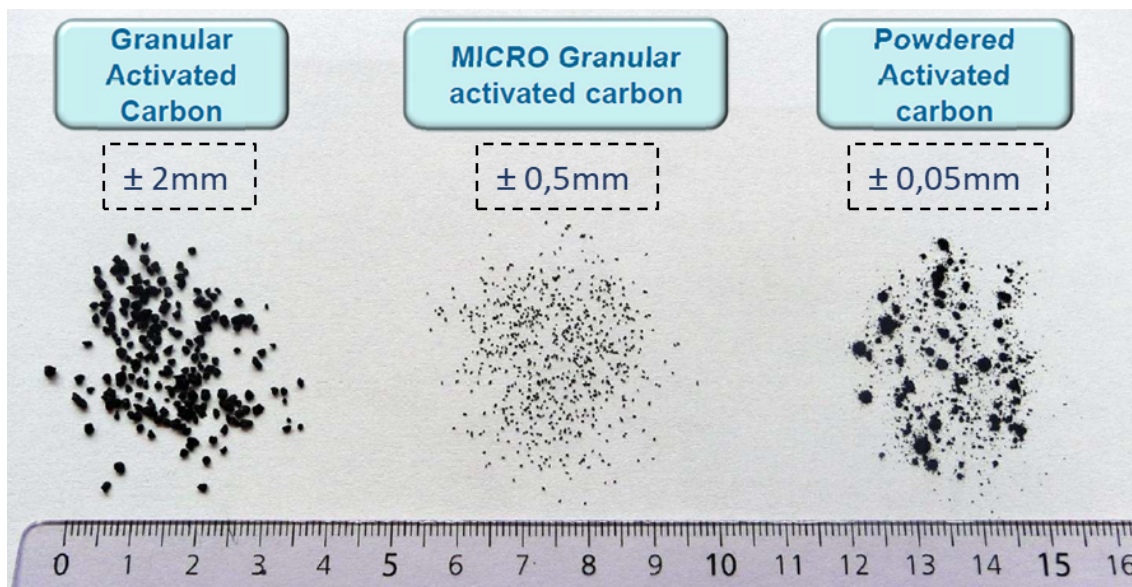




### 3.3 GRANULAIR ACTIEF KOOL

In het CarboPlus filter wordt micro granulair actief kool gebruikt (verder micro GAK). Micro GAK is met een gemiddelde diameter van 0,5 mm aanzienlijk kleiner dan gangbaar granulair actief kool wat een diameter heeft van circa 2 mm. In Figuur 3.5 wordt een indruk gegeven van de grootte van micrograins in vergelijking met standaard granulair kool en poederkool. Let op: het poederkool bestaat uit 'hoopjes' poeder waardoor ze groter lijken dan micro GAK wat in de praktijk niet zo is.

FIGUUR 3.5 GRANULAIR ACTIEFKOOL, MICRO GRANULAIR ACTIEF KOOL EN HOOPJES POEDER ACTIEF KOOL; BRON STEREAU



Vanwege de geringere diameter blijven de micrograins veel beter in suspensie dan standaard granulair kool waardoor het geschikt is om te worden toegepast in het fluidized bed van het CarboPlus systeem.

Voor het CarboPlus en DynaCarbon systeem zijn meerdere kolen getest van verschillende leveranciers. Zo is op de rwzi Penthaz getest met Norit GAC 3040 AW en CycleCarb 305, hieruit kwam CycleCarb 305 van Chemviron Carbon als de beste naar voren (Triform, 2018). De resultaten in dit rapport hebben dan ook betrekking op een CarboPlus filter met CycleCarb 305.

Op de rwzi Emmingen-Liptingen zijn 7 verschillende GAK soorten van verschillende leveranciers (CSC, Jacobi, Chemviron, Norit, Carbo Tech en Donau Carbon) getest. Uit deze test kwam Cyclecarb 401 van Chemviron als beste naar voren voor de verwijdering van micro verontreinigingen (Projectverbund Emmingen-Liptingen, 2015). De in dit rapport beschreven resultaten betreffen een DynaCarbon filter met CycleCarb 401.

In hoofdstuk 5 wordt de duurzaamheid van het toegepaste GAK besproken.

## 4

# VERWIJDERINGSRENDEMENT MICRO VERONTREINIGINGEN

## 4.1 CARBOPLUS

Het verwijderingsrendement op micro verontreinigingen is voor het CarboPlus systeem van Stereau uitgebreid gemonitord op de rwzi Penthaz (ontwerp: 15.000 ie. dagdebiet: 2.500 m<sup>3</sup>). In de periode 2018 – 2019 werd voor 12 Zwitserse indicatorstoffen een gemiddeld verwijderingsrendement gehaald van 87% over enkel het CarboPlus systeem, bepaald op influent CarboPlus (effluent rwzi) t.o.v. effluent CarboPlus (Stereau, 2019). De afzonderlijke analysere-sultaten zijn opgenomen in Bijlage 1. Van oktober 2018 tot juli 2019 is een vaste GAK dosering (CycleCarb305) van 15 mg/l gehanteerd. Vanaf juli 2019 is de GAK dosering terug gebracht naar 13 en uiteindelijk 12 mg/l (Figuur 4.1).

FIGUUR 4.1 VERWIJDERINGSRENDEMENT EN GAK DOSERING RWZI PENTHAZ. BRON: (STEREAU, 2019)



De 12 geanalyseerde stoffen betreffen; Amisulpride, Benzotriazol, Candesartan, Carbamazepine, Citalopram, Clarithromycine, Diclofenac, Hydrochlorothiazide, Irbesartan, Methylbenzotriazole, Metoprolol, Venlafaxin. 7 van deze 12 stoffen behoren tot de 11 Nederlandse gidsstoffen (Benzotriazol, Carbamazepine, Clarithromycine, Diclofenac, Hydrochlorothiazide, Methylbenzotriazol, Metoprolol) en de overige 5 stoffen betreffen kandidaat gidsstoffen (Amisulpride, Candesartan, Citalopram, Irbesartan, Venlafaxin). In Tabel 4.1 zijn de 12 geanalyseerde stoffen opgenomen en de lijst met Nederlandse (kandidaat) gidsstoffen.

De gidsstoffen die op de rwzi Penthaz niet geanalyseerd zijn betreffen Propranolol, Sotalol, Sulfamethoxazol en Trimethoprim. Uit STOWA 2018-02 volgt dat het verwijderingsrendement van Propranolol, Sotalol en Sulfamethoxazol in het geval van PAK dosering vergelijkbaar is met die van de andere gidsstoffen. De verwachting is daarom dat het verwijderingsrendement zoals opgenomen in Figuur 4.1 representatief is voor alle Nederlandse gidsstoffen.

TABEL 4.1

## (KANDIDAAT) GIDSSTOFFEN EN GEANALYSEERDE STOFFEN OP RWZI PENTHAZ

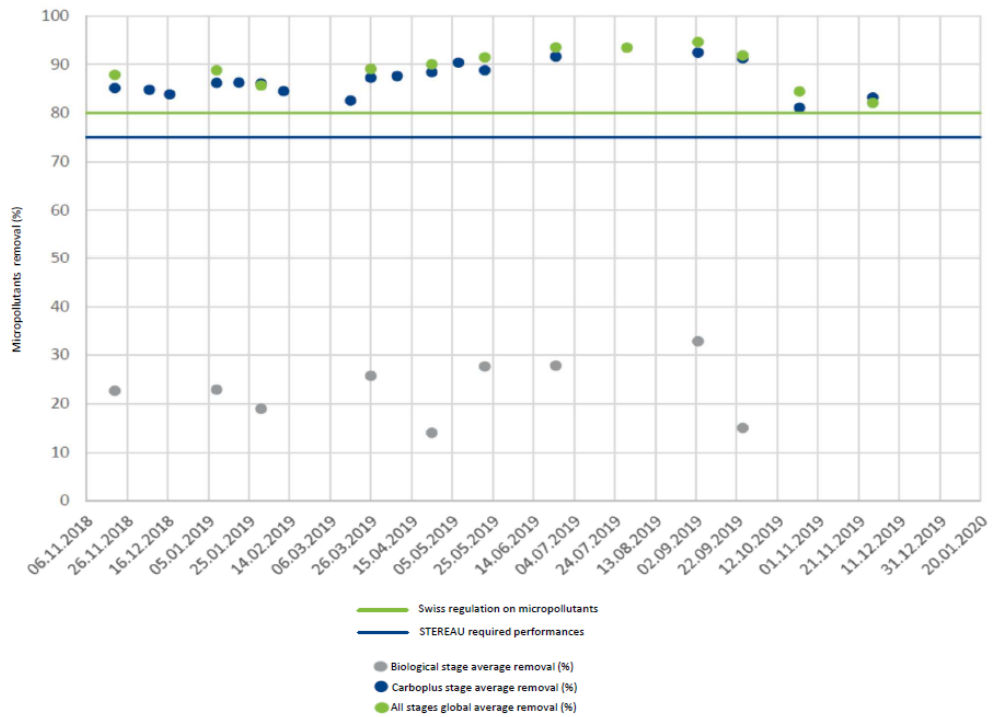
Stof	Status	Geanalyseerd op rwzi Penthaz
Som 4-,5-methylbenzotriazol	Gidsstof	X
Amsulpride	Kandidaat gidsstof	X
Azythromycine	Kandidaat gidsstof	-
Benzotriazol	Gidsstof	X
Candesartan	Kandidaat gidsstof	X
Carbamazepine	Gidsstof	X
Citalopram	Kandidaat gidsstof	X
Clarithromycine	Gidsstof	X
Diclofenac	Gidsstof	X
Furosemide	Kandidaat gidsstof	-
Gabapentine	Kandidaat gidsstof	-
Hydrochloorthiazide	Gidsstof	X
Irbesartan	Kandidaat gidsstof	X
Metroprolol	Gidsstof	X
Propranolol	Gidsstof	-
Sotalol	Gidsstof	-
Sulfamethoxazol	Gidsstof	-
Trimethoprim	Gidsstof	-
Venlafaxine	Kandidaat gidsstof	X

Het verwijderingsrendement van alleen de biologie lag voor de rwzi Penthaz tussen de 15% en 35%. Over de hele rwzi Penthaz bedroeg het gemiddelde verwijderingsrendement meer dan 90%. De rwzi Penthaz bestaat uit: mechanische voorbehandeling, voorbezinktank, biologie, chemische fosfaatverwijdering en een nabezinktank.

In Figuur 4.2 is het verwijderingsrendement op de 12 Zwitserse indicatorstoffen samengevat. De grijze stippen laten het verwijderingsrendement van de biologie zien, de blauwe stippen betreffen het verwijderingsrendement van alleen het CarboPlus systeem (influent CarboPlus, effluent CarboPlus) en de groene stippen betreffen het totale verwijderingsrendement over de rwzi Penthaz (influent rwzi, effluent rwzi). Het figuur geeft een vertekend beeld omdat het er op lijkt dat het totaalrendement van de rwzi nauwelijks hoger is dan het rendement van alleen de CarboPlus. Dit wordt veroorzaakt doordat de groene stippen het rendement over de totale rwzi betreffen en de blauwe stippen het rendement over enkel de CarboPlus installatie.

FIGUUR 4.2

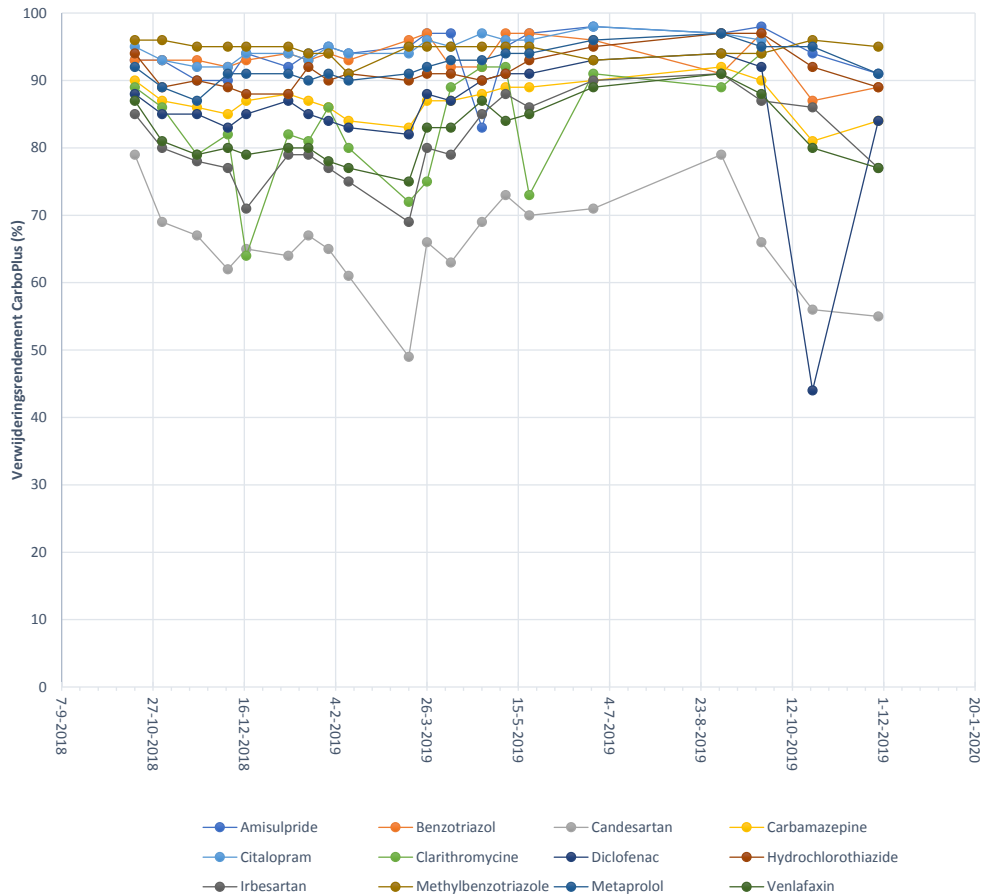
ONTWIKKELING VERWIJDERINGSRENDEMENT OP RWZI PENTHAZ OP DE 12 ZWITSERSE INDICATORSTOFFEN: AMISULPRIDE, BENZOTRIAZOLE, CANDESARTAN, CARBAMAZEPINE, CITALOPRAM, CLARITHROMYCINE, DICLOFENAC, HYDROCHLOROTHIAZIDE, IRBESARTAN, METHYLBENZOTRIAZOLE, METOPROLOL, VENLAFAXIN. BRON: (STEREAU, 2019)



In Figuur 4.3 is het verwijderingsrendement van de CarboPlus installatie te zien op 12 Zwitserse indicatorstoffen. Dit verwijderingsrendement betreft enkel de CarboPlus installatie, dus exclusief de biologie. Te zien is dat het gemiddelde verwijderingsrendement op Benzotriazole, Carbamazepine, Clarithromycine, Diclofenac, Hydrochlorothiazide, Methylbenzotriazole, Metoprolol ruim boven de 80% ligt. Het gemiddelde verwijderingsrendement op 7 van de 11 Nederlandse gidsstoffen ligt daarmee boven de 80%. Op basis van de ervaringen in STOWA 2018-02 geldt dit naar verwachting ook voor Propranolol, Sotalol en Sulfamethoxazol. Het verwijderingsrendement voor Trimethoprim kon in STOWA 2018-02 niet worden vastgesteld.

FIGUUR 4.3

VERWIJDERINGSRENDERING INDIVIDUELE GIDSSTOFFEN CARBOPLUS RWZI PENTHAZ. BRON: (STEREAU, 2019)

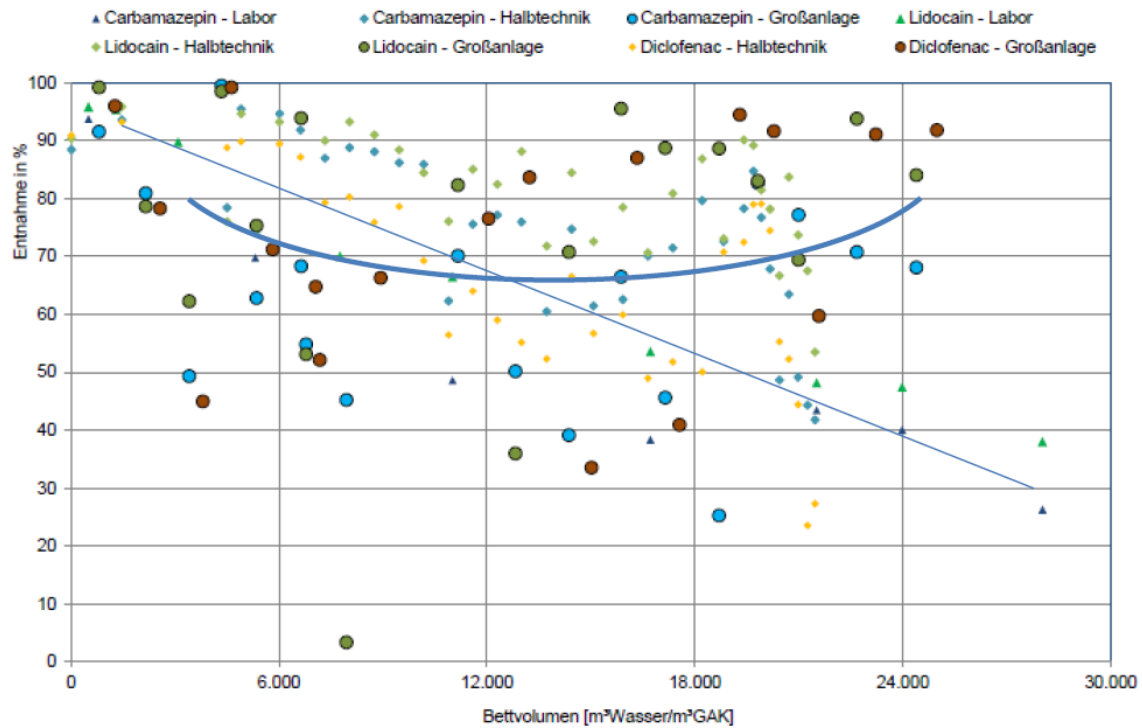


## 4.2 DYNACARBON

Het verwijderingsrendement op micro verontreinigingen van het DynaCarbon systeem is sinds 2013 periodiek gemonitord op de rwzi Emmingen Liptingen. Deze rwzi beschikt over een mechanische voorbehandeling, biologie en drie DynaSand zandfilters. In 2013 is de eerste van deze drie DynaSand filters omgebouwd naar een DynaCarbon filter. De mammoetpomp is vervangen door een kleiner type mammoetpomp en de vulling is vervangen door GAK. In 2018 zijn ook de andere twee zandfilters omgebouwd naar DynaCarbon filter.

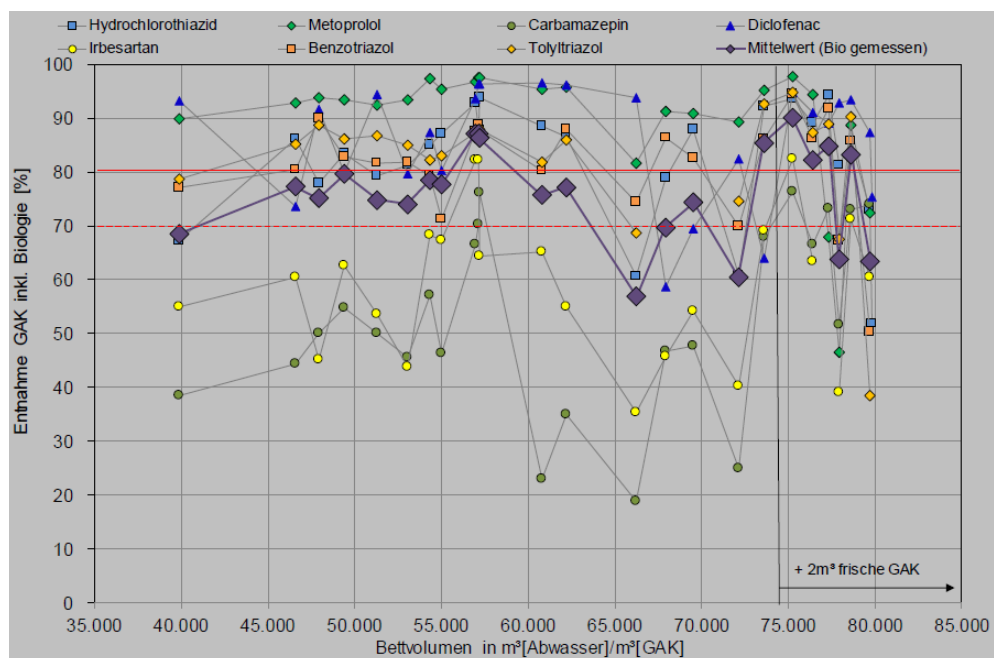
Na 24.000 bedvolumes bedroeg het verwijderingsrendement van de rwzi Emmingen-Liptingen circa 80% voor de stoffen Carbamazepine, Lidocaine en Diclofenac (NordicWater, 2020). Het verwijderingsrendement over 24.000 bedvolumes is weergegeven in Figuur 4.4. In het figuur zijn zowel analyseresultaten te zien van de praktijkinstallatie (Großanlage) als van laboratoriumonderzoek (Halbtechnik). De ontwikkeling van het verwijderingsrendement van de praktijkinstallatie is opvallend. Te zien is dat het initiële verwijderingsrendement rond de 80% ligt waarna een afname optreedt tot minder dan 70% gevolgd door een stijging van het verwijderingsrendement oplopend tot 80% na 24.000 bedvolumes. De laboratoriumopstelling laat dit patroon niet zien. Mogelijk dat biofilmvorming op het GAK in de praktijkinstallatie bijdraagt aan het verwijderingsrendement.

FIGUUR 4.4 VERWIJDERINGSRENDEMENT OP MICRO VERONTREINIGINGEN RWZI EMMINGEN LIPTINGEN (BIOLOGIE+DYNACARBON FILTER). BRON: (NORDICWATER, 2020)



Het verwijderingsrendement op micro verontreinigingen van het filter wat in 2013 is omgebouwd is vastgesteld over de periode 40.000 tot 75.000 bedvolumes (Figuur 4.5). Het totale verwijderingsrendement van de biologie en het DynaCarbon filter ligt na 75.000 bedvolumes nog boven de 70% voor de Duitse indicatorstoffen Hydrochlorothiazide, Metoprolol, Diclofenac, Carbamazepine, irbesartan, Tolytriazol en Benzotriazol (Locher, 2019). Vijf van deze zeven stoffen betreffen gidsstoffen. In Bijlage 2 zijn de verwijderingsrendementen van de afzonderlijke stoffen opgenomen. In deze bijlage zijn tevens de verwijderingsrendementen van de rwzi Simrishamn opgenomen.

FIGUUR 4.5 VERWIJDERINGSRENDEMENT DYNACARBON FILTER OP INDICATORSTOFFEN RWZI EMMINGEN LIPTINGEN. BRON: (LOCHER, 2019)



In Tabel 4.2 zijn de Nederlandse (kandidaat)gidsstoffen opgenomen en de stoffen die in de twee meetrondes op de rwzi Emmingen-Liptingen zijn geanalyseerd.

TABEL 4.2 (KANDIDAAT) GIDSSTOFFEN EN GEANALYSEERDE STOFFEN OP RWZI EMMINGEN-LIPTINGEN

Stof	Status	Analyses 0 – 24.000 bedvolumes	Analyses 40.000 – 75.000 bedvolumes
Som 4-,5-methylbenzotriazol	Gidsstof		
Amsulpride	Kandidaat gidsstof		
Azythromycine	Kandidaat gidsstof		
Benzotriazol	Gidsstof		X
Candesartan	Kandidaat gidsstof		
Carbamazepine	Gidsstof	X	X
Citalopram	Kandidaat gidsstof		
Clarithromycine	Gidsstof		
Diclofenac	Gidsstof	X	X
Furosemide	Kandidaat gidsstof		
Gabapentine	Kandidaat gidsstof		
Hydrochloorthiazide	Gidsstof		X
Irbesartan	Kandidaat gidsstof		X
Metroprolol	Gidsstof		X
Propranolol	Gidsstof		
Sotalol	Gidsstof		
Sulfamethoxazol	Gidsstof		
Trimethoprim	Gidsstof		
Venlafaxine	Kandidaat gidsstof		

Zoals te zien in Tabel 4.2 is het aantal geanalyseerde gidsstoffen beperkt. Voor de meetronde 0 tot 24.000 bedvolumes zijn de gidsstoffen Carbamazepine en Diclofenac geanalyseerd en voor de meetronde 40.000 tot 75.000 bedvolumes Benzotriazol, Carbamazepine, Diclofenac, Hydrochloorthiazole en Metroprolol. Omdat in beide meetrondes zowel Carbamazepine als Diclofenac geanalyseerd zijn kan op basis van Figuur 4.4 en Figuur 4.5 een vergelijking worden gemaakt tussen beide meetperiodes. Bij 24.000 bedvolumes ligt het verwijderingsrendement van Carbamazepine rond de 70% en van Diclofenac op 90%. Tussen de 40.000 en 75.000 bedvolumes ligt het verwijderingsrendement van Carbamazepine rond de 40% en van Diclofenac op 80-90%. Om een inschatting te kunnen maken van het verwijderingsrendement over de 11 Nederlandse gidsstoffen is uitgegaan van de analyseresultaten van het CarboPlus systeem in Figuur 4.3. Uit Figuur 4.3 volgt dat Diclofenac als gidsstof relatief goed verwijderd wordt en dat Carbamazepine een gemiddeld verwijderingsrendement geeft. Om een indicatie te geven van het verwijderingsrendement over 11 gidsstoffen wordt voor het DynaCarbon systeem daarom uitgegaan van het verwijderingsrendement van Carbamazepine.

# 5

## DUURZAAMHEID GAK

### 5.1 PAK EN GAK

De duurzaamheid van PAK en GAK toepassingen is afhankelijk van het koolverbruik, het type actiefkool wat gebruikt wordt en de mogelijkheden om de verzadigde kool te regenereren. In het geval van PACAS komt de poederkool in het actief slib terecht en zijn er geen mogelijkheden om de kool te regenereren. Duurzaamheidswinst is hier alleen mogelijk door minder poederkool te doseren of een duurzamere kool te gebruiken. Ook bij nageschakelde PAK toepassingen zijn de mogelijkheden om de kool te regenereren beperkt omdat poederkool niet geschikt is om te worden geregenereerd. In het geval van GAK filters komt de kool niet in het actiefslib terecht. De granulaire kool blijft als filterbed aanwezig in het filter en de verzadigde GAK kan relatief eenvoudig worden geregenereerd door het opnieuw te activeren met stoom. In paragraaf 5.2 is een beschrijving opgenomen van de GAK zoals die toegepast is op de rwzi Penthaz (CarboPlus) en op de rwzi Emmingen Liptingen (DynaCarbon). In paragraaf 5.3 is de duurzaamheid van de GAK gekwantificeerd.

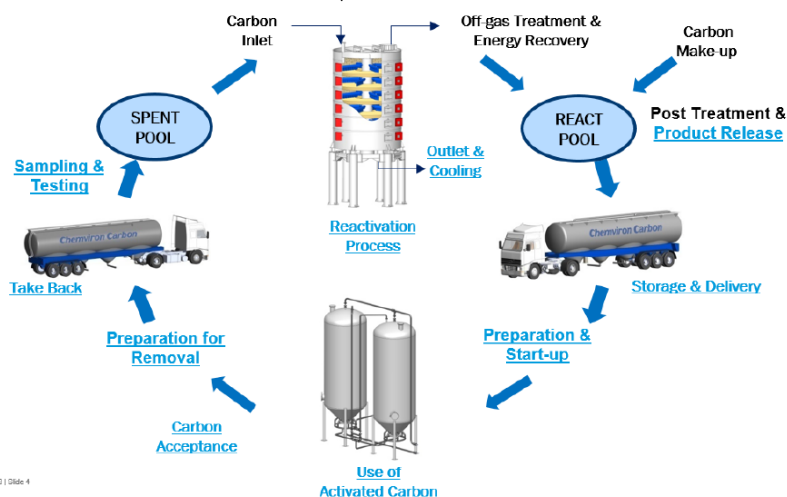
### 5.2 TOEGEPAST GAK IN CARBOPLUS EN DYNACARBON SYSTEMEN

Voor het CarboPlus en DynaCarbon systeem zijn meerdere soorten GAK getest van verschillende leveranciers. Zo is op de rwzi Penthaz getest met Norit GAC 3040 AW en CycleCarb 305, hieruit kwam CycleCarb 305 als beste naar voren (Schlussbericht Penthaz, EAWAG). Op de rwzi Emmingen-Liptingen zijn 7 verschillende soorten GAK getest van verschillende leveranciers (CSC, Jacobi, Chemviron, Norit, Carbo Tech en Donau Carbon). CycleCarb 401 van Chemviron leverde van deze GAK's het hoogste verwijderingsrendement op de geselecteerde indicatorstoffen (Triform, 2017), (Triform, 2018), (Projectverbund Emmingen-Liptingen, 2015). Zowel de CycleCarb 305 als de CycleCarb 401 zijn 100% geregenereerd.

De reactivatiecyclus van de in dit onderzoek toegepaste GAK van Chemviron Carbon is weergegeven in Figuur 5.1. Deze reactivatiecyclus geldt zowel voor CycleCarb 305 (micrograins) als voor CycleCarb 401 (standaard GAK).

FIGUUR 5.1

REACTIVATIECYCLUS GRANULAIR ACTIEF KOOL CHEMVIRON CARBON; BRON : CHEMVIRON CARBON





Zowel de GAK die gebruikt wordt in het Carboplus filter van Stereau als de GAK in het DynaCarbon filter van Nordic Water betreft 100% geregenereerde GAK die afkomstig is uit een 'spent pool' met verzadigd GAK. De firma Chemviron Carbon heeft voor beide typen GAK filters praktijkervaring met geregenereerd GAK. Voor het Carboplus systeem betreft dit CYCLECARB 305 (20 x 50; 0.51 g/cm<sup>3</sup>; 0,42 – 1.4 mm) wat bestaat uit zeer kleine korrels (microGAK). Voor het DynaCarbon filter wordt CYCLECARB 401 (8 x 40; 0.4 - 2.36 mm) toegepast wat uit grotere korrels bestaat. Ook andere GAK producenten leveren geregenereerde GAK. In dit onderzoek is nader gekeken naar de CycleCarb 305 en 401 omdat deze voor het CarboPlus en DynaCarbon systeem de beste verwijderingsrendementen op micro verontreinigingen hebben opgeleverd. Bovendien biedt het 'spent pool' concept de mogelijkheid om 100% geregenereerd GAK toe te passen.

CycleCarb kan zowel geproduceerd worden door middel van gegroepede reactivatie (klant specifiek) of pool-activatie van gebruikte actieve kool uit geselecteerde toepassingen. Om opgewerkt te worden tot CycleCarb gelden acceptatie criteria waaronder de initiële grondstof van de GAK (steenkool) en geschikte kwaliteit (adsorptie en fysische eigenschappen). Voor de productie van CycleCarb heeft verzadigde GAK uit steenkool de voorkeur boven GAK uit kokosnoot en hout vanwege het consistente gedrag tijdens reactivatie en de daarbij horende lagere thermische verliezen. De oorsprong van de verzadigde actieve kool gebruikt in de pool CYCLECARB 305 is hoofdzakelijk verzadigde CYCLECARB 305 die voor rioolwaterzuivering wordt toegepast. Het is mogelijk dat deze producten aangevuld worden met geregenereerd GAK afkomstig van andere toepassingen indien de kwaliteit van de geregenereerde GAK voldoet aan de vereisten van CYCLECARB 305. De kwaliteit wordt gegarandeerd doordat al de terug genomen verzadigde GAK wordt bemonsterd en geanalyseerd om na te gaan of deze geregenereerd kan worden en of deze geschikt is voor de kwaliteitsdoelstellingen van het geregenereerde product.

De kwaliteitsparameters zijn afhankelijk van de toepassing; voeding/drinkwater of industriële/afvalwater actieve kool. Typische kwaliteitsparameters zijn granulometrie, schijnbare dichtheid, vochtgehalte, vluchtige materie, kwalitatieve analyse van geadsorbeerde componenten.

Het reactivatieproces is een thermisch procédé waarbij hoge temperatuur (tot 1000°C) onder injectie van stoom de porositeit van actief kool hersteld wordt en ongewenste toxische componenten worden omgezet tot CO<sub>2</sub>.

De leveringszekerheid van CycleCarb wordt gegarandeerd doordat reactivatie van GAK meer lokaal is dan de productie van nieuwe actieve kool (VS of Azië) waarbij soms weken transport noodzakelijk zijn tussen productie-site en de klant. Bij reactivatie bedraagt de transporttijd één tot enkele dagen. Voor reactivatie is ook altijd grondstof voorhanden zolang de verzadigde GAK hoofdzakelijk afkomstig is van de klanten die de geregenereerde GAK afnemen. De geregenereerde GAK wordt op verschillende locaties in Europa geproduceerd waardoor de leveringszekerheid verder gegarandeerd wordt.

### 5.3 DUURZAAMHEID GEREGENEREEDE GAK

De CarboPlus en DynaCarbon systemen op de rwzi's Penthaz en Emmingen-Liptingen zijn vanaf de in gebruik name gevuld met geregenereerd GAK (CYCLECARB). Het productieproces van CYCLECARB is voor deze studie uitgebreid besproken met de producent (Chemviron). CYCLECARB is afkomstig uit een 'pool' van reeds verzadigd GAK wat geregenereerd is. De

thermische verliezen die optreden bij reactivatie worden aangevuld met verzadigd GAK van onder andere de voedingsindustrie. Doordat CYCLECARB enkel geproduceerd wordt uit steenkool GAK kan het oneindig geregenereerd worden zonder dat er sprake is van kwaliteitsverlies. Er hoeft enkel gecompenseerd te worden voor thermische verliezen, welke circa 10- 15% bedragen per reactivatie.

Afhankelijk van het type GAK kan het nodig zijn om na een aantal reactivatiecycli de GAK te vervangen door vers GAK. Van GAK op basis van bruinkool of kokosnoot is bekend dat de kwaliteit na 4 tot 5 keer regenereren dusdanig is afgenomen dat de GAK vervangen dient te worden door verse GAK.

Omdat voor de Nederlandse situatie nu nog niet bepaald kan worden of CYCLECARB een voldoende hoog verwijderingsrendement gehaald kan worden op de gidsstoffen zijn voor het bepalen van de duurzaamheid van beide systemen in hoofdstuk 8 de volgende scenario's uitgewerkt:

- CarboPlus en DynaCarbon worden bedreven met geregenereerd GAK, thermische verliezen worden aangevuld met vers GAK
- CarboPlus en DynaCarbon worden bedreven met geregenereerd GAK, na 4 reactivatiecycli wordt een batch verse GAK toegevoegd, thermische verliezen worden aangevuld met vers GAK

#### 5.4 GAK DOSERING EN CO<sub>2</sub> EMISSIE GAK

Bij de uitwerking van de duurzaamheid en de kosten is als uitgangspunt gehanteerd dat de GAK dosering van het CarboPlus systeem 15 gram/m<sup>3</sup> bedraagt, inclusief de GAK die initieel aan de filters is toegevoegd. Bij deze dosering wordt op de rwzi Penthaz een stabiel verwijderingsrendement op indicatorstoffen gehaald van 87%. Na de eerste opstart van het CarboPlus systeem wordt over een periode van 6 maanden geen GAK gedoseerd. Deze periode van niet doseren staat gelijk aan een dosering van 15 gram/m<sup>3</sup> over een periode van 6 maanden.

Zoals beschreven in paragraaf 4.2 wordt voor het DynaCarbon filter uitgegaan van een standtijd van 24.000 bedvolumes. Dit om het beoogde verwijderingsrendement van 80% te bereiken voor biologie + DynaCarbon filter. Mogelijk dat ook boven de 24.000 bedvolumes een stabiel verwijderingsrendement van 80% gehaald wordt op de 11 gidsstoffen maar dat kan op basis van de analyseresultaten in paragraaf 4.2 niet worden vastgesteld omdat Figuur 4.4 stopt bij 24.000 bedvolumes. Op basis van de trend in Figuur 4.4 is het echter aannemelijk dat ook bij een hoger aantal bedvolumes een verwijderingsrendement van rond de 80% gehaald kan worden.

De CO<sub>2</sub> emissie van geregenereerde GAK is voor deze haalbaarheidsstudie vastgesteld op 2,52 kg CO<sub>2</sub>/kg. Voor vers GAK geldt een CO<sub>2</sub>/kg emissie van 9,6 kg per CO<sub>2</sub>/kg.

# 6

## DOORVERTALING NAAR NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK

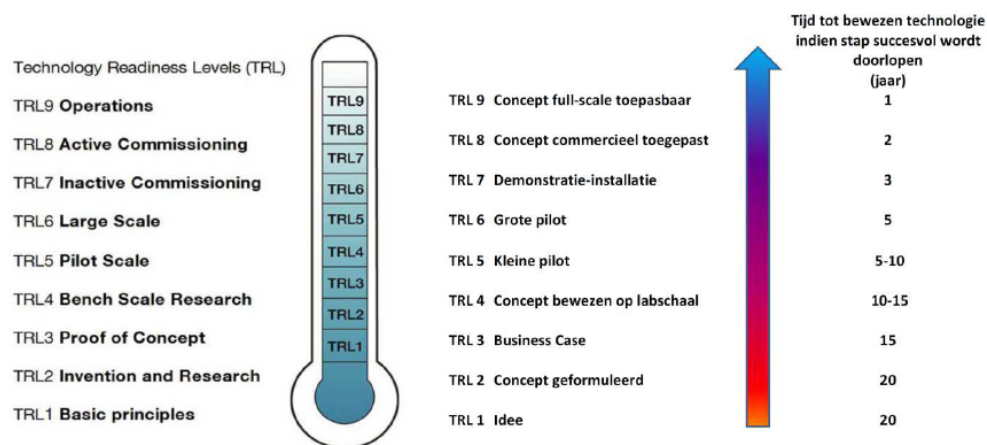
### 6.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de doorvertaling van het CarboPlus en DynaCarbon concept naar de Nederlandse praktijk besproken. In paragraaf 6.2 is de TRL van beide systemen bepaald waarna in paragraaf 6.3 de dimensioneringsgrondslagen zijn opgenomen. In paragraaf 6.4 wordt ingegaan op het verwijderingsrendement op gidsstoffen waarna in paragraaf 6.5 het effect op ecotoxiciteit volgt. Paragraaf 6.6 bespreekt de uitspoeling van GAK naar het effluent en in paragraaf 6.7 wordt ingegaan op de inpassing van beide systemen in de Nederlandse zuiveringspraktijk.

### 6.2 TECHNOLOGY READINESS LEVEL

De toepasbaarheid van een technologie wordt mede bepaald door de zogenaamde technology readiness level (TRL). De TRL geeft aan in welk stadium van ontwikkeling de technologie zich bevindt. Bij een TRL van 1 gaat het nog om een idee en bij een TRL van 9 is het concept full-scale toepasbaar.

FIGUUR 6.1 TECHNOLOGY READINESS LEVELS, BRON: (MULDER, 2019)



Zowel het CarboPlus als het DynaCarbon systeem zijn in het buitenland reeds TRL 9 omdat ze in Zwitserland, Duitsland en Zweden al full scale worden toegepast voor de nabehandeling van communaal afvalwater. Binnen twee jaar kunnen beide concepten full-scale worden toegepast op Nederlandse rwzi's waardoor de systemen ook voor de Nederlandse situatie TRL 9 zijn.

### 6.3 DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN

De dimensioneringsgrondslagen voor het CarboPlus en DynaCarbon systeem zijn afgeleid op basis van budgetramingen van de leveranciers van beide systemen en op basis van de referentie casus Penthaz en Emmingen-Liptingen. De dimensioneringsgrondslagen zijn samengevat in Tabel 6.1.

TABEL 6.1 DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN CARBOPLUS EN DYNACARBON

Aspect	Eenheid	CarboPlus	DynaCarbon
Type systeem	-	Upflow gefluidiseerd bed	Upflow vast bed
GAK	US mesh	20 – 50	8 - 40
Hydraulische belasting	m/h	15	5 - 10
Contacttijd	minuten	6	ca 20
GAK dosering	mg/l	15 *	-
Behandelde bedvolumes tot vervanging filterbed	aantal	-	24.000 **
Energieverbruik	kWh/m <sup>3</sup>	0,043	0,088
Verblijftijd GAK in filter	maanden	6	24 *
Spoelwater	% van behandeld water	0,2% ***	5%

\* op basis van ervaring op rwzi Penthaz, zie paragraaf 4.1. Voor kostenberekening bandbreedte van 12 – 18 mg/l gehanteerd

\*\*op basis van ervaring op rwzi Emmingen-Liptingen, zie paragraaf 4.2. Voor kostenberekening bandbreedte van 12.000 – 36.000 gehanteerd

\*\*\*per spoeling 12,5 m<sup>3</sup> spoelwater per m<sup>2</sup> filteroppervlak, spoeling 1x per maand

#### CARBOPLUS

Het energieverbruik van het CarboPlus systeem is berekend aan de hand van de budgetraming voor de case Hapert en is opgenomen in Bijlage 6. In deze bijlage is eveneens het energieverbruik van CarboPlus Penthaz opgenomen wat gemiddeld 0,06 kWh/m<sup>3</sup> bedraagt. Het energieverbruik van de CarboPlus Penthaz is echter inclusief het energieverbruik van de bedrijfswaterpompen voor de gehele rwzi en is daarom niet representatief.

Voor het berekenen van het energieverbruik van het CarboPlus systeem voor de rwzi Hapert is in Bijlage 6 uitgegaan van de volgende verbruikers:

- 3 toevoerpompen a 8 kW per stuk: 88.584 kWh/j
- 1 recirculatiepomp 15 kW: 27.074 kWh/j
- Overig verbruik (pompen/kleppen): 10.055 kWh/j

Het jaarlijks totaalverbruik van het CarboPlus systeem komt daarmee op 125.713 kWh/j. Bij een totaal behandeld jaardebiet van 2.920.000 m<sup>3</sup>/j resulteert dat in een energieverbruik van (125.713 kWh/j / 2.920.000 m<sup>3</sup>/j=) 0,043 kWh/m<sup>3</sup>.

Het CarboPlus systeem bestaat uit afzonderlijke filtercompartimenten die ontworpen worden op een hydraulische belasting van 15 m/h. In het geval van een te lage aanvoer wordt een deel van het filtraat gerecirculeerd om een flow van 15 m/h te handhaven. Het CarboPlus systeem betreft een volledig geautomatiseerd systeem waarbij dagelijks een verse hoeveelheid geregenereerd GAK aan het filter wordt toegevoegd. Wekelijks wordt een deel van de verzadigde GAK gespuid en opgeslagen in een separate buffer. Het filterbed wordt daardoor continue verversd waardoor een hoog verwijderingsrendement gewaarborgd blijft. Het CarboPlus systeem omvat een fijnzeef (3mm) waarmee onopgeloste bestanddelen grotendeels afgevangen worden voorafgaand aan de GAK filters. Het CarboPlus filter hoeft daardoor slechts periodiek (1x per maand) gespoeld te worden om onopgeloste bestand-

delen te verwijderen. Hiervoor is een spoelwaterbuffer en vuilwaterbuffer voorzien. De spoeling ziet er als volgt uit:

- Verlagen water niveau tot 0,5 meter boven niveau GAK
- Spoelen met lucht ( $30\text{Nm}^3/\text{h.m}^2$  filteroppervlak)
- Spoelen met water (30 m/h)
- Bovenstaande cyclus 1x herhalen

In totaal resulteert een spoeling in  $12,5\text{ m}^3$  spoelwater per  $\text{m}^2$  filteroppervlak. Een filter met een oppervlak van  $100\text{ m}^2$  resulteert per spoeling dus in  $1.250\text{ m}^3$  spoelwater.

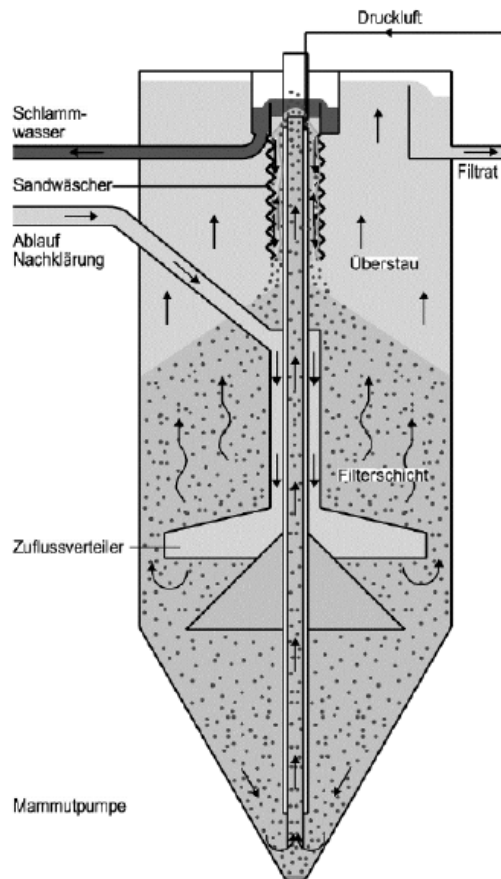
In hoofdstuk 7 zijn de verschillende onderdelen van het CarboPlus systeem nader uitgewerkt voor de situatie van de rwzi Hapert.

### **DYNACARBON**

Het energieverbruik van het DynaCarbon systeem is door Nordic Water berekend op  $0,088\text{ kWh}/\text{m}^3$  waarbij uitgegaan is van toevoerpompen (30 kW), een compressor (7,5 kW) en 18 bedrijfsuren per dag. Voor overige verbruikers is aanvullend  $10.055\text{ kWh/j}$  meegenomen (gelijk aan het CarboPlus systeem).

Het DynaCarbon filter bestaat uit afzonderlijke upflow filters met een diameter van 2 tot 3 meter en een oppervlakte van 4 tot  $6\text{ m}^2$ . De DynaCarbon filters zijn nagenoeg gelijk aan DynaSand filters maar zijn uitgerust met een ander type mammoetpomp. Het werkingsprincipe van het DynaCarbon filter is weergegeven in Figuur 6.2. Het effluent van de nabezinktank wordt in het midden van het filterbed ingebracht waarna het zich een weg omhoog baant door het GAK filterbed om aan de bovenkant als gezuiverd filtraat het filter te verlaten. Het filterbed beweegt zich neerwaarts. Vanaf de bodem van het filter wordt het GAK met ingevangen zwevende stof via een mammoetpomp (airlift pomp) naar de bovenkant van het filter geleid. Zwevend stof komt door de intensieve menging los van de GAK waarna het aan de bovenkant als een continue slibstroom afgescheiden wordt. Het GAK beweegt zich vervolgens via een 'zandwasser' naar beneden waarbij het in contact komt met een kleine deelstroom filtraat die zich omhoog beweegt. Hierdoor wordt resterende zwevende stof gescheiden van het GAK. Het gewassen GAK komt vervolgens op de bovenkant van het filterbed terecht.

FIGUUR 6.2 WERKINGSPRINCIPE DYNACARBON FILTER. BRON: (LOCHER, 2019)



#### UITSPOELING GAK EN SLIBPRODUCTIE

Uit praktijkervaringen in Duitsland en Zwitserland volgt dat de GAK nauwelijks uitspoelt uit het CarboPlus en DynaCarbon systeem. Nageschakelde zandfiltratie is daardoor niet nodig. In paragraaf 6.6 wordt hier nader op ingegaan.

Het CarboPlus en DynaCarbon filter leveren een beperkte toename op van de slibproductie doordat het waswater van de filters gerecirculeerd wordt naar de biologie waardoor zwevend stof uit het effluent opnieuw naar de biologie gaat. De hoeveelheid extra slib is naar verwachting laag en is in deze studie niet gekwantificeerd omdat meetgegevens ontbreken.

#### 6.4 VERWIJDERINGSRENDEMENT MICRO VERONTREINIGINGEN

Het verwijderingsrendement op micro verontreinigingen is beschreven in hoofdstuk 4.

Het CarboPlus systeem behaalt op de rwzi Penthaz een verwijderingsrendement van 87% op de 12 Zwitserse gidsstoffen, waaronder 7 van de 11 Nederlandse gidsstoffen en 5 van de 8 kandidaat gidsstoffen. Deze 87% betreft het rendement over de biologie plus het CarboPlus systeem bij een dosering van 15 mg PAK/l. Naar verwachting is het CarboPlus systeem in Nederland in staat om een gemiddeld verwijderingsrendement van meer dan 80% te behalen op de 11 Nederlandse gidsstoffen.

Het DynaCarbon systeem (inclusief biologie) behaalt op de rwzi Emmingen-Liptingen een verwijderingsrendement van 70%-80% (inclusief biologie) op 5 van de 11 Nederlandse gidsstoffen. Naar verwachting is een gemiddeld verwijderingsrendement van meer dan 70% op de 11 Nederlandse gidsstoffen haalbaar bij een standtijd van 2 jaar. Via een praktijktest op een Nederlandse rwzi dient vastgesteld te worden of een verwijderingsrendement van 80% haalbaar is op een Nederlandse rwzi.

Vanwege specifieke omstandigheden zou het verwijderingsrendement in Nederland af kunnen wijken van referentie zuiveringen in Zwitserland en Duitsland. Zo hangt de effectiviteit van nageschakeld GAK samen met de opgeloste organische verbindingen (DOC) in het effluent. Op de rwzi Hapert bedraagt de gemiddelde DOC concentratie 7 mg/l. Dit is nagenoeg gelijk aan de 6 mg/l zoals gemeten op de rwzi Penthaz. Als uitgangspunt voor Nederlands rwzi effluent wordt in het IPMV echter een uitgangspunt gehanteerd van 11 mg DOC/l waardoor het aannemelijk is dat het verwijderingsrendement in Nederland lager uitvalt dan in Zwitserland. Dit dient via praktijktesten te worden vastgesteld.

### 6.5 EFFECT OP ECOTOXICITEIT

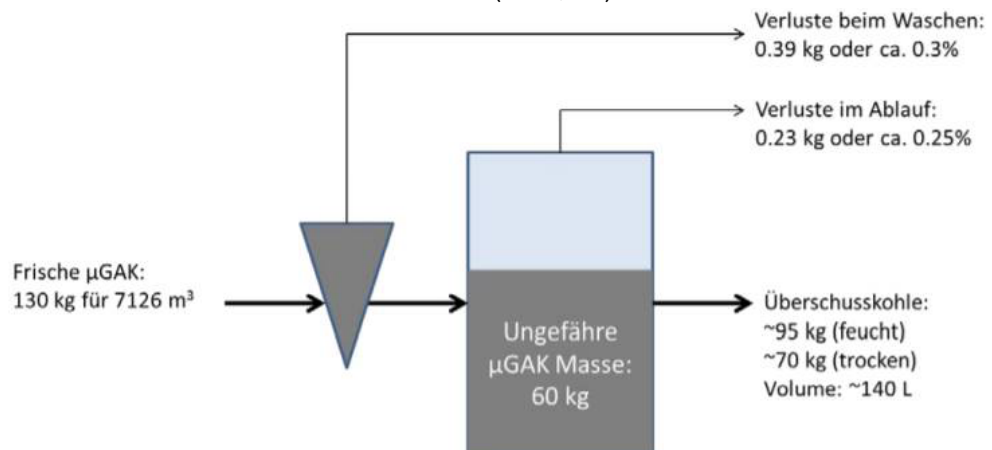
Uit de literatuur is bekend dat actiefkool de ecotoxiciteit van het effluent vermindert (STOWA, 2018). GAK filtratie resulteert in een hoog verwijderingsrendement voor gidsstoffen (>80%) en levert geen toxische afbraakproducten op waardoor het aannemelijk is dat ook de ecotoxiciteit sterk zal afnemen. Aangezien beide concepten nog niet in de praktijk getest zijn in Nederland, zal nader onderzoek dit moeten uitwijzen.

### 6.6 UITSPOELING VAN GAK NAAR EFFLUENT

#### CARBOPLUS

Voor het CarboPlus systeem is over de eerste 200 dagen op de pilot installatie Penthaz een massabalans opgesteld voor het verlies van GAK naar het effluent (Figuur 6.3). Over de periode van 200 dagen is een verlies van 0,3% waargenomen bij het wassen en een verlies van 0,25% via het effluent. Dit betekent tussen de 0,1mg/l (grenswaarde van meetmethode) en 0,48mg/l GAK in het effluent. Hiermee is de uitspoeling van GAK uit de pilot installatie verwaarloosbaar. Voor de full scale installatie Penthaz is deze massabalans niet opgesteld.

FIGUUR 6.3 MASSABALANS GAK OVER 200 TESTDAGEN PILOT RWZI PENTHAZ. BRON: (TRIFORM, 2017)



## DYNACARBON

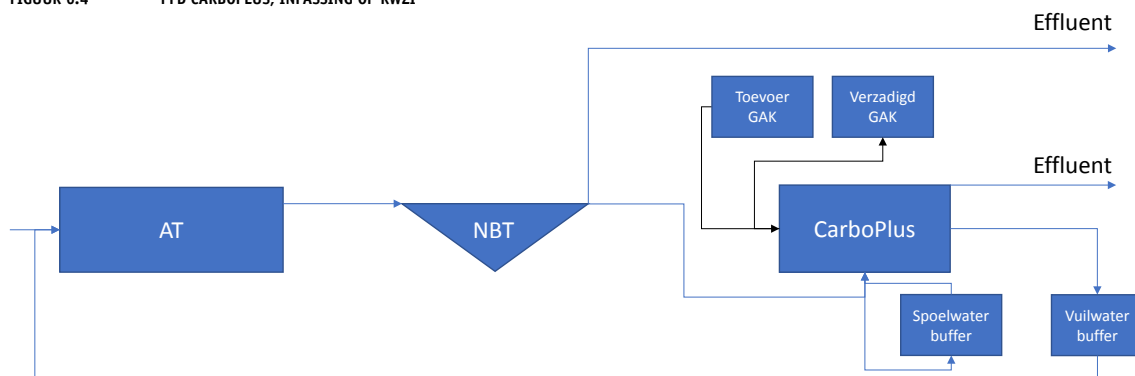
Door het continu circuleren van het systeem wordt het actiefkoolbed van het DynaCarbon filter tweemaal per dag gecirculeerd over het filter. Na 7.200 pompcirculaties (10 jaar) is een koolverlies van 1% vastgesteld. Het verlies van GAK is hiermee verwaarloosbaar. GAK wordt in de airlift pomp niet vermalen. In het effluent van de DynaCarbon is geen verlies van GAK waar te nemen. Via het waswater wordt, afhankelijk van de systeeminstellingen, wel GAK verloren, maar dit is zeer beperkt en het wordt teruggevoerd naar het actiefslib waardoor het geen nadelige effecten op het effluent heeft.

### 6.7 INPASSING IN DE NEDERLANDSE ZUIVERING PRAKTIJK

Zowel het CarboPlus als het DynaCarbon systeem zijn geschikt om als nazuivering op Nederlandse rwzi's ingepast te worden. Beide systemen vereisen geen aanvullende chemie-dosering. De ontwerpbelasting van het CarboPlus systeem bedraagt 15 m<sup>3</sup>/h tegenover 10 m<sup>3</sup>/h voor het DynaCarbon filter waardoor een filteroppervlak van 67 – 100 m<sup>2</sup> meter voldoet voor de behandeling van 1.040 m<sup>3</sup>/h. In paragraaf 7.4 is voor beide systemen het totale benodigde oppervlak vastgesteld voor de rwzi Hapert. Dit oppervlak omvat zowel de filters als de benodigde randvoorzieningen en gebouwen. Het CarboPlus systeem vereist een oppervlak van 12 bij 18 meter en het DynaCarbon systeem 12 bij 13 m<sup>2</sup> voor een capaciteit van 525 m<sup>3</sup>/h. Voor een 100.000 i.e. zuivering met een capaciteit van 1.040 m<sup>3</sup>/h zou een oppervlak van circa 300 – 400 m<sup>2</sup> volstaan voor beide systemen.

Het CarboPlus systeem beschikt over een spoelwater- en vuilwaterbuffer waardoor de hydraulische belasting van het systeem op de waterlijn beperkt is. Tevens beschikt het CarboPlus systeem over een geautomatiseerd toe- en afvoer systeem voor GAK. In Figuur 6.4 is een schematische PFD van het CarboPlus systeem opgenomen. Het CarboPlus systeem is niet uitgelegd voor het totale RWA debiet dus een deel van het RWA gaat er langs.

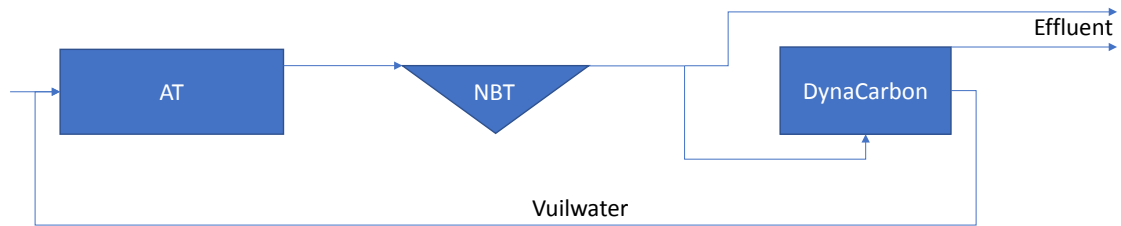
FIGUUR 6.4 PFD CARBOPLUS; INPASSING OP RWZI



Het DynaCarbon systeem wordt continue gespoeld waardoor de waswaterstroom beperkt is in volume en bijvoorbeeld op de terreinriolering kan worden geloosd. De PFD van het DynaCarbon systeem is weergegeven in Figuur 6.5. Het DynaCarbon systeem is niet uitgelegd voor het totale RWA debiet dus een deel van het RWA gaat er langs.



FIGUUR 6.5 PFD DYNACARBON; INPASSING OP RWZI



Naast de verwijdering van micro verontreinigingen zullen ook andere verontreinigingen uit het effluent verwijderd worden. De effluentkwaliteit van de rwzi verbetert daardoor aanzienlijk. Het is niet bekend in welke mate onopgeloste bestanddelen afgevangen worden in het filterbed en via het spoelwater terug geleid worden naar de biologie. Feit is dat een deel van de onopgeloste bestanddelen afgevangen wordt in het GAK filter en gerecirculeerd wordt naar de biologie wat extra slibproductie betekent. Omdat er na de nabezinktank nog maar weinig slib resteert en er geen meetgegevens beschikbaar zijn is de hoeveelheid extra slib in deze studie niet gekwantificeerd.

Het energieverbruik van de rwzi zal door de aanvullende zuivering toenemen met 0,043 kWh/m<sup>3</sup> behandeld water voor het CarboPlus systeem en 0,088 kWh/m<sup>3</sup> voor het DynaCarbon systeem. Het merendeel van deze energie is te relateren aan de toevoerpompen, waswater en de compressor van de airlift pomp.

Samengevat: Het CarboPlus en DynaCarbon systeem worden nageschakeld aan de nabezinktanks, hebben weinig interactie met de biologie en vereisen een relatief beperkte oppervlakte. Hierdoor zijn ze flexibel inpasbaar op het merendeel van de Nederlandse rwzi's waar aanvullende verwijdering van micro verontreinigingen vereist is en PACAS niet inpasbaar is. De systemen zijn modulair van opbouw waardoor ze zowel op kleine als grote rwzi's toegepast kunnen worden. Randvoorwaarde is dat er oppervlakte beschikbaar is. Beide systemen verwijderen niet/nauwelijks N en P.

# 7

## SCHETSONTWERP RWZI HAPERT EN DOORVERTALING 100.000 I.E. ZUIVERING

### 7.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk zijn aan de hand van budgetramingen van leveranciers schetsontwerpen opgesteld voor een CarboPlus en DynaCarbon systeem op de rwzi Hapert. Op basis van deze schetsontwerpen is vervolgens een doorvertaling gemaakt naar een 100.000 i.e. case.

### 7.2 UITGANGSPUNTEN RWZI HAPERT

De uitgangspunten voor het ontwerp van het CarboPlus en DynaCarbon systeem zijn opgenomen in Tabel 7.1.

TABEL 7.1 UITGANGSPUNTEN NABEHANDELING RWZI HAPERT VIA UPFLOW GAK FILTRATIE

Parameter	Eenheid	Waarde
Capaciteit	v.e. a 150 gram TZV	64.373
DWA	m <sup>3</sup> /h	350
Ontwerpcapaciteit upflow GAK	m <sup>3</sup> /h	525
Jaardebiet rwzi Hapert	m <sup>3</sup> /j	4.500.000
Jaardebiet via upflow GAK filter	m <sup>3</sup> /j	2.909.808

### 7.3 ONTVANGEN BUDGETRAMINGEN

Op basis van de uitgangspunten in Tabel 7.1 zijn budgetramingen voor turn key installaties opgevraagd bij de firma's Stereau en Nordic Water. Zowel Stereau (CarboPlus) als Nordic Water (DynaCarbon) hebben een budgetraming verstrekt voor een turn-key installatie voor de rwzi Hapert. Deze budgetramingen zijn opgenomen in Bijlage 4 en Bijlage 5.

Wat opvalt is het grote verschil in prijs tussen de levering van Stereau (EUR 3 miljoen) en Nordic Water (EUR 1,2 miljoen). Hiervoor zijn verschillende verklaringen:

- De aanbidding van Stereau omvat een gebouw waarin de complete installatie is opgesteld. De fysieke DynaCarbon filters staan buiten opgesteld. De schakelkasten staan binnen opgesteld
- De CarboPlus vereist een spoelwaterbuffer van 35 m<sup>3</sup> en een waswaterbuffer van 85 m<sup>3</sup>. Deze zijn onder de filters in het gebouw gesitueerd. Het DynaCarbon systeem vereist door het specifieke ontwerp geen spoel- en waswaterbuffer (zie ook Figuur 6.2).
- Het CarboPlus systeem omvat een volautomatische GAK toe- en afvoer terwijl bij het DynaCarbon systeem periodiek de vulling vervangen dient te worden.
- De raming van Stereau betreft een complete turn key installatie. De raming van Nordic Water is deels afkomstig van een externe partij en is daardoor minder compleet

Om de twee aanbiedingen met elkaar te kunnen vergelijken is de turn-key raming van Nordic Water verhoogd met EUR 600.000 om te voorzien in de kosten voor detail ontwerp (EUR 100.000), GAK (EUR 100.000) en een uitbreiding van het gebouw zodat niet alleen de schakelkasten maar ook de pompen en de compressor binnen opgesteld worden (EUR 400.000). De totale turn-key bouwkosten komen daarmee op EUR 1,8 miljoen voor de rwzi Hapert.

#### 7.4 SCHETSONTWERP

Op basis van de ontvangen budgetramingen is een schetsontwerp opgesteld van beide installaties.

##### CARBOPLUS

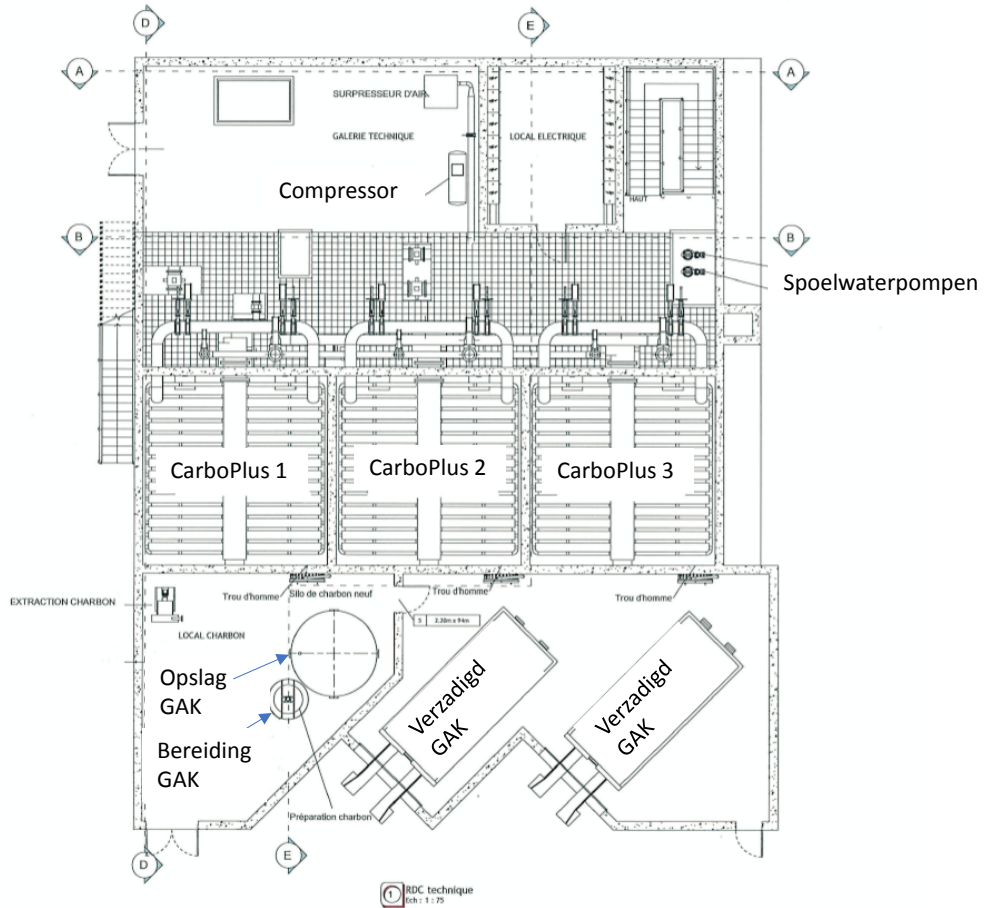
De belangrijkste kenmerken en capaciteiten van het CarboPlus systeem zijn opgenomen in Tabel 7.2. Alle installaties en tanks zijn opgesteld in een betonnen gebouw.

TABEL 7.2 KENMERKEN EN CAPACITEITEN CARBOPLUS SYSTEEM

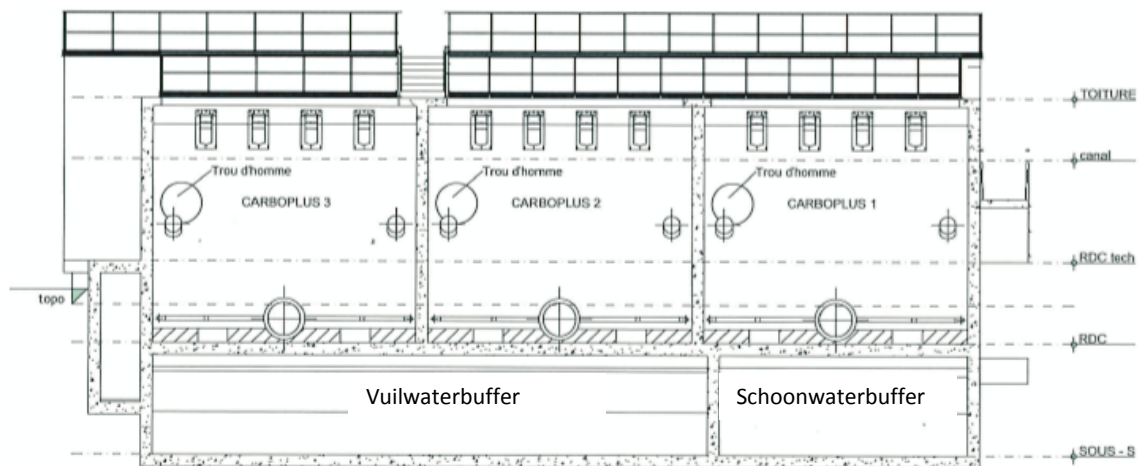
Hydraulische capaciteit	m <sup>3</sup> /h	525
CarboPlus tanks	Aantal	3
Oppervlak per tank	m <sup>2</sup>	11,2
Totaal oppervlak	m <sup>2</sup>	33,6
Hoogte GAK filterbed in rust	m	1,5
Dosering microGAK	gram/m <sup>3</sup>	15
Voedingstank (3+1 voedingspompen)	m <sup>3</sup>	35
Waswatertank	m <sup>3</sup>	85
Opslagsilo microGAK	m <sup>3</sup>	8
MicroGAK aanmaak en doseervoorziening	Stuks	1
Drainage containers microGAK spui	Aantal	2
Volume drainage container microGAK spui	m <sup>3</sup> per stuk	15

In Figuur 7.1 en Figuur 7.2 zijn het boven aanzicht en zij aanzicht van de CarboPlus installatie voor de rwzi Hapert opgenomen. Alle installaties en onderdelen zijn opgesteld in een gebouw. De lengte en breedte van het gebouw zijn niet opgegeven maar bedragen naar schatting 12 bij 12 meter. Het gebouw is 3 tot 4 meter hoog (exclusief bordessen en opslagsilo GAK). Ondergronds zijn kelders voorzien voor schoon water en spoelwater. Afhankelijk van de hydraulische capaciteit van de rwzi kan spoelwater ook direct naar de rwzi worden geleid en kan de spoelwaterkelder achterwege gelaten worden. Dit dient in een eventuele vervolgfase te worden vastgesteld.

FIGUUR 7.1 BOVEN AANZICHT CARBOPLUS GEBOUW RWZI HAPERT. BRON STEREAU



FIGUUR 7.2 ZIJ AANZICHT CARBOPLUS GEBOUW. BRON STEREAU



### DYNACARBON

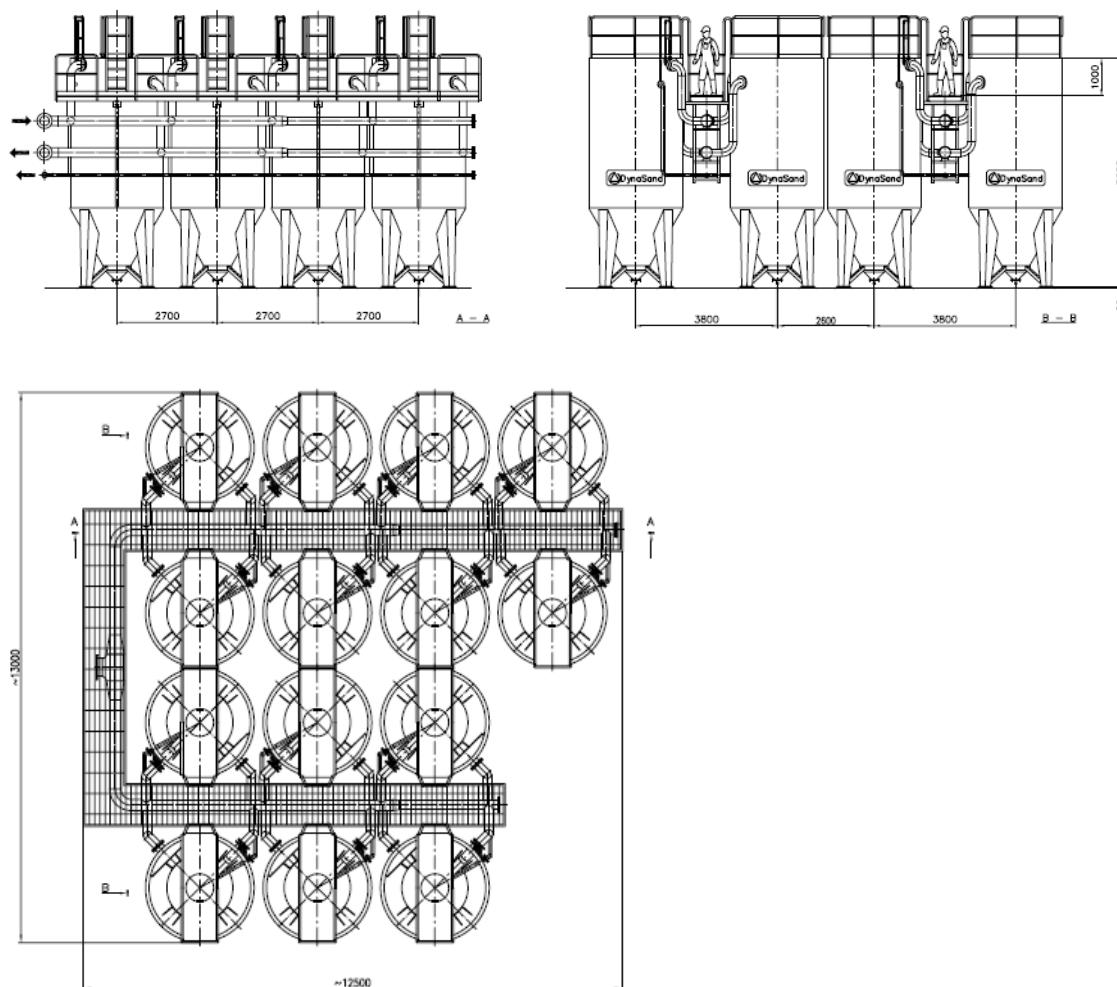
De belangrijkste kenmerken en capaciteiten van het DynaCarbon systeem zijn opgenomen in Tabel 7.3. Alle installaties en tanks zijn opgesteld op een betonnen plaat op maaiveld. De schakelkasten staan opgesteld in een technische ruimte van 4,2 bij 3,0 meter.

TABEL 7.3 KENMERKEN EN CAPACITEITEN CARBOPLUS SYSTEEM

Hydraulische capaciteit	m <sup>3</sup> /h	525
DynaCarbon filters	aantal	16
Oppervlak per filter	m <sup>2</sup>	5
Totaal oppervlak	m <sup>2</sup>	80
Bedhoogte filter	m	2,5
Verblijftijd	minuten	22
Dosering GAK	gram/m <sup>3</sup>	15

In Figuur 7.3 zijn de zij- en boven aanzichten van het DynaCarbon systeem voor de rwzi Hapert opgenomen. In de praktijk betreffen het 16 DynaCarbon filters en niet 14 filters zoals weergegeven in Figuur 7.3. De installatie wordt opgegesteld op maaiveld en heeft een hoogte van 5,6 meter (exclusief bordessen). De totale footprint van de installatie is 12,5 bij 13 meter, exclusief de technische ruimte. In Bijlage 3 is de PFD van het DynaCarbon systeem opgenomen. De DynaCarbon filters staan buiten opgesteld boven maaiveld terwijl de pompen, compressors en schakelkasten binnen in een gebouw opgesteld staan. Buiten opgestelde DynaSand filters zijn in Nederland al eerder op de rwzi Winterswijk toegepast.

FIGUUR 7.3 ZIJ AANZICHTEN (BOVEN) EN BOVEN AANZICHT (ONDER) DYNACARBON SYSTEEM (SITUATIE HAPERT BETREFT 16 FILTERS IN PLAATS VAN DE 14 WEERGEGEVEN FILTERS); BRON NORDIC WATER



## 7.5 INPASSING OP RWZI HAPERT

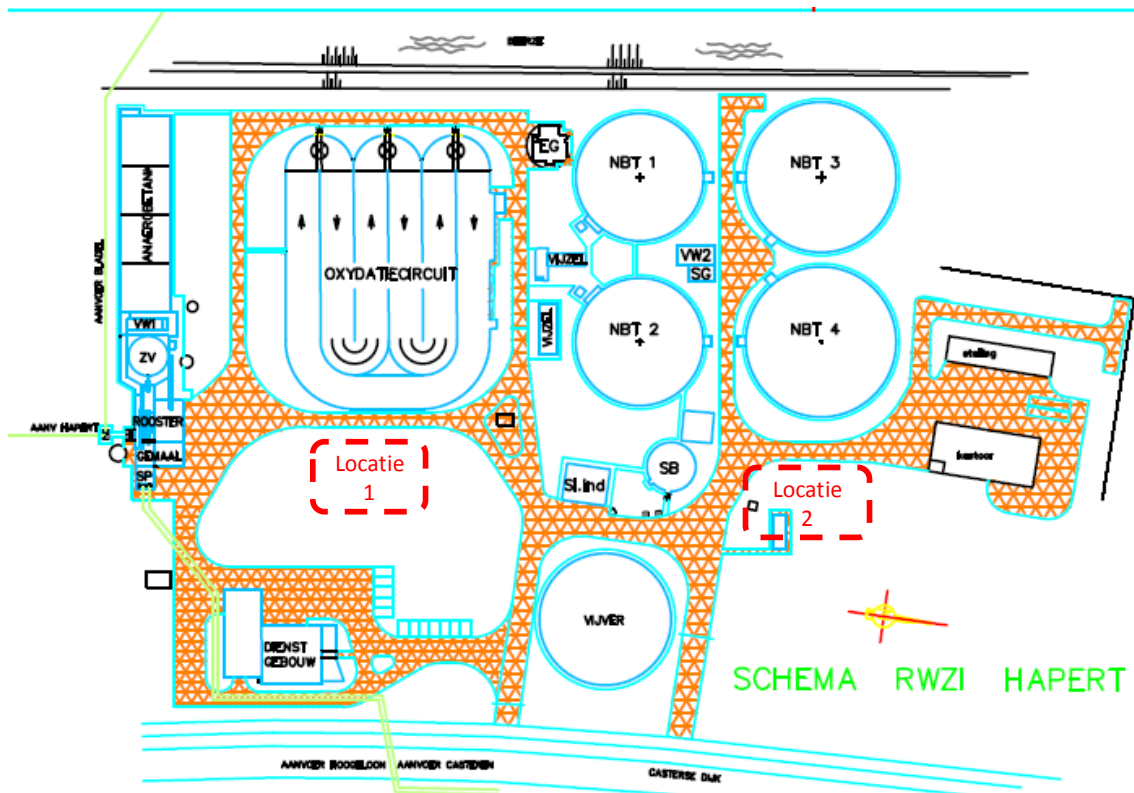
Op basis van de dimensies zoals vastgesteld in paragraaf 7.4 is in deze paragraaf een inschatting gemaakt van de inpassing van beide systemen. Uitgangspunten voor het inpassen van beide systemen op de rwzi Hapert:

- CarboPlus: Oppervlak gebouw met (gebruikt) GAK opslag 12 bij 18 meter. Hoogte 3 tot 4 meter, exclusief GAK silo en bordessen.
- DynaCarbon: Oppervlak van 12 bij 13 meter. Exclusief een technische ruimte van 4,2 bij 3,0 meter. Hoogte 5,6 meter.

In Figuur 7.4 is een schematische weergave opgenomen van de rwzi Hapert met twee potentiële locaties voor het nageschakelde GAK filter. Het GAK filter is niet exact op schaal ingetekend maar beide locaties zijn voldoende groot:

- Locatie 1: Tussen de oxydatiesloot en het dienstgebouw lijkt voldoende ruimte beschikbaar voor een eventuele nabehandeling. Hier ligt momenteel een vijver. Deze locatie is in Figuur 7.4 rood omkaderd en aangeduid als "Locatie 1". Een aandachtspunt van deze locatie is de toevoer van het effluent van de nabezinktanks. De effluentleiding van de rwzi Terwolde wordt nabij nabezinktank 4 gescheiden waarna het effluent verdeeld wordt over moerasbos noord en moerasbos zuid. Om al het effluent op locatie 1 te kunnen behandelen zal het leidingwerk aangepast moeten worden.
- Locatie 2: Een mogelijk betere locatie is "Locatie 2". Deze locatie bevindt zich direct bij het verdeelwerk van het effluent waardoor op deze locatie al het effluent kan worden behandeld en er geen extra leidingwerk gerealiseerd hoeft te worden. In een vervolgfase dienen de mogelijkheden voor inpassing nader vastgesteld te worden.

FIGUUR 7.4 SCHEMATISCHE IMPRESSIE RWZI HAPERT MET POTENTIELE LOCATIES GAK FILTERS; GAK FILTERS NIET OP SCHAAL; BRON WATERSCHAP DE DOMMEL



## 7.6 DOORVERTALING NAAR 100.000 I.E. REFERENTIE RWZI

Als referentie rwzi voor deze haalbaarheidsstudie geldt een rwzi met een capaciteit van 100.000 i.e. a 150 gram TZV. De uitgangspunten voor deze referentie rwzi zijn vastgesteld door de STOWA en zijn opgenomen in Tabel 7.4.

TABEL 7.4 UITGANGSPUNTEN 100.000 I.E. REFERENTIE RWZI

Aspect	Eenheid	Waarde
Capaciteit rwzi	i.e. 150 g TZV	100.000
Dagdebiet	m <sup>3</sup> /dag	21.000
Jaardebiet	m <sup>3</sup> /jaar	7.665.000
DWA-piek	m <sup>3</sup> /h	900
Ontwerp DWA-piek	m <sup>3</sup> /h	1.040
Hydraulische capaciteit aanvullende zuivering	m <sup>3</sup> /h	1.040
Zuivering in GAK filter	m <sup>3</sup> /jaar	6.132.000

De totale jaarlijkse aanvoer van de referentie rwzi is 7.665.000 m<sup>3</sup> per jaar. Voor deze studie is er van uitgegaan dat het nageschakelde GAK filter 80% van het op de rwzi aangevoerde water verwerkt wat neerkomt op 6.132.000 m<sup>3</sup> per jaar.

De ontwerpcapaciteit van het nageschakelde GAK filter bedraagt voor de referentie rwzi 1.040 m<sup>3</sup>/h. Dit is twee keer zo groot als de ontwerpcapaciteit van het nageschakelde GAK filter voor de rwzi Hapert (525 m<sup>3</sup>/h).

Uitgaande van een dubbel zo grote ontwerpcapaciteit voor de 100.000 i.e. rwzi zijn de volgende filter oppervlaktes vastgesteld:

- CarboPlus; filter oppervlak (33,6 m<sup>2</sup> x 2 =) 67 m<sup>2</sup>
- DynaCarbon; filter oppervlak (80 m<sup>2</sup> x 2 =) 160 m<sup>2</sup>

# 8

## DUURZAAMHEID

### 8.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk is de duurzaamheid van het CarboPlus en DynaCarbon concept uitgewerkt en vergeleken met de referentietechnieken PACAS, O<sub>3</sub>+zandfiltratie en GAK. Paragraaf 8.2 bevat de uitgangspunten waarna de CO<sub>2</sub> footprint uitgewerkt is in paragraaf 8.3. Als uitgangspunt voor de berekening van de CO<sub>2</sub> emissie is een rwzi van 100.000 i.e. gehanteerd conform het door de STOWA ontwikkelde model “CO<sub>2</sub> footprint RWZI’s micro’s voor bepalen CO<sub>2</sub> footprint”.

### 8.2 UITGANGSPUNTEN

#### GAK

In Tabel 8.1 zijn de CO<sub>2</sub> footprints van vers actief kool op basis van steenkool en geregenereerd actief kool opgenomen.

TABEL 8.1 CO<sub>2</sub> FOOTPRINT VAN VERSCHILLENDE TYPES ACTIEF KOOL, BRON STOWA

Kool	CO <sub>2</sub> footprint (kg CO <sub>2</sub> /kg kool)
Vers actief kool op basis van steenkool	9,6
Geregenereerd actief kool op basis van steenkool	2,5*

\*90% geregenereerd kool, 10% verse kool

Op basis van de beschouwing in paragraaf 5.3 zijn voor de berekening van de CO<sub>2</sub> footprint van het CarboPlus en DynaCarbon systeem twee verschillende scenario’s gehanteerd voor de vulling van de filters;

- Alle vullingen betreffen geregenereerd GAK
- Eén op de vijf vullingen betreft vers GAK (20% vers GAK, 80% geregenereerd GAK)

De onderbouwing achter het scenario waarbij enkel geregenereerd GAK wordt toegepast is de ervaring die GAK producenten hebben met de regeneratie van GAK uit steenkool. Zolang er 10% ‘vers’ GAK gesuppleerd wordt om thermische verliezen te compenseren geven leveranciers aan dat GAK oneindig te regenereren is zonder verlies van kwaliteit.

Het scenario waarbij één op de vijf vullingen vers GAK betreft gaat uit van het scenario dat de initiële vulling van het GAK filter vers GAK betreft en dat na 4 regeneraties het gehele filterbed vervangen dient te worden door vers GAK. Deze situatie kan ook optreden als er op zeker moment geen geschikt geregenereerd GAK beschikbaar is.

#### ENERGIE

Het energieverbruik van het CarboPlus en DynaCarbon systeem is in paragraaf 6.3 berekend aan de hand van de budgetramingen van de aangeboden installaties. Voor het CarboPlus systeem is een verbruik van 0,043 kWh/m<sup>3</sup> berekend en voor het DynaCarbon systeem een



verbruik van 0,088 kWh/m<sup>3</sup>. Deze uitgangspunten zijn gehanteerd voor de berekening van het energieverbruik van beide systemen waarbij onderscheid gemaakt is in het energieverbruik van de toevoerpompen, spoelwaterpompen, compressor en overige onderdelen.

#### ENERGIEVERBRUIK CARBOPLUS

In vergelijking met gefluïdiseerd bed zandfilters is het energieverbruik van het CarboPlus systeem relatief laag vanwege de lage dichtheid en specifieke granulometrie van de GAK korrels. Actieve kool is makkelijker te fluïdiseren dan bv zand gezien zijn geringe dichtheid ( $\pm 450 \text{ kg/m}^3$ ) en de granulometrie van de korrels

In Tabel 8.2 is het energie- en GAK verbruik van het CarboPlus en DynaCarbon systeem opgenomen. Op basis van deze tabel is in paragraaf 8.3 de CO<sub>2</sub> footprint uitgewerkt.

TABEL 8.2: ENERGIE- EN GAK VERBRUIK VOOR NABEHANDELING 100.000 I.E. REFERENTIE RWZI

Parameter	Eenheid	CarboPlus	DynaCarbon
Debiet nabehandeling	m <sup>3</sup> /j	6.132.000	6.132.000
Elektriciteit nabehandeling, excl opvoeren effluent en spoelwater	kWh/j	21.189	125.029 *
Elektriciteit opvoeren	kWh/j	186.678	415.360
Elektriciteit recirculatiepompen		57.055	
GAK verbruik vers	kg/j	0 – 18.396 **	0 – 22.995 **
GAK verbruik totaal	kg/j	91.980 ***	114.975 ****

\*inclusief energieverbruik compressor mammoetpomp

\*\*indien geen vers GAK gedoseerd wordt 0; indien 20% vers GAK gedoseerd wordt 18.396 kg per jaar voor CarboPlus en 22.995 kg per jaar voor DynaCarbon

\*\*\*op basis van in paragraaf 4.1 vastgestelde GAK dosering van 15 gram/m<sup>3</sup> waarvan 10% vers GAK

\*\*\*\*op basis van in paragraaf 4.2 aangenomen standtijd van 2 jaar

### 8.3 CO<sub>2</sub> FOOTPRINT

In Tabel 8.3 is de CO<sub>2</sub> footprint van de CarboPlus en DynaCarbon systemen berekend en vergeleken met de referentietechnieken PACAS, O<sub>3</sub>+zandfiltratie en GAK. In de tabel is zowel het scenario uitgewerkt waarbij enkel geregenereerde GAK wordt toegepast als het scenario waarbij de initiële vulling bestaat uit vers GAK en de GAK na vier regeneraties vervangen wordt door vers GAK (20% vers GAK, 80% geregenereerd GAK).

Wat opvalt is dat de CO<sub>2</sub> footprint voor het CarboPlus systeem met 58 – 80 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> heel veel lager is dan referentie GAK wat een CO<sub>2</sub> emissie heeft van 325 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>. In vergelijking met PACAS en O<sub>3</sub>+zandfiltratie stoot het CarboPlus proces de helft minder CO<sub>2</sub> uit. Wat verder opvalt is dat de CO<sub>2</sub> emissie aanzienlijk toeneemt indien er uitgegaan wordt van 20% vers GAK maar dat de totale CO<sub>2</sub> emissie met 80 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> nog steeds heel laag is in vergelijking met referentietechnieken.

Het DynaCarbon concept resulteert in een uitstoot van 104 – 131 gram CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> wat eveneens aanzienlijk lager is dan referentie GAK. In vergelijking met PACAS en O<sub>3</sub>+zandfiltratie resulteert het DynaCarbon concept in minder CO<sub>2</sub> uitstoot indien enkel geregenereerd GAK wordt toegepast en een gelijke uitstoot indien 20% van de vullingen vers GAK betreft.

De verklaring voor de lage CO<sub>2</sub> emissies van CarboPlus en DynaCarbon is het relatief lage GAK verbruik per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater en het feit dat voornamelijk geregenereerd GAK gebruikt wordt.

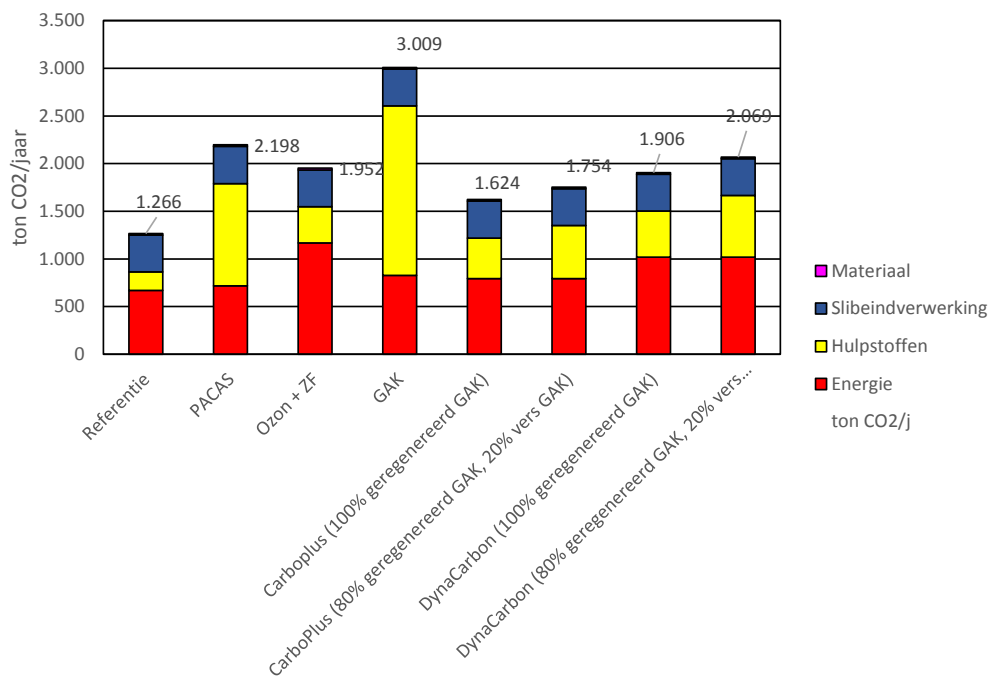
TABEL 8.3 CO<sub>2</sub> FOOTPRINT REFERENTIE-TECHNIEKEN VERSUS CARBOPLUS EN DYNACARBON

Parameter	Eenheid	PACAS	O <sub>3</sub> -ZF	GAK	Carbo-Plus, 100% *	Carbo-Plus 20%, 80% **	Dyna-Carbon, 100% *	Dyna-Carbon 20%, 80% **
CO <sub>2</sub> footprint totaal	Ton CO <sub>2</sub> per jaar	2.198	1.953	3.009	1.624	1.754	1906	2.069
Behandeld afvalwater	m <sup>3</sup> /jaar	7.665.000	5.365.500	5.365.500	6.132.000	6.132.000	6.132.000	6.132.000
CO <sub>2</sub> footprint per m <sup>3</sup>	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	122	128	325	58	80	104	131

\*100% geregenereerd GAK

\*\*20% vers GAK, 80% geregenereerd GAK

In Figuur 8.1 is de totale jaarlijkse CO<sub>2</sub> emissie van de afzonderlijke systemen gepresenteerd, inclusief de uitstoot van de rwzi. De uitstoot van het CarboPlus systeem valt aanzienlijk lager uit dan de uitstoot van PACAS, O<sub>3</sub>+zandfiltratie en GAK.

FIGUUR 8.1 CO<sub>2</sub> FOOTPRINT TOTALE RWZI INCLUSIEF VERWIJDERING MICRO'S

# 9

## KOSTEN

### 9.1 INLEIDING

In paragraaf 9.2 zijn op basis van de budgetramingen de investeringskosten bepaald waarna in paragraaf 9.3 de jaarlijkse kosten en de kosten per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater berekend zijn.

### 9.2 INVESTERINGSKOSTEN

De onderdelen die aangeboden zijn in de ontvangen budgetramingen zijn opgenomen in paragraaf 7.3. In Bijlage 4 is een budgetraming opgenomen voor de turn-key bouwkosten van een CarboPlus installatie voor 1.040 m<sup>3</sup>/h. De turn-key bouwkosten voor de DynaCarbon installatie zijn afgeleid op basis van de budgetraming voor de rwzi Hapert waarbij de kosten voor WTB en PA lineair toenemen met het debiet en de civiele kosten vermenigvuldigd zijn met de wortel van de toename in capaciteit.

De turn key bouwkosten omvatten een complete functionerende nabehandelingsinstallatie, dus inclusief project management, detail ontwerp, gebouwen, fundering en civiele werkzaamheden, elektrische installatie, opbouw en in bedrijf stelling van de installatie. De kosten voor het aansluiten van de installatie op de rwzi vallen buiten de scope van de werkzaamheden. Deze werkzaamheden omvatten de toevoer en afvoer van water, een nieuwe transformator, aansluiten van de installatie op de transformator, de integratie van de installatie in SCADA en kosten in relatie tot de standaarden van waterschappen.

In Tabel 9.1 zijn de turn key kosten vermenigvuldigd met een onvolledigheidsfactor van 1,25. Deze onvolledigheidsfactor omvat het aansluiten van de turn key installaties op de rwzi. De post aannemerskosten (25%) is niet gespecificeerd in Tabel 9.1 omdat de aannemerskosten reeds onderdeel zijn van de turn key bouwkosten. Tot slot is een opslag van 80% gerekend over de totale bouwkosten om te komen tot de stichtingskosten. Deze factor bestaat uit kosten voor BTW, onvoorzien, engineering, projectmanagement, directievoering, verzekeringen, tijdelijke voorzieningen tijdens ombouw en opstart, opleiding en communicatie kosten.

TABEL 9.1

STICHTINGSKOSTEN

Onderdeel		CarboPlus	DynaCarbon
Turn key bouwkosten		€ 4.800.000	€ 3.420.000
Onvolledigheid	25%	€ 1.200.000	€ 855.000
<b>Bouwkosten totaal</b>		<b>€ 6.000.000</b>	<b>€ 4.275.000</b>
Opslag tbv stichtingskosten	80%	€ 4.800.000	€ 3.420.000
<b>Totaal stichtingskosten</b>		<b>€ 10.800.000</b>	<b>€ 7.695.000</b>

In Tabel 9.1 is te zien dat de stichtingskosten voor het CarboPlus systeem ingeschat worden op EUR 10,8 miljoen tegenover EUR 7,7 miljoen voor het DynaCarbon filter. Dat is een verschil

van ruim 3 miljoen euro. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat het CarboPlus systeem in zijn geheel in een betonnen gebouw is gesitueerd en doordat het CarboPlus systeem een voedingstank en een waswatertank vereist. Het DynaCarbon systeem vereist door de continue spoeling geen buffers. Als uitgangspunt voor het CarboPlus systeem is gehanteerd dat 60% van de investering civiele kosten betreft en 40% WTB/E/PA. Voor het DynaCarbon systeem is uitgegaan van 30% civiele kosten en 70% WTB/E/PA.

### 9.3 CAPEX EN OPEX

De jaarlijkse kosten van beide systemen zijn vastgesteld op basis van de financiële uitgangspunten in Tabel 9.2.

TABEL 9.2 FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

Parameter	Eenheid	Waarde
Annuïteit	%	4
Afschrijving civiel	jaar	30
Afschrijving WTB/E	jaar	15
Afschrijving PA	jaar	5
Onderhoud civiel	% van bouwkosten	0,5%
Onderhoud WTB/E/PA	% van investering	3%
FTE	EUR/j	50.000
FTE	uur/j	520
elektriciteit	EUR/kWh	0,1
GAK massa	kg/m <sup>3</sup>	450
GAK	EUR/m <sup>3</sup>	€ 1.200
GAK	EUR/ton	2.667
GAK prijs geregenereerd	EUR/m <sup>3</sup>	€ 500
GAK prijs geregenereerd	EUR/ton	€ 1.111
Slibverwerking	EUR/ton ds	€ 600
Productie spoelwater	EUR/m <sup>3</sup>	€ 0,04
Verwerking spoelwater	EUR/m <sup>3</sup>	€ 0,01

Voor het berekenen van de jaarlijkse kosten is verder uitgegaan van de uitgangspunten in Tabel 9.3.

TABEL 9.3 UITGANGSPUNTEN CARBOPLUS EN DYNACARBON

Parameter	Eenheid	CarboPlus	DynaCarbon
Te behandelen jaardebiet	m <sup>3</sup> /j	6.132.000	6.132.000
GAK dosering	kg/jaar	91.980	114.975
Energieverbruik	kWh/m <sup>3</sup>	0,043	0,088
Beheer	uur/j	520	520
Waswater	m <sup>3</sup> /j	10.002	306.000

Op basis van de investeringskosten in Tabel 9.1 en de uitgangspunten in Tabel 9.2 en Tabel 9.3 zijn in Tabel 9.4 de jaarlijkse kosten voor het CarboPlus en het DynaCarbon systeem uitgewerkt evenals de kosten per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater.

TABEL 9.4

## JAARLIJKSE KOSTEN

Parameter	Eenheid	CarboPlus	DynaCarbon
Kapitaallasten	EUR/j	€ 836.000	€ 722.000
Energie	EUR/j	€ 26.000	€ 54.000
personeel	EUR/j	€ 14.000	€ 14.000
onderhoud	EUR/j	€ 90.000	€ 96.000
GAK	EUR/j	€ 102.000	€ 128.000
Waswater	EUR/j		€ 3.000
<b>Totale kosten</b>	<b>EUR/j</b>	<b>€ 1.069.000</b>	<b>€ 1.017.000</b>
<b>Kosten per m<sup>3</sup> behandeld</b>	<b>EUR/m<sup>3</sup></b>	<b>€ 0,17</b>	<b>€ 0,17</b>

In Tabel 9.4 is te zien dat de kosten per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater in het geval van het CarboPlus en DynaCarbon concept 17 cent per m<sup>3</sup> bedragen. De kosten van CarboPlus en DynaCarbon vallen hiermee lager uit dan referentie GAK filtratie wat 26 cent per m<sup>3</sup> kost. In vergelijking met O<sub>3</sub>+zandfiltratie vallen de kosten gelijk uit terwijl PACAS aanzienlijk goedkoper is. PACAS is met 5 cent per m<sup>3</sup> aanzienlijk goedkoper dan beide GAK systemen. De totale jaarlijkse kosten voor het CarboPlus systeem bedragen 1.069.000 EUR/jaar tegenover 1.017.000 EUR/jaar voor het DynaCarbon systeem.

Om de gevoeligheid voor de GAK dosering en de standtijd vast te stellen is de prijs van beide systemen berekend voor variabele GAK doseringen. Ook bij een lagere GAK dosering van 12 mg/l blijft de prijs van het CarboPlus systeem per m<sup>3</sup> afgerond 17 cent terwijl bij een hogere GAK dosering van 18 mg/l de prijs oploopt naar 18 cent per m<sup>3</sup>.

Indien de standtijd van het DynaCarbon systeem 1 jaar bedraagt in plaats van 2 jaar dan lopen de kosten op naar 19 cent per m<sup>3</sup> terwijl een standtijd van 3 jaar resulteert in een prijs van 16 cent per m<sup>3</sup>.

# 10

## LEEMTEN IN KENNIS EN DOORKIJK NAAR VERVOLGFASE

Uit dit haalbaarheidsonderzoek zijn verschillende leemten in kennis naar voren gekomen. In dit hoofdstuk worden deze leemten in kennis beschreven en wordt ingegaan op hoe zij in de vervolgfase(s) geadresseerd kunnen worden.

### **VERWIJDERINGSRENDEMENT EN GAK DOSERING**

Op de rwzi Penthaz heeft het CarboPlus systeem een verwijderingsrendement van 87% laten zien voor 7 van de 11 Nederlandse gidsstoffen en 5 van de 8 kandidaat gidsstoffen. Het DynaCarbon filter heeft op de rwzi Emmingen-Liptingen over een periode van 2 jaar een gemiddeld verwijderingsrendement van 70 - 80% laten zien voor 5 van de Nederlandse gidsstoffen. Voor een vervolgfase is van belang om van alle Nederlandse gidsstoffen de verwijderingsrendementen vast te stellen op pilot scale bij verschillende GAK doseringen en standtijden. Een pilot is verder noodzakelijk omdat Nederlands afvalwater anders is dan Duits of Zwitsers afvalwater waardoor er in de praktijk mogelijk hogere of lagere GAK doseringen nodig zijn.

Het onderzoek op Emmingen-Liptingen heeft verder laten zien dat na 5 jaar standtijd en 75.000 bedvolumes het verwijderingsrendement van het DynaCarbon filter inclusief biologische terug gelopen is tot 70%. Dit duidt op het effect van biologische verwijdering van micro verontreinigingen in GAK filters. In een vervolgfase dient onderzocht te worden of de combinatie van GAK en biologische afbraak in DynaCarbon filters ook voor Nederlandse rwzi's kansrijk is.

### **EFFECT OP ECOTOXICITEIT**

Het effect van het CarboPlus en DynaCarbon systeem op ecotoxiciteit is voor de Nederlandse situatie nog niet onderzocht. In een pilot dient daarom de ecotoxiciteit van het effluent op het ontvangende water te worden vastgesteld (biologische effectmonitoring rwzi effluent). Vervolgens kan een vergelijking gemaakt worden met het referentie GAK filter.

### **CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT EN REGENEREREN GAK**

De CO<sub>2</sub>-footprints van het CarboPlus en DynaCarbon systeem hangen samen met het elektriciteitsverbruik, GAK verbruik en het type GAK. Geregenereerd GAK heeft een veel kleinere impact dan vers GAK maar de toepasbaarheid moet zich op Nederlands effluent nog bewijzen. Verder dient vastgesteld te worden hoe vaak GAK geregenereerd kan worden voordat vervanging door vers GAK noodzakelijk is. Zowel het CarboPlus systeem op de rwzi Penthaz als het DynaCarbon systeem op Emmingen-Liptingen gebruiken CYCLECARB van Chemviron. Dat is een geregenereerd GAK op basis van steenkool dat volgens Chemviron oneindig geregenereerd kan worden zolang er bij regeneratie 10% GAK gesuppleerd wordt om thermische verliezen te compenseren. Deze 10% betreft reeds verzadigd GAK op basis van steenkool. In

een vervolgfase dient vastgesteld te worden of er met 100% geregenereerd GAK voldoende hoge verwijderingsrendementen gehaald worden of dat er na verloop van tijd suppletie met vers GAK nodig is.

### **KOSTEN EN DOSERING**

De stichtingskosten en operationele kosten hangen samen met de prestaties van de pilot installatie en de kenmerken van de rwzi waar de technieken geïmplementeerd worden. Op basis van pilot onderzoek en de daarin vastgestelde dosering dienen de kosten voor de Nederlandse zuiveringspraktijk vastgesteld te worden.

De stichtingskosten voor CarboPlus en DynaCarbon zijn geraamd op basis van een turn-key kostenraming van de leverancier en vastgestelde toeslagpercentages. Het is aannemelijk dat de stichtingskosten in de praktijk hoger of lager uitvallen door de specifieke situatie op een rwzi. De stichtingskosten van het CarboPlus systeem zijn met EUR 10,8 miljoen aan de hoge kant. Mogelijk dat er sprake is geweest van dubbelingen in toeslagpercentages voor de ontvangen turn-key bouwkosten en de voor deze haalbaarheidsstudie gehanteerde toeslagpercentages. Dit kan geleid hebben tot een overschatting is van de daadwerkelijke stichtingskosten. Ook kan er bij het CarboPlus systeem mogelijk bespaard worden op de vuilwaterbuffer als de hydraulische lijn van de rwzi dit toelaat. Hetzelfde geldt voor aangeboden gebouw wat geheel uitgevoerd is in beton.

# 11

## CONCLUSIES

Op basis van deze haalbaarheidsstudie zijn de prestaties van het CarboPlus en DynaCarbon systeem samengevat en vergeleken met PACAS, O<sub>3</sub>+zandfiltratie en referentie GAK.

	Eenheid	PACAS	O <sub>3</sub> +ZF	GAK	CarboPlus	DynaCarbon
CO <sub>2</sub> footprint	gram CO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	122	128	325	58 - 80	104 - 131
Kosten	EUR / m <sup>3</sup>	0,05	0,17	0,26	0,17 - 0,18	0,16 - 0,19
Verwijderingsrendement gidsstoffen Min I&W	%	70 - 75	80 - 85	80 - 85	80 - 90	70 - 80

De volgende conclusies worden getrokken:

- Het CarboPlus systeem wordt op de rwzi Penthaz in Zwitserland op full scale toegepast voor de verwijdering van micro verontreinigingen waardoor de TRL van het systeem in het buitenland reeds 9 is. Voor de Nederlandse situatie is TRL 9 daarom snel te realiseren.
- Het DynaCarbon systeem wordt op de rwzi's Emmingen-Liptingen (Duitsland) en Simrishamn (Zweden) op full scale toegepast voor de verwijdering van micro. Voor de Nederlandse situatie is TRL 9 daarom snel te realiseren..
- Het CarboPlus en DynaCarbon systeem leiden tot een aanzienlijke CO<sub>2</sub> reductie voor GAK filtratie.
  - Indien enkel geregenereerd GAK wordt toegepast resulteert het CarboPlus systeem in een CO<sub>2</sub> footprint van 58 gram CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> wat 5 keer lager is dan referentie GAK en ook aanzienlijk lager dan PACAS en O<sub>3</sub>+zandfiltratie. Indien de initiële vulling bestaat uit vers GAK en geregenereerd GAK na vier keer vervangen dient te worden voor vers GAK dan is de CO<sub>2</sub> footprint met 80 gram CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> nog steeds aanzienlijk lager dan de referentie technieken.
  - Indien enkel geregenereerd GAK wordt toegepast resulteert het DynaCarbon systeem in een CO<sub>2</sub> footprint van 104 gram CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> wat 3 keer lager is dan referentie GAK. Indien de initiële vulling bestaat uit vers GAK en geregenereerd GAK na vier keer vervangen dient te worden voor vers GAK dan is de CO<sub>2</sub> footprint met 131 gram CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> vergelijkbaar met PACAS en O<sub>3</sub>+zandfiltratie.
- De stichtingskosten voor het CarboPlus systemen zijn geraamd op EUR 10,8 miljoen voor een capaciteit van 1.040 m<sup>3</sup>/h. De stichtingskosten van het DynaCarbon systeem zijn geraamd op EUR 7,7 miljoen.
- De kosten van CarboPlus bedragen 17 - 18 cent per m<sup>3</sup> en die van DynaCarbon 16 - 19 cent per m<sup>3</sup> waardoor beide technieken goedkoper zijn dan de 26 cent per m<sup>3</sup> van referentie GAK filtratie, vergelijkbaar met O<sub>3</sub>+zandfiltratie en duurder dan PACAS
- Het verwijderingsrendement van het CarboPlus systeem op 7 van de 11 Nederlandse gidsstoffen is op de rwzi Penthaz in 2018-2019 uitgebreid gemonitord en bedraagt over de gehele rwzi 87% voor de combinatie van biologie en CarboPlus bij een GAK dosering van 15 gram/m<sup>3</sup>. Als enkel het influent en effluent van de CarboPlus beschouwd worden is het verwijderingsrendement eveneens circa 90%
- Het verwijderingsrendement van het DynaCarbon systeem is op de rwzi Emmingen



-Liptingen over meerdere jaren vastgesteld voor 5 van de 11 Nederlandse gidsstoffen (Hydrochlorothiazide, Metroprolol, Diclofenac, Carbamazepine en Benzotriazol). Na het verversen van het GAK filter ligt het verwijderingsrendement over de gehele rwzi rond de 90%. Binnen een jaar neemt het verwijderingsrendement af tot 70% om vervolgens te stabiliseren op 80% na 2 jaar en 24.000 bedvolumes. Na een periode van 5 jaar en 75.000 bedvolumes ligt het verwijderingsrendement nog steeds rond de 70%. Aan de hand van een pilot dient vastgesteld te worden of een verwijdering van 80% in de Nederlandse praktijk haalbaar is en welke standtijd daar voor nodig is.

- Het benodigde filteroppervlak voor het CarboPlus systeem bedraagt circa 67 m<sup>2</sup> voor een referentieuivering van 100.000 i.e. met een aanvoer van 1.040 m<sup>3</sup>/h. Het oppervlak van het DynaCarbon filter bedraagt circa 160 m<sup>2</sup>. Het totaal benodigde oppervlak voor beide systemen bedraagt naar schatting 300 – 400 m<sup>2</sup>, inclusief randvoorzieningen en gebouwen.

# 12

## BIBLIOGRAFIE

Locher, C. (2019). Kontinuierliche GAK-filter zur Spurenstoffentnahme in Emmingen-Liptingen. *KOMS- Technologieforum Spurenstoffe* (pp. 1-25). Wernau: Jedele und Partner GmnH.

Mulder, M. (2019, 4 23). Richtlijnen haalbaarheidsstudie innovatieprogramma microverontreinigingen uit afvalwater. STOWA.

Nordic Water. (2020, 03 18). Advanced wastewater treatment in Simrishamn; Removal of pharmaceutical residuals and micropollutants.

NordicWater. (2020, july 16). Presentation of results wwtp Emmingen-Liptingen.

Projectverbund Emmingen-Liptingen. (2015). *Einsatz granulierter Aktivkohle zur entnahme von Mikroverunreinigungen in kontinuierlich arbeitenden Filtern, abschlussbericht*. Emmingen-Liptingen/ ISWA Universität Stuttgart/ JuP GmbH.

Saur. (2020, 06 15). *The Carboplus® pilot plant tested by SIAAP lives up to its promise*. Opgehaald van Saur: <https://www.saur.com/en/eco-regions/the-carboplus-pilot-plant-tested-by-siaap-lives-up-to-its-promise/>

Stereau. (2019). Penthaz WWTP Micropollutants Treatment, Reduction of indicator substances.

STOWA. (2018). *PACAS- Poederkooldosering in actiefslib voor verwijdering van microverontreinigingen, 2018-02*. STOWA.

Triform. (2017). *Elimination von spurenstoffen durch mikrogranulierte Aktivkohle (PAK oder GAK im Wirbelbett): Pilotversuche auf der STEP de Penthaz; Deutsche Kurzfassung des Zwischenberichts vom*. Triform.

Triform. (2018). *Charbon actif en grain en lit fluidisé - procédé*.

## BIJLAGE 1

# VERWIJDERINGSRENDEMENT CARBOPLUS RWZI PENTHAZ

## VERWIJDERINGSRENDEMENT FULL SCALE CARBOPLUS RWZI PENTHAZ

Sampling date	Parameters	Biological stage removal (%)	Carboplus stage removal (%)	All stages global removal (%)	Biological stage average removal (%)	Carboplus stage average removal (%)	All stages global average removal (%)
Minimum requirements					-	75	80
2019-07-30	Amisulpride			> 98	28	92	93
	Benzotriazole			> 98			
	Candésartan			75			
	Carbamazepine			88			
	Citalopram			> 98			
	Clarithromycine			> 90			
	Diclofénac			97			
	Hydrochlorothiazide			> 97			
	Irbésartan			92			
	Methylbenzotriazole			> 96			
	Metoprolol			98			
Venlafaxin			94				
2019-06-25	Amisulpride	34	> 98	> 99	28	92	93
	Benzotriazole	34	> 96	> 98			
	Candésartan	9	71	73			
	Carbamazepine	12	90	92			
	Citalopram	27	> 98	> 98			
	Clarithromycine	37	> 91	> 94			
	Diclofénac	33	93	95			
	Hydrochlorothiazide	27	> 95	> 96			
	Irbésartan	25	90	92			
	Methylbenzotriazole	29	> 93	> 95			
	Metoprolol	43	96	98			
Venlafaxin	23	89	91				
2019-05-21	Amisulpride	40	> 97	> 98	28	89	91
	Benzotriazole	35	> 97	> 98			
	Candésartan		70	69			
	Carbamazepine		89	87			
	Citalopram	21	96	97			
	Clarithromycine		73				
	Diclofénac	24	91	93			
	Hydrochlorothiazide	21	93	94			
	Irbésartan	14	86	88			
	Methylbenzotriazole	35	> 95	> 97			
	Metoprolol	35	94	96			
Venlafaxin	23	85	89				
2019-05-08	Amisulpride		> 95		28	90	91
	Benzotriazole		> 97				
	Candésartan		73				
	Carbamazepine		89				
	Citalopram		> 96				
	Clarithromycine		92				
	Diclofénac		91				
	Hydrochlorothiazide		91				
	Irbésartan		88				
	Methylbenzotriazole		> 95				
	Metoprolol		94				
Venlafaxin		84					

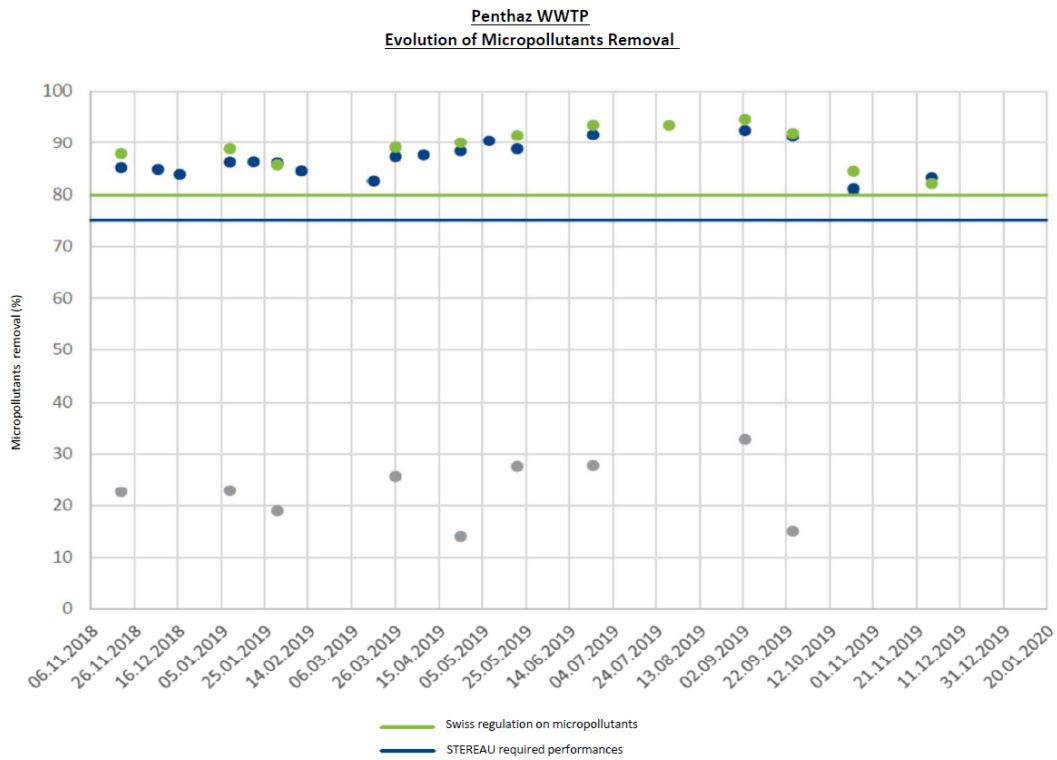
Sampling date	Parameters	Biological stage removal (%)	Carbopius stage removal (%)	All stages global removal (%)	Biological stage average removal (%)	Carbopius stage average removal (%)	All stages global average removal (%)
Minimum requirements					-	75	80
2019-04-25	Amisulpride		> 83		14	88	90
	Benzotriazole	35	> 92	> 95			
	Candésartan	0	69	69			
	Carbamazepine	0	88	88			
	Citalopram	9	97	97			
	Clarithromycine		92	92			
	Diclofénac	23	90	93			
	Hydrochlorothiazide	4	90	90			
	Irbésartan	15	85	88			
	Methylbenzotriazole	12	> 95	> 96			
	Metoprolol	31	93	95			
Venlafaxin	10	87	88				
2019-04-08	Amisulpride		> 97			88	
	Benzotriazole		> 92				
	Candésartan		63				
	Carbamazepine		87				
	Citalopram		95				
	Clarithromycine		89				
	Diclofénac		87				
	Hydrochlorothiazide		91				
	Irbésartan		79				
	Methylbenzotriazole		> 95				
	Metoprolol		93				
Venlafaxin		83					
2019-03-26	Amisulpride	40	> 97	> 98	26	87	89
	Benzotriazole	44	> 97	> 98			
	Candésartan		66	65			
	Carbamazepine		87	86			
	Citalopram	19	96	97			
	Clarithromycine	27	75	81			
	Diclofénac	32	88	92			
	Hydrochlorothiazide	2	91	91			
	Irbésartan	23	80	85			
	Methylbenzotriazole	18	> 95	> 96			
	Metoprolol	41	92	95			
Venlafaxin	11	83	85				
2019-03-16	Amisulpride		> 95			83	
	Benzotriazole		> 96				
	Candésartan		49				
	Carbamazepine		83				
	Citalopram		94				
	Clarithromycine		72				
	Diclofénac		82				
	Hydrochlorothiazide		90				
	Irbésartan		69				
	Methylbenzotriazole		> 95				
	Metoprolol		91				
Venlafaxin		75					

Sampling date	Parameters	Biological stage removal (%)	Carboplus stage removal (%)	All stages global removal (%)	Biological stage average removal (%)	Carboplus stage average removal (%)	All stages global average removal (%)
Minimum requirements					-	75	80
2019-02-11	Amisulpride		> 94		85		
	Benzotriazole		93				
	Candésartan		61				
	Carbamazepine		84				
	Citalopram		94				
	Clarithromycine		80				
	Diclofénac		83				
	Hydrochlorothiazide		91				
	Irbésartan		75				
	Methylbenzotriazole		> 91				
	Metoprolol		90				
Venlafaxin		77					
2019-01-31	Amisulpride	45	> 95	> 97	19	86	86
	Benzotriazole	35	94	96			
	Candésartan		65	56			
	Carbamazepine		86	85			
	Citalopram		95	93			
	Clarithromycine		86	84			
	Diclofénac	4	84	85			
	Hydrochlorothiazide	17	90	92			
	Irbésartan	5	77	78			
	Methylbenzotriazole		> 94	> 94			
	Metoprolol	8	91	91			
	Venlafaxin		78	77			
	2019-01-20	Amisulpride		> 94			
Benzotriazole			> 93				
Candésartan			67				
Carbamazepine			87				
Citalopram			93				
Clarithromycine			81				
Diclofénac			85				
Hydrochlorothiazide			92				
Irbésartan			79				
Methylbenzotriazole			> 94				
Metoprolol			90				
Venlafaxin		80					
2019-01-09	Amisulpride	66	> 92	> 97	23	86	89
	Benzotriazole	35	94	96			
	Candésartan	19	64	71			
	Carbamazepine	9	88	89			
	Citalopram		94	94			
	Clarithromycine	25	82	86			
	Diclofénac	9	87	88			
	Hydrochlorothiazide	6	> 88	> 88			
	Irbésartan	19	79	83			
	Methylbenzotriazole	19	95	96			
	Metoprolol	34	91	94			
	Venlafaxin	13	80	83			

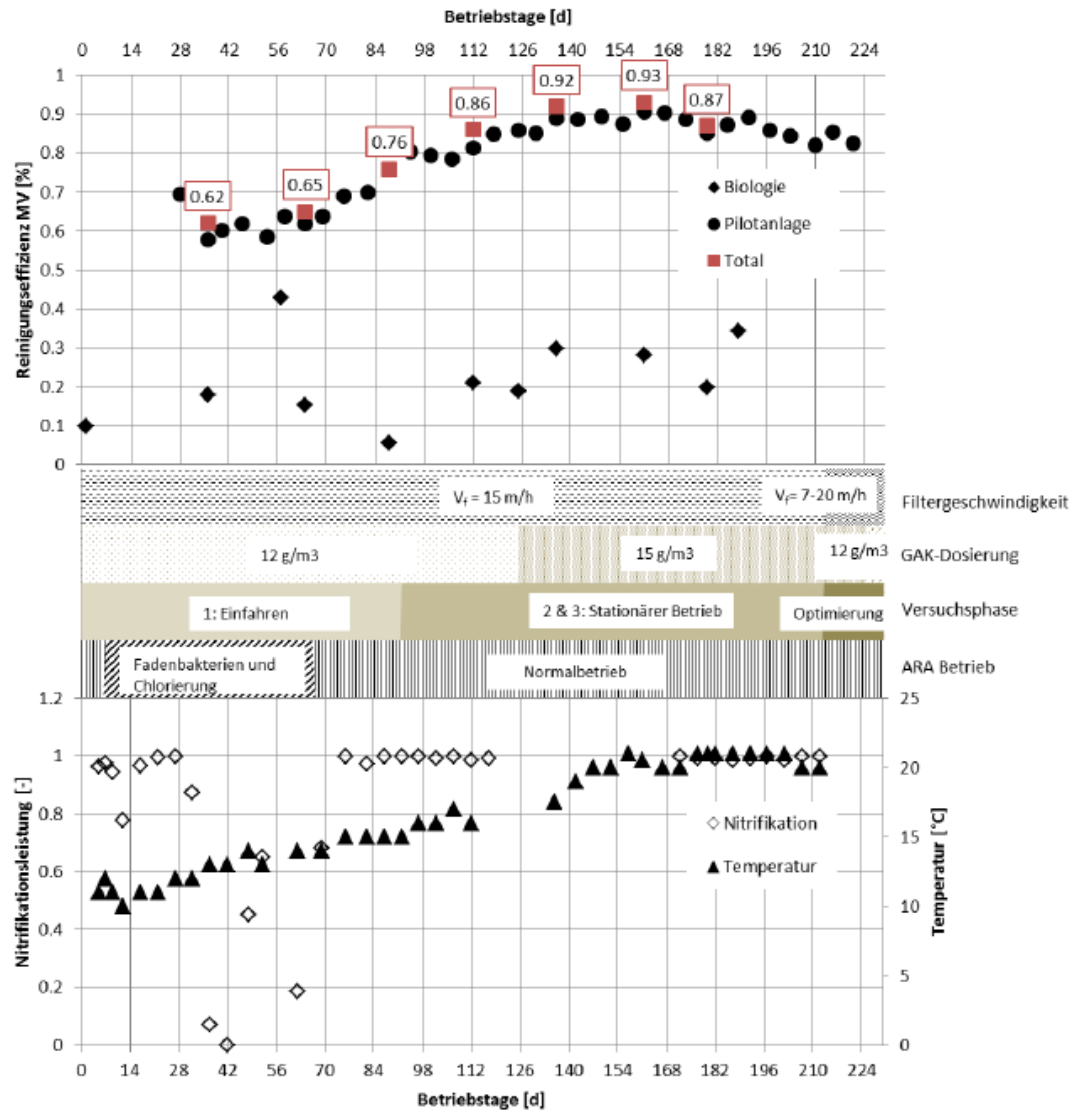
Sampling date	Parameters	Biological stage removal (%)	Carbopius stage removal (%)	All stages global removal (%)	Biological stage average removal (%)	Carbopius stage average removal (%)	All stages global average removal (%)
Minimum requirements					-	75	80
2018-12-17	Amisulpride		94		23	84	88
	Benzotriazole		93				
	Candésartan		65				
	Carbamazepine		87				
	Citalopram		94				
	Clarithromycine		64				
	Diclofénac		85				
	Hydrochlorothiazide		> 88				
	Irbésartan		71				
	Methylbenzotriazole		95				
	Metoprolol		91				
Venlafaxin		79					
2018-12-07	Amisulpride		>90		23	85	88
	Benzotriazole		92				
	Candésartan		62				
	Carbamazepine		85				
	Citalopram		92				
	Clarithromycine		82				
	Diclofénac		83				
	Hydrochlorothiazide		89				
	Irbésartan		77				
	Methylbenzotriazole		95				
	Metoprolol		91				
Venlafaxin		80					
2018-11-20	Amisulpride	33	90	93	23	85	88
	Benzotriazole	48	93	96			
	Candésartan	6	67	69			
	Carbamazepine		86	85			
	Citalopram	13	92	93			
	Clarithromycine	31	79	86			
	Diclofénac	15	85	87			
	Hydrochlorothiazide	19	90	92			
	Irbésartan	25	78	84			
	Methylbenzotriazole	13	95	96			
	Metoprolol	35	87	92			
Venlafaxin	13	79	82				
2018-11-01	Amisulpride		93		23	87	88
	Benzotriazole		93				
	Candésartan		69				
	Carbamazepine		87				
	Citalopram		93				
	Clarithromycine		86				
	Diclofénac		85				
	Hydrochlorothiazide		89				
	Irbésartan		80				
	Methylbenzotriazole		96				
	Metoprolol		89				
Venlafaxin		81					

Sampling date	Parameters	Biological stage removal (%)	Carbopius stage removal (%)	All stages global removal (%)	Biological stage average removal (%)	Carbopius stage average removal (%)	All stages global average removal (%)
Minimum requirements					-	75	80
2018-10-17	Amisulpride		93		25	90	92
	Benzotriazole	58	93	97			
	Candésartan	1	79	79			
	Carbamazepine	12	90	91			
	Citalopram		95	92			
	Clarithromycine	19	89	91			
	Diclofénaç	37	88	93			
	Hydrochlorothiazide	21	94	95			
	Irbésartan	20	85	88			
	Methylbenzotriazole	20	96	97			
	Metoprolol	40	92	95			
Venlafaxin	22	87	90				

Averages	23	87	90
Minimum	14	81	82
Number of analyzes	9	20	8



VERWIJDERINGSRENDEMENT PILOT CARBOPLUS RWZI PENTHAZ





## BIJLAGE 2

# VERWIJDERINGSRENDEMENT DYNACARBON RWZI EMMINGEN-LIPTINGEN EN SIMRISHAMN

## EMMINGEN-LIPTINGEN

	Parameter	Zulauf		Entname			Belading	
		Einh.	Mittelwert	Einh.	Sand	GAK	Eenheid	Wert
	CSB	mg/l	10,2	%	8	21		
	N <sub>ges</sub> <sup>1)</sup>	mg/l	9,4	%	0	0		
	P <sub>ges</sub> <sup>2)</sup>	mg/l	0,45	%	56	56		
	SAK <sub>Photometer</sub>	1/m	7,7	%	9	36	(1/m)/g GAK	
Pharmaceutische Wirkstoffe I	Diclofenac	µg/l	1,2	%	13	73	µg/g GAK	47
	Carbamazepin	µg/l	0,3	%	8	64	µg/g GAK	11
	Metoprolol	µg/l	0,2	%	0	73	µg/g GAK	9
	Tramadol	µg/l	0,1	%	20	87	µg/g GAK	6
	Lidocain	µg/l	0,1	%	13	74	µg/g GAK	5
	Naproxen	µg/l	0,1	%	41	73	µg/g GAK	5
	Venlafaxin	µg/l	0,1	%	21	87	µg/g GAK	5
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,1	%	-3	51	µg/g GAK	3
	Mirtazapin	µg/l	0,06	%	23	85	µg/g GAK	3
	Ibuprofen	µg/l	0,06	%	68	63	µg/g GAK	2
Diphenhydramin	µg/l	0,05	%	46	83	µg/g GAK	2	
Röntgencontrastmittel	Iopromid	µg/l	0,6	%	4	75	µg/g GAK	16
	Amidotrizoesäure	µg/l	0,1	%	60	57	µg/g GAK	2
	Iopamidol	µg/l	0,1	%	-	70	µg/g GAK	2
	Iohexol	µg/l	<0,05	%	-	-	µg/g GAK	-
	Iomeprol	µg/l	<0,05	%	-	-	µg/g GAK	-
Synthet. Duftstoffen	HHCB-Lacton	µg/l	1,1	%	6	62	µg/g GAK	35
	OTNE	µg/l	0,5	%	25	72	µg/g GAK	19
	HHCB	µg/l	0,4	%	7	63	µg/g GAK	12
	AHTN	µg/l	0,05	%	11	64	µg/g GAK	2
	Methyldihydrojasmonat	µg/l	0,05	%	13	27	µg/g GAK	1
Sonstige	Coffein	µg/l	0,1	%	38	41	µg/g GAK	4
	TAED	µg/l	0,07	%	22	64	µg/g GAK	3
	Triclosan	µg/l	0,03	%	30	66	µg/g GAK	1

Parameter	Zulauf		Entname			Beladung		
	Einh.	Mittelwert	Einh.	Sand	GAK	Einheit	Wert	
Pestizide	MCPA	µg/l	0,3	%	37	55	µg/g GAK	8
	DEET	µg/l	0,09	%	10	47	µg/g GAK	4
	Terbutryn	µg/l	0,06	%	20	56	µg/g GAK	2
	Mecoprop	µg/l	0,04	%	13	53	µg/g GAK	1
	2,4-D	µg/l	<0,005	%	-	-	µg/g GAK	-
	Propyzamid	µg/l	<0,005	%	-	-	µg/g GAK	-
	Propiconazol	µg/l	<0,005	%	-	-	µg/g GAK	-
	Metazachlor	µg/l	<0,005	%	-	-	µg/g GAK	-
	Tebuconazol	µg/l	<0,005	%	-	-	µg/g GAK	-
	Metolachlor	µg/l	<0,005	%	-	-	µg/g GAK	-
	2-Hydroxybiphenyl	µg/l	0,02	%	-	-	µg/g GAK	-
	Phosphororganische Verbindungen	TCPP	µg/l	0,5	%	11	58	µg/g GAK
TiBP		µg/l	0,1	%	15	61	µg/g GAK	5
TBEP		µg/l	0,1	%	25	75	µg/g GAK	5
TCEP		µg/l	0,15	%	9	32	µg/g GAK	3
TDCPP		µg/l	0,09	%	16	67	µg/g GAK	3
TEP		µg/l	0,1	%	18	52	µg/g GAK	3
TBP		µg/l	0,05	%	27	68	µg/g GAK	2
TPPO		µg/l	0,02	%	32	34	µg/g GAK	1
TPP		µg/l	0,01	%	29	64	µg/g GAK	0,5
Industriechemikalien I		1H-Benzotriazol	µg/l	3,2	%	2	73	µg/g GAK
	1H-4-Methylbenzotriazol	µg/l	0,9	%	6	76	µg/g GAK	38
	1H-5-Methylbenzotriazol	µg/l	0,6	%	45	84	µg/g GAK	29
	Butylhydroxytoluol (BHT)	µg/l	0,1	%	36	84	µg/g GAK	5
	Bisphenol A	µg/l	0,2	%	38	37	µg/g GAK	4
	Butylhydroxyanisol	µg/l	0,09	%	26	73	µg/g GAK	4
	4-Nonylphenole	µg/l	0,06	%	32	91	µg/g GAK	3
	Methylbenzothiazol	µg/l	0,08	%	20	66	µg/g GAK	3
	Benzothiazol	µg/l	0,05	%	25	41	µg/g GAK	2
	Benzophenon	µg/l	0,04	%	23	61	µg/g GAK	2
Octocrylen	µg/l	0,1	%	26	30	µg/g GAK	2	
4t-Octyphenol	µg/l	0,03	%	37	88	µg/g GAK	1	

<sup>1)</sup> <10 Messungen <sup>2)</sup> nach Fällmitteldosierung Zulauf Filter

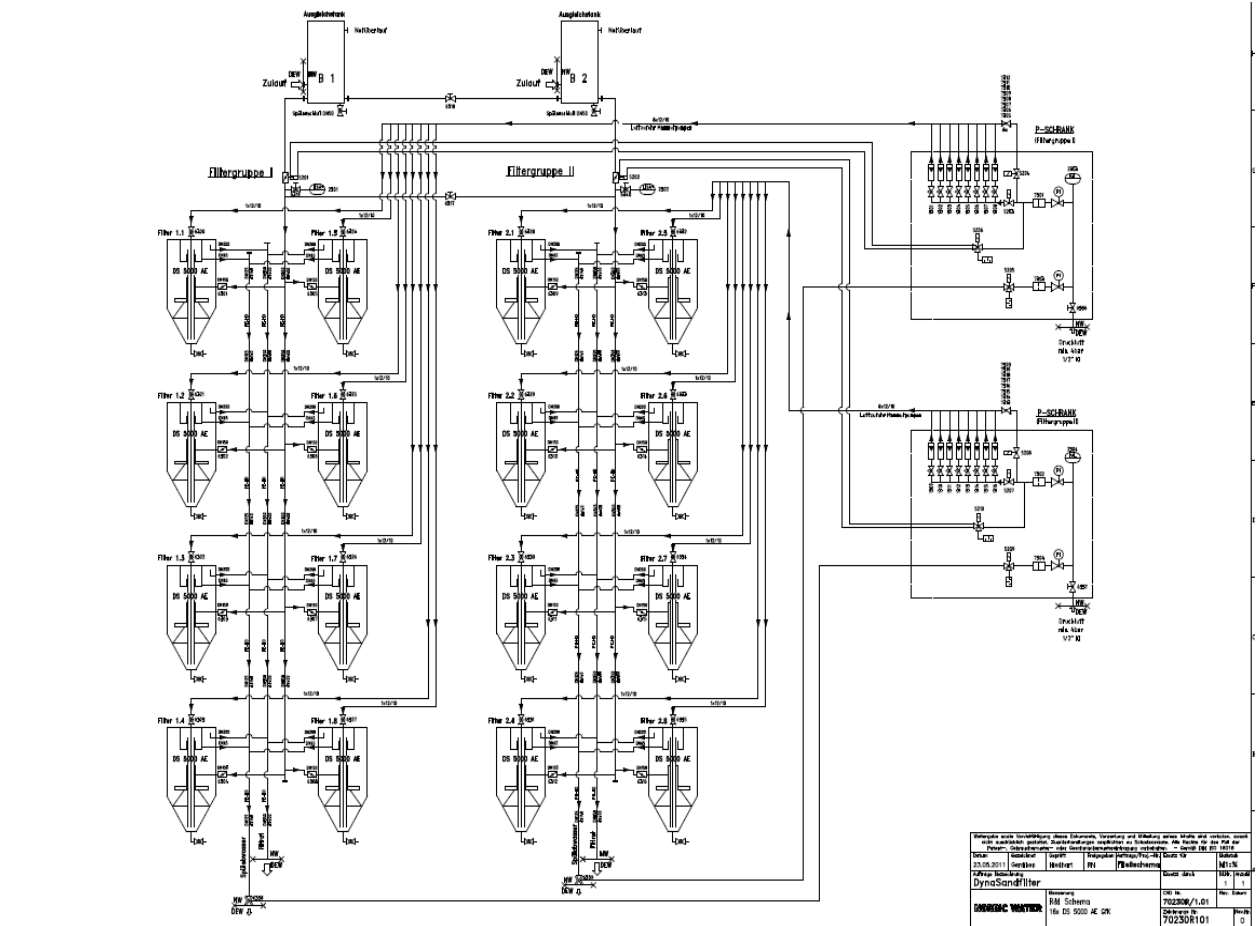
## SIMRISHAMN

## Removal efficiency

<i>Pharmaceutical</i>	DynaSand Carbon	Ozone + DynaSand	Ozone + DynaSand Carbon		
		8 mg O <sub>3</sub> /L	8 mg O <sub>3</sub> /L	6 mg O <sub>3</sub> /L	4 mg O <sub>3</sub> /L
<i>Atenolol</i>	93%	98%	100%	99%	>95%
<i>Bisoprolol</i>	84%	98%	>99%	98%	93%
<i>Carbamazepine</i>	>83%	>88%	>88%	>96%	>88%
<i>Citalopram</i>	77%	>99%	>99%	97%	89%
<i>Diclofenac</i>	44%	100%	100%	96%	79%
<i>Fluoxetine</i>	73%	>95%	>95%	>98%	>87%
<i>Furosemide</i>	59%	>99%	>99%	98%	>96%
<i>Hydrochlorothiazide</i>	94%	100%	100%	99%	93%
<i>Ibuprofen</i>	32%	90%	90%	>97%	33%
<i>Ketoprofen</i>	52%	66%	87%	91%	52%
<i>Metoprolol</i>	91%	98%	100%	99%	95%
<i>Naproxen</i>	63%	100%	>99%	98%	>77%
<i>Oxazepam</i>	58%	78%	95%	94%	70%
<i>Propranolol</i>	93%	>99%	>99%	>99%	>98%
<i>Ramipril</i>	25%	>94%	>94%	67%	-
<i>Ranitidine</i>	96%	>99%	>99%	>99%	>95%
<i>Sertraline</i>	83%	>98%	>98%	>98%	>90%
<i>Warfarin</i>	17%	>92%	>92%	>94%	>84%
<b>Average</b>	>68%	>94 %	>97%	>95%	>84%
<b>Antibiotics</b>					
<i>Clarithromycin</i>	-	>77%	>77%	73%	88%
<i>Erythromycin</i>	1%	>98%	>98%	53%	84%
<i>Sulfamethoxazole</i>	41%	>94%	>94%	78%	>84%
<i>Trimetoprim</i>	>88%	>88%	>88%	>89%	>95%

BIJLAGE 3

# PFD DYNACARBON



**BIJLAGE 4**

# BUDGETRAMING CARBOPLUS

## **BUDGETRAMING RWZI HAPERT; CAPACITEIT 525 M<sup>3</sup>/H**

### Uitgangspunten

- Gemiddelde aanvoer 355 m<sup>3</sup>/h / 8.000 m<sup>3</sup>/d
- Piekaanvoer 525 m<sup>3</sup>/h / 12.600 m<sup>3</sup>/d

### Aangeboden onderdelen:

- 3 GAK filters, 11 m<sup>2</sup> per stuk
- Toevoerbuffer 35 m<sup>3</sup> (beton), voorzien van pompen
- Vuilwaterbuffer 85 m<sup>3</sup> (beton)
- Opslagtank GAK 8 m<sup>3</sup>
- Aanmaak- en doseerinstallatie voor micro GAK
- Blower
- 2 drainage skids van 15 m<sup>3</sup> per stuk (opvang van verzadigd GAK)
- Betonnen gebouw (voor alle tanks en installaties)

Budgetraming voor de bovengenoemde onderdelen: 3.050.000 euro exclusief BTW

### Deze budgetraming is inclusief:

- Project management
- Detail ontwerp
- Installaties (inclusief 1 lading GAK)
- Civiele werkzaamheden
- Opbouw en inbedrijfstelling

### Exclusief:

- Aansluitingen op de rwzi (toevoer/afvoer, elektriciteit, spoelwater)

## **BUDGETRAMING 100.000 I.E. REFERENTIE RWZI; CAPACITEIT 1.040 M<sup>3</sup>/H**

Budgetraming voor de bovengenoemde onderdelen: 4.800.000 euro exclusief BTW

## BIJLAGE 5

# BUDGETRAMING DYNACARBON

### Uitgangspunten

- 525 m<sup>3</sup>/h

### Aangeboden onderdelen:

- 16 DynaCarbon filters type DS5000 (2 straten met 8 filters elk)
- Verbindend leidingwerk (toevoer, afvoer, waswater)
- Vlinderkleppen 8 stuks
- Waswaterreductiesysteem
- Tussenbordessen
- Compressor station (o.a. 2 compressoren, druktank)
- Installatie van filters, leidingwerk en bordessen
- Sandcycle meetsysteem
- Project management (ontwerp, begeleiding, training personeel)

Budgetraming voor de bovengenoemde onderdelen: 910.850 euro exclusief BTW

### Exclusief:

- Aansluitingen op de rwzi (toevoer/afvoer, elektriciteit, spoelwater)
- Betonplaat 13 x 15 m
- 2 stuks centrifugaalpomp a 525 m<sup>3</sup>/h per stuk
- Technische ruimte 4 x 3,2 m
- Elektrotechnische werken (verdeelkast, pompen, compressor)
- Aansluitingen op de rwzi (toevoer/afvoer, elektriciteit)

Budgetraming voor turn-key levering bovengenoemde onderdelen: 1.200.000 euro exclusief BTW

## BIJLAGE 6

# SPECIFICATIE ENERGIEVERBRUIK

## CARBOPLUS RWZI HAPERT

## ENERGIEVERBRUIK CARBOPLUS + BEDRIJFSWATERPOMPEN RWZI PENTHAZ

POSTES	BILAN ELECTRIQUE			Nombre de MOTEURS en fonctionnement pour le débit moyen de 335 m3/h			Puissance (kW)		Débit moyen de 335 m3/h, soit 2 réacteurs en fonctionnement (débit journalier considéré sur 24h)		
	Equipements Electriques	Fonction	Commentaire	Secours magnain	En Service	En Secours initial	UNITAIRE		Temps de Fonctionnement		CONSUMATION
							Puissance	Nombre de (réacteurs / plaque)	h / j	j / an	
	<b>Station de pompage</b>										
1.1	- Pompe alimentation	Alimentation des Carboplus	vitesse variable		2		8		24	365	88 584
1.1	- Vanne pneumatique	Gestion de la pompe de secours/lavage			3		0,01		0,6	12	
1.1*	<b>Sous-total Station de pompage Carboplus</b>				<b>5</b>						<b>88 584</b>
1.2	- Vanne pneumatique	Alimentation Carboplus			3		0,01		24	365	
1.2	- Vanne pneumatique	Abaissement plan d'eau			6		0,01		0,9	12	
1.2	- Vanne pneumatique	sortie eau sale depuis canal eau traitée si besoin de maturation			3		0,01		0,9	12	
1.2	- Vanne manchon	Extractions CAG hautes			6		0,01		0,9	52	
1.2	- Vanne manchon	Extractions CAG basses			6		0,01		0,9	52	
1.2	- Pompe extraction du CA		vitesse variable		1	1	4		0,6	52	108
1.2	- Vanne pneumatique	Sécurité extraction CA Carboplus n°1&2			3		0,01		0,9	52	
1.2	- Vanne pneumatique	Entrée air de lavage Carboplus			3		0,01		0,9	12	
1.2	- Vanne pneumatique	Gestion pompes extraction CA			3		0,01		0,9	52	
1.2	- Electrovanne	Purge d'air Carboplus			3		0,01		0,9	12	
1.2	- Electrovanne panneau d'analyse UV/turbidité				12		0,01		0,9	365	
1.2*	<b>Sous-total Carboplus</b>				<b>48</b>	<b>1</b>					<b>108</b>
	<b>Recirculation</b>										
1.3	- Vanne pneumatique	Recirculation			3		0,01		1,5	1	
1.3	- Vanne de régulation	Gestion recirculation -maintien niveau bêche			1		0,1		1	1	
1.3*	<b>Sous-total Recirculation</b>				<b>4</b>						
	<b>Communs lavage</b>										
1.4	- Surpresseur d'air				1		15		0,6	12	89
1.4	- Ventilateur de capot surpresseur d'air				1		0,21		0,6	12	1
1.4	- Pompe alimentation	alimentation des Carboplus / lavage	vitesse variable		1		8		0,6	12	49
1.4*	<b>Sous total communs lavage</b>				<b>3</b>						<b>138</b>
	<b>Bâche eaux sales</b>										
1.5	- Pompe reprise eaux sales				2		3,1		4	12	251
1.6*	<b>Sous total Bâche eaux sales</b>				<b>2</b>						<b>251</b>
1.*	<b>Total File eau</b>				<b>63</b>	<b>1</b>					<b>88 082</b>
	<b>REACTIFS</b>										
2.1	- Vls doseuse	Silos de CAG			1		1		0,6	365	206
2.1	- Vanne manchon	Injection CAG dans Carboplus (2 par Carboplus)			6		0,01		0,9	365	
2.1	- Electrovanne	Eau motrice - rinçage canalisation d'extraction de CA			3		0,01		0,9	52	
2.1	- Electrovanne	Eau motrice défrage			1		0,01		0,6	365	
2.1	- Electrovanne	Eau motrice hydrojecteur			1		0,01		0,6	365	
2.1	- Electrovanne	Eau motrice en haut de préparante de CA			1		0,01		0,6	365	
2.1	- Pompe doseuse acide phosphorique pour nettoyage sondes du panneau						0,1		0,6	365	
2.1*	<b>Sous-total REACTIFS</b>				<b>13</b>						<b>206</b>
2*	<b>TOTAL REACTIFS</b>				<b>13</b>						<b>206</b>
	<b>EAU INDUSTRIELLE</b>										
3.1	- Pompe eau industrielle		variateur de fréquence STEREAU		1	1	15		6	365	27 074
3.1*	<b>SOUS TOTAL EAU INDUSTRIELLE</b>				<b>1</b>	<b>1</b>					<b>27 074</b>
3.2	- Pompe immergée				1		2		1	365	648
3.2*	<b>SOUS TOTAL POSTE TOUTES EAUX</b>				<b>1</b>						<b>648</b>
3.3	- Compresseur d'air				1		5		1	365	1 577
3.3*	<b>SOUS TOTAL AIR INDUSTRIEL</b>				<b>1</b>						<b>1 577</b>
3*	<b>TOTAL POSTES GENERAUX</b>				<b>3</b>	<b>1</b>					<b>28 300</b>
*	<b>TOTAL STATION</b>				<b>78</b>	<b>2</b>					<b>118 697</b>
*	<b>TOTAL STATION avec 6% de pertes en ligne</b>				<b>78</b>	<b>2</b>					<b>125 718</b>
	<b>Débit total annuel de la station (m3/an)</b>										<b>2 820 000</b>
	<b>Consommation électrique moyenne (kWh / m3)</b>										<b>0,043</b>

Date	Carboplus feeding flowrate	Treated water flowrate	Treated water recirculation flowrate	Carboplus feeding pumps	Carboplus feeding pumps	Total power consumption micropollutants treatment plant	Total power consumption micropollutants treatment plant
	m3 / day	m3 / day	m3 / day	kWh	Wh/m3	kWh	Wh/m3
1-4-2019	2.741	2.450	291	60	24,49	172	62,75
2-4-2019	2.612	2.250	362	56	24,89	161	61,64
3-4-2019	4.421	4.215	206	101	23,96	217	49,08
4-4-2019	4.478	4.761	-283	107	22,47	225	50,25
5-4-2019	3.470	3.391	79	78	23,00	200	57,64
6-4-2019	2.905	2.681	224	64	23,87	182	62,65
7-4-2019	3.797	3.581	216	85	23,74	208	54,78
8-4-2019	2.949	2.781	168	65	23,37	188	63,75
9-4-2019	2.965	2.790	175	64	22,94	189	63,74
10-4-2019	2.786	2.587	199	60	23,19	183	65,69
11-4-2019	2.727	2.496	231	58	23,24	182	66,74
12-4-2019	2.756	2.482	274	59	23,77	178	64,59
13-4-2019	2.573	2.248	325	55	24,47	163	63,35
14-4-2019	2.525	2.143	382	54	25,20	154	60,99
15-4-2019	2.632	2.266	366	56	24,71	164	62,31
16-4-2019	2.716	2.500	216	59	23,60	167	61,49
17-4-2019	2.800	2.609	191	61	23,38	170	60,71
18-4-2019	2.589	2.439	150	54	22,14	167	64,50
19-4-2019	2.626	2.321	305	56	24,13	160	60,93
20-4-2019	2.532	2.273	259	53	23,32	162	63,98
21-4-2019	2.509	2.268	241	53	23,37	163	64,97
22-4-2019	2.629	2.363	266	56	23,70	166	63,14
23-4-2019	2.610	2.416	194	55	22,76	165	63,22
24-4-2019	2.773	2.560	213	60	23,44	167	60,22
25-4-2019	2.913	2.704	209	64	23,67	189	64,88
26-4-2019	5.142	5.130	12	120	23,39	243	47,26
27-4-2019	2.941	2.823	118	64	22,67	176	59,84
28-4-2019	3.404	3.276	128	75	22,89	189	55,52
29-4-2019	2.797	2.625	172	61	23,24	173	61,85
30-4-2019	2.815	2.590	225	61	23,55	182	64,65
1-5-2019	2.722	2.480	242	58	23,39	175	64,29
2-5-2019	2.866	2.638	228	62	23,50	175	61,06
3-5-2019	2.831	2.659	172	61	22,94	168	59,34
4-5-2019	2.815	2.551	264	61	23,91	167	59,33
5-5-2019	2.802	2.549	253	61	23,93	168	59,96
6-5-2019	3.064	2.375	689	70	29,47	179	58,42
7-5-2019	3.540	2.268	1.272	87	38,36	198	55,93
8-5-2019	5.168	4.687	481	127	27,10	238	46,05
9-5-2019	4.640	3.961	679	114	28,78	227	48,92
10-5-2019	3.843	3.403	440	88	25,86	198	51,52
11-5-2019	3.211	3.089	122	71	22,98	175	54,50
12-5-2019	3.024	2.842	182	66	23,22	169	55,89
13-5-2019	2.850	2.611	239	62	23,75	171	60,00
14-5-2019	2.864	2.555	309	62	24,27	177	61,80
15-5-2019	2.776	2.500	276	61	24,40	173	62,32
16-5-2019	2.801	2.528	273	61	24,13	177	63,19
<b>MOYENNE</b>	<b>3.086</b>	<b>2.820</b>	<b>266</b>	<b>68,4</b>	<b>24,3</b>	<b>181,3</b>	<b>59,8</b>