

**BTO 2021.006 | Januari 2021**

## **BTO** rapport

**Additionele zuiveringsinspanning voor  
verwijdering van opkomende stoffen**



## **Additionele zuiveringsinspanning voor verwijdering van opkomende stoffen**

Geavanceerde drinkwaterzuiveringstechnieken in kaart gebracht

**BTO 2021.006 | Januari 2021**

### **Opdrachtnummer**

402045/159/005

### **Projectmanager**

Jos Frijns

### **Opdrachtgever**

Vewin - Beleidsonderbouwend onderzoek

### **Auteurs**

Luuk de Waal, MSc, Dr. ir. Roberta Hofman-Caris

### **Kwaliteitsborger**

Prof. Dr. ir. Emile Cornelissen

### **Verzonden naar**

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

### **Keywords**

Geavanceerde oxidatie, membraantechnologie, Vewin, CEC, OMP, verontreinigingen, drinkwaterzuivering

Jaar van publicatie  
2021

Meer informatie  
L. de Waal, MSc  
T 0306069551  
E [luuk.de.waal@kwrwater.nl](mailto:luuk.de.waal@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

The logo for KWR (Kwaliteitswater Rijswijk) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is separate.

Januari 2021 ©

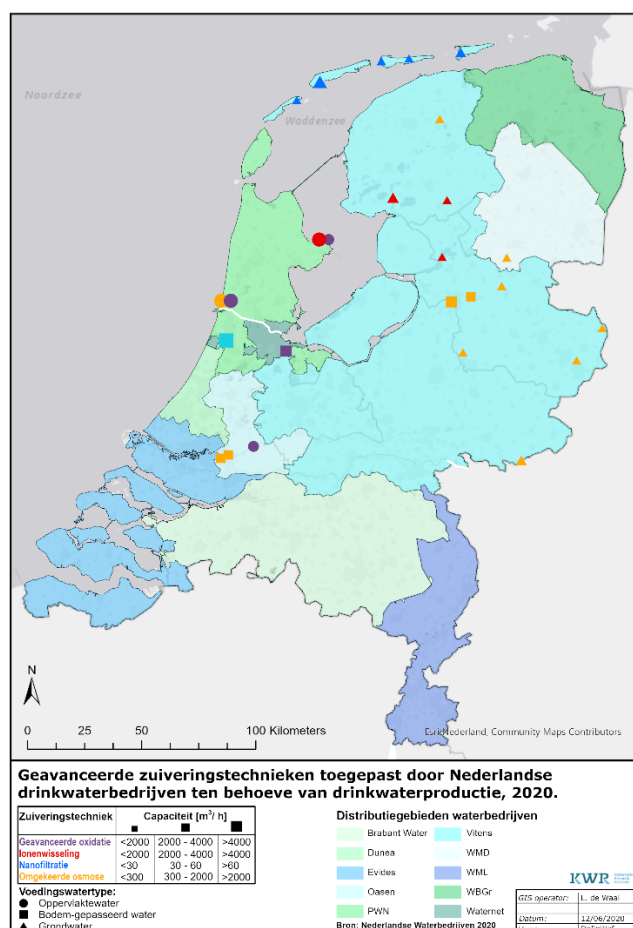
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

*Overzichtskaart biedt in één oogopslag zicht op geavanceerde zuiveringstechnieken in Nederland*

**Auteurs** Luuk de Waal MSc. en dr.ir. Roberta Hofman-Caris

Recent onderzoek heeft laten zien dat de kwaliteit van Nederlandse bronnen voor drinkwater, zowel oppervlakte- als grondwater, verslechtert of in elk geval niet verbetert. Verschillende drinkwaterbedrijven hebben daarom al additionele zuiveringstechnieken in hun zuiveringsproces geïmplementeerd, en andere bedrijven beraden zich op de installatie ervan. Dit rapport geeft een overzicht van de additionele zuiveringsinspanning die op dit moment al wordt toegepast, en een globale beschrijving van het doel, de werking en de kosten ervan.



*In één oogopslag wordt duidelijk waar welke geavanceerde zuivering wordt toegepast, met de bijbehorende capaciteit en voedingswatertype*

**Belang: verslechterende bronkwaliteit vraagt om additionele zuiveringsinspanningen**

Doordat de bronkwaliteit verslechtert, worden op steeds meer drinkwaterproductielocaties (geavanceerde) zuiveringstechnieken geïmplementeerd, of zal dit in de (nabije) toekomst moeten gebeuren. Voor de ontwikkeling van wet- en regelgeving die hierop aansluit, is het noodzakelijk op de hoogte te zijn van additionele zuiveringsinspanningen die momenteel sector-breed worden geleverd. Het is daarom van groot belang om hiervan een overzicht te maken.

**Aanpak: identificatie en beschrijving**

Op basis van een recente overzichtsstudie van de drinkwaterzuivering in Nederland, is aan de hand van selectiecriteria een inventarisatie en beschrijving gemaakt van aantal geavanceerde zuiveringstechnieken.

**Resultaten: additionele zuiveringsspanning in kaart gebracht**

De resultaten zijn samengevat in één figuur met een overzicht van de toegepaste geavanceerde zuiveringstechnieken, hun behandelcapaciteit en locatie in ons land. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de jaarlijkse kosten die de bouw en exploitatie van zulke technieken met zich meebrengen. Hoewel deze kosten niet uitsluitend gerelateerd zijn aan de verslechterende bronkwaliteit, kan wel worden gesteld dat additionele zuiveringsinspanningen door drinkwaterbedrijven jaarlijks enkele tientallen miljoenen euro's bedragen.

**Toepassing: evenwicht door inzicht**

Voor de drinkwatersector betekent de toenemende milieuvervuiling dat steeds meer een beroep moet worden gedaan op geavanceerde zuiveringstechnieken. Inzichten uit deze studie laten zien dat er naast milieuverontreiniging ook rekening moet worden gehouden met maatschappelijke kosten, regelgeving en lokale omstandigheden bij keuzes voor eventuele additionele zuiveringen. Vanuit het oogpunt van de drinkwaterbedrijven heeft het beschermen van bronnen voor drinkwater

prioriteit, en zouden additionele zuiveringen alleen moeten worden toegepast als anders de drinkwaterkwaliteit niet gewaarborgd kan worden.

**Rapport**

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Additionele zuiveringsinspanning voor verwijdering opkomende stoffen* (BTO-2021.006).

- De motivatie en aanleiding voor dit onderzoek hangt samen met het onderzoek *De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland* (KWR-2019.072)
- Voor de selectie van geavanceerde zuiveringstechnieken is uitgegaan van het onderzoek *Afwegingen bij toepassing van zuiveringstechnieken in de Nederlandse drinkwaterproductie* (KWR-2019.041)

# Samenvatting

Uit recent onderzoek is gebleken dat de kwaliteit van Nederlandse bronnen voor drinkwater, zowel oppervlakte- als grondwater, verslechtert of in elk geval niet verbetert. Hierdoor hebben verschillende drinkwaterbedrijven zich al genoodzaakt gezien om additionele zuiveringstechnieken in hun zuiveringsproces te implementeren, en beraden andere zich op de installatie ervan. Onder additionele zuiveringstechnieken worden in dit rapport verstaan geavanceerde oxidatie, ionenwisseling, nanofiltratie en omgekeerde osmose. Elke techniek heeft zijn eigen karakteristieke eigenschappen, en verwijdert daarmee een bepaald type verontreiniging. En bovendien heeft elke techniek zijn specifieke nadelen. Het is dus afhankelijk van de lokale omstandigheden en mogelijkheden welke technieken het beste kunnen worden ingezet. In dit onderzoek is de implementatie van verschillende geavanceerde zuiveringstechnieken (te weten (geavanceerde) oxidatie, ionenwisseling, nanofiltratie en omgekeerde osmose) in de Nederlandse drinkwaterproductie van de afgelopen 20 jaar (letterlijk) in kaart gebracht.

Hoewel de verslechterende waterkwaliteit van drinkwaterbronnen een directe aanleiding kan zijn voor implementatie van geavanceerde zuiveringstechnologie, is de keuze hiervoor in veruit de meeste gevallen een weloverwogen afweging waarin meerdere factoren een rol spelen. Voorbeelden van dergelijke factoren zijn onder andere de waterkwaliteit van de bron en beoogde drinkwaterkwaliteit, de visie van het bedrijf, welke ervaringen, processen, apparatuur en infrastructuur al aanwezig zijn en hoe het staat met de afschrijving hiervan, lokale omstandigheden (zoals de mogelijkheid van bodemfiltratie en beschikbare ruimte), energie- en chemicaliënverbruik, welke mogelijkheden er zijn voor behandeling, hergebruik dan wel lozing van reststromen en de kosten voor bouw en exploitatie. Uit de inventarisatie bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven bleek dat informatie specifiek over bouw- en exploitatiekosten van zuiveringsonderdelen slechts in zeer beperkte mate aanwezig is bij de verschillende drinkwaterbedrijven. Om toch een beeld te kunnen schetsen van kosten die jaarlijks gemaakt worden voor de bouw en exploitatie van bovengenoemde geavanceerde zuiveringstechnieken is een inschatting gemaakt op basis van de RHDHV kostenstandaard en (aanvullend) de DHV kostenfuncties kleinschalige drinkwaterbehandeling. Hieruit volgt dat de totale kosten die gemaakt worden door de Nederlandse drinkwatersector voor de bedrijfsvoering van geavanceerde zuiveringstechnieken circa 20.6 M€ per jaar bedragen. De ingeschatte totaalkosten van de Nederlandse drinkwatersector voor de bouw en exploitatie van geavanceerde zuiveringstechnieken kunnen niet volledig worden toegeschreven aan de verslechtering van de Nederlandse bronkwaliteit voor drinkwaterproductie, maar zijn hieraan wel gerelateerd.

# Inhoud

BTO 2021.006   Januari 2021	0
Additionele zuiveringsinspanning voor verwijdering van opkomende stoffen	0
<b><i>BTO Managementsamenvatting</i></b>	<b>1</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Inhoud2</b>	
<b>1 Aanleiding en motivering</b>	<b>3</b>
<b>2 Drinkwaterzuiveringsprocessen</b>	<b>5</b>
2.1 Klassieke drinkwaterzuivering in Nederland	5
2.2 Geavanceerde drinkwaterzuivering	5
2.3 Toekomstige zuiveringstechnieken	6
2.4 Installatie van nieuwe waterzuiveringstechnieken	6
<b>3 Aanpak</b>	<b>7</b>
3.1 Selectieprocedure geavanceerde zuiveringstechnieken	7
<b>4 Beschrijving geavanceerde zuiveringstechnieken</b>	<b>8</b>
4.1 Geavanceerde oxidatie	8
4.2 Ionenwisseling	9
4.3 Nanofiltratie	9
4.4 Omgekeerde osmose	10
<b>5 Resultaten</b>	<b>11</b>
5.1 Overzicht van vervuilingen	11
5.2 Inventarisatie inspanning drinkwaterbedrijven	12
5.2.1 Inventarisatie toepassing geavanceerde zuiveringstechnologie	12
5.2.2 Financiële inspanning	16
<b>6 Conclusie</b>	<b>21</b>
<b>7 Referenties</b>	<b>22</b>
I Overzichtstabel met data inventarisatie	<b>23</b>
II Overzichtskaart toepassing actiefkoolfiltratie	<b>25</b>
III Overzichtskaart toepassing ultrafiltratie	<b>26</b>
IV Uitgangspunten (RH)DHV kostenfuncties	<b>27</b>

# 1 Aanleiding en motivering

In Nederland wordt ongeveer één derde van het drinkwater geproduceerd uit oppervlaktewater, en twee derde van grondwater. Veel bronnen voor drinkwater bevatten verontreinigingen, en de aantallen en concentraties verontreinigingen nemen nog steeds toe (Kools, van Loon, Sjerps, & Rosenthal, 2019; Loon, Pronk, Raterman, Ros, & van Gelderen, 2020). Hierdoor voldoen conventionele drinkwaterzuiveringen in veel gevallen niet meer, en zien de drinkwaterbedrijven zich gedwongen (steeds meer) geavanceerde zuiveringsprocessen in te zetten, om een goede kwaliteit drinkwater te kunnen blijven leveren. In deze studie zal de extra zuiveringsinspanning, die op dit moment door de Nederlandse drinkwaterbedrijven geleverd wordt in de vorm van bedrijfsvoering en onderhoud van reeds geïmplementeerde en operationele geavanceerde zuiveringsprocessen, (letterlijk) in kaart worden gebracht. Ook wordt aan de hand van enkele praktijk-casussen een beeld geschetst van de kosten die de bedrijfsvoering en het onderhoud van deze geavanceerde zuiveringstechnieken met zich meebrengen. Directe aanleiding voor het uitvoeren van deze studie is een recent uitgebracht rapport van KWR waaruit blijkt dat de kwaliteit van de Nederlandse bronnen voor drinkwater verder verslechtert (Kools et al., 2019). Dit geldt voor alle typen bronnen die in Nederland worden gebruikt. Grondwater bevat steeds meer bestrijdingsmiddelen, nitraat, (dier)geneesmiddelen en opkomende stoffen, grondwater bevat bestrijdingsmiddelen, medicijnresten, en industriële stoffen, en heeft te lijden onder verzilting. Oevergrondwaterwinningen worden bedreigd door bodemverontreinigingen en de verslechterende kwaliteit van oppervlaktewater.

Een sprekend voorbeeld van deze observatie is terug te vinden in een recent onderzoek uitgevoerd voor RIWA Rijn (Pronk, Vries, Kools, Hofman-Caris, & Stroomberg, 2020). In deze studie is voor de periode 2010-2018 een drietal indices in kaart gebracht:

- De Water Quality Index Removal requirement (WQI-RR) index geeft de ontwikkeling in de kwaliteit van het Rijnwater in een bepaalde periode aan. Hoe hoger deze index, des te verder is de waterkwaliteit verwijderd van de gestelde doelen in het Drinkwaterbesluit, en dus ook in de Kader Richtlijn Water (KRW)
- De Water Quality Index Purification Treatment Effort (WQI-PTE) index categoriseert stoffen op basis van hun oplosbaarheid in water en bio-degradeerbaarheid, wat vervolgens een maat geeft voor hoe lastig de verwijdering van de component zal zijn
- De Residual Removal Requirement (RRR) ten slotte, is een combinatie van beide indices RR en PTE, waarbij wordt aangegeven hoeveel moeite het zal kosten om de gewenste waterkwaliteit te bereiken

Op deze manier is voor verschillende locaties langs de Rijn aangegeven hoeveel moeite het zal kosten om het water te zuiveren tot drinkwaterkwaliteit. Uit de metingen is gebleken dat de maatregelen, die tot nu toe getroffen zijn om de doelen van de KRW te halen, niet geleid hebben tot een verbetering van de waterkwaliteit van de Rijn met betrekking tot het produceren van drinkwater. Met andere woorden: de waterkwaliteit in de rivier de Rijn is niet verbeterd in de periode 2010-2018 met betrekking tot de productie van drinkwater.

De conclusies uit het onderzoek voor RIWA-Rijn staan in schril contrast met Europese wetgeving, te weten Artikel 7.3 uit de Kaderrichtlijn Water (KRW) (2000/60/EG), die stelt: "De lidstaten dragen zorg voor de nodige bescherming van de aangewezen waterlichamen met de bedoeling de achteruitgang van de kwaliteit daarvan te voorkomen, teneinde het niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist, te verlagen." De Nederlandse drinkwaterbedrijven hebben echter de opdracht vanuit de Europese drinkwaterrichtlijn (98/83/EC) om de bevolking en daarmee de volksgezondheid te beschermen tegen verontreinigingen via drinkwater. Derhalve zijn er in het verleden en zullen er in de toekomst geavanceerde zuiveringstechnieken (worden) geplaatst op drinkwaterproductielocaties om onberispelijke drinkwaterkwaliteit te kunnen (blijven) garanderen.



Vewin heeft KWR gevraagd om een overzicht en analyse te maken van deze aanvullende zuiveringsinspanning die door drinkwaterbedrijven geleverd wordt, en hun verwachtingen ten aanzien van de (nabije) toekomst voor de noodzaak van nieuwe toepassingen van deze geavanceerde zuiveringstechnieken op nieuwe locaties. Daartoe heeft KWR bij de tien Nederlandse drinkwaterbedrijven geïnventariseerd welk soort extra zuiveringsstappen en/of maatregelen ze hebben ingezet, en welke financiële consequenties deze genoodzaakte implementatie heeft (gehad) op de totale kostprijs van de drinkwaterproductie.

## 2 Drinkwaterzuiveringsprocessen

De huidig toegepaste zuiveringstechnieken in Nederland zijn beschreven in (Hofman-Caris, 2019) en zijn hieronder kort samengevat.

### 2.1 Klassieke drinkwaterzuivering in Nederland

In Nederland wordt ongeveer twee derde van het drinkwater geproduceerd uit grondwater, en één derde uit oppervlaktewater (Rijn, Maas en IJsselmeer).

Bij grondwater bestaat de klassieke zuivering uit beluchting/ontgassing en filtratie. Tijdens de beluchting worden opgelost methaan, waterstofsulfide en kooldioxide uit het water verwijderd, en wordt zuurstof toegevoegd en opgelost. Hierdoor worden ijzer en mangaan geoxideerd, die vervolgens neerslaan. Via filtratie over een zandfilter worden deze (hydr)oxides afgevangen, en kan ook ammonium worden omgezet in nitraat. Eventueel kunnen filtratie over actieve kool (voor verwijdering van organische microverontreinigingen) en UV-desinfectie (voor inactivering van pathogenen) worden toegepast.

Bij oppervlaktewater is een gecompliceerdere zuivering nodig. In de regel wordt eerst een vlokmiddel (meestal een ijzerzout maar soms ook een aluminiumzout) toegevoegd om organische stof en deeltjes te coaguleren, waarbij vlokken worden gevormd ("flocculatie"). Die kunnen worden verwijderd door bezinking (sedimentatie), of in sommige gevallen door middel van flotatie. Hierbij ontstaat een slib, dat bestaat uit ijzer(hydr)oxide (of aluminium(hydr)oxide), deeltjes, en organische stof. Fosfaat en arseen kunnen op dit neerslag geadsorbeerd worden. Via snelfiltratie (filtratie over een zand- of dubbellaagsfilter) wordt dit slib verwijderd. Verdere zuivering vindt plaats door het toepassen van langzame zandfiltratie of filtratie over actieve kool. Voor desinfectie wordt meestal gebruik gemaakt van UV-straling.

In de meeste landen wordt chloor ingezet om desinfectie te bewerkstelligen, maar sinds midden jaren '70 van de vorige eeuw duidelijk werd dat hierdoor carcinogene bijproducten gevormd kunnen worden, wordt in Nederland chloor alleen in heel specifieke gevallen toegepast. Alle bedrijven hanteren een "multi barrière principe", waarbij meerdere processtappen (filtratie, UV-straling) achter elkaar worden geplaatst, die elk bijdragen aan de desinfectie.

### 2.2 Geavanceerde drinkwaterzuivering

De in paragraaf 2.1 beschreven processen bleken in de afgelopen jaren steeds vaker ontoereikend om een goede kwaliteit drinkwater te produceren. Dit werd en wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van allerlei verontreinigingen in de bronnen voor drinkwater. Eind vorige eeuw kwam de focus te liggen op gewasbeschermingsmiddelen, maar inmiddels is daar een breed scala aan organische microverontreinigingen bij gekomen, zoals geneesmiddelen, personal care producten, en stoffen uit de industrie. Een aantal drinkwaterbedrijven heeft daarom al nieuwe technieken geïmplementeerd, zoals (geavanceerde) oxidatie of membraanfiltratie (nanofiltratie en omgekeerde osmose), en ionenwisseling. Dit zijn "bewezen" technieken, die wereldwijd en in Nederland al geruime tijd op full scale worden toegepast in de drinkwaterzuivering. Een korte beschrijving van deze technieken en de keuze voor deze technieken als "geavanceerde zuiveringstechnieken" wordt gegeven in hoofdstuk 4.

### 2.3 Toekomstige zuiveringstechnieken

Overall op de wereld, en zeker in Nederland, wordt onderzoek gedaan naar nieuwe en verbeterde technieken om drinkwater te zuiveren. Deels heeft dit te maken met nieuwe verontreinigingen die worden aangetroffen, en die een uitdaging vormen voor de bestaande zuiveringstechnieken. Deels heeft het ook te maken met een groeiend besef dat de milieu-impact van de mens kleiner moet worden, en dat een lager energieverbruik, een kleinere voetafdruk en meer hergebruik c.q. circulair werken steeds belangrijker zullen worden. Geavanceerde technieken, zoals genoemd in paragraaf 2.2 zijn in staat een groot deel van de aangetroffen verontreinigingen te verwijderen, maar hebben vaak nadelen als een hoog energieverbruik, de vorming van bij- en transformatieproducten, of de productie van aanzienlijke reststromen (concentraat bij membraanprocessen, regeneraat bij ionenwisselingsprocessen). Er wordt dan ook veel onderzoek gedaan aan nieuwe technieken of verbeterde technieken waarbij de hierboven beschreven nadelen niet of in mindere mate aanwezig zijn. Voorbeelden hiervan zijn elektrocoagulatie, elektrochemische oxidatieprocessen, elektrisch geladen membranen, geavanceerde oxidatie gebaseerd op bijvoorbeeld UV/persulfaat, of UV-straling afkomstig van LED-lampen, en “one-step-RO”. Deze technieken zijn echter nog in verschillende stadia van ontwikkeling en zullen waarschijnlijk niet zo heel snel op grote schaal door drinkwaterbedrijven worden geïmplementeerd. Een drinkwaterzuivering wordt immers voor meerdere decennia gebouwd, en moet het dus wel bewezen technologie zijn.

### 2.4 Installatie van nieuwe waterzuiveringstechnieken

Voor het ontwerpen van een nieuw of verbeterd drinkwaterzuiveringsproces moeten diverse factoren worden meegewogen: de waterkwaliteit van de bron en beoogde drinkwaterkwaliteit, de visie van het bedrijf, welke ervaringen, processen, apparatuur en infrastructuur al aanwezig zijn en hoe het staat met de afschrijving hiervan, lokale omstandigheden (zoals de mogelijkheid van bodemfiltratie en beschikbare ruimte), energie- en chemicaliënverbruik, welke mogelijkheden er zijn voor behandeling, hergebruik dan wel lozing van reststromen en de kosten voor bouw en exploitatie. Een dergelijke afweging zal per locatie gemaakt moet worden, onder de voor die locatie specifieke omstandigheden. In sommige vallen, zoals een “one-step-RO” techniek, moet een complete zuivering volgens het nieuwe concept worden gebouwd. De keuze voor een totaal nieuwe aanpak of voor een uitbreiding van de bestaande zuivering zal naast de technische aspecten ook afhangen van de toestand en leeftijd van de bestaande installaties, de beschikbare ruimte op het zuiveringsterrein en de beschikbare redundantie in zuiveringscapaciteit tussen verschillende zuiveringsstations.

## 3 Aanpak

Op basis van informatie uit twee recente KWR overzichtsrapporten over de verslechterende bronkwaliteit (Kools et al., 2019) en toegepaste zuiveringstechnieken in de drinkwaterproductie (Hofman-Caris, 2019) is middels een korte selectieprocedure (zie 3.1) een viertal geavanceerde zuiveringstechnieken geselecteerd:

- 1 Geavanceerde oxidatie (advanced oxidation, AO)
- 2 Ionenwisseling (ion exchange, IEX)
- 3 Nanofiltratie (NF)
- 4 Omgekeerde osmose (reverse osmosis, RO)

Voor ieder geavanceerd zuiveringsproces wordt een korte beschrijving van het achterliggende zuiveringsprincipe gegeven (zie Hoofdstuk 4). Het type voedingswater, de geïnstalleerde (behandel)capaciteit en de locatiegegevens van de zuiveringsstations waar één of meerdere van deze zuiveringstechnieken worden toegepast zijn vervolgens geïnventariseerd bij de tien Nederlandse drinkwaterbedrijven. Deze gegevens (zie Tabel 5 in Bijlage I) zijn vervolgens verwerkt in een GIS overzichtskaart (zie Figuur 1). Hiermee is de additionele zuiveringsinspanning, die de Nederlandse drinkwaterbedrijven nu of in de toekomst moeten leveren vanwege de verslechterende bronkwaliteit en/of striktere regelgeving (letterlijk) in kaart gebracht. Beschikbare kosteninformatie met betrekking tot deze geavanceerde zuiveringstechnieken is geïnventariseerd bij de drinkwaterbedrijven. Daarnaast is gebruik gemaakt van de kostenstandaard drinkwater van RHDHV (RHDHV, 2020b) om een inschatting te maken van de financiële additionele zuiveringsinspanning die drinkwaterbedrijven leveren. Aanvullende kosteninschattingen zijn waar nodig gedaan aan de hand van de DHV kostenfuncties kleinschalige drinkwaterbehandeling (DHV Water B.V., 2000).

### 3.1 Selectieprocedure geavanceerde zuiveringstechnieken

Of een bepaalde zuiveringstechniek als 'geavanceerde zuiveringstechniek' wordt beschouwd is gebaseerd op de volgende drie criteria:

- 1 Deze techniek komt niet voor in conventionele zuiveringsschema's (zie 2.1)
- 2 Deze techniek staat erom bekend (een deel van) de stoffen van de verschillende vervuilingscategorieën (Hofman-Caris, 2019; Kools et al., 2019; *Pers. comm. Roberta Hofman-Caris*, 2020) efficiënt te scheiden en/of te verwijderen uit de productstroom
- 3 Deze techniek wordt door de drinkwaterbedrijven toegepast met het oog op een toekomstbestendige drinkwatervoorziening, en niet enkel vanwege efficiëntere en/of kosten-effectievere drinkwaterproductie ten opzichte van conventionele zuiveringslocaties

Toepassing van de bovengenoemde geavanceerde zuiveringstechnieken kan dus op basis van bovenstaande criteria indirect gelinkt worden aan de veranderende bronkwaliteit waarmee de drinkwaterbedrijven nu geconfronteerd worden, of veranderingen in bronkwaliteit en/of regelgeving die ze in de (nabije) toekomst verwachten.

Hoewel technieken als (biologisch actieve) geactiveerde kool filtratie en (biologisch actieve) zandfiltratie ook in staat zijn (een deel van) de stoffen uit diverse vervuilingscategorieën te verwijderen (Hofman-Caris, 2019; Kools et al., 2019; *Pers. comm. Roberta Hofman-Caris*, 2020), vallen deze technieken buiten de selectie van geavanceerde zuiveringstechnieken. Deze technieken worden veelvuldig toegepast in conventionele drinkwaterzuiveringen en behoren daarmee tot de standaard zuiveringstechnieken. Membraanscheidingstechnieken als microfiltratie en ultrafiltratie zijn geen standaard zuiveringstechnieken, maar zijn over het algemeen niet in staat stoffen uit de verschillende vervuilingscategorieën op een efficiënte manier te verwijderen. Hiermee vallen ze niet binnen de selectiecriteria voor geavanceerde zuiveringsprocessen, die gesteld zijn in deze studie.

## 4 Beschrijving geavanceerde zuiveringstechnieken

Hoewel alle vier de geavanceerde zuiveringstechnieken in staat zijn om vervuilingen te verwijderen uit het voedingswater, is de manier waarop deze verwijdering plaatsvindt voor iedere techniek verschillend. In onderstaande paragrafen zal voor iedere geavanceerde zuiveringstechniek het zuiveringsprincipe kort worden toegelicht (Hofman-Caris, 2019).

### 4.1 Geavanceerde oxidatie

Oxidatie is een proces waarbij moleculen uit het voedingswater kapot gemaakt worden door reactie met reactieve (zuurstof)verbindingen (zoals ozon of zogenaamde hydroxylradikalen). Processen waarbij hydroxylradikalen een belangrijke rol spelen worden “geavanceerde oxidatieprocessen” (AOP) genoemd. Hydroxylradikalen worden in-situ gevormd door bijvoorbeeld ozon ( $O_3$ ) te combineren met waterstofperoxide ( $H_2O_2$ ), of UV-straling te laten inwerken op één van beide (UV/ $H_2O_2$  en UV/ $O_3$ ). Het energieverbruik van UV-gebaseerde processen is vrij hoog, maar kan significant verkleind worden door de UV-transmissie van het water te verhogen. Het verlagen van de troebelheid verbetert de efficiëntie van UV-processen. Organische stoffen en deeltjes in het water zijn verantwoordelijk hiervoor. Organische stoffen kunnen verwijderd worden met bijvoorbeeld ionenwisseling of  $O_3/H_2O_2$ , en deeltjes kunnen verwijderd worden met bijvoorbeeld zandfiltratie en/of microfiltratie. Aangezien bacteriën en virussen ook vatbaar zijn voor deze zeer reactieve radicalen en zeker voor de hoge UV-doses die in AOP kunnen worden toegepast, kan toepassing van geavanceerde oxidatie tevens worden beschouwd als een desinfectie-barrière in de drinkwaterproductie.

Wanneer reactieve zuurstofverbindingen reageren met organische componenten worden die laatste ofwel volledig afgebroken tot koolstofdioxide en water (“mineralisatie”), ofwel omgezet naar kleinere verbindingen, die in de regel beter biodegradeerbaar zijn. Ook andere componenten (zoals natuurlijk organisch materiaal; NOM) kunnen met de reactieve zuurstofverbindingen reageren. Het kan echter niet helemaal worden uitgesloten dat er in sommige gevallen toxische nevenproducten ontstaan, en bovendien levert afbraak van NOM een hoger gehalte aan assimileerbaar organisch koolstof (AOC) op, wat ongunstig is voor de biologische stabiliteit van het gezuiverde water. Daarom worden (geavanceerde) oxidatieprocessen meestal gevolgd door een filtratiestap (bijvoorbeeld over actieve kool), waarbij dergelijke componenten (ten dele) worden verwijderd. Tevens wordt hierbij een eventuele overmaat van ozon en/of waterstofperoxide uit het water verwijderd. Aangezien dergelijke koolfilters in de praktijk in de regel ook een biofilm bevatten, die de verontreinigingen biologisch afbreekt, wordt er vaak weer een UV-desinfectie achter het koolfilter geplaatst, om de groei van micro-organismen in het water tegen te gaan. Oxidatieprocessen worden dus over het algemeen niet ‘stand-alone’ toegepast, maar vaak in combinatie met andere (soms conventionele) zuiveringsprocessen.

## 4.2 Ionenwisseling

Ionenwisseling (IEX; ion exchange) is een proces waarin geadsorbeerde ionen aan een ionwisselingshars worden uitgewisseld tegen ionen/moleculen die aanwezig zijn in de voedingsstroom. Er bestaan ionwisselingsharsen die geschikt zijn voor uitwisseling van negatief geladen ionen (anionen) en harsen die geschikt zijn voor uitwisseling van positief geladen ionen (kationen). In de drinkwaterzuivering is het sinds ongeveer 10 jaar gebruikelijk ionenwisseling voor de verwijdering van anionen in te zetten. Belangrijke anionen die hiermee kunnen worden verwijderd zijn humuszuren en kleinere zuren uit het natuurlijk organisch materiaal, kleur en smaak, en een deel van de organische microverontreinigingen (Vaudevire et al., 2019). De verwijdering van organische microverontreinigingen is echter over het algemeen niet het primaire doel van toepassing van ionenwisseling.

Wanneer volledige uitwisseling heeft plaatsgevonden (de hars is beladen), kan deze worden geregenereerd door hem te spoelen met een hoog geconcentreerde oplossing van zout (bijvoorbeeld keukenzout), zuur (bijvoorbeeld zoutzuur) of base (bijvoorbeeld natronloog). De hars kan daarna weer opnieuw worden ingezet voor een nieuwe cyclus in het batch-proces. Uiteraard ontstaat hierbij wel het “regeneraat”, een zoute reststroom waarin de anionen, kationen, het natuurlijke organische materiaal en organische microverontreinigingen in verhoogde concentratie aanwezig zijn. Deze stroom kan na behandeling mogelijk opnieuw worden gebruikt voor de regeneratie, maar in de praktijk is dat afhankelijk van de samenstelling (de mate en het type van vervuiling). De hoeveelheid regeneraat bedraagt ongeveer 1-2% van de hoofdstroom. Een ander nadeel is dat ionenwisseling een batch-proces is, en geen continu proces.

## 4.3 Nanofiltratie

Bij nanofiltratie (NF) vindt scheiding plaats op basis van een verschil in deeltjesgrootte, interacties tussen de te scheiden stoffen en het membraanmateriaal (het zeef- en “oplosdiffusie-mechanisme”), en elektrostatische interacties tussen de te scheiden (geladen) stoffen in de voeding en het membraanmateriaal. Er wordt gebruik gemaakt van membranen met een poriegrootte tussen 1 en 10 nm. De drijvende kracht voor de scheiding is een hydraulisch drukverschil over het nanofiltratie membraan, waarbij het osmotische drukverschil van de voedingsoplossing moet worden overwonnen. Nanofiltratie membranen zijn in staat moleculen met een molaire massa >200 g/mol tegen te houden, wat inhoudt dat een belangrijk deel (>90%) van het opgelost organische koolstof (DOC) verwijderd kan worden. Verder worden tweewaardige ionen als calcium, magnesium en sulfaat >90% tegengehouden, maar eenwaardige ionen (als natrium, kalium en chloride) worden minder goed verwijderd (60-70%). Er bestaan echter ook nanofiltratie membranen met een lagere retentie voor zowel één- als tweewaardige ionen welke specifiek toegepast worden voor verwijdering van (opgeloste) organische stoffen. Veruit de meeste organisch microverontreinigingen worden tegengehouden door nanofiltratie (waardoor nanofiltratie ook geschikt is voor geurverwijdering), echter bepaalde organische microverontreinigingen (met name kleine, geladen opgeloste moleculen) kunnen het membraan passeren. Bacteriën, virussen en deeltjes worden wel volledig tegengehouden. Een robuuste voorzuivering voor verwijdering van deeltjes is nodig om een duurzame bedrijfsvoering van nanofiltratie membranen realiseren. Het grootste nadeel van nanofiltratie is de vorming van een concentraatstroom, die behandeld en/of geloosd moet worden. Het gaat hierbij in de regel om 15-25% van de hoofdstroom.

#### 4.4 Omgekeerde osmose

Bij omgekeerde osmose (RO; reverse osmosis) vind scheiding plaats die (vooral) gebaseerd is op een verschil in deeltjesgrootte in combinatie met interacties tussen de te scheiden stoffen en het polymeer membraanmateriaal (zeef- en oplosdiffusie-mechanisme). De drijvende kracht is een hydraulisch drukverschil over het membraan, waarbij het osmotische drukverschil van de voedingsoplossing moet worden overwonnen. Met behulp van deze techniek kunnen ook eenwaardige ionen (als natrium, kalium en chloride) worden verwijderd (98-99,8% verwijdering van NaCl). Omgekeerde osmose kan dus worden ingezet voor de verwijdering van organische microverontreinigingen, deeltjes, natuurlijk organisch materiaal (NOM), voor ontzouting, ontharding, kleur- en geurverwijdering. Zowel opgeloste als gesuspendeerde componenten (waaronder bacteriën, virussen en deeltjes) worden nagenoeg volledig tegengehouden. Een robuuste voorzuivering voor de verwijdering van deeltjes is in veel gevallen nodig om duurzame bedrijfsvoering van omgekeerde osmose membranen realiseren. Een zeer geschikte voorbehandeling voor omgekeerde osmose is ultrafiltratie maar, afhankelijk van het voedingswatertype en type vervuiling, kan snelfiltratie ook voldoende zijn. Ontharding van het omgekeerde osmose voedingswater (bijvoorbeeld door toepassing van een kation wisselaar) kan ervoor zorgen dat de omgekeerde osmose een kleiner volume reststroom produceert, maar dit concept bevindt zich nog in de onderzoeksfase en wordt in de praktijk nog niet toegepast op grote schaal. Het grootste nadeel van omgekeerde osmose is, net als bij nanofiltratie, de hoeveelheid concentraat die wordt gevormd (15-25% van de hoofdstroom), en die behandeld en/of geloosd moet worden.

## 5 Resultaten

De resultaten van de screening van het recente rapport over de kwaliteit van bronnen voor drinkwaterproductie in Nederland (Kools et al., 2019) en de gegevens volgend uit de uitgevoerde inventarisatie bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven zijn in onderstaande paragrafen weergegeven.

### 5.1 Overzicht van vervuilingen

De diverse vervuilingen die de bronkwaliteit van het water voor de Nederlandse drinkwaterproductie beïnvloeden, zijn recentelijk ingedeeld in de volgende categorieën (Kools et al., 2019):

- Nitraat en gerelateerde parameters  
Meststoffen, zoals fosfaat in oppervlaktewater en nitraat in grondwater
- Bestrijdingsmiddelen  
Beschermingsmiddelen tegen schimmels, insecten en/of onkruid spoelen uit naar het grondwater en/of komen door verwaaiing en afspoeling terecht in het oppervlaktewater
- Verzilting  
Vanwege de werking van getijden en/of windstuwing bij lage rivierafvoeren neemt de zoutconcentratie van oppervlaktewater toe. Daarnaast kunnen veranderingen in het waterbeheer, toename van onttrekkingen, klimaatverandering en zeespiegelstijging de verzilting van grondwater doen toenemen.
- Bodemverontreinigingen  
'Oude' bodemverontreinigingen zoals voormalige locaties van chemische waterrijen, benzinstations en industrie en meer recente bodemverontreinigingen zoals rubberkorrels op sportvelden, thermisch gereinigde grond en poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS) kunnen invloed hebben op de (lokale) kwaliteit van grondwater en/of oppervlaktewater.
- Medicijnresten  
Chemische stoffen die worden ingezet ten behoeve van de gezondheid van mensen en dieren (denk aan antibiotica, bètablokkers, cytostatica, pijnstillers, antidepressiva, antidiabetica, anti-epileptica en bloedverdunners) kunnen in het grond- en oppervlaktewater terechtkomen. Indien afkomstig van de anticonceptiepil of andere hormonale preparaten, vallen hormoon verstorende stoffen ook in deze categorie.
- Opkomende stoffen  
Stoffen waar nog geen norm voor is vastgesteld en waarvan de eventuele risico's voor mens en milieu nog onvoldoende in beeld zijn. Naast hormoon verstorende stoffen en geneesmiddelen vallen ook consumentenproducten zoals wasmiddelen, zoetstoffen en cafeïne in deze groep.
- Overige nieuwe bedreigingen  
Stoffen die (in tegenstelling tot opkomende stoffen) nog niet de reguliere monitoring opgenomen zijn, waarvan wettelijke kaders ontbreken en die op grote schaal de kwaliteit van bronnen van drinkwater kunnen beïnvloeden. Denk hierbij voor oppervlaktewater aan microplastics, nanomaterialen en antimicrobiële resistentie, en voor grondwater aan drugsafval en ondergrondse opslag en winning van energie.



Voor ieder van de hierboven genoemde vervuilingscategorieën is per geavanceerde zuiveringstechnologie een aantal voorbeeldstoffen (RIVM, 2014) genoemd die efficiënt verwijderd kunnen worden (zie Tabel 2). Dit overzicht is niet uitputtend, maar is bedoeld om onderlinge verschillen tussen de geavanceerde zuiveringstechnologieën te verduidelijken. Zo zijn geavanceerde oxidatie, ionenwisseling en nanofiltratie niet in staat om verzilting het hoofd te bieden en kunnen met name geavanceerde oxidatie, nanofiltratie en omgekeerde osmose van toegevoegde waarde zijn met het oog op de vervuilingen in de ‘overige nieuwe bedreigingen’ categorie. Merk op dat specifieke verwijdering veelal afhangt van specifieke stoffeigenschappen en de specifieke omgeving waarin de stof zich bevindt ten tijde van de zuivering. De genoemde voorbeeldstoffen geven dus slechts een indicatie van de mogelijkheden van iedere geavanceerde zuiveringstechniek. Hierbij moet worden aangetekend, dat er, naast de effectiviteit van een technologie voor de verwijdering/afbraak van microverontreinigingen, ook andere factoren, als de vorming van bijproducten of reststromen, de milieu-impact en kosten van een proces, moeten worden meegenomen in de afweging een bepaalde techniek te implementeren.

## 5.2 Inventarisatie inspanning drinkwaterbedrijven

De additionele zuiveringsinspanning, die op dit moment in Nederland wordt geleverd, is in kaart gebracht en, in een aantal gevallen, gekoppeld aan de ermee gemoeide kosten. Deze studie is tot stand gekomen met medewerking van Bas Rietman (Vitens), Bas Schaaf (Evides), Franca Kramer (Dunea), Herman Smit (PWN), Jantinus Bruins (WLN), Leon Kors (Waternet), Mark Schaap (WBGr), Menno van Leenen (Oasen), Simon Dost (WMD), Stephan van den Wetering (Brabant Water) en Willem van Pol (WML).

### 5.2.1 Inventarisatie toepassing geavanceerde zuiveringstechnologie

De zuiveringsstations waarop één of meerdere van de vier geselecteerde geavanceerde zuiveringstechnieken (zie Hoofdstuk 3) toegepast worden in het drinkwaterproductieproces zijn weergegeven in onderstaande overzichtskaart (Figuur 1). Merk op dat PWN het enige drinkwaterbedrijf is wat meer dan één geavanceerde zuiveringstechnologie operationeel heeft per zuiveringslocatie (aangegeven met de aan elkaar grenzende markers). Bij de waterbedrijven Brabant Water, Evides, Waterbedrijf Groningen en WML wordt er geen geavanceerde oxidatie, ionenwisseling, nanofiltratie of omgekeerde osmose toegepast in hun huidige drinkwaterzuiveringsproces. In totaal worden er op 24 verschillende zuiveringsstations één of meer geavanceerde zuiveringstechnologieën toegepast.

De geavanceerde zuiveringstechniek “omgekeerde osmose” wordt op het grootste aantal verschillende zuiveringslocaties toegepast. Mogelijke verklaringen voor dit feit zijn de hoge robuustheid van de zuiveringstechniek voor zowel microverontreinigingen en opgeloste zouten en de schaalbaarheid van de techniek. De totaal geïnstalleerde (maximale) productiecapaciteit van behandeld water middels een geavanceerde zuiveringstechniek is het grootst voor geavanceerde oxidatie (zie Tabel 1). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat oppervlaktewaterbedrijven op deze manier desinfectie en de verwijdering van organische microverontreinigingen (als gewasbeschermingsmiddelen en hormoonverstoringstoffen) kunnen combineren.

Circa 65% van de huidig geïnstalleerde behandelcapaciteit van actiefkoolfiltratie is geplaatst op conventionele zuiveringslocaties als barrière tegen verontreinigingen. De resterende 35% van de geïnstalleerde capaciteit fungeert als nabehandeling na (geavanceerde) oxidatieprocessen. Een overzicht van alle zuiveringslocaties waar actieve kool wordt toegepast is te vinden in bijlage II. Voor ultrafiltratie geldt dat slechts 9% van de huidig geïnstalleerde behandelcapaciteit geplaatst is op conventionele zuiveringslocaties. De overige 91% van de capaciteit is gerelateerd aan een zuiveringslocatie waar ultrafiltratie als voorbehandeling voor omgekeerde osmose wordt ingezet. Een overzicht van alle zuiveringslocaties waar ultrafiltratie wordt toegepast is te vinden in bijlage III.

In de nabije toekomst is de verwachting dat de totale (maximale) productiecapaciteit van behandeld water middels omgekeerde osmose substantieel (met circa 161%) zal toenemen tot 78.9 Mm<sup>3</sup>/jaar. WMD bouwt een deelstroom RO op pompstation Beilen (3.6 Mm<sup>3</sup>/jaar), Oasen heeft aangekondigd om omgekeerde osmose te implementeren op zuiveringsstation de Hooge Boom (2.3 Mm<sup>3</sup>/jaar) en zuiveringsstation de Put (3.8 Mm<sup>3</sup>/jaar). Binnen de recent gepubliceerde multi-bronnen strategie wordt omgekeerde osmose ingezet voor de ontzouting van brak grondwater in infiltratiegebieden van Dunea (11.6 Mm<sup>3</sup>/jaar) en voor behandeling van oppervlaktewater uit het Valkenburgsemeer (21.6 Mm<sup>3</sup>/jaar). Voor die laatste toepassing voorziet Dunea voorafgaand aan de omgekeerde osmose een ultrafiltratieunit met een capaciteit van 27.4 Mm<sup>3</sup>/jaar, hetgeen een stijging van circa 217% van de huidige totaal geïnstalleerde behandelcapaciteit van ultrafiltratie betekent. Op pompstation Noordbargeres heeft WMD vergevorderde plannen om de totale behandelcapaciteit met (anaerobe) actieve kool uit te breiden van 0.6 naar 9.6 Mm<sup>3</sup>/jaar, een stijging van circa 1.7% van de huidige totaal geïnstalleerde behandelcapaciteit van actiefkoolfiltratie in Nederland. De aanleiding voor deze upgrade is een aanhoudende stijgende trend in de concentratie van een aantal organische microverontreinigingen (waaronder bentazon (herbicide) en caprolactam (toepassing in plastics en medicijnen)) sinds 2017/2018 (Pers. comm. Jantinus Bruins, 2020).

Tabel 1: Overzicht van het aantal zuiveringsstations waar geavanceerde zuiveringstechnieken worden toegepast en de geschatte totaal geïnstalleerde jaarlijkse productiecapaciteit van met deze technieken behandeld water

Geavanceerde zuiveringstechniek	Aantal zuiveringsstations waar de techniek wordt toegepast	Schatting geïnstalleerde productiecapaciteit behandeld water	
<b>Geavanceerde zuiveringstechnieken</b>			
(Geavanceerde) oxidatie	Ozonisatie	2	92.3 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>1</sup>
	UV-peroxide	3	97.6 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>1</sup>
Ionenwisseling		4	86.6 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>1</sup>
Nanofiltratie		5	1.2 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>2</sup>
Omgekeerde osmose		12	30.3 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>3</sup>
<b>Aan geavanceerde zuiveringstechnieken gerelateerde zuiveringstechnieken</b>			
Actiefkoolfiltratie		34	541.9 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>1</sup>
Ultrafiltratie		2	23.3 Mm <sup>3</sup> /jaar <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Uitgaande van een gemiddelde recovery van 100% (volume behandeld water = volume voeding)

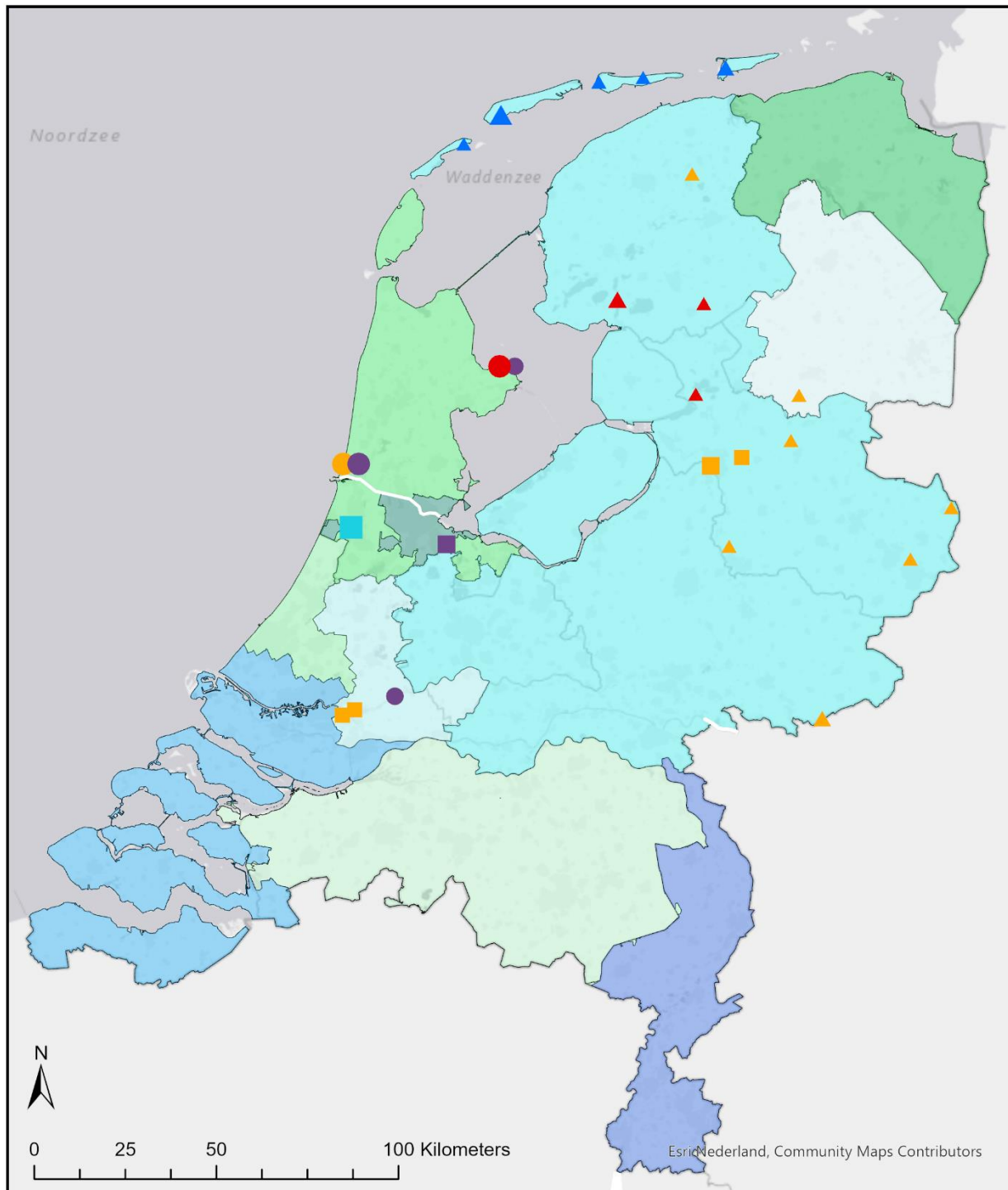
<sup>2</sup> Uitgaande van een gemiddelde recovery van 80% (volume behandeld water = 0.80 \* volume voeding)

<sup>3</sup> Uitgaande van een gemiddelde recovery van 75% (volume behandeld water = 0.75 \* volume voeding). Brak grondwater behandeling (50% recovery)

<sup>4</sup> Uitgaande van een gemiddelde recovery van 95% (volume behandeld water = 0.95 \* volume voeding)

Tabel 2: Overzicht van geavanceerde zuiveringstechnieken en een aantal voorbeeldstoffen uit een vervuilingscategorie die ze efficiënt kunnen verwijderen

Zuiveringstechniek	additionele inspanning	Vervuilingscategorie	Voorbeeldstoffen die door betreffende zuiveringstechniek (ten dele) verwijderd kunnen worden
<i>Geavanceerde oxidatie</i>		Nitraat en gerelateerd	Ammonium
		Bestrijdingsmiddelen	AMPA, atrazine, BAM
		Verziltling	-
		Bodemverontreiniging	Benzeen, fenanthreen, toluen
		Medicijnresten	Diatrizoïnezuur, diclofenac, fenazon, furosemide, gemfibrozil, ketoprofen
		Opkomende stoffen	Acesulfaam, cafeïne, EDTA, NDMA (via UV)
		Overige nieuwe bedreigingen	Antibioticaresistente genen, drugsafval
<i>Ionenwisseling</i>		Nitraat en gerelateerd	Sulfaat
		Bestrijdingsmiddelen	Atrazine, glyfosaat
		Verziltling	-
		Bodemverontreiniging	Chlooraniline, trisulfonaat
		Medicijnresten	Bisoprolol, diatrizoïnezuur, diclofenac, fenazon, furosemide, gemfibrozil, ketoprofen, lincomycine
		Opkomende stoffen	NDMA
		Overige nieuwe bedreigingen	-
<i>Nanofiltratie</i>		Nitraat en gerelateerd	Sulfaat
		Bestrijdingsmiddelen	AMPA, atrazine, BAM, DEET
		Verziltling	-
		Bodemverontreiniging	Benzeen, ETBE, fenanthreen, MTBE
		Medicijnresten	Diatrizoïnezuur, lincomycine
		Opkomende stoffen	Acesulfaam, brandvertragers, cafeïne, EDTA, PFOA, NDMA
		Overige nieuwe bedreigingen	Drugsafval, microplastics, nano-deeltjes
<i>Omgekeerde osmose</i>		Nitraat en gerelateerd	Ammonium, nitraat, sulfaat
		Bestrijdingsmiddelen	AMPA, atrazine, BAM, DEET
		Verziltling	Chloride, natrium
		Bodemverontreiniging	Benzeen, ETBE, fenanthreen, MTBE
		Medicijnresten	Bisoprolol, diatrizoïnezuur, diclofenac, fenazon, furosemide, gemfibrozil, ketoprofen, lincomycine
		Opkomende stoffen	Acesulfaam, brandvertragers, cafeïne, EDTA, NDMA, PFOA
		Overige nieuwe bedreigingen	Drugsafval, microplastics, nano-deeltjes



**Geavanceerde zuiveringstechnieken toegepast door Nederlandse drinkwaterbedrijven ten behoeve van drinkwaterproductie, 2020.**

Zuiveringstechniek	Capaciteit [m <sup>3</sup> /h]		
	■	■	■
Geavanceerde oxidatie	<2000	2000 - 4000	>4000
Ionenwisseling	<2000	2000 - 4000	>4000
Nanofiltratie	<30	30 - 60	>60
Omgekeerde osmose	<300	300 - 2000	>2000

- Voedingswatertype:**
- Oppervlaktewater
  - Bodem-gepasseerd water
  - ▲ Grondwater

**Distributiegebieden waterbedrijven**

- Brabant Water
- Dunea
- Evides
- Oasen
- PWN
- Vitens
- WMD
- WML
- WBGr
- Waternet

Bron: Nederlandse Waterbedrijven 2020



GIS operator:	L. de Waal
Datum:	12/06/2020
Versie:	Definitief

Figuur 1: Overzicht van toepassing van geavanceerde zuiveringstechnieken ten behoeve van de drinkwaterproductie

### 5.2.2 Financiële inspanning

Uit de inventarisatie bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven blijkt dat zuiveringstechniek-specifieke kosteninformatie op het niveau van individuele zuiveringsstappen niet tot zeer beperkt beschikbaar is. De beschikbare informatie uit persoonlijke bronnen over geavanceerde zuiveringstechnieken inclusief voor- en nabehandelingstechnieken is in dit rapport samengevat (zie Tabel 3).

In Tabel 3 is de informatie weergegeven die de bedrijven hebben aangeleverd over de additionele zuiveringsinspanning die ze nu of in de nabije toekomst leveren vanwege de verslechterende kwaliteit van drinkwaterbronnen. Deze informatie is echter niet zo volledig dat op basis hiervan een betrouwbare inschatting gemaakt kon worden van de financiële omvang hiervan. Om deze inschatting toch te kunnen maken is gebruik gemaakt van de kostenstandaard drinkwater (RHDHV, 2020b). Deze kostenstandaard bevat kostenfuncties voor ozonisatie, omgekeerde osmose, actiefkoolfiltratie en ultrafiltratie. RHDHV geeft een standaard marge van  $\pm 30\%$  op de gegenereerde kentallen voor deze zuiveringstechnieken (*Pers. comm. Marcel Bakker, 2020; RHDHV, 2020a*). Aangezien de kostenstandaard drinkwater geen kostenfuncties voor UV-peroxide(-ozon) en ionenwisseling bevat en een aantal operationele installaties qua capaciteit onder de minimale capaciteit van de desbetreffende kostenfunctie vallen, zijn voor deze gevallen de kostenfuncties uit het handboek kosten kleinschalige drinkwaterbehandeling (DHW Water B.V., 2000) gebruikt (zie bijlage IV). Bij gebruik van deze kostenfuncties binnen de aangegeven range stelt DHV dat er een standaard marge van  $\pm 30\%$  op de kosteninschatting zit (*Pers. comm. Marcel Bakker, 2020*). Om voor de zuiveringstechnieken UV-peroxide en ionenwisseling toch een kosteninschatting te kunnen maken, zijn de kosten voor deze zuiveringstechnieken voor een 100 m<sup>3</sup>/uur installatie (maximum kleinschalige drinkwaterzuivering kostensheet) naar rato van capaciteit lineair geëxtrapolerd. Dit zorgt voor een aanvullende onnauwkeurigheid in de kosteninschatting.

In onderstaande tabel zijn voor de in Hoofdstuk 4 genoemde geavanceerde zuiveringstechnieken (geavanceerde oxidatie, ionenwisseling, nanofiltratie en omgekeerde osmose) en veel toegepaste voor- en nabehandelingen (actiefkoolfiltratie en ultrafiltratie) de kosteninschattingen getoond. De totaal benodigde investering voor implementatie van de huidig geïnstalleerde behandelcapaciteit, de totale operationele kosten per jaar en de ten opzichte van de behandelcapaciteit gewogen gemiddelde kostprijs per kubieke meter geproduceerd water zijn voor de desbetreffende zuiveringstechnieken weergegeven in Tabel 4. De kentallen voor de totale investeringskosten en de totale operationele kosten per jaar per zuiveringstechniek voor de gehele Nederlandse watersector zijn berekend door de kosten voor iedere individuele zuiveringsinstallatie te sommeren. Verdere uitgangspunten en aannames die gedaan zijn bij deze kosteninschatting zijn terug te vinden in bijlage IVIII van dit rapport. Merk op dat de kosteninschattingen indicatief zijn en voornamelijk een ordegrrootte aangeven.

Op basis van de kentallen in Tabel 4 heeft de implementatie van de in juli 2020 aanwezige behandelcapaciteit geavanceerde zuiveringstechnieken de Nederlandse drinkwater sector qua investeringskosten (CAPEX<sup>5</sup>) circa 62.7 M€ gekost. De totale kosten voor bedrijfsvoering (OPEX<sup>6</sup>) van deze zuiveringsonderdelen bedragen naar schatting 20.6 M€ per jaar. Deze kosten zijn exclusief onder andere personeelskosten, gebouwkosten en kosten voor afvoer / verwerking van bij de behandeling vrijkomende reststromen. Wanneer de ingeschatte kosten voor bedrijfsvoering van actiefkoolfiltratie en ultrafiltratie, die direct gerelateerd kunnen worden aan de inzet van geavanceerde zuiveringstechnieken (zie 5.2.1), meegenomen worden, komt de optelsom van de totale investeringskosten (CAPEX<sup>5</sup>) en de jaarlijkse behandelkosten (OPEX<sup>6</sup>) uit op respectievelijk 154.3 M€ en 32.7 M€. Merk op dat, aangezien de afweging tot plaatsing van geavanceerde zuiveringstechnologie in vrijwel alle gevallen uit meerdere factoren bestaat, deze kosten niet volledig toe te schrijven zijn aan een verslechterende waterkwaliteit, maar dat ze wel hieraan gerelateerd zijn.

---

<sup>5</sup> Capital Expenditures (CAPEX) staat voor de kosten voor ontwikkeling of levering van niet-verbruikbare onderdelen van een product of systeem (investering)

<sup>6</sup> Operating Expenses (OPEX) staat voor de operationele / terugkerende kosten voor een product of systeem

Tabel 3: Overzichtstabel van beschikbare specifieke kosten-informatie over geavanceerde zuiveringstechnieken en de hieraan gerelateerde voor- of nabehandeling. Merk op dat de genoemde getallen een orde van grootte aangeven: de standaard marge op alle kentallen (afgegeven door de drinkwaterbedrijf-technologen) bedraagt ten minste 30%

Water bedrijf	Zuiveringsstation	Zuiverings-techniek	Jaar van aanleg	Capaciteit [m <sup>3</sup> /uur]	Kosten investering	Kosten exploitatie	Kostprijs water (behandeld)	Bron
<b>Geavanceerde zuiveringstechnieken</b>								
Dunea	Bergambacht	Geavanceerde oxidatie (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> )	2017	2200	Inventarisatie loopt tot september 2020	Inventarisatie loopt tot september 2020	Inventarisatie loopt tot september 2020	(Pers. comm. Franca Kramer, 2020)
Oasen	Ieder zuiverings- station (op termijn)	Volstroom omgekeerde osmose concept <sup>7</sup>	>2020	450-500	Onbekend	Onbekend	0.57 €/m <sup>3</sup>	(Pers. comm. Menno van Leenen, 2020)
PWN	Jan Lagrand	Ultrafiltratie, omgekeerde osmose	1999	2400	13.6-18.2 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Herman Smit, 2020)
PWN	Jan Lagrand	Geavanceerde oxidatie (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), actiefkoolfiltratie	2008	6000	20 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Herman Smit, 2020)
PWN	Martien den Blanken	Geavanceerde oxidatie (UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	2004	4000	15-20 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Herman Smit, 2020)
Vitens	Buren	Nanofiltratie	2009	25	2.2 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Diepenveen	Omgekeerde osmose	2003	240	4.6 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Dinxperlo	Omgekeerde osmose	2006	360	3.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Engels werk (I + II)	Omgekeerde osmose	2003 (I) 2010 (II)	360 (I) 480 (II)	5.3 M€ (I) 7.5 M€ (II)	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Noordbergum	Omgekeerde osmose	2017	300	1.4 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)

<sup>7</sup> Het volstroom omgekeerde osmose concept bestaat uit omgekeerde osmose, ionenwisseling (ammonium-verwijdering), remineralisatie (calciet-filtratie) en beluchting incl. neveninstallaties

Tabel 3 (vervolg): Overzichtstabel van beschikbare specifieke kosten-informatie over geavanceerde zuiveringstechnieken en de hieraan gerelateerde voor- of nabehandeling. Merk op dat de genoemde getallen een orde van grootte aangeven: de standaard marge op alle kentallen (afgegeven door de drinkwaterbedrijf-technologen) bedraagt ten minste 30%

Water bedrijf	Zuiveringsstation	Zuiverings-techniek	Jaar van aanleg	Capaciteit [m <sup>3</sup> /uur]	Kosten investering	Kosten exploitatie	Kostprijs water (behandeld)	Bron
<b>Geavanceerde zuiveringstechnieken</b>								
Vitens	Oldeholtpade	Ionenwisseling	2005	1080	1.1 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Rodenmors	Omgekeerde osmose	2002	90	3.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Schiermonnikoog	Nanofiltratie	1999	35	1.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Spannenburg	Ionenwisseling	2010	3640	5.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	St. Jans klooster	Ionenwisseling	2011	700	2.3 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Terschelling	Nanofiltratie	2005	75	2.1 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Vechterweerd	Omgekeerde osmose	2015	120	0.9 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Vlieland	Nanofiltratie	2003	25	2.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Weerseloseweg	Omgekeerde osmose	2000	150	3.3 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Witharen	Omgekeerde osmose	2005	150	4.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)

Tabel 3 (vervolg): Overzichtstabel van beschikbare specifieke kosten-informatie over geavanceerde zuiveringstechnieken en de hieraan gerelateerde voor- of nabehandeling. Merk op dat de genoemde getallen een orde van grootte aangeven: de standaard marge op alle kentallen (afgegeven door de drinkwaterbedrijf-technologen) bedraagt ten minste 30%

Water bedrijf	Zuiveringsstation	Zuiverings-techniek	Jaar van aanleg	Capaciteit [m <sup>3</sup> /uur]	Kosten investering	Kosten exploitatie	Kostprijs water (behandeld)	Bron
<b>Aan geavanceerde zuiveringstechnieken gerelateerde zuiveringstechnieken</b>								
Evides	Ouddorp	Ultrafiltratie	2001	268	Onbekend	>18 k€/jaar	0.15 €/m <sup>3</sup>	(Pers. comm. Bas Schaaf, 2020)
Vitens	Engelse werk	Actiefkoolfiltratie	1983	2600	2.3 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Groenekan	Actiefkoolfiltratie	1962	1050	0.5 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Hammerfliet	Actiefkoolfiltratie	1992	250	0.5 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Laren	Actiefkoolfiltratie	1995	560	1.0 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Vechterweerd	Actiefkoolfiltratie	2015	480	1.8 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
Vitens	Zeist	Actiefkoolfiltratie	1975 2010	1150	0.7 M€ 0.2 M€	Onbekend	Onbekend	(Pers. comm. Bas Rietman, 2020)
WMD	Noordbargeres	Actiefkoolfiltratie	>2020 (2022- 2023)	1200	7 M€	250 k€/jaar	0.15 €/m <sup>3</sup>	(Pers. comm. Jantinus Bruins, 2020; Pers. comm. Simon Dost, 2020)



Bij een vergelijking van de verschillende technieken in Tabel 4 moet er bij CAPEX en OPEX rekening mee worden gehouden dat deze getallen betrekking hebben op totaal verschillende capaciteiten. Een relatief goedkope techniek vertegenwoordigt dan toch een forse investering of hoge operationele kosten, als die op grote schaal wordt toegepast. Voor een vergelijking is het dan beter om te kijken naar de kosten per m<sup>3</sup> behandeld water. Deze zijn weergegeven in de rechter kolom. Hieruit volgt dat de kosten voor ozonisatie en ionenwisseling het laagste zijn. Hierbij moet worden aangetekend, dat ionenwisseling op zichzelf slechts beperkt geschikt is voor de verwijdering van bijvoorbeeld organische microverontreinigingen. Filtratie over actieve kool is aanzienlijk duurder (twee tot vijf keer zo duur als ozonisatie of ionenwisseling), wat veroorzaakt wordt door de regelmatig terugkerende regeneratie van de actieve kool. Hiervoor moet de kool door de fabrikant bij het drinkwater bedrijf worden opgehaald, behandeld bij hoge temperatuur en weer teruggebracht. Bovendien gaat bij dit proces ongeveer 10-15% van de kool verloren, die moet worden aangevuld met verse actieve kool. Geavanceerdere technieken als geavanceerde oxidatie middels UV-peroxide en nanofiltratie (en de voorbehandelings techniek ultrafiltratie) zijn ongeveer twee keer zo duur als filtratie over actieve kool. Dit heeft te maken met het energie- en chemicaliën verbruik. Omgekeerde osmose is weer ongeveer twee keer zo duur per m<sup>3</sup> behandeld water dan geavanceerde oxidatie middels UV-peroxide, nanofiltratie en ultrafiltratie. Hierbij moet wel worden aangetekend, dat de eerder genoemde technieken altijd in combinatie met een reeks andere technieken worden toegepast, terwijl bij toepassing van RO een compactere waterzuivering waarschijnlijk volstaat.

*Tabel 4: Overzicht van de totale absolute investerings- en operationele kosten over Nederland per jaar, en de gewogen gemiddelde exploitatiekosten van de geavanceerde en hieraan gerelateerde zuiveringstechnieken. Deze kosteninschatting is gebaseerd op de RHDHV kostenstandaard en op de DHV kostenfuncties kleinschalige drinkwaterbehandeling waardoor de kentallen indicatief zijn en een orde van grootte aangeven*

#### **Zuiveringstechniek**

		Totale investeringskosten huidig geïnstalleerde behandelcapaciteit (CAPEX)	Totale operationele kosten (OPEX)	Gewogen gemiddelde exploitatiekosten per m <sup>3</sup> behandeld water
<b>Geavanceerde zuiveringstechnieken</b>				
<i>(Geavanceerde) oxidatie</i>	Ozonisatie	5.7 M€	1.1 M€/jaar	0.01 €/m <sup>3</sup>
	UV-peroxide	7.2 M€	10.4 M€/jaar	0.11 €/m <sup>3</sup>
<i>Ionenwisseling</i>		7.8 M€	2.0 M€/jaar	0.02 €/m <sup>3</sup>
<i>Nanofiltratie</i>		934 k€	146 k€/jaar	0.10 €/m <sup>3</sup>
<i>Omgekeerde osmose</i>		41.0 M€	6.9 M€/jaar	0.19 €/m <sup>3</sup>
<b>Aan geavanceerde zuiveringstechnieken gerelateerde zuiveringstechnieken</b>				
<i>Actiefkoolfiltratie</i>		250.4 M€	30.4 M€/jaar	0.05 €/m <sup>3</sup>
<i>Ultrafiltratie</i>		18.7 M€	2.7 M€/jaar	0.11 €/m <sup>3</sup>

De inschatting van de CAPEX in Tabel 4 is volledig gebaseerd op gegevens uit de RHDHV kostenstandaard. Zoals reeds eerder aangegeven betreft de investeringsinschatting van de kostencalculator een globale raming op basis van algemene data met een foutenmarge van circa 30%. Investeringskosten zijn uiteraard heel sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden, en kunnen voor een locatie dan ook beduidend hoger uitvallen. Dit blijkt ook uit de inventarisatie van de investeringen in geavanceerde zuiveringstechnieken door de waterbedrijven (zie Tabel 3). De optelsom van de investeringen die Vitens in de periode 1999 - 2017 en PWN in de periode 1999 - 2008 hebben gedaan komt uit op 97.2 – 106.8 M€. Deze totale investering van deze twee bedrijven alleen al komt circa 55% - 70% hoger uit dan de inschatting van de RHDHV kostenstandaard voor alle geavanceerde zuiveringstechnieken in Nederland. Investeringskosten zijn echter eenmalige kosten, die over ongeveer 20 jaar worden afgeschreven. In deze 20 jaar worden miljoenen kubieke meters water geproduceerd (zie Tabel 1). De kosten per m<sup>3</sup> behandeld water worden dan ook voornamelijk bepaald door de operationele kosten, waardoor de in Tabel 4 genoemde kosten in de rechter kolom niet tot nauwelijks hoger zullen uitvallen hierdoor.

## 6 Conclusie

Conventionele zuiveringsprocessen bleken in de afgelopen jaren steeds vaker ontoereikend om een goede kwaliteit drinkwater te (blijven) produceren. Uit voorgaand onderzoek is bekend dat dit onder andere werd en wordt veroorzaakt door een verslechterende kwaliteit van drinkwaterbronnen. In dit onderzoek is de implementatie van verschillende geavanceerde zuiveringstechnieken (te weten (geavanceerde) oxidatie, ionenwisseling, nanofiltratie en omgekeerde osmose) in de Nederlandse drinkwaterproductie van de afgelopen 20 jaar in kaart gebracht.

Uit deze inventarisatie blijkt dat zes van de tien Nederlandse drinkwaterbedrijven, op ten minste één drinkwaterproductielocatie, één of meer van de bovengenoemde geavanceerde zuiveringstechnieken toepassen. In totaal zijn er 24 drinkwaterproductielocaties in Nederland, waar één of meerdere geavanceerde zuiveringstechnieken worden toegepast. Geen van deze geavanceerde zuiveringstechnieken is echter in staat alle verschillende soorten vervuilingen volledig te verwijderen, te scheiden en/of om te zetten. Voor de meeste toepassingen geldt dat geavanceerde zuiveringstechnieken niet als vervanging van maar als uitbereiding op de conventionele zuivering geplaatst worden.

Hoewel de verslechterende waterkwaliteit van drinkwaterbronnen een directe aanleiding kan zijn voor implementatie van geavanceerde zuiveringstechnologie, is de keuze voor implementatie van een geavanceerde zuiveringstechniek in veruit de meeste gevallen een weloverwogen afweging waarin meerdere factoren een rol spelen. Belangrijke factoren zijn onder andere waterkwaliteit van de bron, beoogde drinkwaterkwaliteit, visie van het bedrijf, de mogelijkheid tot behandeling c.q. lozing van reststromen, de milieu-impact, lokale omstandigheden, en de kosten voor bouw en exploitatie. Informatie over de specifieke kosten die gemoeid zijn met de bouw- en exploitatiekosten van specifieke zuiveringsonderdelen is in zeer beperkte mate aanwezig bij de verschillende drinkwaterbedrijven. Op basis van de RHDHV kostenstandaard en (aanvullend) de DHV kostenfuncties kleinschalige drinkwaterbehandeling is een inschatting van de kosten gemaakt per zuiveringslocatie waar geavanceerde en gerelateerde zuiveringstechnieken worden toegepast. Uit deze inschatting volgt dat voor de vier bovengenoemde geavanceerde zuiveringstechnieken de totale investeringskosten (CAPEX<sup>8</sup>) 62.7 M€ en de jaarlijkse kosten voor bedrijfsvoering en exploitatie (OPEX<sup>9</sup>) 20.6 M€ bedragen voor de gehele Nederlandse drinkwatersector. Deze kentallen geven de ordegrrootte van de financiële specifieke zuiveringsinspanning van de Nederlandse drinkwatersector omtrent juli 2020 aan. Op basis van de beschikbare data betreffende door de waterbedrijven gemaakte investeringskosten is het aannemelijk dat de daadwerkelijke investeringskosten ten minste 55% - 70% hoger liggen dan de ingeschatte kosten van de RHDHV kostenstandaard. De ingeschatte totaalkosten van de Nederlandse drinkwatersector voor de bouw en exploitatie van geavanceerde zuiveringstechnieken zijn niet volledig te koppelen aan de geobserveerde verslechtering van de Nederlandse bronkwaliteit voor drinkwaterproductie, maar ze zijn wel hieraan gerelateerd.

---

<sup>8</sup> Capital Expenditures (CAPEX) staat voor de kosten voor ontwikkeling of levering van niet-verbruikbare onderdelen van een product of systeem (investering)

<sup>9</sup> Operating Expenses (OPEX) staat voor de operationele / terugkerende kosten voor een product of systeem

## 7 Referenties

- Bodemrichtlijn. (2020). Grondwaterzuivering, actieve koolfiltratie, uitgangspunten voor het ontwerp. Retrieved June 19, 2020, from <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/e-verwerken-van-bij-bodemsan8950/e3-actieve-koolfiltratie/grondwaterzuivering-actieve-koolfiltratie-uitgangspunten-voor-he8970>
- de Vet, W. (2011). Grondwaterfiltratie: theorie & praktijk. Retrieved June 19, 2020, from <https://www.oasen.nl/assets/uploads/SR-Cursus-Oasen-Paramaribo-grondwaterfiltratie-theorie-en-praktijk-website.pdf>
- DHV Water B.V. (2000). *Handboek kosten kleinschalige waterbehandeling*.
- Hofman-Caris, R. (2019). *Afwegingen bij toepassing van zuiveringstechnieken in de Nederlandse drinkwaterproductie (KWR 2019.041)*.
- Kools, S., van Loon, A., Sjerps, R., & Rosenthal, L. (2019). *De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland (KWR 2019.072)*.
- Loon, A. Van, Pronk, T., Raterman, B., Ros, S., & van Gelderen, J. (2020). Grondwaterkwaliteit uniform in beeld met landelijke dataset. *H2O*, 1–10.
- Pers. comm. Bas Rietman.* (2020).
- Pers. comm. Bas Schaaf.* (2020).
- Pers. comm. Franca Kramer.* (2020).
- Pers. comm. Herman Smit.* (2020).
- Pers. comm. Jantinus Bruins.* (2020).
- Pers. comm. Marcel Bakker.* (2020).
- Pers. comm. Menno van Leenen.* (2020).
- Pers. comm. Roberta Hofman-Caris.* (2020).
- Pers. comm. Simon Dost.* (2020).
- Pronk, T. E., Vries, D., Kools, S. A. E., Hofman-Caris, R., & Stroomberg, G. J. (2020). *Removal requirement and purification treatment effort for Dutch Rhine water from 2000-2018*. Retrieved from <https://www.rivm.nl/publicatie/removal-requirement-and-purification-treatment-effort-for-the-dutch-rhine-water-from-2000-2018/>
- RHDHV. (2020a). Handleiding kostenstandaard.nl. Retrieved July 8, 2020, from <https://www.kostenstandaard.nl/handleiding/>
- RHDHV. (2020b). Kostenstandaard. Retrieved July 1, 2020, from [www.kostenstandaard.nl](http://www.kostenstandaard.nl)
- RIVM. (2014). *Eindevaluatie gebiedsdossiers drinkwaterwinningen*.
- Vaudevire, E., Radmanesh, F., Kolkman, A., Vughs, D., Cornelissen, E., Post, J., & van der Meer, W. (2019). Fate and removal of trace pollutants from an anion exchange spent brine during the recovery process of natural organic matter and salts. *Water Research*, 154, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.042>

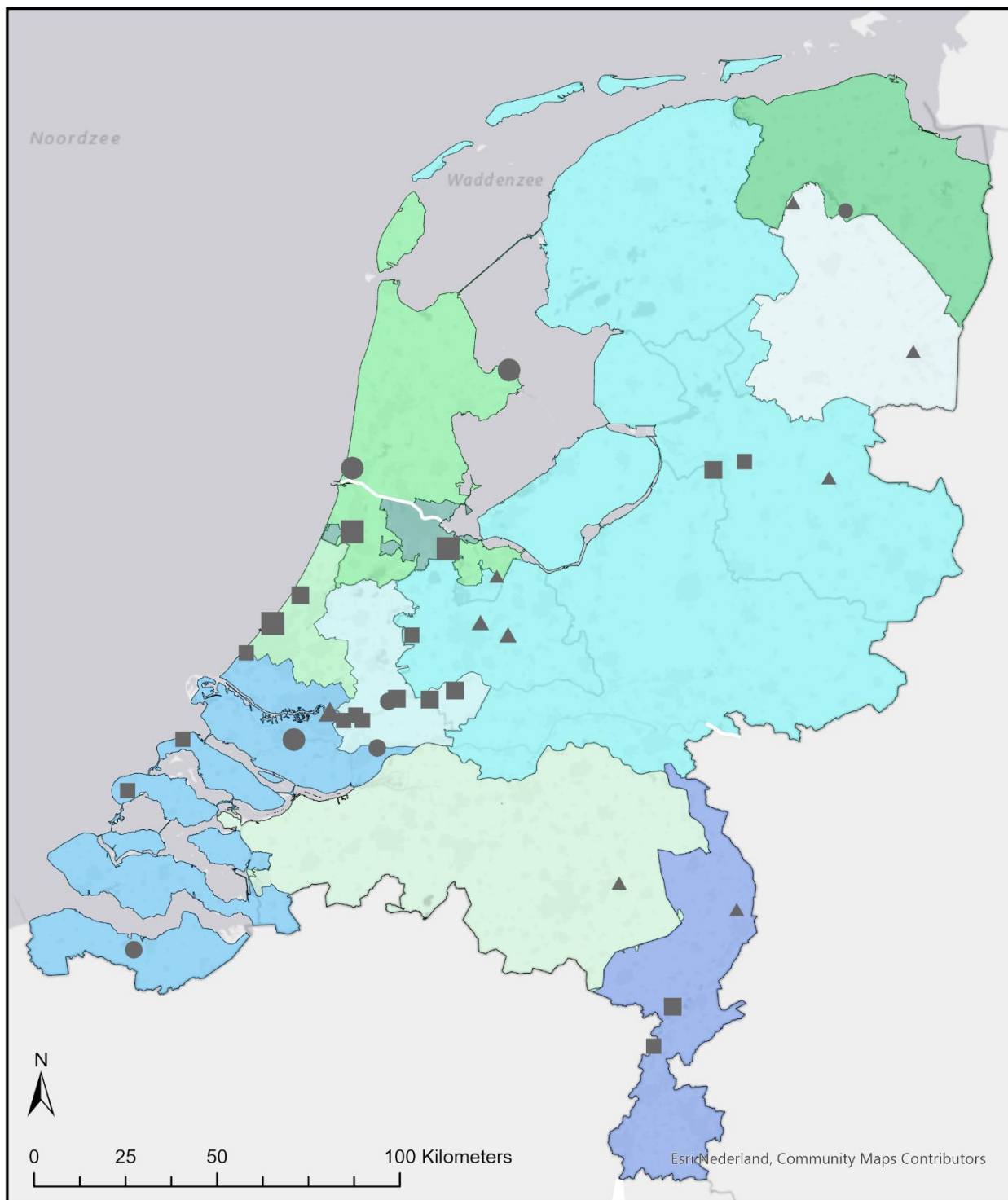
# I Overzichtstabel met data inventarisatie

Tabel 5: Overzichtstabel van geïnventariseerde gegevens over geavanceerde zuiveringstechnieken toegepast in Nederlandse drinkwaterzuivering (2020) en de ondersteunende technieken (actief kool en ultrafiltratie)

Productielocatie		Zuiveringstechniek																		Opmerking
		Geavanceerde oxidatie			Ionenwisseling			Nanofiltratie			Omgekeerde osmose			Actief kool			Ultrafiltratie			
Water bedrijf	Zuiveringsstation	Aanwezig in huidige drinkwaterzuivering	Debiet voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwaterzuivering	Debiet voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwaterzuivering	Debiet voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwaterzuivering	Debiet voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwaterzuivering	Debiet voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwaterzuivering	Debiet voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Type voedings water	
Brabant Water	Helmond													Ja	75	Grondwater				
Dunea	Bergambacht	Ja	2200	Oppervlakte water										Ja	2200	Oppervlakte water			UV-peroxide / ozonisatie	
Dunea	Katwijk													Ja	2900	Bodemgepasseerd water				
Dunea	Monster													Ja	900	Bodemgepasseerd water				
Dunea	Scheveningen										Nee	2900	Grondwater	Ja	5100	Bodemgepasseerd water			Brak grondwater omgekeerde osmose. Start pilot: 2020	
Dunea	Voorzuivering Valkenburgse meer										Nee	3600	Oppervlaktewater				Nee	3600	Oppervlaktewater	Ultrafiltratie gevolgd door omgekeerde osmose. Start pilot: 2020
Evides	Baanhoek													Ja	1074	Oppervlakte water				
Evides	Berenplaat													Ja	9818	Oppervlakte water				
Evides	Braakman													Ja	1758	Oppervlakte water				
Evides	Haamstede													Ja	373	Bodemgepasseerd water				
Evides	Ouddorp													Ja	268	Bodemgepasseerd water	Ja	268	Bodemgepasseerd water	
Evides	Krallingen													Ja	4293	Grondwater				
Oasen	De Hooge Boom										Nee	375	Bodemgepasseerd water	Ja	360	Bodemgepasseerd water			Start realisatie omgekeerde osmose: 2021	
Oasen	De Laak													Ja	2000	Bodemgepasseerd water				
Oasen	De Put										Nee	625	Bodemgepasseerd water	Ja	250	Bodemgepasseerd water			Start realisatie omgekeerde osmose: 2021	
Oasen	De Steeg													Ja	1200	Bodemgepasseerd water				
Oasen	Reijerwaard													Ja	450	Bodemgepasseerd water				
Oasen	Rodenhuis													Ja	3000	Bodemgepasseerd water				

Productielocatie		Zuiveringstechniek																		Opmerking
		Geavanceerde oxidatie			Ionenwisseling			Nanofiltratie			Omgekeerde osmose			Actief kool			Ultrafiltratie			
Water bedrijf	Zuiveringsstation	Aanwezig in huidige drinkwater-zuivering	Debiet voeding [m³/uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwater-zuivering	Debiet voeding [m³/uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwater-zuivering	Debiet voeding [m³/uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwater-zuivering	Debiet voeding [m³/uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwater-zuivering	Debiet voeding [m³/uur]	Type voedings water	Aanwezig in huidige drinkwater-zuivering	Debiet voeding [m³/uur]	Type voedings water	
Oasen	Schuwacht										Ja	250	Bodem-gepasseerd water	Ja	500	Bodem-gepasseerd water				
PWN	Jan Lagrand	Ja	6000	Oppervlakte water							Ja	2400	Oppervlakte water	Ja	6000	Oppervlakte water	Ja	2800	Oppervlakte water	UV-peroxide
PWN	Martien den Blanken	Ja	4000	Oppervlakte water	Ja	5400	Oppervlakte water							Ja	4000	Oppervlakte water				UV-peroxide
Vitens	Buren							Ja	25	Grondwater										
Vitens	Diepervveen										Ja	240	Grondwater							
Vitens	Dinxperlo										Ja	360	Grondwater							
Vitens	Engels Werk										Ja	840	Bodem-gepasseerd water	Ja	2600	Bodem-gepasseerd water				
Vitens	Groenekan													Ja	1050	Grondwater				
Vitens	Hammerflier													Ja	250	Grondwater				
Vitens	Hollum							Ja	25	Grondwater										
Vitens	Laren													Ja	560	Grondwater				
Vitens	Noordbergum										Ja	300	Grondwater							
Vitens	Oldeholtpade				Ja	1080	Grondwater													
Vitens	Rodenmors										Ja	90	Grondwater							
Vitens	Schiermonnikoog							Ja	35	Grondwater										
Vitens	Spannenburg				Ja	3640	Grondwater													
Vitens	St. Jansklooster				Ja	700	Grondwater													
Vitens	Terschelling							Ja	75	Grondwater										
Vitens	Vechterweerd										Ja	120	Bodem-gepasseerd water	Ja	240	Bodem-gepasseerd water				
Vitens	Vlieeland							Ja	25	Grondwater										
Vitens	Weerselseweg										Ja	150	Grondwater							
Vitens	Witharen										Ja	150	Grondwater							
Vitens	Zeist													Ja	1150	Grondwater				
Watermet	Leiduin	Ja	8000	Bodem-gepasseerd water										Ja	8000	Bodem-gepasseerd water				Ozonisatie
Watermet	Weesperkarspel	Ja	3540	Bodem-gepasseerd water										Ja	3540	Bodem-gepasseerd water				Ozonisatie
WBGr	De Punt													Ja	840	Oppervlaktewater				
WBGr	Nietap																Nee	60	Grondwater	Ultrafiltratie gebruikt voor spoelwaterverwerking
WMD	Beilen										Nee	608	Grondwater							Start realisatie omgekeerde osmose: 2021
WMD	Noordbargeres													Ja	80	Grondwater				2022: uitbereiding actief kool naar 1200 m³/uur
WMD	Zuidwolde										Ja	62.5	Grondwater							
WML	Grubbenvorst													Ja	133	Grondwater				
WML	Heel													Ja	2300	Bodem-gepasseerd water				
WML	Roosteren - Radiaal													Ja	280	Grondwater				
WML	Roosteren - West													Ja	200	Bodem-gepasseerd water				

## II Overzichtskaart toepassing actiefkoolfiltratie



**Actief kool filtratie zuiveringstechniek toegepast door Nederlandse drinkwaterbedrijven ten behoeve van drinkwaterproductie, 2020.**

Zuiveringstechniek	Capaciteit [ $m^3/h$ ]		
Actief kool filtratie	<1000	1000 - 3000	>3000

**Distributiegebieden waterbedrijven**

- Brabant Water
- Dunea
- Evides
- Oasen
- PWN
- Vitens
- WMD
- WML
- WBGr
- Waternet

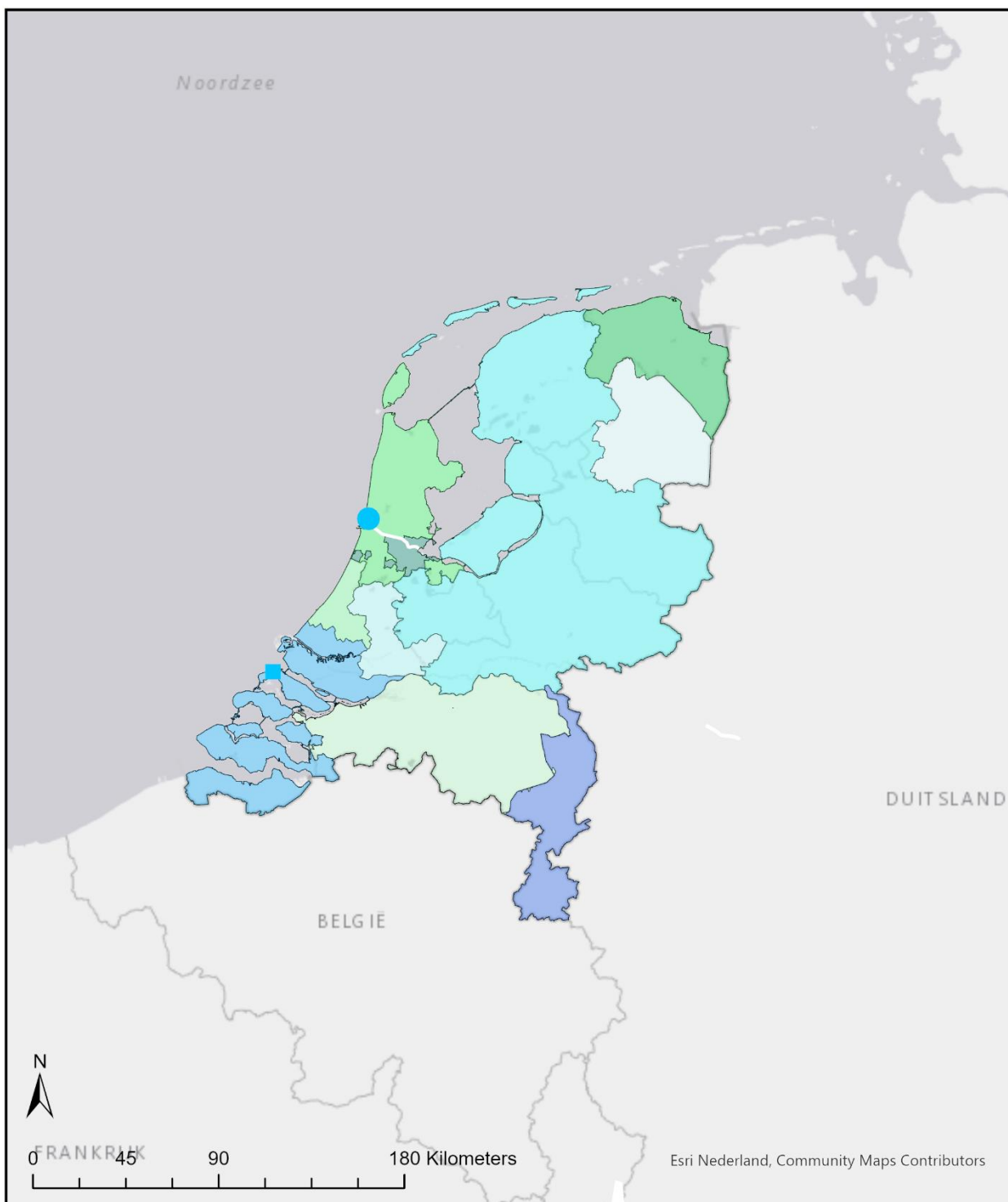
- Voedingswatertype:**
- Oppervlaktewater
  - Bodem-gepasseerd water
  - Grondwater

Bron: Nederlandse Waterbedrijven 2020



GIS operator:	L. de Waal
Datum:	12/06/2020
Versie:	Definitief

### III Overzichtskaart toepassing ultrafiltratie



#### Actief kool filtratie zuiveringstechniek toegepast door Nederlandse drinkwaterbedrijven ten behoeve van drinkwaterproductie, 2020.

Zuiveringstechniek	Capaciteit [m <sup>3</sup> / h]		
Ultrafiltratie	<300	300 - 2500	>2500

#### Distributiegebieden waterbedrijven

- Brabant Water
- Dunea
- Evides
- Oasen
- PWN
- Vitens
- WMD
- WML
- WBGr
- Waternet

- Voedingswatertype:**
- Oppervlaktewater
  - Bodem-gepasseerd water
  - ▲ Grondwater

Bron: Nederlandse Waterbedrijven 2020



GIS operator:	L. de Waal
Datum:	12/06/2020
Versie:	Definitief

## IV Uitgangspunten (RH)DHV kostenfuncties

Ontwerpdebiet	100.00	m3/h			
Piekfactor ontwerp	1				
Bedrijfsuren	8,000	per jaar			
Gemiddeld debiet	100.0	m3/h			
Jaarproductie	800,000	m3/jaar			
Rente + Afschrijving	7.36	%	annuïtaire afschrijving (hulpberekening)		R+A %
Onderhoud	5	%	afschrijving (jaar)	20	7.4
membraanvervanging energie	20	%	rente percentage	4	%
membraanprijs	0.10	€ per kWh			
	100	€/m2 capillaire NF			
	50	€/m2 capillaire UF			
	20	€/m2 spiraalgewonden NF en RO			
onthardingsdiepte (Ionenw.)	3.00	mmol/l			
zoutkosten (ionenw.)	0.15	€/kg			
dosering ozon	3.50	mg/l	Bij toepassing H2O2/O3: optimale ratio O3/H2O2 = 0.35		
looptijd actieve kool	2.00	jaar			
UV desinfectie dosering	750.00	mJ/cm2	10.00	mg/l H2O2	

aantal units	yes/no proces	invoer parameter en toegestane [range]				bouwkosten	investering	R+A [€/y]	O&M [€/y]	E [€/y]	Chem [€/y]	MF [€/y]	hars [€/y]	filter [€/y]	lamp [€/y]	totaal (excl. afvalstoffen, excl. ecotax)	
1	1	snelfiltratie	filteroppervlak [1-15 m2]	9.3	m2	0.04	KWh/m3	88630 [€]	122309 [€]	9000	6115	3200		370		18686 €/year	0.023 €/m3
1	1	actieve koelfiltratie	filteroppervlak [1-15 m2]	12.3	m2	0.04	KWh/m3	113765 [€]	156996 [€]	11552	7850	3200		18519		41120 €/year	0.051 €/m3
1	1	ultrafiltratie	membraanoppervlak [50-1500 m2]	1000.0	m2	0.1	KWh/m3	525000 [€]	724500 [€]	53310	36225	8000	24000	10000		131535 €/year	0.164 €/m3
			debiet MBR [5-100 m3/h]	0.0	m3/h												
1	1	nanofiltratie, spiraalgewonden	membraanoppervlak [100-6000 m2]	4000.0	m2	0.4	KWh/m3	342000 [€]	471960 [€]	34728	23598	320	160	16000		74806 €/year	0.094 €/m3
1	1	lage druk RO, spiraalgewonden	membraanoppervlak [100-6000 m2]	4000.0	m2	0.8	KWh/m3	342000 [€]	471960 [€]	34728	23598	640	160	16000		75126 €/year	0.094 €/m3
1	1	ionenwisseling, ontharding	debiet [5-100 m3/h]	100.0	m3/h	0.04	KWh/m3	52300 [€]	72174 [€]	5311	3609	32	1260	8000		18211 €/year	0.023 €/m3
1	1	Ozonisatie	debiet [5-100 m3/h]	100.0	m3/h	0.1	KWh/m3	120000 [€]	165600 [€]	12185	8280	8000		16		28481 €/year	0.036 €/m3
1	1	UV desinfectie met/zonder H2O2	debiet [5-100 m3/h]	100.0	m3/h	0.025	KWh/m3	43000 [€]	59340 [€]	4366	2967	60000	12000	6000		85333 €/year	0.107 €/m3

Berekening benodigd filteroppervlakte:

Snel zandfiltratie: minimaal 3.6 m/uur, maximaal 18 m/uur. Gemiddeld 10.8 m/uur. (de Vet, 2011)

Actiefkoelfiltratie: minimaal 1.8 m/uur, maximaal 14.4 m/uur. Gemiddeld 8.1 m/uur. (Bodemrichtlijn, 2020)

Omgekeerde osmose: Flux 25 L/(m<sup>2</sup> \* uur) (LMH) Opmerking Arnt Vlaardingebroek DHV kostenfunctie-excel (DHV Water B.V., 2000)

Nanofiltratie: Flux 25 L/(m<sup>2</sup> \* uur) (LMH) Opmerking Arnt Vlaardingebroek DHV kostenfunctie-excel (DHV Water B.V., 2000)

Ultrafiltratie: Flux 100 L/(m<sup>2</sup> \* uur) (LMH) (Pers. comm. Herman Smit, 2020)



Productielocatie		Zuiveringstechniek																	
		Geavanceerde oxidatie			Ionenwisseling			Nanofiltratie			Omgekeerde osmose			Actief kool			Ultrafiltratie		
Water bedrijf	Zuiveringsstation	Investeringskosten [€]	Exploitatie [€/jaar]	Exploitatie [€/m³]	Investeringskosten [€]	Exploitatie [€/jaar]	Exploitatie [€/m³]	Investeringskosten [€]	Exploitatie [€/jaar]	Exploitatie [€/m³]	Investeringskosten [€]	Exploitatie [€/jaar]	Exploitatie [€/m³]	Investeringskosten [€]	Exploitatie [€/jaar]	Exploitatie [€/m³]	Investeringskosten [€]	Exploitatie [€/jaar]	Exploitatie [€/m³]
Brabant Water	Helmond													1125299	98704	0.151			
Dunea	Bergambacht	1305480*	1877334*	0.11*										8607709	1026166	0.05			
Dunea	Katwijk													10631330	1296407	0.05			
Dunea	Monster													4470863	493924	0.06			
Dunea	Scheveningen										16373405	3187528	0.16	16511517	2107149	0.05			
Dunea	Voorzuivering Valkenburgse meer										19313376	3865301	0.15				16809037	2818102	0.10
Evides	Baanhoek													5068114	568648	0.06			
Evides	Berenplaat													27816789	3740577	0.04			
Evides	Braakman													7270540	850760	0.06			
Evides	Haamstede													2497618	254488	0.08			
Evides	Ouddorp													2053743	202744	0.09	3770088	422797	0.20
Evides	Kralingen													14420437	1815059	0.05			
Oasen	De Hooge Boom										4404403	611189	0.23	2444069	248193	0.08			
Oasen	De Laak													8009323	947332	0.05			
Oasen	De Put										6070813	908976	0.21	1974644	193634	0.09			
Oasen	De Steeg													5489499	621871	0.06			
Oasen	Reijerwaard										381432*	60578*	0.09*	2808146	291242	0.07			
Oasen	Rodenhuis													10912771	1334398	0.05			
Oasen	Schuwacht										3420867	449143	0.26	3004455	314684	0.07			
PWN	Jan Lagrand	3560400*	5120000*	0.11*							14273426	2702578	0.16	18775591	2427419	0.05	14551401	2318908	0.11
PWN	Martien den Blanken	2373600*	3413334*	0.11*	3897396*	983415*	0.023*							13644411	1707654	0.05			
Vitens	Buren							132480*	20492*	0.10*									
Vitens	Diepenveen										3335337	435582	0.26						
Vitens	Dinxperlo										493366	592354	0.23						
Vitens	Engels Werk										7316544	1148601	0.20	9776233	1181567	0.05			
Vitens	Groenekan													4986853	558431	0.06			
Vitens	Hammerflier													1974644	193634	0.09			
Vitens	Hollum							132480*	20492*	0.10*									
Vitens	Laren													3235304	342439	0.07			
Vitens	Noordbergum										3831546	515468	0.25						
Vitens	Oldeholtpade				779479*	196683*	0.023*												
Vitens	Rodenmors										426696*	67852*	0.09*						
Vitens	Schiermonnikoog							177744*	27734*	0.10*									
Vitens	Spannenburg				2627134*	662895*	0.023*												
Vitens	St. Jans klooster				505218*	127480*	0.023*												
Vitens	Terschelling							358800*	56701*	0.09*									
Vitens	Vechterweerd										2179477	261602	0.31	1930243	188537	0.09			
Vitens	Vlieland							132480*	20492*	0.10*									
Vitens	Weerseloseweg										2496878	307563	0.29						
Vitens	Witharen										2496878	307563	0.29						
Vitens	Zelst													5323298	600832	0.06			
Waternet	Leiduin	3875674	783615	0.01										23607637	3123051	0.04			
Waternet	Weesperkarspel	1860669	365668	0.01										12405146	1537348	0.05			
WBG	De Punt													4260152	467776	0.06			
WBG	Nietap																448500*	80626*	0.17*
WMD	Bellen										5966217	889492	0.21						
WMD	Noordbargeres													1152867	101678	0.15			
WMD	Zuidwolde										302220*	47849*	0.10*						
WML	Grubbenvorst													1428690	131900	0.11			
WML	Heel													8903185	1065285	0.05			
WML	Roosteren - Radiaal													2105923	208773	0.09			
WML	Roosteren - West													1748977	167859	0.10			

\* De kentallen met stermarkering zijn door middel van (extrapolatie van) de kostenfuncties kleinschalige drinkwaterzuivering (DHV Water B.V., 2000) tot stand gekomen  
De overige kentallen volgen uit de kostenstandaard drinkwater waarbij een piekfactor van 1.0 en alle default waarden voor de betreffende techniek zijn meegenomen (RHDHV, 2020b)

De getoonde kosten zijn exclusief onder andere personeelskosten, gebouwkosten en kosten voor afvoer / verwerking van vrijkomende reststromen