



Ministerie van Infrastructuur  
en Waterstaat

stowa

# PILOT PLANT ONDERZOEK ADOX

EEN *NEXT GENERATION* ADSORPTIE – OXIDATIEPROCES VOOR DE VERWIJDERING  
VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN UIT STEDELIJK AFVALWATER



RAPPORT

2023  
56

PILOT PLANT ONDERZOEK ADOX

EEN *NEXT GENERATION* ADSORPTIE – OXIDATIEPROCES  
VOOR DE VERWIJDERING VAN ORGANISCHE  
MICROVERONTREINIGINGEN UIT STEDELIJK AFVALWATER

RAPPORT

2023

56

ISBN 978.94.6479.013.9



[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS N. Fausta – TU Delft  
J.P. van der Hoek – TU Delft, Waternet  
M. Fu – TU Delft  
D. Medina – TU Delft  
S.G.J. Heijman – TU Delft  
L.C. Rietveld – TU Delft

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

M. Mulder – Mirabella Mulder Wastewater Management  
C.A. Uijterlinde – STOWA  
G.B.J. Rijs – Rijkswaterstaat  
R. Schemen – Waterschap de Dommel  
A. van Nieuwenhuijzen – Witteveen + Bos  
J. Dan – Witteveen + Bos  
M. Bechger – Waternet  
J. van den Bulk – TAUW  
M. Verhoeven – Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden  
A. Kramer – Waterschap Rijn en IJssel  
P. Clevering-Loeffen – Sweco  
R. Hofman-Caris – KWR Water Research  
M. Vanson – Arcadis  
B. Lohmann – Waterschap Zuiderzeeland  
D. Marsman – Waterschap Hollandse Delta

VORMGEVING Buro Vormvast  
STOWA STOWA 2023-56  
ISBN 978.94.6479.013.9

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

De resultaten van het pilot plant onderzoek laten zien dat de adsorptie-oxidatie technologie AdOx organische microverontreinigingen goed verwijdert uit AWZI-effluent en een veelbelovende technologie is.

In dit rapport worden de resultaten besproken van het AdOx pilot plant onderzoek zoals uitgevoerd in de periode maart – juni 2023 op de AWZI Leiden-Noord van Hoogheemraadschap Rijnland. Aangetoond is dat AdOx resulteert in een goede verwijdering van organische microverontreinigingen uit huishoudelijk afvalwater, en de ecotoxiciteit van het AWZI-effluent met meer dan 50% reduceert. Dit gaat gepaard met een goede prestatie op CO<sub>2</sub> footprint en kosten ten opzichte van referentie technologieën. Een groot voordeel van deze techniek, waarin ozon wordt toegepast, is dat er geen bromaat en oxidatie bijproducten gevormd worden in het behandelde AWZI-effluent.

De actuele technische, maatschappelijke en bestuurlijke aandacht voor de aanwezigheid van geneesmiddelen en andere (organische) microverontreinigingen in oppervlaktewater, grondwater en drinkwater vraagt naast bronmaatregelen om extra stappen op AWZI's in Nederland. Vanuit de ketenaanpak medicijnresten uit water is o.a. het innovatieprogramma microverontreinigingen uit AWZI-afvalwater (IPMV) in het leven geroepen, waar het voorliggend onderzoek onderdeel van is. Daarnaast is er in Nederland een grote behoefte om de waterkwaliteit van de ontvangende oppervlaktewateren te verbeteren, onder andere om de KRW-doelen te kunnen bereiken.

In de afgelopen vijf jaar (2018-2022) is op laboratoriumschaal het AdOx proces ontwikkeld. In dit proces worden organische microverontreinigingen uit het AWZI-effluent verwijderd door zeolieten in korrelvorm, die in een vastbed reactor aanwezig zijn. Zeolieten zijn adsorbentia die zeer selectief zijn voor organische microverontreinigingen. Er is gebruik gemaakt van synthetische “high-silica” zeolieten. Nadat het zeolietmateriaal verzadigd is en geen adsorptiecapaciteit meer heeft wordt het geregenereerd met ozongas. Na de regeneratie is de adsorptiecapaciteit volledig hersteld.

“Proof-of-Practice” van deze innovatieve technologie is uitgevoerd in het pilot plant onderzoek dat beschreven wordt in dit rapport. Aan de door het IPMV programma opgelegde eisen kon worden voldaan na optimalisatie van de bedrijfsinstellingen: een verwijdering van 70% van tenminste 7 van de 11 gidsstoffen over de gehele RWZI, een reductie van 50% van de ecotoxiciteit van het AWZI-effluent, een CO<sub>2</sub> footprint lager dan de referentie technologieën, en totale kosten lager dan € 0,21/m<sup>3</sup> behandeld water. Specifieke kenmerken en voordelen van de AdOx technologie zijn:

- Een korte adsorptie-contacttijd met daardoor kleine zeolietfilters
- In-situ regeneratie op locatie, dus geen transportkosten van zeolietmateriaal naar een regeneratiefabriek
- Selectieve verwijdering van de gidsstoffen met daardoor een laag ozongebruik
- Geen vorming van bromaat en oxidatie bijproducten in het behandelde AWZI-effluent

Het onderzoek is uitgevoerd door de Technische Universiteit Delft, en gefinancierd door Waterschap De Dommel en STOWA/Ministerie van Infrastructuur en Watersraat (IPMV programma) met in-kind bijdragen van Hoogheemraadschap Rijnland, Hoogheemraadschap Delfland en Waternet.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

AdOx is een nieuw innovatief adsorptie-oxidatie proces voor de verwijdering van organische microverontreinigingen (OMV's), waaronder medicijnresten, uit het effluent van huishoudelijk afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's). AdOx maakt gebruik van high-silica zeolieten in korrelvorm, een nieuw adsorbens in afvalwaterbehandeling, in een neerwaarts doorstroomde vastbed reactor, de adsorptiekolom. Na verzadiging van de adsorptiekolom wordt deze in-situ geregenereerd met ozongas. Met dit proces wordt een selectieve verwijdering van OMV's gerealiseerd, en de technologie is effectief, efficiënt en duurzaam:

- door een korte contacttijd (Empty Bed Contact Time, EBCT) zijn de adsorptiekolommen relatief klein
- in-situ regeneratie, op locatie, voorkomt transportkosten voor vervoer van de verzadigde adsorbens naar een regeneratiefabriek
- selectieve verwijdering van OMV's voorkomt competitie met natuurlijk organisch materiaal en beperkt daarmee het ozongebruik
- ozon wordt niet gedoseerd in de hoofdstroom (het AWZI-effluent) waardoor er geen risico is voor vorming van bromaat en oxidatie bijproducten in het AWZI-effluent.

In laboratoriumonderzoek is de effectiviteit van AdOx de afgelopen vijf jaar aangetoond. De ontwikkeling is daarop voortgezet met een pilot plant onderzoek als 'proof-of-practice'. De pilot plant was geplaatst op de AWZI Leiden-Noord van Hoogheemraadschap Rijnland. Het onderzoek is uitgevoerd binnen het Innovatie Programma Microverontreinigingen (IPMV) dat wordt begeleid door STOWA en gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

De pilot plant bestond uit een adsorptiekolom met een hoogte 3 m en een diameter van 33 cm. De zeoliet bedhoogte was 1 m. Er is gebruik gemaakt van een high-silica zeoliet in korrelvorm. De EBCT was 10 en 15 minuten, het debiet (effluent uit de nabezinktank van de AWZI Leiden-Noord) varieerde tussen 0,5 en 1 m<sup>3</sup>/uur. De adsorptiefase besloeg een periode van 7 dagen. In de loop van dag 7 werd de kolom teruggespoeld, gedraineerd en gedroogd met een blower en warme lucht (bij voorkeur 60 °C). Daarna werd ozongas (100 g/Nm<sup>3</sup>) opwaarts door de zeolietkolom geleid om de OMV's, geadsorbeerd aan de zeolietkorrels, te oxideren en daarmee de adsorptiecapaciteit te herstellen. Na passage van de kolom werd het ozongas naar een destructor geleid om rest-ozon te vernietigen. Na een terugspoeling werd de kolom weer in gebruik genomen voor adsorptie van OMV's uit AWZI-effluent.

De doelstellingen voor het onderzoek met de AdOx pilot waren gebaseerd op de IPMV richtlijnen:

- Minimaal 70% verwijdering over de gehele RWZI van tenminste 7 van de 11 gidsstoffen, zoals gedefinieerd door het Ministerie Infrastructuur en Waterstaat
- Een lagere CO<sub>2</sub> footprint dan de referentie technologieën, gebaseerd op energie, materiaal en chemicaliën verbruik. De referentie technologieën in het IPMV programma zijn poederkooldosering aan actief slib (PACAS), ozon – zandfiltratie (Ozon+ZF) en filtratie over korrelkool (GAK)
- Minimaal 50% reductie in ecotoxiciteit van het behandelde AWZI-effluent
- Maximale totale kosten € 0,21/m<sup>3</sup> behandeld water (investeringskosten en operationele kosten).

Daarnaast worden ook in de nieuwe Europese Richtlijn Behandeling van Stedelijk Afvalwater eisen gesteld aan de verwijdering van OMV's uit afvalwater, welke waarschijnlijk van kracht worden vanaf 2040. Een verwijdering van tenminste 80% is vereist voor twee categorieën van OMV's. Tevens worden er in Nederland eisen gesteld aan de concentratie van bromaat (1 µg/L) en enige oxidatie bijproducten in oppervlaktewater. Doordat ozon in deze techniek wordt gebruikt voor de regeneratie van het adsorptiemiddel, komt ozon niet direct in contact met het te zuiveren water en is de vorming van bromaat en oxidatie bijproducten in het behandelde AWZI-effluent in principe geen probleem.

De pilot plant is in bedrijf geweest gedurende een periode van 11 weken (en besloeg daarmee 11 adsorptie-regeneratie cycli). Door ontwerpfouten en storingen in de aanvangsfase is de operationele fase korter geweest dan gepland en konden optimalisaties niet allemaal geïmplementeerd worden. Desondanks is de testfase lang genoeg geweest om een goed beeld te krijgen van de AdOx technologie onder praktijkcondities. Er zijn drie fases te onderscheiden. In de eerste fase zijn de basis instellingen van de installatie-onderdelen adsorptie kolom, droging en ozonisatie gehanteerd (EBCT 10 minuten, drogen 35-50 °C gedurende 4 uur, ozonisatie gedurende 3 uur). In de tweede fase is er een optimalere instelling van de installatie-onderdelen gehanteerd (EBCT 10 minuten, drogen 50-60 °C gedurende 4 uur, ozonisatie gedurende 1,5 uur). De ozonisatie werd teruggebracht van 3 naar 1,5 uur omdat dit even effectief was, maar tevens efficiënter (minder gebruik ozon). De droogtemperatuur werd opgevoerd naar de waarde die uit laboratorium onderzoek het meest effectief was. In de laatste fase, dit betrof alleen de laatste cyclus (nr. 11), is geprobeerd de OMV verwijderings-efficiëntie te verhogen door het verlengen van de EBCT van 10 naar 15 minuten.

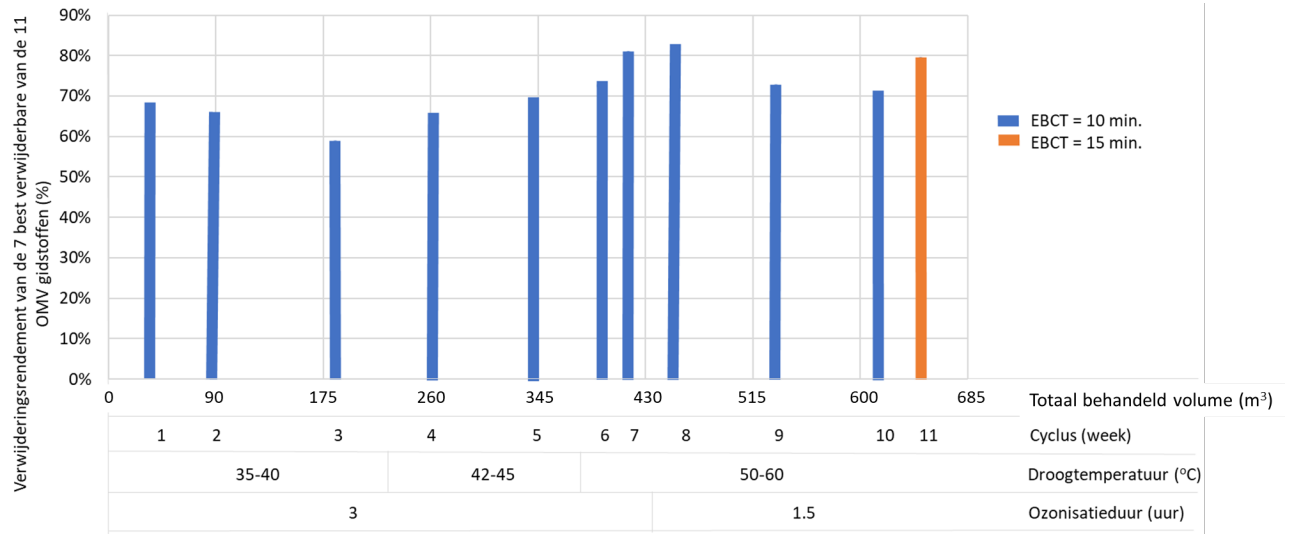
De verwijderingsefficiëntie van de AdOx pilot plant is vastgesteld op basis van lab-analyses van monsters genomen van het AdOx-influent en AdOx-effluent. AdOx-influent was effluent van de AWZI-nabezinktank dat eerst werd gefiltreerd over een prefilter (100 µm) gevolgd door cartridge filters (25 µm en 10 µm). De monsters werden elke drie uur genomen met autosamplers, en gemengd als dag- en weekmonsters om doorslagprofielen vast te stellen en verwijdering over een week (1 cyclus) vast te stellen. Ecotoxiciteit is vastgesteld met behulp van bioassays (Cytotox, CALUX- Erα, -P53 and -PAH). Een target screening is uitgevoerd met UHPLC-QTOF om een breder beeld te krijgen van verwijdering van stoffen door AdOx dan alleen de gidsstoffen. Daarnaast zijn analyses uitgevoerd (AdOx-influent en AdOx-effluent) met betrekking tot bromaat, DOC, antibiotica resistentie en PFAS.

## RESULTATEN

Het pilot plant onderzoek toonde een gemiddelde nageschakelde verwijdering van tenminste 7 van de 11 gidsstoffen van 70% bij een EBCT van 10 minuten. In de laatste adsorptieweek (cyclus 11) is éénmalig een EBCT van 15 minuten toegepast, resulterend in een verwijdering van 79%, waarmee een overall verwijdering van meer dan 70% mogelijk lijkt. Figuur 1 toont de resultaten met de bijbehorende procescondities. Op basis van de nieuwe EU Richtlijn Behandeling van Stedelijk Afvalwater is de nageschakelde verwijdering 83%, waarmee aan de geëiste overall verwijdering van 80% nog net niet wordt voldaan. Met de optimalisaties besproken in 'Toekomst perspectief' zal naar verwachting ruimschoots kunnen worden voldaan aan de Nederlandse en Europese doelstelling voor OMV verwijdering uit afvalwater.

FIGUUR 1

NAGESCHAKELD VERWIJDERINGSPERCENTAGE VAN DE 7 BEST VERWIJDERBARE OMV'S VAN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE ADOX PILOT PLANT (EXCLUSIEF VERWIJDERING IN DE BESTAANDE AWZI). DE EERSTE RIJ VAN DE X-AS BETREFT HET CUMULATIEF BEHANDELD VOLUME (M<sup>3</sup>); DE TWEEDE RIJ DE CYCLI, DE DERDE RIJ DE GEHANTEERDE DROOGTEMPERATUUR; DE VIERDE RIJ DE OZONISATIEDUUR



De bioassay-analyses toonden aan dat AdOx resulteerde in een reductie van meer dan 50% in ecotoxiciteit in het AWZI-effluent. De target screening toonde aan dat 40-45% van de stoffen volledig werden verwijderd door AdOx en 50% van de stoffen gedeeltelijk. Broomaat was niet aanwezig in het behandelde AWZI-effluent. In het spoelwater na de regeneratie werd een broomaatconcentratie van 17 µg/L gemeten. Dit spoelwater zal in de praktijk worden toegevoegd aan het AWZI-influent en met een factor 500 of hoger verdund worden. De analyses toonden een zeer beperkte verwijdering van DOC door AdOx, namelijk 2,6%.

De pilot plant werd handmatig bediend, inclusief de regeneratiestappen (spoelen – drogen – ozongas dosering – spoelen). Alleen het debiet naar de AdOx pilot plant in de adsorptiefase werd gemonitord. Gedurende de operationele periode waren er meerdere technische problemen zoals een kapotte dompelpomp (aanvoer water uit de nabezinktank naar de pilot plant), elektriciteit uitval, verstopping van de voorfilters en ozonlekkage. Alle storingen konden worden verholpen maar resulteerden wel in onderbrekingen in de adsorptie-regeneratie cycli.

De CO<sub>2</sub> footprint en kosten zijn berekend voor een standaard AWZI van 100.000 i.e. en vergeleken met die van de drie referentietechnologieën van het IPMV programma. Wegens de onzekerheden die er zijn in de *technology readiness level* van de AdOx technologie (TRL-5) zijn vier scenario's doorgerekend met twee variabelen: een EBCT van 10 en 15 minuten, en een adsorptieduur van 5 en 7 dagen. Kostenberekeningen in deze scenario's zijn uitgevoerd met een bulkprijs en een retailprijs voor zeoliet materiaal (respectievelijk € 20/kg en € 120/kg). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 1.

**TABEL 1 VERGELIJKING CO<sub>2</sub> FOOTPRINT, TOTALE KOSTEN EN VERWIJDERINGSEFFICIËNTIE TUSSEN ADOX EN DE DRIE REFERENTIE TECHNOLOGIEËN**

	Unit	PACAS	Ozon+ZF	GAK	AdOx	
					EBCT 10 min (Scenario 1 <sup>a</sup> )	EBCT 15 min (Scenario 4 <sup>a</sup> )
CO <sub>2</sub> footprint	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	122	128	325	95	164
CO <sub>2</sub> footprint	ton CO <sub>2</sub> /jaar	2198	1953	3009	1774	2147
Totale kosten	€/m <sup>3</sup>	0.05	0.17	0.26	0,13 (bulk) 0,21 (retail)	0,15 (bulk) 0,27 (retail)
Verwijderingsefficiëntie gidsstoffen <sup>b</sup>	% <sup>b</sup>	70-75	80-85	80-85	65-70	70-75

a Scenario 1: EBCT = 10 min., standtijd = 7 dagen; Scenario 4: EBCT = 15 min., standtijd = 5 dagen

b Verwijderingsefficiëntie gebaseerd op de doelstellingen van het IPMV programma: minimaal 7 van 11 OMV gidsstoffen 1h-benzotriazole, 4,5-methyl benzotriazole, carbamazepine, diclofenac, irbesartan, gabapentin, metoprolol, hydrochlorothiazide, sotalol, trimethoprim en venlafaxine, met tijdproportionele bemonstering. De verwijderingsefficiënties betreffen de verwijdering over het AWZI-influent en AdOx-effluent (inclusief een by-pass).

## CONCLUSIES

Gedurende de operationele periode van 11 weken bedrijfsvoering AdOx zijn de doelstellingen van het IPMV programma gerealiseerd, maar de OMV verwijdering is nog kritisch. Met betrekking tot de OMV verwijdering dient AdOx nog te worden verbeterd, rekening houdend met de by-pass gedurende regenweer afvoer (RWA) en gezien het feit dat de Nederlandse norm maar net worden gehaald. De reductie in ecotoxiciteit is ruim voldoende (> 50%), en in het AWZI-effluent na AdOx behandeling is geen bromaat aanwezig. Er wordt slechts in zeer beperkte mate DOC verwijderd, wat gunstig is voor het ozongebruik. De CO<sub>2</sub> footprint is vergelijkbaar met die van de referentietechnologieën Ozon+ZF en PACAS, en lager dan die van GAK. De totale kosten met hantering van de zeoliet bulkprijzen zijn lager dan de IPMV doelstelling, maar met de retailprijzen stijgen de kosten boven die van PACAS en zijn vergelijkbaar met Ozon+ZF en GAK.

## AANBEVELINGEN EN TOEKOMST PERSPECTIEF

Na slechts een ontwikkelingstijd in het laboratorium van vijf jaar is in het pilot onderzoek daarna aangetoond dat AdOx een veelbelovende technologie is met zeer grote potenties voor de verwijdering van OMV's uit AWZI effluent. Optimalisatie van de technologie (verhogen OMV verwijdering, verlagen kosten en verlagen CO<sub>2</sub> footprint) is mogelijk door:

1. Verder ontwikkelen van (multi-type) zeolietkorrels
2. Verbeteren van de droging van de zeolietkolom vóór regeneratie
3. Efficiënter gebruik van ozon door recirculatie van ozongas
4. Afstemmen standtijd zeolietkolom versus EBCT

Na deze optimalisaties is AdOx aantrekkelijk als een efficiënte, effectieve en duurzame technologie die toegepast kan worden als nageschakelde stap op AWZI's, waarmee de Nederlandse en Europese normen voor OMV verwijdering ruimschoots gehaald kunnen worden. Behalve een technologische optimalisatie is ook een gedegen marktverkenning van belang om AdOx als competitieve technologie te kunnen introduceren in de afvalwatersector. In een vervolgpilot zullen deze optimalisaties worden meegenomen waarbij de verwachting is dat deze technologie een waardevolle bijdrage vormt voor de verwijdering van medicijnresten.



# SUMMARY

AdOx is a next-generation adsorption-oxidation process for the removal of organic micropollutants (OMPs) from municipal wastewater treatment plant (WWTP) effluent. AdOx uses high-silica zeolite granules, a novel adsorbent in the wastewater treatment field, in a downflow packed-bed filtration (adsorption) column. The exhausted bed is frequently regenerated *in-situ* with ozone gas. This integrated process offers a selective removal of the OMPs, while the technology is environmentally sustainable and cost-efficient:

- Through a short empty bed contact time (EBCT) the adsorption columns are relatively small
- Onsite *in-situ* regeneration avoids transport costs of exhausted zeolites to a regeneration facility
- Selective OMP removal avoids competition with natural organic matter and reduces ozone consumption
- Ozone is not dosed in the main stream (WWTP effluent) so there is no risk of bromate formation and oxidation byproduct formation in the WWTP effluent.

The efficacy of AdOx has been successfully proven through lab-scale experiments for more than five years. The development continued with a pilot plant as a proof-of-practice at WWTP Leiden-Noord under the Regional Water Authority Rijnland. The research was performed as part of the Innovation Programme for Micropollutants in WWTP-effluent (IPMV) managed by STOWA and financed by the Ministry of Infrastructure and Water Management.

The pilot plant had a zeolite bed height of 1 m, a column height of almost 3 m and diameter of 33 cm. The zeolite used was one high-silica type in granular form. Using an EBCT of 10 and 15 minutes, the pilot plant treated 0.5 – 1 m<sup>3</sup>/h of the effluent from the WWTP's secondary clarifier. The adsorption step was carried out for 7 days. On the 7<sup>th</sup> day the column was backwashed, drained and dried up using a mounted blower on top of the column with heated air (preferably 60 °C). Then the ozone gas (100 g/ Nm<sup>3</sup>) was injected to the bottom of the column to oxidize the adsorbed OMV on the zeolite granules, and the excess gas coming out of the outlet on top of the column was lead to an ozone destructor to destroy residual ozone in the off-gas. After a post-backwash the adsorption step starts again, giving 1 week for 1 single cycle.

There were several research objectives for the AdOx-technology, based on the IPMV guidelines, as follows:

- Minimum 70% removal of the total concentration from at least 7 from 11 OMPs as guide substances as required by the Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management (I&W);
- Lower CO<sub>2</sub> footprint than the other reference technologies based on the energy, material and chemical consumption. The reference technologies for the IPMV are Powdered Activated Carbon in Activated Sludge (PACAS), coupled mainstream Ozonation – Sand Filtration (Ozon+ZF) and Granular Activated Carbon (GAK);
- Minimum 50% reduction of the ecotoxicity from the WWTP-effluent;
- Maximum total cost of € 0.21/m<sup>3</sup> treated water (including investment and operational costs).

In addition, the European Union (EU) proposed a more stringent objective with the new Urban Wastewater Treatment Directive (26/10/2022) that starting in 2040 WWTPs should perform a minimum 80% removal of the total concentration from two categories of OMPs. There is also a limitation of bromate concentration in the surface water in the Netherlands (1 µg/L) and other possible by-products. As ozone is used in this technology only for regeneration of the adsorbent, it is not in direct contact with the water to be treated and is the formation of bromate and oxidation by-products in the treated WWTP-effluent in principle not a problem.

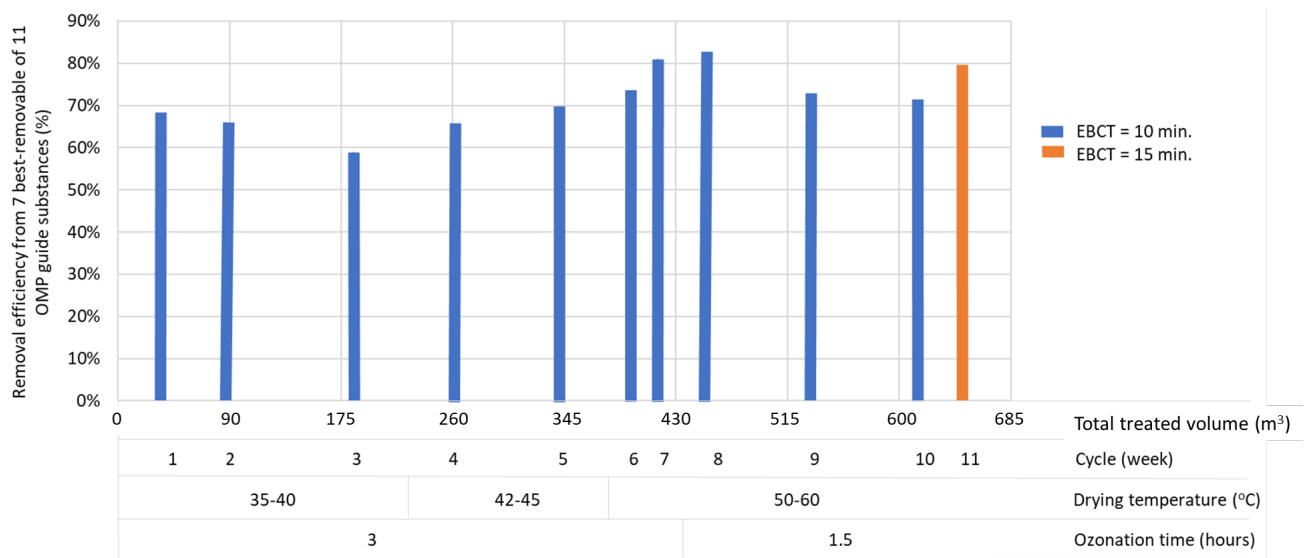
The pilot plant worked for a total sampling period of 11 weeks (representing 11 cycles). As a result of design failures and operational problems at the start, the total operational period was shorter than planned, and optimizations could not all be implemented. However, the 11 cycles clearly showed how the AdOx technology performed under real conditions. The operational period covered three phases. The first phase aimed to prove the integrated process using the default operational settings of the equipment units adsorption column, drying equipment and ozonation (EBCT = 10 minutes, drying = 35-50°C for 4 hours, ozonation = 3 hours). Seeing that there were some limitations in the installation, the second phase aimed for optimization of each equipment unit (EBCT = 10 minutes, drying = 50-60°C for 4 hours, ozonation = 1.5 hours). The ozonation was firstly set at 3 hours, however cutting it down to 1.5 hours was proven to be as effective, yet more efficient. The last phase aimed for higher removal performance by increasing the EBCT from 10 to 15 minutes and was applied in the last, final cycle.

The removal efficiency of AdOx pilot plant was determined by means of lab analysis from the samples taken both from AdOx-influent and AdOx-effluent. AdOx-influent came from the WWTP-effluent having passed through a pre-filtration system with 100-µm pre-strainer, and 25-µm and 10-µm cartridge filters. The samples from both sampling points were taken every 3 hours using autosamplers and mixed as both daily and weekly samples to obtain weekly removal percentages. The ecotoxicity was analysed using bioassays (Cytotox, CALUX- E<sub>ro</sub>, -P53 and -PAH). In addition, a target screening with UHPLC-QTOF was performed to provide the general information of substances present in both AdOx-influent and AdOx-effluent. Other tests to find out the presence of bromate, DOC removal, antibiotic resistance and PFAS were also carried out during the sampling period.

## RESULTS

The pilot plant study has shown that the post-treatment's average removal efficiency of at least 7 from 11 Dutch guide substances with EBCT of 10 minutes is 70%, while one-cycle running with EBCT of 15 minutes gives better removal percentage of 79%, which will result in an overall removal over the whole WWTP above 70%. Figure 1 shows the results with the respective process conditions. According to the proposed EU Directive the best removal percentage is 83%, which implies that a removal percentage of 80% over the whole WWTP was just not reached. With the optimizations as discussed in the outlook it is expected that both the Dutch and European targets for OMP removal from domestic wastewater easily can be met.

**FIGURE 1** REMOVAL EFFICIENCY OF THE 7 BEST-REMOVABLE OF 11 MEASURED OMP GUIDE SUBSTANCES (BASED ON THE DUTCH GUIDELINES) IN ADOX PILOT PLANT (EXCLUDING REMOVAL FROM THE MAIN WWTP). THE NUMBERS ON THE X-AXIS INDICATE THE CUMULATIVE TREATED VOLUME (M<sup>3</sup>). THE ROWS BELOW THE BVS INDICATE THE CYCLE NUMBER, DRYING TEMPERATURE AND OZONATION TIME. TEN BLUE BARS INDICATE THE ADSORPTION WAS PERFORMED WITH EBCT OF 10 MINUTES, WHILE THE ORANGE ONE WITH EBCT OF 15 MINUTES



The analysis utilizing bioassays demonstrated that AdOx reduced more than 50% of ecotoxicological effect from the WWTP-effluent. The target screening showed that 40-45% of all compound were totally removed and 50% partially removed. The measurement on bromate concentrations showed no bromate in AdOx-effluent and only 17 µg/L in the post-backwash water, which ideally goes back to the beginning of the WWTP and is diluted with a factor of more than 500. From the lab analysis only limited DOC removal was measured, on average 2.6%.

The pilot plant was manually operated, including all regeneration steps. Only the flow rate from the filtration pump could be monitored online. Technical problems occurred during the sampling period, such as a broken submerged pump (taking the WWTP-effluent), electricity cut-out, clogged pre-filters and ozone leakage. All problems could be solved despite temporary interruptions in-between the cycles.

The CO<sub>2</sub> footprint and costs of AdOx have been calculated for a standard treatment plant of 100,000 p.e. and compared with the three reference technologies from the IPMV. Due to the uncertainties of AdOx during this technology readiness level (TRL-5), four scenarios were made to facilitate the EBCTs (10 and 15 minutes) and adsorption times (5 and 7 days). Cost estimations for these scenarios were conducted using both bulk and retail prices (€ 20 and € 120/kg, respectively) of the zeolite granules. The results are shown in Table 1.

TABLE 1 COMPARISON OF CO<sub>2</sub> FOOTPRINT, TOTAL COST AND REMOVAL EFFICIENCY BETWEEN ADOX AND THREE REFERENCE TECHNOLOGIES

	Unit	PACAS	Ozon+ZF	GAK	AdOx	
					EBCT 10 min (Scenario 1 <sup>a</sup> )	EBCT 15 min (Scenario 4 <sup>a</sup> )
CO <sub>2</sub> footprint	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	122	128	325	95	164
CO <sub>2</sub> footprint	ton CO <sub>2</sub> /year	2198	1953	3009	1774	2147
Total cost	EUR/m <sup>3</sup>	0.05	0.17	0.26	0.13 (bulk) 0.21 (retail)	0.15 (bulk) 0.27 (retail)
Removal efficiency indicator substances <sup>b</sup>	% <sup>b</sup>	70-75	80-85	80-85	65-70	70-75

a Scenario 1: EBCT = 10 min., loading time = 7 days; Scenario 4: EBCT = 15 min., loading time = 5 days

b Removal efficiency based on the objective of the IPMV: minimum 7 from 11 OMP guide substances: 1h-benzotriazole, 4,5-methyl benzotriazole, carbamazepine, diclofenac, irbesartan, gabapentin, metoprolol, hydrochlorothiazide, sotalol, trimethoprim and venlafaxine, in a time-proportional sampling. The removal efficiencies above were determined between the technology's effluent (including *by-pass*) and the main WWTP-influent

## CONCLUSIONS

During a sampling period of 11 weeks AdOx pilot plant has met the objectives of the IPMV program, although OMP removal appeared to be critical. With regard to the OMP removal efficiency, the performance of AdOx still needs to be enhanced due to the probability of by-pass during the rainy weather flow, and the Dutch standards are only just met. The ecotoxicity reduction is sufficient, while no bromate is present in the effluent and very limited DOC removal takes place in the process. The CO<sub>2</sub> footprint is comparable to the reference technologies Ozon+ZF and PACAS, and lower than GAK. The total costs with the zeolite bulk price are lower than the requirement of IPMV, however with a retail price it rises above the reference technology PACAS and is comparable with Ozon+ZF and GAK.

## RECOMMENDATIONS AND OUTLOOK

Taking only five years from lab experiments to the pilot plant operation, AdOx showcases a promising process for the removal of OMPs from WWTP-effluent. Optimization of the process (increased OMP removal, reduced costs and reduced CO<sub>2</sub> footprint) is possible through:

1. Development of (multi-type) zeolite granules with higher mechanical strength
2. Improving of the drying process before regeneration
3. Efficient use of ozone gas through recirculation of the off-gas
4. Optimizing the settings between the EBCT and adsorption loading time.

After these optimizations AdOx will be very attractive as an efficient, effective and sustainable technology to be employed as a post-treatment for WWTPs to achieve both the Dutch standards and European standards for OMPs removal. In addition to the process optimization, a thorough market exploration is also important to introduce AdOx as a competitive technology in the wastewater sector. In a follow-up pilot plant research these optimizations will be implemented and it is expected that AdOx will be a very valuable and competitive option for pharmaceuticals removal from domestic wastewater.

# 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 onderzoekslijnen 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.*

# PILOT PLANT ONDERZOEK ADOX

## EEN *NEXT GENERATION* ADSORPTIE – OXIDATIEPROCES VOOR DE VERWIJDERING VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN UIT STEDELIJK AFVALWATER

### INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	SUMMARY	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Doelstelling pilot plant onderzoek	2
	1.3 Organisatie in het onderzoek	2
	1.4 Leeswijzer	2
<b>2</b>	<b>ONTWERP PILOT PLANT INSTALLATIE</b>	<b>3</b>
	2.1 Technologiebeschrijving	3
	2.2 Procesbeschrijving en -instellingen	4
	2.3 Materialen en procesinstallaties	5
	2.3.1 Dimensionering	5
	2.3.2 Type zeoliet	7
	2.3.3 Voorfiltratiesysteem voor de pilot plant installatie	8
<b>3</b>	<b>PILOT PLANT ONDERZOEK EN UITVOERING</b>	<b>9</b>
	3.1 Onderzoekslocatie: AWZI Leiden-Noord	9
	3.2 Kennisvragen	11
	3.2.1 Kennisvragen over adsorptie van organische microverontreinigingen met zeolieten	11
	3.2.2 Kennisvragen over regeneratie van zeolieten met ozon	11
	3.2.3 Kennisvragen over de beoordeling van de gehele technologie (adsorptie-regeneratie)	12
	3.3 Testperiode	12
	3.4 Analyseprogramma	12
	3.5 Monsternames	14
	3.5.1 OMV monstername	14
	3.5.2 Monstername voor bioassays en non-target screening	14
	3.5.3 DOC monstername	14
	3.6 Verwerking meetresultaten	14

<b>4</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	Onderzoekperiode	15
<b>4.2</b>	Gidsstoffen en monitoringsstoffen	15
4.2.1	Resultaten gedurende de drie fasen	19
4.2.2	Discussie	19
<b>4.3</b>	Ecotoxicologie (bio-assays)	22
<b>4.4</b>	Target screening (UHPLC-QTOF)	24
<b>4.5</b>	DOC-concentraties	26
<b>4.6</b>	Bromaat	27
<b>5</b>	<b>OPERATIONELE ASPECTEN</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	Debieten & <i>downtime</i>	28
<b>5.2</b>	Energieverbruik drogen en ozonisatie	28
<b>5.3</b>	Filtratieperiode	29
5.3.1	Intake en pre-filtratie	29
5.3.2	Behandeld volume en <i>Empty Bed Contact Times</i> (EBCTs)	30
<b>5.4</b>	Regeneratieperiode	30
5.4.1	Terugspoelen (voor- en naspoeling)	30
5.4.2	Drogen met een blower	30
5.4.3	Generatie, vernietigen en recyclen van ozongas	31
<b>5.5</b>	Problemen en oplossingen	31
<b>6</b>	<b>PRESTATIEVERGELIJKING EN OPTIMALISATIEMOGELIJKHEDEN</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	Vergelijking labonderzoek AdOx, pilot plant onderzoek AdOx en haalbaarheidsstudie AdOx	33
<b>6.2</b>	Alternatieven voor procesoptimalisatie	34
<b>7</b>	<b>INPASSING IN DE NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK</b>	<b>35</b>
<b>7.1</b>	Veranderingen uitgangspunten haalbaarheidsonderzoek op basis van het pilotonderzoek	35
<b>7.2</b>	Contacttijd en ontwerpdebiet	36
<b>7.3</b>	Energie en CO <sub>2</sub> -footprint	36
7.3.1	AdOx-influent opvoerhoogte	36
7.3.2	Warmte voor drogen	37
7.3.3	Productie van zeolietkorrels	37
7.3.4	Ozonproductie, ozonverbruik en zuurstoftoevoer	38
7.3.5	Terugspoelen	39
7.3.6	Scenario's	39
<b>7.4</b>	Kostenberekening	41
7.4.1	Stichtingskosten	42
7.4.2	Operationele kosten	43
<b>7.5</b>	Vergelijking kosten en CO <sub>2</sub> -footprint met referentietechnologieën	47
<b>7.6</b>	Integratie in Nederlandse AWZI's	47
<b>8</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>49</b>
<b>8.1</b>	Conclusies en antwoorden op de kennisvragen	49
8.1.1	Inzichten over adsorptie van organische microverontreinigingen met zeolieten	49
8.1.2	Inzichten over regeneratie van zeolieten met ozon	49
8.1.3	Inzichten over de beoordeling van de gehele technologie (adsorptie-regeneratie)	50
<b>8.2</b>	Aanbevelingen	50
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>52</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>57</b>

# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

De afgelopen jaren staat de aanwezigheid van organische microverontreinigingen (OMVs) in de watercyclus, waaronder geneesmiddelen, sterk in de belangstelling [1]. Aangetoond is dat de aanwezigheid van deze stoffen in het aquatisch milieu een negatief effect kan hebben op ecosysteem en mens [2] [3]. Via gezuiverd stedelijk afvalwater komen deze stoffen in het oppervlaktewater terecht [4]. Conventionele afvalwaterzuiveringstechnieken zijn slechts ten dele in staat deze stoffen uit het afvalwater te verwijderen [5]. In de herziening van de Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater zullen normen worden opgenomen voor de verwijdering van een aantal OMVs. Verschillende nieuwe technieken voor de verwijdering van medicijnresten uit afvalwater worden onderzocht in Nederland, zowel adsorptieve technieken, oxidatieve technieken, biologische technieken als membraantechnieken. Ook combinaties van technieken worden onderzocht, bijvoorbeeld de combinatie van ozon en actieve kool als gecombineerd adsorptie-oxidatie proces. Een groot deel van dit onderzoek vindt plaats binnen het innovatieprogramma microverontreinigingen uit afvalwater (IPMV), uitgevoerd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, STOWA en de waterschappen.

Een nieuwe technologie, AdOx, biedt een alternatief voor de verwijdering van OMVs uit AWZI-effluent. In een, door NWO (Nederlandse organisatie voor wetenschappelijk onderzoek) gefinancierd onderzoek is op laboratoriumschaal de *proof-of-principle* van de techniek vastgesteld [6]. In een haalbaarheidsstudie is vastgesteld dat deze technologie een kosten- en energie-efficiënt proces kan opleveren voor de verwijdering van microverontreinigingen [7]. AdOx is een combinatie van een adsorptie- en oxidatieproces. In de adsorptiefase worden organische microverontreinigingen selectief uit het afvalwater verwijderd door adsorptie aan synthetische zeolieten door filtratie van effluent van de afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) door een filter gevuld met zeolietkorrels. Nadat het adsorbens is verzadigd wordt het zeolietfilter geregenereerd met ozon. Het ozongas wordt door het zeolietfilter geleid en oxideert de aan de zeolietkorrels geadsorbeerde organische microverontreinigingen.

De belangrijkste conclusies uit de haalbaarheidsstudie waren dat de combinatie van adsorptie met zeolieten en on-site regeneratie met ozon de volgende voordelen biedt voor de verwijdering van microverontreinigingen in vergelijking met adsorptie met actieve kool en directe ozonisatie:

- kleine installatie door kortere contacttijd (Empty Bed Contact Time, EBCT)
- frequente, on-site regeneratie met ozongas, wat leidt tot lage transportkosten
- minder concurrentie met NOM (natuurlijk organisch materiaal) wat zorgt voor een effectief adsorptieproces
- geen continue ozondosering nodig aan de gehele hoofdstroom (AWZI-effluent)
- geen directe ozonisatie in de hoofdstroom waardoor geen bijproducten, zoals bromaat, ontstaan die met het gezuiverde afvalwater in het oppervlakteater terecht komen



Na de afronding van de haalbaarheidsstudie is daarom besloten dat AdOx potentieel heeft voor verdere ontwikkeling via een pilotfase. In dit rapport wordt verslag gedaan van dit pilot plant onderzoek.

## 1.2 DOELSTELLING PILOT PLANT ONDERZOEK

De doelstelling van dit pilot plant onderzoek was het aantonen van de *proof-of-practice* van AdOx op een echt AWZI-effluent, in een serie van opeenvolgende cycli van adsorptie met high-silica zeolietkorrels en regeneratie met ozongas. Vanuit dit onderzoek was het doel om AdOx van TRL-4 naar TRL-6/7 te brengen. Daartoe diende een pilot plant over langere tijd bedreven te worden onder actuele praktijkcondities.

Vier doelstellingen voor het AdOx pilot plant onderzoek vanuit IPMV 2020 zijn [8] [9]:

1. verwijdering van tenminste 70 % van 7 van de 11 gidsstoffen (vanuit evaluatie gidsstoffen STOWA 2021) bepaald over het AWZI-influent tot AWZI-effluent (dit is AdOx-effluent + bypass tijdens regenweer afvoer (RWA))
2. lage CO<sub>2</sub>-footprint (in vergelijking met andere technologieën) op basis van het energie- en chemicaliënverbruik
3. maximale kosten van € 0.21/m<sup>3</sup> behandeld water (investerings- en operationele kosten)
4. verlaging van de ecotoxiciteit van het AWZI-effluent met 50%

## 1.3 ORGANISATIE IN HET ONDERZOEK

Het AdOx pilot plant onderzoek is uitgevoerd door een samenwerking van verschillende partijen, te weten:

1. TU Delft als de uitvoerder en penvoerder van het project
2. Hoogheemraadschap van Rijnland als locatieverschaffer van AWZI Leiden-Noord en potentiële customer
3. Zeolyst International als producent en leverancier van zeolietkorrels
4. Xylem Water Solutions als verhuurder van de ozongenerator en toebehoren
5. Jotem als bouwer van de proefinstallatie
6. Het Waterlaboratorium (HWL) als lab-analist (wekelijkse OMV's, ecotoxiciteit, *target screening* en bromaat)
7. Waternet als potentiële customer
8. Waterschap De Dommel als potentiële customer
9. Hoogheemraadschap Delfland als potentiële customer
10. Adviesbureau Witteveen + Bos als adviseur
11. MD als lab-analist (PFAS en antibioticaresistentie)

## 1.4 LEESWIJZER

Het rapport bestaat uit acht hoofdstukken. In hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3 worden het ontwerp van de pilot plant en de uitvoering van het onderzoek beschreven. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd, en in hoofdstuk 5 de operationele aspecten van de bedrijfsvoering. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van het pilot plant onderzoek vergeleken met de resultaten van het laboratoriumonderzoek dat is uitgevoerd in een eerdere fase van de ontwikkeling van het AdOx proces. Tevens wordt ingegaan op optimalisatiemogelijkheden. In hoofdstuk 7 wordt de inpassing van AdOx in de Nederlandse zuiveringspraktijk besproken. Het rapport wordt afgesloten met hoofdstuk 8 waarin de conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen.

# 2

## ONTWERP PILOT PLANT INSTALLATIE

### 2.1 TECHNOLOGIEBESCHRIJVING

AdOx is een innovatieve techniek waarbij zeolieten worden gebruikt voor het adsorberen van microverontreinigingen, en deze zeolieten na verzadiging geregenereerd worden met ozongas. Synthetische zeolieten hebben zich bewezen als adsorbens voor de selectieve verwijdering van microverontreinigingen uit afvalwater [10]. Zeolieten kunnen als slijtvaste korrels worden toegepast [11], waardoor het adsorptieproces uitgevoerd kan worden als continu proces in een nageschakelde vastbed reactor, waarmee AWZI-effluent kan worden behandeld. Figuur 2.1 toont de zeolietkorrels zoals ze worden toegepast in een vast bed reactor.

FIGUUR 2.1 ZEOLIETKORRELS ZOALS TOEGEPAST IN EEN VAST BED REACTOR



Na verloop van tijd zijn de zeolietkorrels verzadigd en moeten zij geregenereerd worden. In AdOx worden de zeolietkorrels, nadat ze beladen zijn, geregenereerd met ozongas. Regeneratie van zeolietkorrels met ozon is nieuw, waarbij de *proof-of-principle* al wel is bewezen op laboratoriumschaal [12] [13].

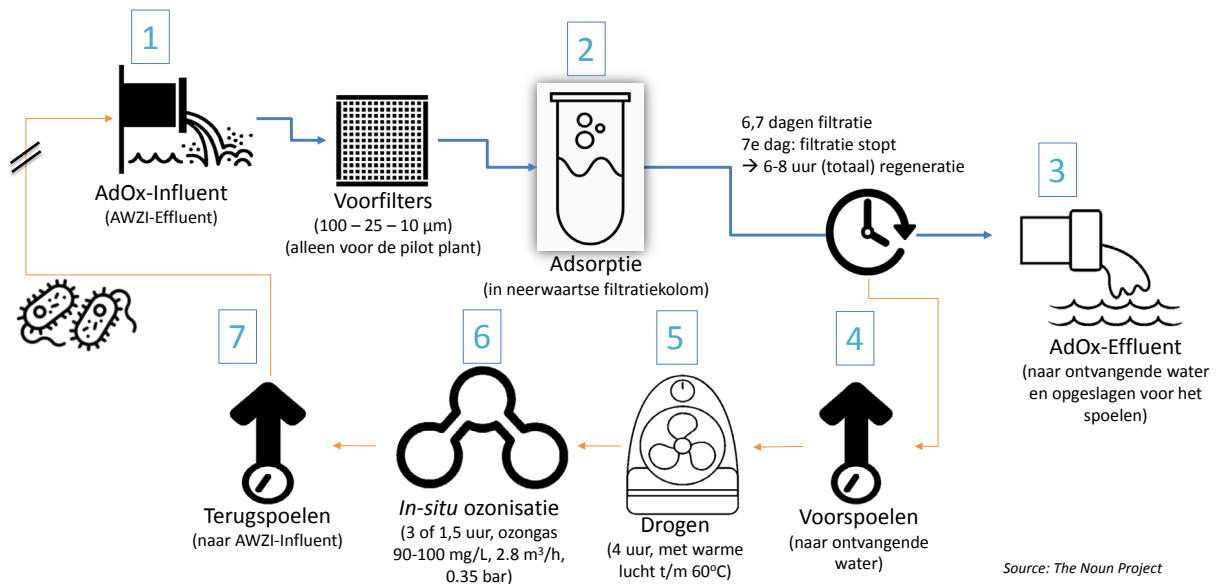
De combinatie van adsorptie met zeolieten en on-site regeneratie met ozon biedt voordelen voor de verwijdering van microverontreinigingen in vergelijking met andere technieken [7]:

- Een lage CO<sub>2</sub>-footprint
- Concurrerende kosten
- Geen vorming van bij- en nevenproducten in het behandelde AWZI- effluent doordat geen ozon wordt gedoseerd in de hoofdstroom (AWZI-effluent): ozon wordt als gas direct aan de verzadigde zeolietkorrels gedoseerd buiten de behandeling van AWZI-effluent om

## 2.2 PROCESBESCHRIJVING EN -INSTELLINGEN

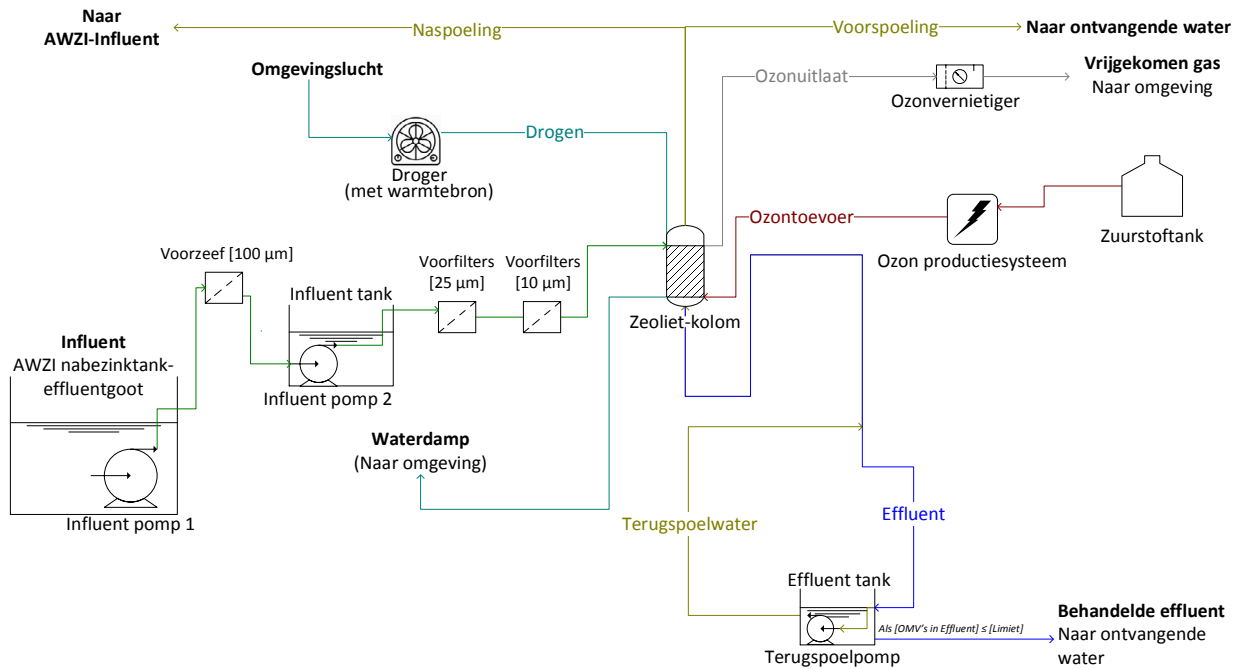
Het processchema van de AdOx pilot plant bestaat uit zeven stappen, zoals afgebeeld in Figuur 2.2.

FIGUUR 2.2 ADSORPTIE-REGENERATIE CYCLI VAN ADOX PILOT PLANT



In de adsorptiefase wordt het zeolietfilter neerwaarts bedreven. Het AWZI-effluent als AdOx-influent passeert eerst een automatisch pre-strainer (100 µm), daarna een reactor met zeven kaarsenfilters (25 µm) en tenslotte zes individuele kaarsenfilters (10 µm) in een opstelling van twee parallelle straten met drie filters in serie. Deze voorfiltratie wordt toegepast in de pilot plant om verstopping van het zeolietfilter en frequent terugspelen te voorkomen. Met een slijtvaste zeolietkorrels zal dit in een *full-scale* installatie waarschijnlijk niet nodig zijn: frequent terugspoelen is dan mogelijk. Nadat het zeolietfilter is verzadigd wordt het eerst teruggespoeld (*voorspoeling*), hiervoor wordt effluent van het zeolietfilter gebruikt. Doel van de voorspoeling is om vaste deeltjes en biofilmmateriaal uit het zeolietfilter te verwijderen, en daarmee de hydraulische weerstand te verlagen. Ook wordt voorkomen dat ozonconsumptie plaatsvindt door oxidatie van organisch materiaal en biomassa in het zeolietfilter. Na voorspoelen wordt het filter gedraineerd (tot vochtgehalte 40% w/w) en met warme lucht gedroogd (tot een vochtgehalte van 20%). Drogen is essentieel om de regeneratie met ozon effectief te laten verlopen. Door drogen van het filter is diffusie van ozon in de waterfase geen limiterende stap. Vervolgens wordt ozongas door het filter geleid waardoor geadsorbeerde microverontreinigingen worden geoxideerd. Na beëindiging van de regeneratie met ozongas wordt het filter teruggespoeld met effluent van het zeolietfilter (*naspoeling*), en daarna weer in bedrijf genomen voor de adsorptie van microverontreinigingen. Doel van de naspoeling is om eventuele resten van oxidatieproducten uit het zeolietfilter te spoelen voordat het weer in gebruik wordt genomen in de adsorptiefase. Het proces flow diagram tijdens adsorptie en regeneratie is weergegeven in Figuur 2.3.

FIGUUR 2.3 PROCES FLOW DIAGRAM TIJDENS ADSORPTIE EN REGENERATIE



Vóór en na elke ozonregeneratie wordt het zeolietfilter gespoeld (2-3 bedvolumes). Het terugspoelwater en drainagewater van vóór de regeneratie is vrij van organische microverontreinigingen doordat teruggespoeld wordt met effluent van het zeolietfilter. Dit voorspoelwater bevat slechts in het filter geaccumuleerde deeltjes en kan aan het effluent van de AWZI worden toegevoegd. Het terugspoelwater na de regeneratie kan mogelijk enige resten van oxidatie bijproducten bevatten (met een minder complexe structuur dan de oorspronkelijke microverontreinigingen door de ozonisatie) en afbraakproducten van natuurlijk organisch materiaal. Deze afbraakproducten kunnen in zeer beperkte mate ontstaan doordat de zeolietkolom na drogen nog een restgehalte water bevat (drainage en drogen tot 20%) dat DOC bevat en in contact komt met het ozongas waarbij DOC met ozongas kan reageren. Door de te verwachten omzetting van DOC naar BDOC (*biodegradable organic matter*) kan dit naar het influent van de AWZI worden geleid en biologisch afgebroken worden in de AWZI. Laboratoriumonderzoek heeft aangetoond dat de concentraties in het terugspoelwater na de ozonregeneratie vrijwel niet meetbaar zijn [12] [13] terwijl het bijmengen van een 2-3 bedvolumes terugspoelwater met het AWZI-influent resulteert in een verdunning met factor 500.

## 2.3 MATERIALEN EN PROCESINSTALLATIES

### 2.3.1 DIMENSIONERING

De dimensionering van de AdOx pilot plant is weergegeven in Tabel 2.1. De filtratie-onderdelen zijn gebouwd door Jotem, de ozonapparatuur (ozongenerator, ozondestructor, ozon-in- en -out-gas sensors) is geleverd door Xylem. De installatie was opgesteld in een zeecontainer met uitzondering van de 100 µm pre-strainer en het zeolietfilter.

TABEL 2.1 DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN ADOX PILOT PLANT

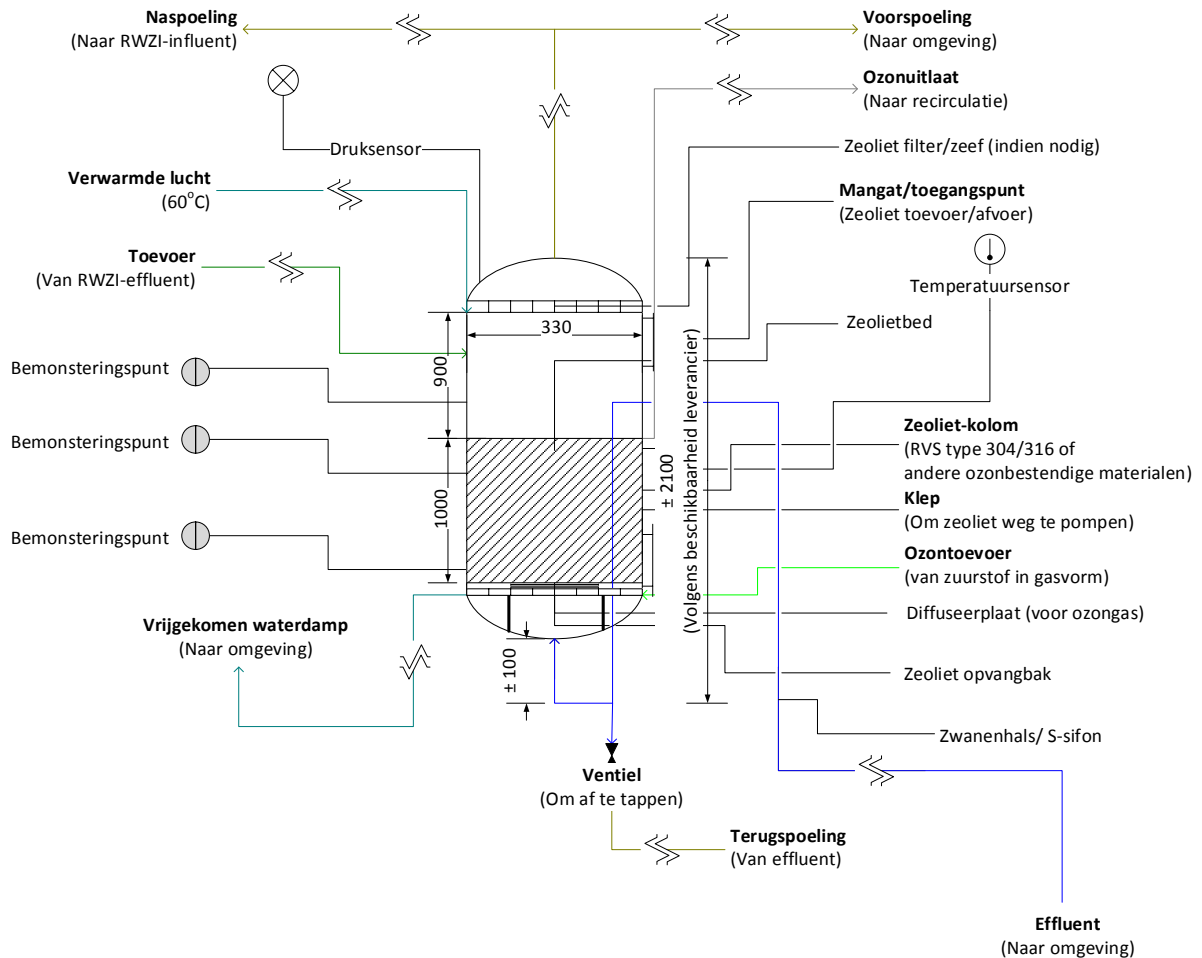
Parameter	Eenheid	Dimensionering
<b>Adsorptie</b>		
Debiet AdOx-influent (gebruik effluent AWZI Leiden-Noord)	m <sup>3</sup> /uur	0,3-0,5
EBCT	min	10-15
Diameter zeolietkolom	m	0,33
Hoogte zeolietkolom	m	1,90
Zeoliet bedhoogte	m	1,0
Kolomvolume	m <sup>3</sup>	0,16
Zeoliet bedvolume	m <sup>3</sup>	0,07-0,09
Filtratiesnelheid	m/uur	5,9-11,7
Zeoliet gewicht	kg	51
Zeoliet korreldiameter	mm	1-2
Zeoliet korrellengte	mm	3-5
<i>Totale adsorptieduur</i>	uur	160
<b>Regeneratie</b>		
<i>Terugspoelen</i>		
Terugspoelsnelheid	m/uur	11,7-23,4
Terugspoeldebiet	m <sup>3</sup> /uur	0,8 – 1,2
Voor- en naspoevolume	m <sup>3</sup>	1
Voor- en naspoe duur	min	15
Volume effluent buffertank	m <sup>3</sup>	1,5
<i>Drogen kolom</i>		
Temperatuur	°C	53-60
Luchtdebiet	L/min	4-6
Duur	uur	5
<i>Ozonisatie</i>		
Ozongasconcentratie	mg/L	90-100
Ozongas debiet	m <sup>3</sup> /uur	2,8
Ozonisatieduur	uur	1,5-3
<i>Totale regeneratieduur</i>	uur	≤ 8

In de operationele periode is afgeweken op de volgende oorspronkelijke ontwerp uitgangspunten in het Plan van Aanpak:

- EBCT: een EBCT van 10 min en 15 min is gehanteerd. Wegens lagere verwijdering dan verwacht is een EBCT van 5 min niet toegepast;
- Ozonregeneratie: de duur van de ozonregeneratie is na een aantal adsorptie-regeneratie cycli verlaagd van 3 uur naar 1,5 uur omdat in het *off-gas* al snel een hoge ozonconcentratie aanwezig was;
- Drogen: de blowercapaciteit was onvoldoende om een temperatuur van 60-80°C te bereiken. De gehanteerde temperatuur is 53-60°C.

Figuur 2.4 geeft in detail de dimensies van de zeoliet kolom weer.

FIGUUR 2.4 DE ZEOLIETKOLOM



### 2.3.2 TYPE ZEOLIET

In het laboratorium onderzoek, uitgevoerd voorafgaande aan het pilot plant onderzoek, zijn in batch- en kolom- experimenten vier typen “high-silica” synthetische zeolieten gebruikt in poedervorm: Beta (BEA), Modernite (MOR), ZSM-5 of Mobile-5 (MFI) en Faujasite (FAU) [10] [12] [13] [14]. In kolomexperimenten op laboratoriumschaal is gebruik gemaakt van een mix van BEA en MOR (50%/50%) en een mix van BEA, MOR en MFI (33%/33%/33%) die met bentoniet als bindmiddel (15% w/w) tot korrels werden gevormd met een 3D-printer, en daarna gesinterd werden om mechanische sterkte te bereiken [12] [13].

Voor de AdOx pilot plant is gebruik gemaakt van één high-silica zeoliet van de leverancier Zeolyst. Voor het maken van korrels was een extrusieproces toegepast (de 3D-printing capaciteit was te laag). Ook hier werd bentoniet gebruikt als bindmiddel (ca. 15% w/w) en werden de korrels op mechanische sterkte gebracht door ze te sinteren. Via deze methode werden korrels geproduceerd met diameter van 1 mm (constant) en een lengte van 3-5 mm. In specifieke actieve kool (bijv. Norit “hagelslagkool”) is dit ook een toegepaste vorm. De dichtheid van het korrelbed (“bulk density”) varieerde tussen 1600 en 1860 kg/m<sup>3</sup>.

FIGUUR 2.5

ZEOLIETKORRELS VOOR DE PILOT PLANT



### 2.3.3 VOORFILTRATIESYSTEEM VOOR DE PILOT PLANT INSTALLATIE

Om de zeolietkorrels te beschermen tegen slijtage, en ook omdat een extra automatisering vraagt van de pilot plant gedurende 6 dagen standtijd van het filter, was het noodzakelijk terugspoelen van het filter tijdens een adsorptiecyclus te voorkomen. Mechanische sterkte van de zeolietkorrels en slijtage waren immers geen specifieke kennisvragen. Om terugspoelen te voorkomen is een drietraps voorfiltratie toegepast (zie ook Figuur 2.3):

- Een pre-strainer (twee screen cilinders, 100  $\mu\text{m}$  poriegrootte): dit filter met automatische terugspoeling filtreerde het AWZI-effluent, onttrokken uit de nabezinktank met een dompelpomp. Het filtraat werd opgeslagen in de influenttank. Het filtraat werd ook gebruikt om de pre-strainer te spoelen (ieder 30 minuten gedurende 15 seconden);
- Een kaarsenfilterkolom met zeven kaarsenfilters, 25  $\mu\text{m}$  poriegrootte, 40 cm hoog: deze kolom filtreerde het water uit de influenttank. Met twee manometers werd de drukopbouw gemeten als indicator voor vervanging, wat eenmaal per twee weken plaats vond. In het oorspronkelijke ontwerp was uitgegaan van een zakkenfilter (25  $\mu\text{m}$  poriegrootte) maar deze bleek al na 15 minuten verstopt te raken;
- Twee parallelle straten met drie kaarsenfilters, 10  $\mu\text{m}$  poriegrootte, hoogte 20 cm: deze filters fungeerden als *polishing* stap voordat het water naar het zeolietfilter werd geleid. Ook hier werd de drukopbouw gebruikt als indicator voor vervanging van de kaarsenfilters, wat eenmaal per twee weken plaatsvond.

## 3

## PILOT PLANT ONDERZOEK EN UITVOERING

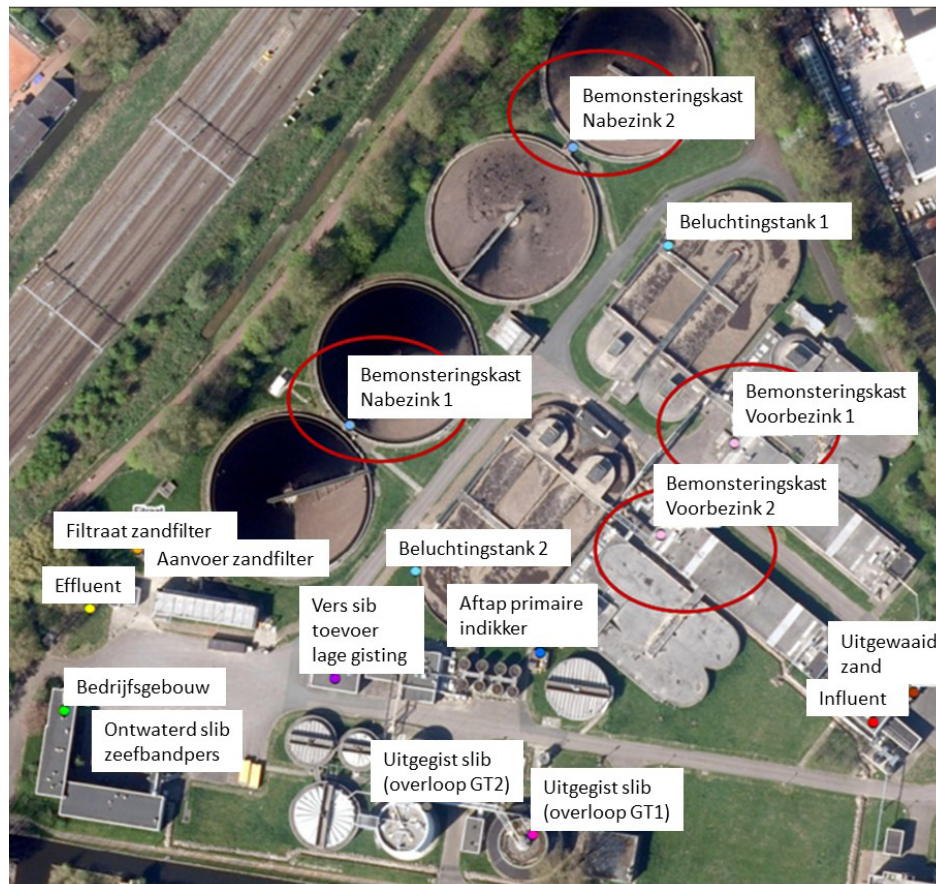
## 3.1 ONDERZOEKSLOCATIE: AWZI LEIDEN-NOORD

De pilot plant is geplaatst op de AWZI Leiden-Noord die valt onder de verantwoordelijkheid van het Hoogheemraadschap Rijnland. Deze traditionele AWZI werkt met voorbezinktanks, voordennitrificatie, actief slib, nabezinktanks en slibgisting. Het ontvangende oppervlaktewater is de Slaaghsloot (Stinksloot). Figuur 3.1 toont een “bird’s eye” view van de AWZI met alle componenten. Kengetallen van de AWZI zijn weergegeven in Tabel 3.1.

TABEL 3.1 CAPACITEIT VAN AWZI LEIDEN-NOORD

Parameter	Eenheid	Waarde
Belasting	i.e. (150 g O <sub>2</sub> /i.e)	167.984
Jaardebiet (2020)	m <sup>3</sup> /jaar	12.172.750
Gemiddeld uur debiet (actueel)	m <sup>3</sup> /uur	1390
Droogweerafvoer DWA (ontwerp)	m <sup>3</sup> /uur	1909
Regenweerafvoer RWA (ontwerp)	m <sup>3</sup> /uur	4914
Max. hydraulische capaciteit	m <sup>3</sup> /uur	5200
RWA/DWA piekfactor	-	2,6

FIGUUR 3.1 AWZI LEIDEN-NOORD (BRON: PAUL VERSTEEG, HH RIJNLAND)





AWZI Leiden-Noord is aangemerkt als een *hotspot*, volgens STOWA hotspotanalyse 2017, want het effluent en het ontvangende oppervlaktewater bevatten hoge concentraties aan microverontreinigingen, waaronder medicijnresten [15]. De medicijnresten zijn vooral afkomstig uit de afvoeren van twee grote ziekenhuizen, Alrijne Leiderdorp en Alrijne Leiden, die op deze AWZI lozen. Dit is een afwijking van het gebruikelijk beeld dat medicijnresten vooral afkomstig zijn uit huishoudens [16].

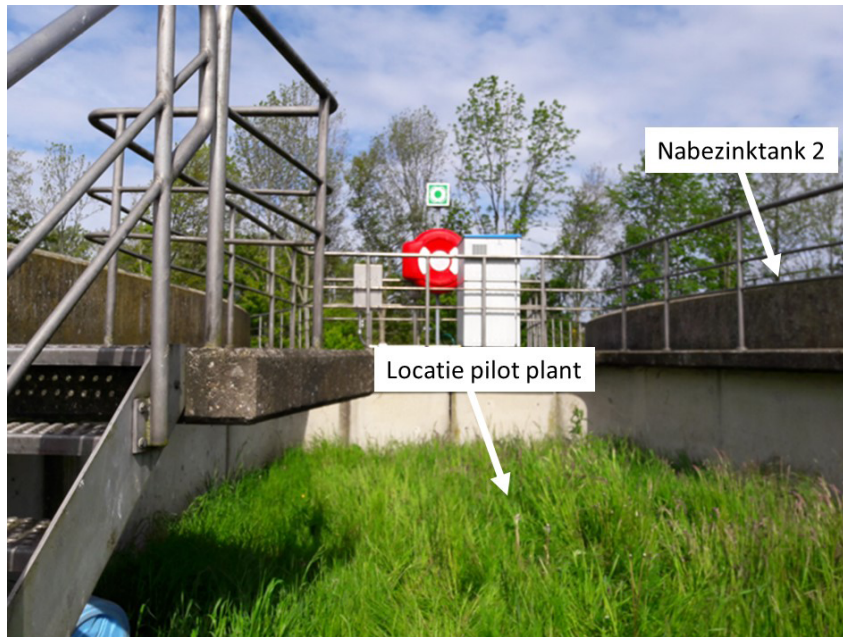
**TABEL 3.2** GEMIDDELTE AWZI-INFLUENTCONCENTRATIE VAN OMV UIT LEIDEN-NOORD, FEB – MAR 2023 (BRON: PAUL VERSTEEG & ANNA KOENIS, HH RIJNLAND)

OMV	Meetwaarde (µg/L)
1,2,3-benzotriazol	3
Amisulpride	0.14
Azitromycine	0.64
Candesartan	0.21
Carbamazepine	0.26
Citalopram	0.17
Claritromycine	0.3
Diclofenac	0.36
Furosemide	1
Gabapentine	2.3
Hydrochloorthiazide	1.1
Irbesartan	0.6
Metoprolol	0.93
Propranolol	0.06
Sotalol	1
Sulfamethoxazol	0.48
Trimethoprim	0.12
Venlafaxine	0.23

De zuiveringsinstallatie was op het moment van het AdOx pilot plant onderzoek in voorbereiding voor een volledige PACAS-installatie. De zuiveringsinstallatie heeft twee hoofdstromen, waarvan één stroom sinds september 2021 met PACAS wordt behandeld. De AdOx pilot plant gebruikte de andere stroom zonder PACAS behandeling. Effluent uit nabezinker 2 werd gebruikt als influent voor de AdOx pilot plant (Figuur 3.2). Deze stroom was beschikbaar tot juli 2023, waarna ook deze met PACAS werd behandeld en het AdOx pilot plant onderzoek moest worden afgesloten.

FIGUUR 3.2

ADOX PILOT PLANT LOCATIE BIJ AWZI LEIDEN-NOORD, VOEDING UI NABEZINKTANK 2



## 3.2 KENNISVRAGEN

In het Plan van Aanpak voor het AdOx pilot plant onderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

### 3.2.1 KENNISVRAGEN OVER ADSORPTIE VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN MET ZEOLIETEN

- Wat is de verwijdering van de gidsstoffen en andere OMV's met zeolieten?
- Welke EBCT kan gerealiseerd waarbij de verwijdering van de gidsstoffen voldoet aan de IPMV doelstelling?
- Blijft de verwijderingscapaciteit op niveau na meerdere cycli van adsorptie en regeneratie?
- Treedt uitspoeling van zeolietkorrels op tijdens de periodieke terugspoeling van het zeolietfilter?
- Hoe zal de samenstelling AWZI-effluent, zoals DOC, pH, ionen en andere specifieke stoffen, de verwijdering beïnvloeden?

### 3.2.2 KENNISVRAGEN OVER REGENERATIE VAN ZEOLIETEN MET OZON

- Wat is de regeneratie efficiëntie gedurende meerdere cycli van adsorptie en regeneratie?
- Wat is het verlies aan adsorptiecapaciteit van de zeolieten na een langere periode van adsorptie-regeneratie?
- Heeft een wisselende samenstelling van afvalwater, en wisselende hydraulische belasting, effect op het regeneratieproces?
- Wat zijn de optimale regeneratie condities met betrekking tot ozongas concentratie, ozongas debiet, en duur van de regeneratie?
- Wat is de concentratie aan bromaat als oxidatie bijproduct in het terugspoelwater van het zeolietfilter na ozonregeneratie (het naspoelwater, ter verificatie van de veronderstelling dat dit minimaal is)?

### 3.2.3 KENNISVRAGEN OVER DE BEOORDELING VAN DE GEHELE TECHNOLOGIE (ADSORPTIE-REGENERATIE)

- Wat is de CO<sub>2</sub> footprint van de technologie?
- Wat zijn de kosten van de technologie (stichtingskosten en operationele kosten)?
- Wat is de reductie van ecotoxicologische risico's van de technologie?

### 3.3 TESTPERIODE

Hoewel de componenten van de pilot plant in november – december 2022 werden geleverd op de AWZI Leiden-Noord, heeft de operationele bedrijfsvoering van de pilot plaatsgevonden in de periode maart – juni 2023. In de periode december 2022 – februari 2023 is veel tijd besteed aan het oplossen van kinderziektes en tekortkomingen in het ontwerp:

- De onderwater influentpomp (dompelpomp) ging meerdere keren in storting
- Het influent debiet naar de pilot plant was instabiel (zie ook Tabel 4.1)
- De blower om de zeolietkolom te drogen vóór regeneratie had een te lage capaciteit (<40 °C) en is aangepast door het gebruik van twee heaters in de luchttoevoer waarmee uiteindelijk een temperatuur bereikt kon worden van 53-60 °C
- Het oorspronkelijke voorfiltratiesysteem bleek niet te werken en verstopte te snel, en moest worden uitgebreid tot een drietrapsysteem zoals beschreven in hoofdstuk 2.2
- Uit veiligheidsoverwegingen werd door Jotem geëist dat een PSV (*pressure safety valve*) in het ozongedeelte van de pilot plant werd opgenomen, dit was aanvankelijk niet in het ontwerp en Programma van Eisen opgenomen

Uiteindelijk is het gelukt om gedurende een periode van elf weken de pilot plant operationeel te hebben en daarmee elf cycli van adsorptie-regeneratie door te meten. De instellingen zijn weergegeven in Tabel 3.3.

TABEL 3.3 INSTELLINGEN ADSORPTIE- EN REGENERATIEFASE IN 11 CYCLI

Cyclus	EBCT adsorptiefase (min)	Ozonregeneratie duur (uur)
1	10	3
2	10	3
3	10	3
4	10	3
5	10	3
6	10	3
7	10	3
8	10	3
9	10	1,5
10	10	1,5
11	15	1,5

### 3.4 ANALYSEPROGRAMMA

Het analyseprogramma is in detail beschreven in het Plan van Aanpak. Analyses zijn uitgevoerd door het Waterlab van de TU Delft en door Het Waterlaboratorium (HWL) in Haarlem.

Door het Waterlab TU Delft is gemeten:

- Dagelijks OMVs (LC-MS): AdOx-influent – AdOx-effluent
- Eénmaal per twee weken DOC: AdOx-influent – AdOx-effluent

Door HWL is gemeten:

- Wekelijks OMVs (LC-MS): AdOx-influent – AdOx-effluent
- Driemaal bioassays ten behoeve van ecotoxiciteitmeting gedurende de proefperiode: AdOx-influent – AdOx-effluent
- Viermaal een uitgebreide screening met QTOF ten behoeve van een non-target screening: AdOx-influent – AdOx-effluent
- Eénmaal bromaat: in voorspoelwater zeolietkolom (voorspoeling voor regeneratie, dit is in feite het AdOx-effluent dat als spoelwater werd gebruikt) en naspoelwater zeolietkolom (na regeneratie). Gezien de resultaten van het labonderzoek zijn andere oxidatie bijproducten en afbraakproducten van natuurlijk organisch materiaal in het spoelwater niet geanalyseerd (zie paragraaf 2.2)

In opdracht van Stowa zijn tevens PFAS-analyses uitgevoerd (AdOx-influent en AdOx-effluent) en is de antibioticaresistentie gemeten (AdOx-influent en AdOx-effluent).

De OMV's die zijn gemeten door het Waterlab TU Delft en HWL zijn weergegeven in Tabel 3.4.

**TABEL 3.4** OMV ANALYSES DOOR WATERLAB TU DELFT EN HWL

OMV	Gidsstof	Monitoringsstof	Waterlab TUDelft	HWL
amilsulpride				✓
azithromycine		✓	✓	✓
1-h benzotriazole	✓		✓	✓
4,5-methyl benzotriazole	✓		✓	✓
candesartan		✓		✓
carbamazepine	✓		✓	✓
citalopram				✓
clarithromycin		✓	✓	✓
diclofenac	✓		✓	✓
furosemide				✓
gabapentine	✓		✓	✓
hydrochlorothiazide	✓		✓	✓
irbesartan	✓		✓	✓
metoprolol	✓		✓	✓
propranolol		✓	✓	✓
sotalol	✓		✓	✓
sulfamethoxazole		✓	✓	✓
trimethoprim	✓		✓	✓
venlafaxine	✓		✓	✓

De bioassays zijn uitgevoerd door HWL en betreffen de volgende *in vitro* en *in vivo* testen:

- *in vitro*: CALUX-P53, CALUX-PAH, CALUX-ER
- *in vivo*: CALUX-CytoTox

Deze analyses zijn niet uitgevoerd op het terugspoelwater na regeneratie dat mogelijk restanten ozon, bromaat en afbraakproducten van de oxidatie kunnen bevatten. Zoals blijkt uit paragraaf 4.6 treedt echter een zodanige verdunning op met AWZI-effluent (factor 640) dat deze restanten niet traceerbaar zullen zijn.

### 3.5 MONSTERNAMES

#### 3.5.1 OMV MONSTERNAME

De dagelijkse bemonstering van OMVs ten behoeve van analyse door het Waterlab TU Delft is op de volgende manier uitgevoerd:

- monsters (AdOx-influent en AdOx-effluent) werden elke drie uur genomen met behulp van een autosampler. Met een constant debiet door de pilot plant is deze tijdproportionele bemonstering dus ook volumeproportioneel;
- vier monsters werden samengevoegd tot een halve-dag monster;
- veertien halve-dag monsters beslaan daarmee één week filtratie waarmee doorslagprofielen tussen opeenvolgende regeneraties opgesteld konden worden.

De bemonstering van OMV's ten behoeve van analyse door HWL is op de volgende manier uitgevoerd:

- monsters (AdOx-influent en -effluent) werden elke drie uur genomen met behulp van een autosampler;
- alle monsters van één week filtratie (tussen twee opeenvolgende regeneraties) werden samengevoegd tot één wekelijks monster waarmee de gemiddelde verwijdering over een looptijd tussen twee opeenvolgende regeneraties kon worden vastgesteld.

#### 3.5.2 MONSTERNAME VOOR BIOASSAYS EN NON-TARGET SCREENING

De "left-overs" van de gemengde wekelijkse OMV's monsters voor de HWL analyse werden aangevuld tot vier liter met steekmonsters direct van het monsterpunt AdOx-influent en -effluent.

#### 3.5.3 DOC MONSTERNAME

DOC monsters werden op dezelfde manier genomen en samengesteld als OMV monsters voor de HWL analyse:

- monsters (AdOx-influent en -effluent) werden elke drie uur genomen met behulp van een autosampler;
- alle monsters van één week filtratie werden samengevoegd tot één wekelijks monster waarmee de gemiddelde verwijdering over een looptijd tussen twee opeenvolgende regeneraties kon worden vastgesteld;
- voor negen adsorptie-regeneratie cycli zijn deze twee monsters (AdOx-influent en -effluent) geanalyseerd op DOC.

### 3.6 VERWERKING MEETRESULTATEN

De monstername en berekeningen van de verwijderingsrendementen zijn uitgevoerd zoals voorgeschreven door STOWA [17]. Wanneer stoffen werden gemeten onder de rapportagegrens (detectiegrens van het Waterlab) is een substitutiewaarde berekend op basis van de Volkert-Bakker methode. In deze methode worden het aantal waarnemingen lager dan de rapportagegrens uitgedrukt in een percentage ten opzichte van het totale aantal waarnemingen. Dit betekent dat een grotere percentage een lagere waarde van rapportagegrens geeft [18].

## 4

## RESULTATEN

## 4.1 ONDERZOEKSPERIODE

De operationele periode van de pilot plant liep van 16 maart tot 23 juni 2023, met 11 succesvolle wekelijkse adsorptie-regeneratie cycli. In totaal heeft de pilot plant 647 m<sup>3</sup> AWZI-effluent behandeld. De eerste 10 cycli werden uitgevoerd met een EBCT van 10 minuten, en de laatste met 15 minuten. De operationele condities zijn samengevat in tabel Tabel 4.1. De variatie in het behandelde volume per cyclus is veroorzaakt door storing en uitval van de pilot plant. Cycli 7 en 11 zijn tussentijds onderbroken geweest door technische storingen. Cyclus 11 was de laatste cyclus, daarna is geen regeneratie meer uitgevoerd.

TABEL 4.1 OPERATIONELE CONDITIES VAN DE ADOX-PILOT PLANT (11 CYCLI)

Fase	Cyclus	Start (Datum)	Einde (Datum)	Volume per cyclus (m <sup>3</sup> )	Droog- temper- atuur (°C)	Ozonisatie			Druk tijdens de lopende filtratie			
						(Gasdebiet = 2.8 m <sup>3</sup> /u, druk = 0,4 bar)			Filter- Pomp (bar)	Voorfilters (bar)		
						Duur (h)	[In-gas] (g/Nm <sup>3</sup> )	[Off-gas] (g/Nm <sup>3</sup> )		Pre-strainer 100 µm	25 µm	10 µm
1 EBCT= 10min. Q= 0.5 m <sup>3</sup> /u Ozonisatie= 3u	0	9-3	16-3	-	-	-	-	-	1,8	1	0	0
	1	16-3	23-3	33,53	35	2,5	94,5	76,9	1,6	1,1	0	0
	2	27-3	3-4	51,9	36	2,5	100,5	80,6	1,8	1	0,5	0,5
	3	4-4	11-4	95	42	3	100	76,3	1,6	1	0,3	0,2
	4	11-4	18-4	77,8	45	3	100	81,7	2	1	1	0,5
	5	18-4	25-4	80,7	42,7	3	100	76,1	1,7	1	0,3	0,2
	6	25-4	2-5	53,5	51	3	100	78,1	1,8	1	1,5	1
	7	2-5	9-5	10,7	-	-	-	-	1,6	1,6	0,3	0,2
-*	16-5	23-5	10,7	53	3	100	80,2	1,8	1,6	1	0,5	
2 EBCT= 10min. Q = 0.5 m <sup>3</sup> /u Ozonisatie= 1.5u	8	23-5	30-5	37,2	50,6	1,5	100	53	1,8	1,6	0,1	0,1
	9	30-5	6-6	80,4	54,2	1,5	100	26,8	1,8	1,6	0	0
	10	6-6	13-6	80,9	61,8	1,5	100	4	1,8	1,6	0,2	0,1
3 EBCT= 15min. Q = 0.3 m <sup>3</sup> /u	11	13-6	14-6	-	-	-	-	-	2,5	1,6	0,2	0,1
	-*	14-6	15-6	-	-	-	-	-	2	1,6	0,2	0,1
	-*	15-6	19-6	-	-	-	-	-	2	1,6	0,2	0,1
	-*	19-6	23-6	36,7	-	-	-	-	1,6	1,6	0,2	0,2

\*: vervolgde belading in dezelfde cyclus met tussentijdse onderbrekingen

## 4.2 GIDSSTOFFEN EN MONITORINGSTOFFEN

De pilot plant testen werden uitgevoerd in drie fasen onder verschillende bedrijfscondities (Tabel 4.1). Het gemiddelde verwijderingspercentage van de gidsstoffen in elf opeenvolgende cycli, berekend uit de HWL-analyses, is weergegeven in Figuur 4.1, en betreft het verwijderingspercentage over de AdOx pilot plant ("nageschakeld rendement") en niet het verwijderingspercentage inclusief de AWZI ("overall rendement"). De bedrijfscondities in de drie fasen en de doorbraakkrommen van de adsorptie zijn weergegeven in Figuur 4.5. De duur van de

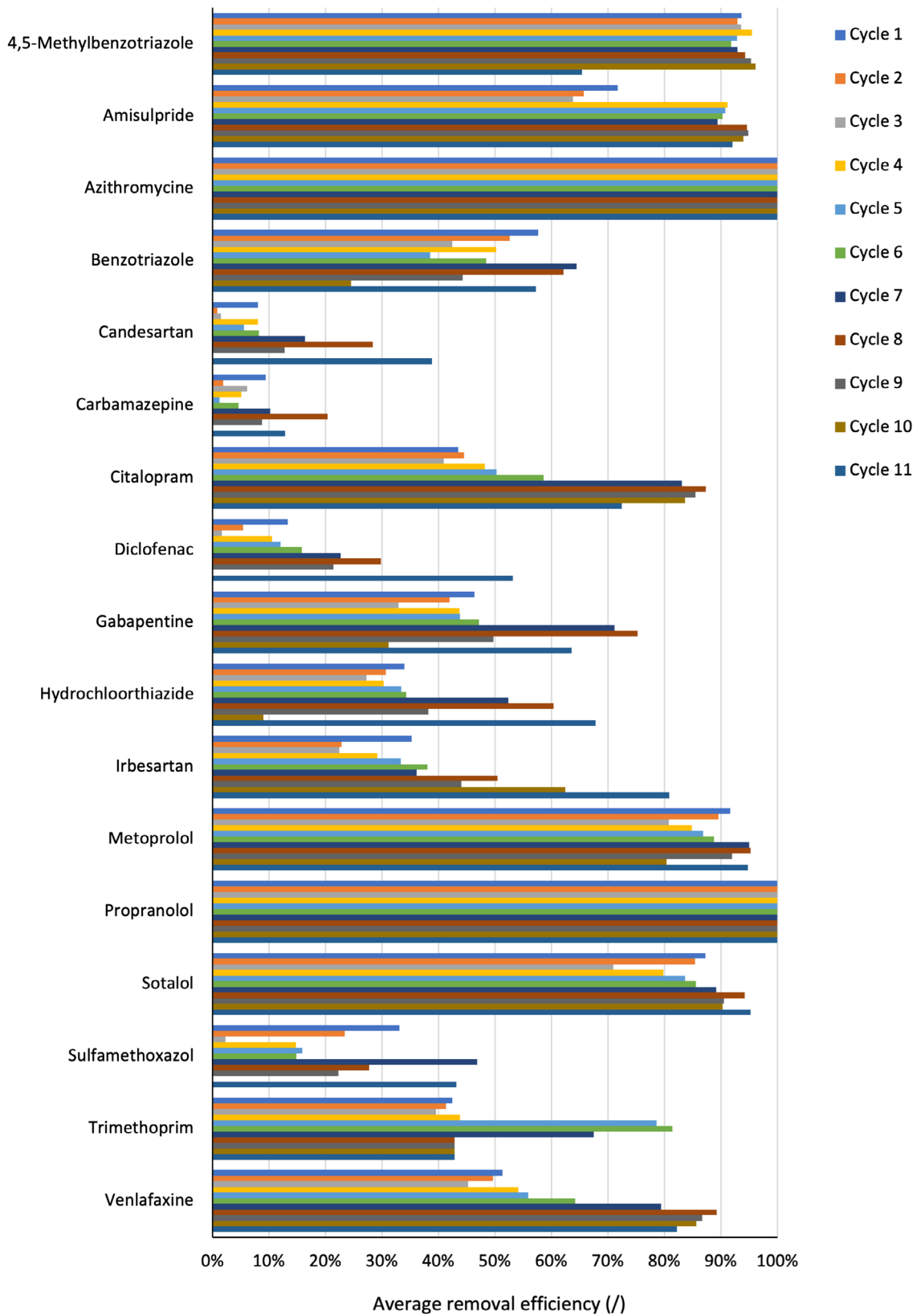
11 cycli waren niet hetzelfde omdat er technische problemen optraden. In Figuur 4.2 toont de horizontale as het totaal aantal behandeld volume, de linker verticale as de verhouding tussen de effluent- en influentconcentratie van de kolom (de monsters werden geanalyseerd met LC-MS van TU Delft), en de rechter verticale as het gemiddelde verwijderingspercentage in elke cyclus, afgeleid uit de HWL-analyses. Zoals voorgeschreven door STOWA, is de Volkert-Bakker methode toegepast om de analyseresultaten te uniformeren met betrekking tot waarden onder de rapportagegrens.

De EU heeft verwijderingsrendementen (“overall rendementen”) voorgesteld voor organische microverontreinigingen, die enigszins verschillen van de Nederlandse stoffen. Er zijn twee categorieën stoffen uit de voorgestelde Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater, zie Tabel 4.2. In Figuur 4.5 zijn metoprolol en benzotriazol geselecteerd uit de gidsstoffen om de prestaties van de AdOx-technologie te beschrijven. De bespreking van de verwijderingsrendementen op basis van de EU-categorie en Nederlandse richtlijn staat in paragraaf 4.2.2.

**TABEL 4.2 DE STOFFENLIJST VAN DE VOORGESTELDE NIEUWE EUROPESE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER IN VERGELIJKING MET DE 11 NEDERLANDSE GIDSSTOFFEN**

<b>Categorie 1 EU</b>	<b>Categorie 2 EU</b>	<b>Gidsstoffen NL</b>
Amisulpride	Benzotriazol	carbamazepine
carbamazepine	candesartan	diclofenac
citalopram	irbesartan	hydrochloorthiazide
clarithromycine	som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazol	metoprolol
diclofenac		venlafaxine
hydrochloorthiazide		1,2,3-benzotriazol
metoprolol		irbesartan
venlafaxine		som 4- en 5-methyl-1H-benzotriazol
		gabapentine
		sotalol
		thrimethoprim

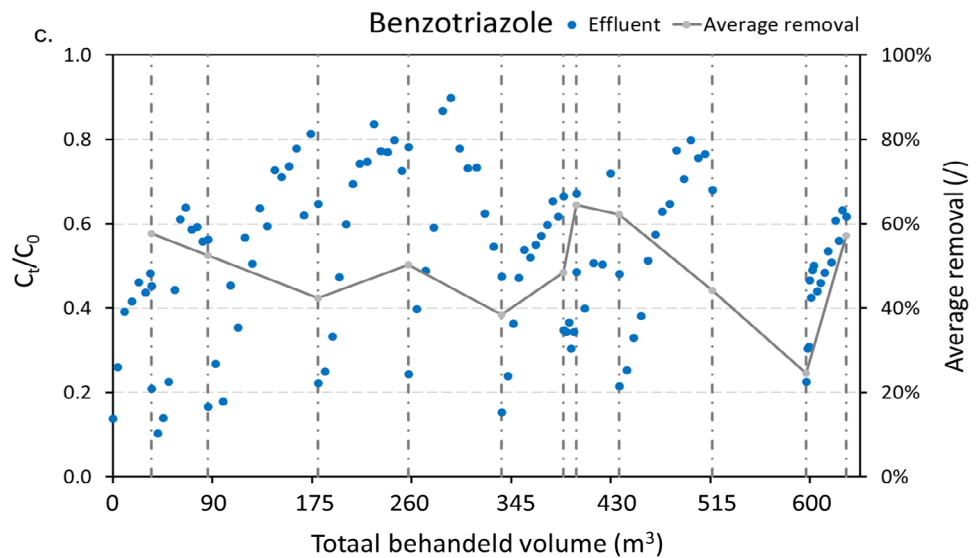
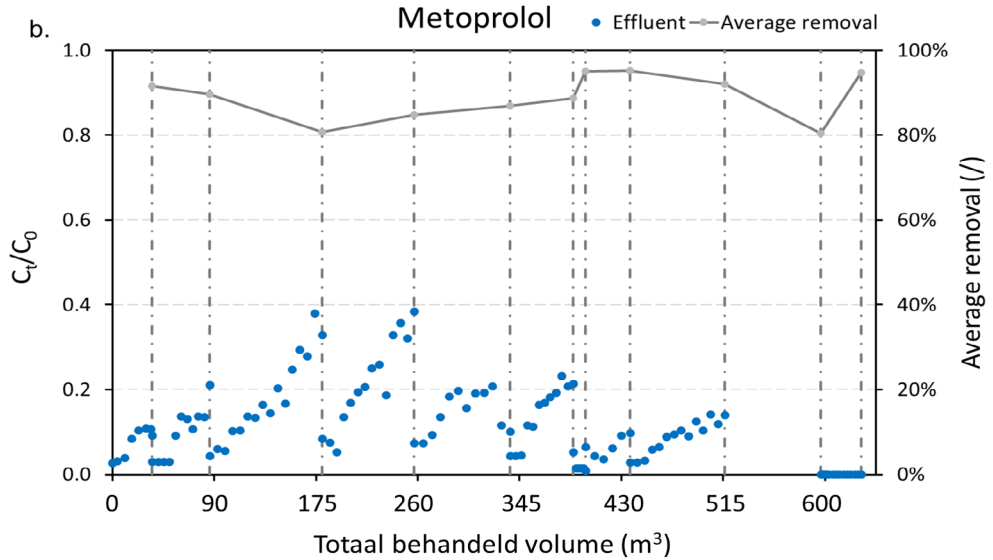
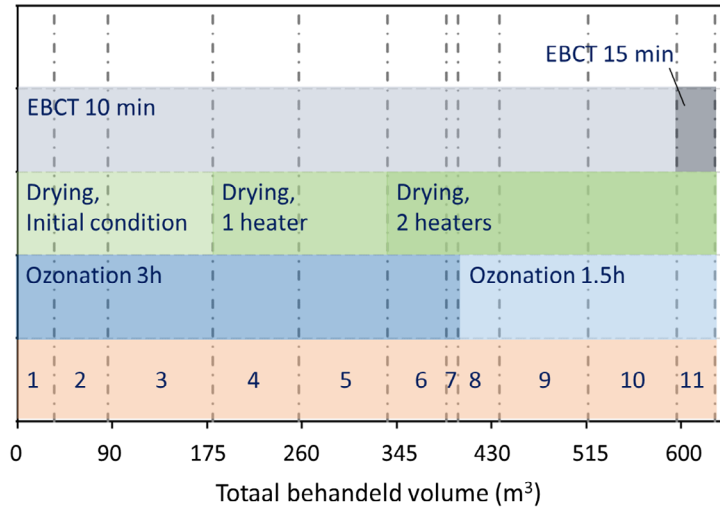
FIGUUR 4.1 GEMIDDELDE NAGESCHAKELDE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN DE GIDS- EN MONITORINGSSTOFFEN IN 11 OPEENVOLGENDE CYCLI





FIGUUR 4.2 ILLUSTRATIE VAN DE OPERATIONELE CONDITIES GEDURENDE DRIE FASEN (A), DE DOORBRAAKCURVES EN HET NAGESCHAKELDE GEMIDDELDE VERWIJDERINGSPERCENTAGE IN 11 OPEENVOLGENDE CYCLI (B. METOPROLOL, C. BENZOTRIAZOL)

a.



#### 4.2.1 RESULTATEN GEDURENDE DE DRIE FASEN

##### FASE I (EBCT 10 MINUTEN - OZONISATIE 3 UUR)

*Fase I* bestaat uit de eerste zeven cycli. De EBCT was ingesteld op 10 minuten. De ozonisatie duurde drie uur. De effluentconcentratie in elke cyclus startte bij nul voor metoprolol en benzotriazool, wat aangeeft dat de regeneratie met ozongas werkte. De doorslagcurves in de drie opeenvolgende cycli waren niet identiek, maar dat wordt mede veroorzaakt door een wisselende influentconcentratie. Voor metoprolol bedroeg het gemiddelde nageschakelde verwijderingsrendement in Fase I 88%. Na installatie van extra luchtkanaalverwarmers aan het einde van de derde en vijfde cycli, steeg het nageschakelde verwijderingsrendement in de volgende cyclus met 4% en 2%. De dalende verwijderingspercentages voor een aantal gidsstoffen in cycli 1-2-3 (zie figuur 4.1) is mogelijk veroorzaakt geweest door een te lage droogtemperatuur met een lagere verwijdering tot gevolg. Voor benzotriazool bedroeg het gemiddelde nageschakelde verwijderingsrendement in Fase I 51%. De adsorptieprestatie verbeterde lichtjes na installatie van extra warmers.

##### FASE II (EBCT 10 MINUTEN - OZONISATIE 1,5 UUR)

*Fase II* bestaat uit de 8<sup>e</sup> tot en met de 10<sup>e</sup> cyclus. De EBCT was ingesteld op 10 minuten. De ozonduur werd gehalveerd tot 1,5 uur om de duur van het regeneratieproces te verkorten. Deze operationele aanpassing was gebaseerd op de resultaten laboratoriumonderzoek, die aangaven dat de afbraak van organische microverontreinigingen op zeoliet door ozongas in de eerste 1-2 uur kon worden voltooid. De doorbraakcurve van de tiende cyclus was niet beschikbaar in Figuur 4.2, omdat de monsternameautomaat buiten werking was tijdens de tiende cyclus. Voor metoprolol presteerde de adsorptie nog steeds goed in Fase II met een gemiddeld nageschakeld verwijderingsrendement van 90%. Voor benzotriazool bedroeg het gemiddelde nageschakelde verwijderingsrendement in Fase II 44%.

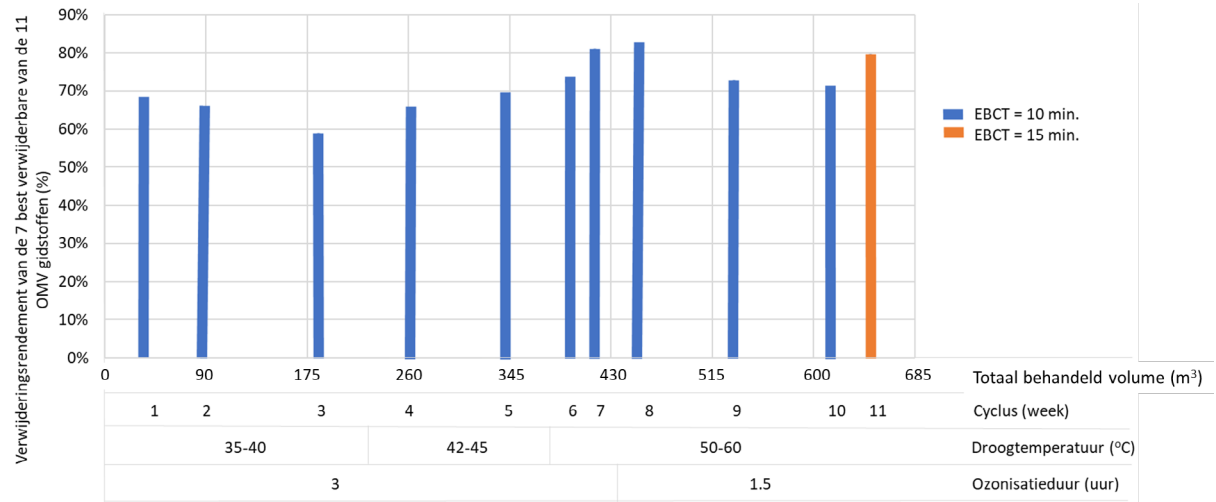
##### FASE III (EBCT 15 MINUTEN - OZONISATIE 1,5 UUR)

*Fase III* is de 11e cyclus. De EBCT werd verhoogd naar 15 minuten. De ozonduur bleef 1,5 uur. Een langere EBCT verhoogde het verwijderingsrendement van een aantal gidsstoffen. De  $C_t/C_0$ -verhouding benaderde 0 voor metoprolol met een verwijderingsrendement van 95%. Het nageschakelde verwijderingsrendement van benzotriazool steeg naar 57%. Omdat Fase III uit slechts één cyclus bestond is geen harde uitspraak te doen over de effectiviteit van een EBCT van 15 minuten over een langere operationele periode met meer opeenvolgende cycli onder deze operationele conditie. Naar verwachting zal echter een langere EBCT een positief effect hebben op het verwijderingsrendement.

#### 4.2.2 DISCUSSIE

Figuur 4.3 toont samengevat de resultaten van de 11 cycli met de gehanteerde bedrijfsinstellingen: EBCT, ozonisatieduur, en droogtemperatuur.

**FIGUUR 4.3 NAGESCHAKELD VERWIJDERINGSPERCENTAGE VAN DE 7 BEST VERWIJDERBARE OMV'S VAN DE 11 GIDSSTOFFEN IN DE ADOX PILOT PLANT (EXCLUSIEF VERWIJDERING IN DE BESTAANDE AWZI). DE EERSTE RIJ VAN DE X-AS BETREFT HET CUMULATIEF BEHANDELD VOLUME (M<sup>3</sup>); DE TWEEDE RIJ DE CYCLI; DE DERDE RIJ DE GEHANTEERDE DROOGTEMPERATUUR; DE VIERDE RIJ DE OZONISATIEDUUR**



- *Invloed van EBCT*

De verwijdering van de gidsstoffen is afhankelijk van de EBCT. De adsorptie van de twee representatieve stoffen verliep beter in Fase III dan in de eerdere cycli, wat aangeeft dat 10 minuten EBCT te kort is voor de adsorptie. Fase III betreft echter slechts één cyclus (11) en zal in vervolgonderzoek geverifieerd moeten worden. Een langere EBCT vereist grotere kolommen, wat leidt tot hogere stichtingskosten.

- *Invloed van ozonisatieduur*

De ozonisatieduur is een belangrijke parameter die de regeneratieprestaties van het zeoliet-filter beïnvloedt. Hoewel het gemiddelde verwijderingsrendement in Fase II licht afnam, steeg het verwijderingsrendement in Fase III (de laatste cyclus) en bereikte het hetzelfde niveau als in Fase I (zoals te zien in Figuur 4.2 b en c), wat aangeeft dat onder de bedrijfscondities van de pilot plant testen 1,5 uur ozonisatie lang genoeg is om de adsorptieplaatsen voor de gidsstoffen te herstellen. Tijdens de regeneratie werd er ook na 1,5 uur ozon in het *off-gas* gemeten, wat aangeeft dat het niet meer voor regeneratie werd gebruikt. Dit biedt dus optimalisatiemogelijkheden voor een verdere verkorting van de regeneratieduur.

- *Invloed van droogtemperatuur*

Het drogingspercentage van de kolom is een andere cruciale parameter. Een hoger drogingspercentage van de kolom kan de regeneratie-efficiëntie verhogen. De gemiddelde droogtemperatuur in de 6<sup>e</sup> tot en met de 9<sup>e</sup> cyclus (na installatie van de tweede verwarming) was 52°C, wat resulteerde in een betere regeneratieprestatie. De droogtemperatuur in de 10<sup>e</sup> cyclus was 62°C, wat leidde tot een toename in het verwijderingsrendement van de 11<sup>e</sup> cyclus.

- *Vergelijking van prestaties onder verschillende bedrijfscondities*

Uit de eerste 10 cycli met EBCT 10 minuten hebben cyclus 8-10 (Fase II) dezelfde bedrijfscondities als cyclus 11 (Fase III) met EBCT 15 minuten (standtijd = 7 dagen, drogen = 4 uur met 2 luchtkanaalverwarmers, temperatuur = 60°C. en ozonisatieduur = 1,5 uur). De verwijderingspercentages van deze twee bedrijfscondities worden daarom met elkaar vergeleken.

De verwijderingsrendementen van de gidsstoffen bij verschillende EBCT's zijn berekend op basis van de HWL-analyses. Voor een looptijd van 7 dagen staan de verwijderingsren-

dementen bij een EBCT van 10 en 15 minuten (respectievelijk Fase II en Fase III) vermeld in Tabellen 4.3 en 4.4. Volgens het nieuwe ontwerp van de Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater moet het verwijderingsrendement worden berekend voor ten minste 6 van de 12 stoffen. De verhouding tussen stoffen uit Categorie 1 en Categorie 2 moet altijd 2:1 zijn. In Tabel 4.3 zijn amisulpride, citalopram, metoprolol en venlafaxine geselecteerd uit Categorie 1; benzotriazol en 4,5-methylbenzotriazool zijn geselecteerd uit Categorie 2. Het gemiddelde nageschakelde verwijderingsrendement was 83% en 77% bij een EBCT van 10 minuten en 15 minuten, en daarmee wordt het vereiste overall verwijderingspercentage van 80% net niet gehaald. De (onverwachte) lagere verwijdering van een aantal gidsstoffen bij een EBCT van 15 minuten ten opzichte van een EBCT van 10 minuten hangt samen met de berekeningswijze in geval de concentraties lager zijn dan de rapportagegrens (Volkert-Bakker methode, zie paragraaf 3.6). Soms is dit wel het geval, soms niet, waardoor dit effect optreedt. Volgens de Nederlandse richtlijn van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat moet het verwijderingsrendement worden berekend voor 7 van de 11 gidsstoffen. Een minimum overall verwijderingsrendement van 70% is nodig volgens deze richtlijn. In Tabel 4.4 zijn gidsstoffen in verschillende combinaties gebruikt om het minimum gemiddelde verwijderingsrendement te bepalen voor de verschillende toegepaste EBCT's. De combinatie van de gidsstoffen is gemarkeerd in grijs. Het gemiddelde verwijderingsrendement was 72% en 79% bij een EBCT van 10 minuten en 15 minuten. Daarmee wordt de overall eis van 70% net gehaald met een EBCT van 15 minuten, maar dit betrof slechts één cyclus.

De nageschakelde verwijderingsrendementen van de gidsstoffen onder verschillende bedrijfscondities (EBCT en looptijd), afgeleid uit de TUD-analyses en HWL-analyses, zijn weergegeven in Tabel 4.5. De analyseresultaten door TUD kwamen goed overeen met die van HWL, wat aangeeft dat de analyses bij TUD goed zijn uitgevoerd. Alle experimenten zijn uitgevoerd met een standtijd van het zeolietfilter van 7 dagen. Doordat over die standtijd doorslagprofielen zijn bepaald (zie bijvoorbeeld Figuur 4.2), is ook een gemiddeld verwijderingsrendement te berekenen bij een (fictieve) standtijd van 5 dagen. Door de looptijd te verkorten van 7 dagen naar 5 dagen, zou het verwijderingsrendement toenemen met 3% - 8% bij zowel een EBCT van 10 minuten als een EBCT van 15 minuten.

Op basis van bovenbeschreven resultaten, waarin de EBCT, ozonisatieduur, adsorptieduur (standtijd) en droogtemperatuur zijn gevarieerd, kan een optimale bedrijfsconditie worden afgeleid. De voorgestelde bedrijfsconditie is een EBCT van minimaal 15 minuten, een adsorptieduur van 7 dagen en een droogtemperatuur boven de 60°C gevolgd door 1,5 uur ozonisatie. Onder deze omstandigheden benadert het gemiddelde nageschakelde verwijderingsrendement veelbelovend de 80%, maar is wel mede afhankelijk door de keuze van de gidsstoffen die worden meegenomen in de berekening. De kosten en de CO<sub>2</sub>-footprint moeten ook worden overwogen, zie Hoofdstuk 7.

TABEL 4.3

NAGESCHAKELDE VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE STOFFEN IN DE EU-RICHTLIJN BIJ VERSCHILLENDE EBCT'S

Categorie EU	Stoffen	Ad0x EBCT 10 min (van Fase II)	Ad0x EBCT 15 min (van Fase III)
Categorie 1	Amisulpride	95%	92%
	Citalopram	85%	72%
	Metoprolol	92%	95%
	Venlafaxine	87%	82%
Categorie 2	Benzotriazool	44%	57%
	4,5-Methylbenzotriazool	95%	65%
	Gemiddelde verwijdering	83%	77%

**TABEL 4.4 NAGESCHAKELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE GIDSSTOFFEN VOLGENS DE NEDERLANDSE RICHTLIJN BIJ VERSCHILLENDE EBCT'S**

Gidsstoffen NL	AdOx EBCT 10 min	AdOx EBCT 15 min
	(Fase II)	(Fase III)
Carbamazepine	9%	13%
Diclofenac	21%	53%
Hydrochloorthiazide	38%	68%
Metoprolol	92%	95%
Venlafaxine	87%	82%
Benzotriazool	44%	57%
Irbesartan	44%	81%
4, 5-methylbenzotriazole	95%	65%
Gabapentine	50%	64%
Sotalol	91%	95%
Trimethoprim	43%	43%
Gemiddelde verwijdering	72%	79%

**TABEL 4.5 NAGESCHAKELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN DE GIDSSTOFFEN ONDER VERSCHILLENDE BEDRIJFSCONDITIE**

OMV categorie	EBCT 10 min (Fase II)			EBCT 15 min (Fase III)		
	5 d (TUD)	7 d (TUD)	7 d (HWL)	5 d (TUD)	7 d (TUD)	7 d (HWL)
Sotalol <sup>3</sup>	92%	91%	91%	100%	100%	95%
Metoprolol <sup>1,3</sup>	92%	91%	92%	100%	100%	95%
Benzotriazool <sup>2,3</sup>	49%	43%	44%	60%	55%	57%
4,5-methyl-benzotriazool <sup>2,3</sup>	100%	100%	95%	61%	60%	65%
Gabapentine <sup>3</sup>	60%	56%	50%	100%	100%	64%
Carbamazepine <sup>1,3</sup>	35%	32%	9%	32%	15%	13%

<sup>1</sup> Categorie 1 EU, <sup>2</sup> Categorie 2 EU, <sup>3</sup> Gidsstoffen NL

De OMV-concentraties zijn soms lager dan de rapportagegrens van de LC-MS machine. In dit geval wordt Volkert-Bakker methode gebruikt (paragraaf 3.6). De effluentconcentraties, berekend met de Volkert-Bakker methode, kunnen lager liggen dan de actuele concentraties, wat resulteert in een overschatting van het verwijderingspercentage. Dit verklaart ook waarom Tabel 4.5 en hogere verwijdering van 4,5-methyl-benzotriazool tijdens Fase II dan Fase III (Cyclus 11) toont. Tijdens Fase II (Cyclus 8, 9, 10) waren de effluentconcentraties lager dan de rapportagegrens, maar tijdens Cyclus 11 was er een werkelijke waarde van de effluent (Bijlage A).

### 4.3 ECOTOXICOLOGIE (BIO-ASSAYS)

Vier sets monsters (AdOx-influent en -effluent) werden geanalyseerd op hun ecotoxiciteitspotentieel met behulp van vier bioassays: Cytotox-CALUX, ER $\alpha$ -CALUX, P53-CALUX en PAH-CALUX. Cytotox meet algemene celschade, ER $\alpha$ -CALUX detecteert oestrogene activiteit (van zowel natuurlijke als kunstmatige hormonen), P53-CALUX meet genotoxiciteit en PAH-CALUX kwantificeert de activering van arylhydrocarbonreceptor (AHR), die betrokken is bij het metabolisme van xenobiotische/vervuilende stoffen [19].

De beoordeling is uitgevoerd door de resultaten te vergelijken met de effect signaalwaarde (*effect based trigger value*; EBT) voor elke assay voor de ecologische kwaliteit van oppervlaktewater [20].

De EBT is als volgt weergegeven in hun eigen assay-eenheden of in giftigheidseenheden (TU):

1. Cytotox-CALUX = 0,05 TU of <80%  
Cytotox-monsters werden 20,000 keer geconcentreerd en vervolgens 10 keer verdund om 0,05 TU te bereiken, of een relatieve verrijgingsfactor (REF) van 20. Als de 10 keer verdunde monsters een respons hadden van minder dan 80%, zou de EBT worden overschreden.
2. ER $\alpha$ -CALUX = 520 pg EEQ/L
3. P53-CALUX = 0,005 TU of 10 ng act-D/L
4. PAH-CALUX = 41 ng BEQ/L

De resultaten voor de AdOx pilot plant zijn weergegeven in Tabel 4.6.

**TABEL 4.6 ECOTOXICITEITSRESULTATEN VAN DE ADOX PILOT PLANT VOOR DRIE BEMONSTERINGSDATA MET BEHULP VAN VIER BIO-ASSAYS**

Analyse	Eenheid	Cyclus	Datum	Rapportwaarde			% verlaging eco-toxiciteit	Opmerking
				AdOx-influent (I)	AdOx-effluent (E)	E - I		
CALUX-CYTOTOX (REF = 20)	%	3	06/06/2023	89	96	7	8%	Geen significante algemene celschade in I en E, lichte verwijdering van cytotoxiciteit door AdOx (= hoger percentage levende cellen)
		6	01/05/2023	100	110	10	10%	
		9	06/04/2023	110	110	0	0%	
CALUX-Er $\alpha$	pg EEQ/L	3	06/06/2023	380	100	-280	74%	Hoge verwijdering van hormonen en andere oestrogene activiteiten door AdOx
		6	01/05/2023	190	40	-150	79%	
		9	06/04/2023	410	510	100	-24%	
CALUX-P53	ng AEQ/L	3	06/06/2023	<10	<10	0	-	Onopgemerkt in I en E
		6	01/05/2023	<10	<10	0	-	
		9	06/04/2023	<10	<10	0	-	
CALUX-PAH	ng BEQ/L	3	06/06/2023	240	230	-10	-4%	Wisselende resultaten, mogelijk door oorspronkelijke activiteiten in de AWZI (overleving, afbraak en/of vorming van metabolieten)
		6	01/05/2023	150	360	210	140%	
		9	06/04/2023	400	170	-230	-58%	

Volgens de EBT voor Cytotox (0,05 TU of REF = 20) was er geen risico op toxiciteitseffecten van AdOx, aangezien alle waarden van zowel AdOx-influent als -effluent boven de 80% lagen. Verder onderzoek met dezelfde monsters, maar dan minder verdund (REF = 200) detecteerde bij een aantal monsters cytotoxiciteit, die afnam (van 2 van de 3 monsters) als gevolg van de AdOx-nabehandeling, zoals te zien in Tabel 4.7.

**TABEL 4.7 CYTOTOX-RESULTATEN VAN DE ADOX PILOT PLANT MET BEHULP VAN ONVERDUNDE MONSTERS (REF = 200)**

Analyse	Eenheid	Datum	Rapport waarde		E - I	% verlaging cyto-toxiciteit
			AdOx-influent (I)	AdOx-effluent (E)		
CALUX-CYTOTOX (REF = 200)	%	06/06/2023	33	62	29	88%
		01/05/2023	28	47	19	68%
		06/04/2023	67	54	-13	-19%

Voor ER $\alpha$ -CALUX was er een scherpe afname van gedetecteerde oestrogeenachtige activiteiten als gevolg van de AdOx-nabehandeling, tot de gangbare waarden voor oppervlaktewater [21]. Het resultaat geeft aan dat AdOx pilot plant goed presteerde in het verwijderen van de aanwezige stoffen metoestrogene activiteit. Er werd geen genotoxiciteit gedetecteerd met P53-CALUX-analyse, hoogstwaarschijnlijk vanwege een lage concentratie afkomstig in AWZI Leiden-Noord zelf (dat werd gebruikt als influent voor AdOx). Voor PAH-CALUX

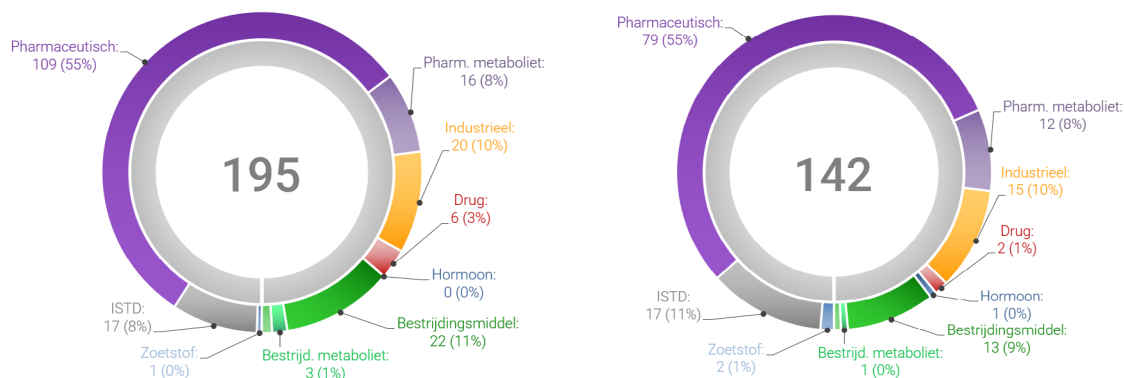
varieerden de resultaten sterk, wat suggereert dat er geen duidelijke verwijdering of activering was van AHR (voor xenobiotische of vervuilende stoffen). Dit was waarschijnlijk te wijten aan de wisselende activiteiten in AWZI Leiden-Noord die voortdurend de overleving en/of vorming van metabolieten veranderen [19] [20]. De resultaten tonen aan dat AdOx meer dan 50% van het ecotoxicologische effect uit het AWZI-effluent vermindert.

#### 4.4 TARGET SCREENING (UHPLC-QTOF)

Er is een target screening (doelgerichte bibliotheekscreening) uitgevoerd met behulp van *ultra-high performance* vloeistofchromatografie - quadrupool *time-of-flight* (UHPLC-QTOF) in zowel AdOx-influent als -effluent. Gedurende de operationele periode werden vier sets monsters genomen van influent en effluent: 6 april 2023 (Cyclus 3), 1 mei 2023 (Cyclus 6), 6 juni 2023 (Cyclus 9) en 23 juni 2023 (Cyclus 11) (zie Tabel 4.1 voor bedrijfscondities). Elke set van monsternamen van influent en effluent op dezelfde datum wordt een batch genoemd. De target screening werd gebruikt om de informatie van de doelgerichte analyse (van de gidsstoffen en monitoringsstoffen) aan te vullen, omdat screening gelijktijdig informatie geeft over een groot aantal stoffen die niet beschikbaar zijn in de doelgerichte analyse of anderszins een groot aantal speciale doelgerichte analyses zouden vereisen.

De gerichte screening gebruikt een achterliggende bibliotheek die was gericht op een reeks stoffen die waterrelevant zijn. Het doel was om te identificeren welke stoffen werden aangetroffen in AdOx-influent, hoeveel van hen volledig of gedeeltelijk konden worden verwijderd, en welke stoffen nog steeds aanwezig zijn in het effluent. Screening leverde een signaalintensiteit op voor elke stoffen die kon worden vergeleken tussen de monsters om de relatieve verwijdering te bepalen. Er zijn 2047 stoffen in de achterliggende bibliotheek die worden getarget met screening voor zowel AdOx-influent als -effluent, variërend van farmaceutica, hormonen, industriële chemicaliën en metabolieten. Van de bibliotheekstoffen werden er 195 teruggevonden in AdOx-influent en 142 in AdOx-effluent, met een stofgroepclassificatie zoals weergegeven in Figuur 4.4.

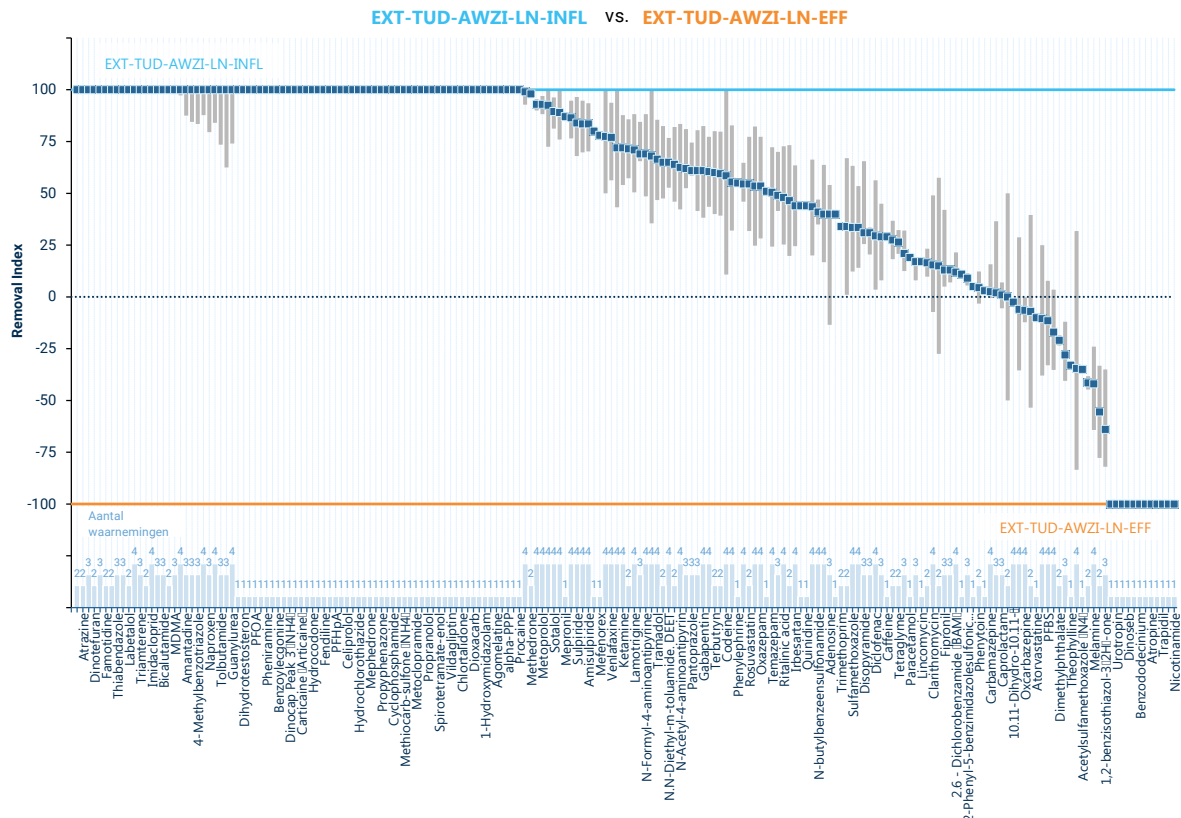
FIGUUR 4.4 CLASSIFICATIE VAN DE GEDETECTEERDE DOELSTOFFEN IN ADOX-INFLUENT (LINKS) EN ADOX-EFFLUENT (RECHTS)



Figuur 4.5 toont de verwijderingsgegevens voor 209 geïdentificeerde stoffen, hun detectiefrequentie in batches en de verwijderingsindex, gedefinieerd als het relatieve verschil tussen influent en effluent. Om de verwijderingsindex te berekenen werd het influent- en effluentmonster in één batch met elkaar vergeleken. Wanneer een stof noch in het influent noch in het effluent werd gevonden, werd deze uitgesloten. Voor de overige stoffen werd binnen een batch de verwijderingsindex berekend door de intensiteiten te normaliseren en op elkaar te delen. Een verwijderingsindex van +100 betekent dat een stof alleen in het influent werd

gevonden en dus niet is gemeten in het effluent, terwijl een index van -100 aangeeft dat een stof alleen in het effluent is gevonden. Omdat de verwijderingsindex per batch werd berekend en er meerdere batches zijn vergeleken, is voor elke stof die in meer dan één batch werd aangetroffen, een reeks verwijderingsrendementen beschikbaar. Stoffen met een verwijderingsindex rond de basislijn (0) tonen noch verwijdering noch toename en hebben ongeveer dezelfde concentratie in zowel influent als effluent.

**FIGUUR 4.5** GEMIDDELD RESULTAAT VAN DE DOELGERICHTE SCREENING VAN ADOX OP BASIS VAN VIER SETS MONSTERS: 6 APRIL, 1 MEI, 6 JUNI EN 23 JUNI 2023 (CYCLUS 3, 6, 9, 11). DONKERBLAUWE STIPPEN GEVEN DE MEDIAAN VAN DE VERWIJDERINGSINDEX AAN. GRIJZE BALKEN GEVEN HET BEREIK VAN VERWIJDERING (Q1-Q3) TUSSEN DE BATCHES WEER



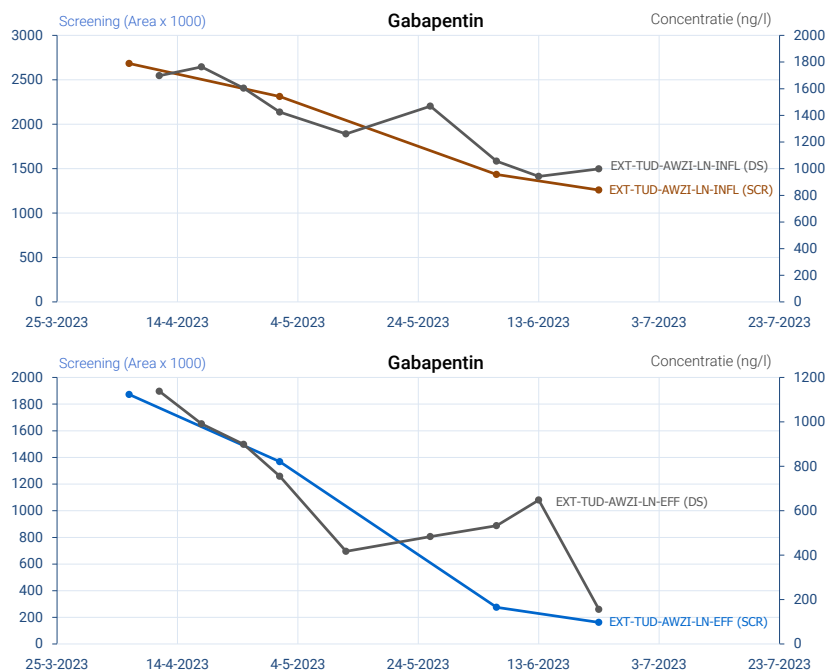
Uit Figuur 4.5 blijkt dat ongeveer 40-45% van de stoffen volledig werd verwijderd uit het influent zonder enige aanwezigheid in het effluent (index = +100), 50% van de stoffen werd gedeeltelijk verwijderd (index tussen 0 en +100). Ongeveer 5% van de stoffen nam licht toe in concentratie en de laatste 5% werden alleen gedetecteerd in het effluent (index = -100). Over het algemeen wordt de meerderheid van de stoffen (>60%) voor gemiddeld meer dan 50% verwijderd (index >+50). Omdat de analyse effect ondervindt van de matrix van een monster, moet worden opgemerkt dat de stoffen in het effluent waarschijnlijk bij lagere concentraties kunnen worden gedetecteerd dan in het influent, mede door betere responswaarden vanwege de hogere waterkwaliteit (minder slib of andere onzuiverheden). Bovendien werden de meeste componenten die uitsluitend in het effluent werden aangetroffen, slechts in één batch gedetecteerd, wat kan duiden op ruis of valse positieve resultaten.

Doelgerichte screening bood een relatief snelle manier om verwijderingsefficiënties van een groot aantal stoffen te bepalen, maar geeft geen gekwantificeerde concentratie. Men zou echter de LC-MS-resultaten (voor kwantificering van OMV's) met deze screening kunnen valideren, aangezien de trendlijnen van beide resultaten vergelijkbaar zijn met elkaar.



Figuur 4.6 geeft screening- en LC-MS-resultaten voor gabapentine als voorbeeld. Hieruit blijkt dat screening wel een kwantitatief beeld geeft, maar deze waarde niet uitdrukt in bijvoorbeeld ng/l. Daarnaast kan gerichte screening net zoals doelstofanalyse weinig tot geen informatie geven over echt onbekende stoffen zoals de vorming van reactieproducten, omdat zowel gerichte screening als doelstofanalyse afgebakend zijn tot semi-bekende stoffen. De bibliotheek in de screening was voornamelijk gevuld met stoffen die in het milieu aanwezig zijn en hun natuurlijke omzettingsproducten, maar niet hun oxidatie- (door ozonisatie) of volledige lijst van afbraakproducten. Over het algemeen zijn reactieproducten van oxidatieve behandelingen, zoals AdOx, chemisch complex en potentieel onstabiel en lastig op te nemen in zowel doelstofanalyse als in een gerichte screening. Daarom is deze gerichte screeningsanalyse niet geschikt als test voor de aan- en afwezigheid van gevormde producten zolang deze niet zijn opgenomen in de achterliggende bibliotheek. Voor onderzoek naar echt onbekende stoffen dient gekeken te worden naar een ongerichte screening (non target screening), welke ook informatie verzamelt over onbekende signalen. Deze techniek is echter veel complexer dan een gerichte screening.

**FIGUUR 4.6** VERGELIJKING TUSSEN SCREENING- EN LC-MS-RESULTATEN VOOR GABAPENTINE IN ADOX-INFLUENT (BOVEN) EN ADOX-EFFLUENT (ONDER)



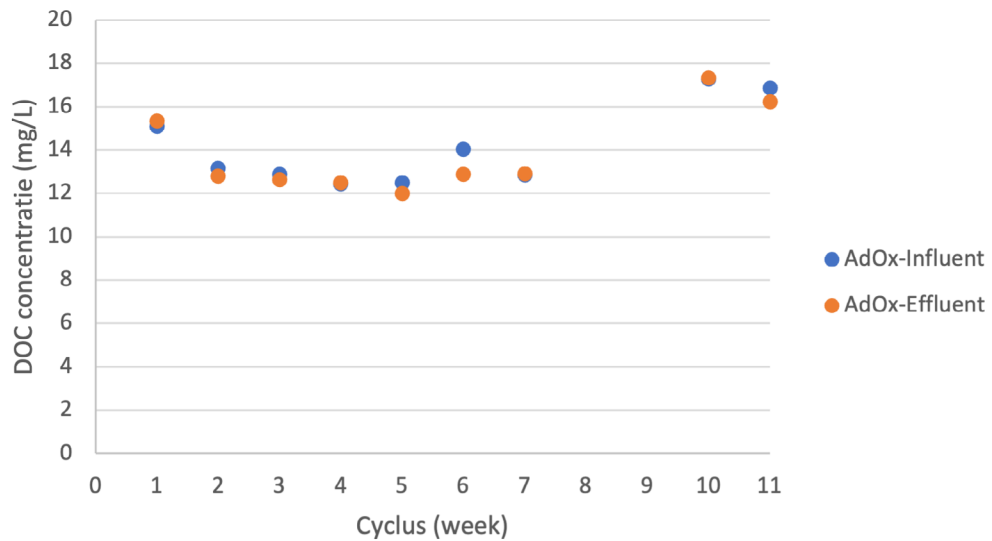
In Bijlage A-3 worden de piekoppervlakten van sommige stoffen in AdOx-influent en – effluent uit de screening getoond. Deze piekoppervlakte volgt direct uit de analyse en toont het ruwe signaal dat de stof produceerde tijdens de meting. Voor een stof geldt dat een groter piekoppervlak correleert aan een hogere concentratie, maar de piekoppervlakten zijn niet in absolute zin te vergelijken tussen verschillende stoffen. De hoeveelheid piekoppervlak per concentratie-eenheid verschilt namelijk per stof.

#### 4.5 DOC-CONCENTRATIES

De concentratie van opgeloste organische koolstof (DOC) in AdOx-influent en AdOx-effluent werd wekelijks gemeten aan de hand van de gecombineerde dagelijkse monsters van elke cyclus, zoals weergegeven in Figuur 4.7. Er waren geen resultaten van de 8<sup>e</sup> en 9<sup>e</sup> cyclus

vanwege de defecte monsternameautomaat, pompstoring en stroomstoring, waardoor onvoldoende monsterinhoud beschikbaar was voor DOC-analyse.

FIGUUR 4.7 WEKELIJKSE DOC-CONCENTRATIES IN ADOX-INFLUENT EN ADOX-EFFLUENT



Gemiddeld werd 2,6% DOC verwijderd uit het AdOx-influent (gemeten na filtratie met een 10- $\mu$ m cartridge). Dit bevestigt de laboratoriumresultaten waaruit blijkt dat er slechts een geringe adsorptie van DOC door zeoliet was [13] [22]. Dit betekent dat de oxidatie van de OMV's die in de zeolietporiën waren geadsorbeerd door ozongas efficiënter en doelgerichter was dan conventionele ozonisatie in de hoofdstroom, waar ook DOC ozon consumeert [13].

#### 4.6 BROMAAT

In principe is er geen bromaat aanwezig in het AdOx-effluent, aangezien ozonisatie plaats vindt in een aparte fase, de regeneratiefase, buiten de adsorptiefase om. Te behandelen AWZI-effluent komt niet in contact met ozon. Echter, bromaat zou kunnen worden gevormd tijdens de naspoeling-stap (na ozonisatie) omdat ozon nog steeds aanwezig is in de zeolietkorrels tijdens het terugspoelen met AdOx-effluent. Daarom is een eenmalige bromaatanalyse uitgevoerd voor de bemonsteringspunten AdOx-influent, -effluent en naspoeling.

De gemeten bromaatconcentratie voor zowel AdOx-influent als -effluent was  $<0,2 \mu\text{g/L}$ . De enige aanwezigheid van bromaat, zoals verwacht, kwam van de post-backwash-lijn,  $17 \mu\text{g/L}$ . Het monster werd genomen op ongeveer de helft van de post-backwash (ongeveer 7,5 minuten). Gezien de terugspoelprocedure was dit mogelijk het moment waarop de bromaatconcentratie rond zijn maximale waarde lag en zou afnemen aan het einde van het terugspoelproces. Het totale volume van naspoeling (maximale debiet = 1000 L/u, snelheid = 11,7 m/u, duur = 7,5 minuten) was 125 L per week. De behandelde hoeveelheid AWZI-effluent in één week was ongeveer  $80 \text{ m}^3$  (Tabel 4.1, cycli 5, 9 en 10). Met een verdunningsfactor van 640 is het terugvoeren van het bromaathoudende terugspoelwater naar het AWZI-influent niet te traceren ( $0,03 \mu\text{g/L}$ ).

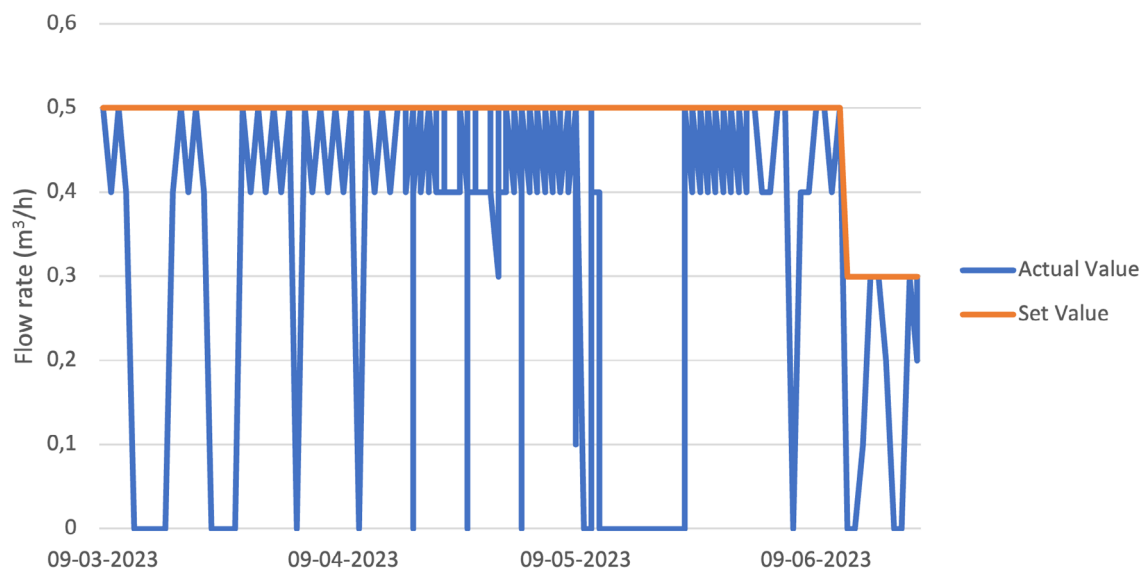
# 5

## OPERATIONELE ASPECTEN

### 5.1 DEBIETEN & DOWNTIME

*Downtime* trad zowel op geplande wijze op voor het uitvoeren van regeneratiestappen als onvermijdelijk als gevolg van storingen. Figuur 5.1 toont de geplande en daadwerkelijke debietwaarden van Remo, een online monitoring functie van de Nastec NOW-app, die is geïnstalleerd in de frequentieregelaar van de filterpomp. De figuur laat ook de momenten van *downtime* zien. De korte wekelijkse *downtimes* tonen de uitvoering van regeneratiestappen, terwijl de langere en bredere *downtimes* veroorzaakt werden door apparatuurstoringen, zoals storingen van de pomp, elektrische voeding, en lekkage van de ozonuitlaat.

FIGUUR 5.1 I NGESTELDE EN WERKELIJKE DEBIET TIJDENS DE MONSTERNAMPERIODE VAN HET ADOX-PILOTINSTALLATIE



### 5.2 ENERGIEVERBRUIK DROGEN EN OZONISATIE

Het energieverbruik tijdens de bedrijfsperiode van de pilot plant kwam van vijf belangrijke pilot plant onderdelen: de pomp die effluent van de AWZI naar de pilot plant verpompte, de filterpomp voor AdOx-influent die water door de voorfilters en naar de zeolietkolom verpompte, het droogstelsel (ventilator met verwarmingselementen), de ozongenerator en de terugspoelpomp. Andere apparatuur, zoals *flowmeters*, thermometers, *autosamplers* en ozonsensoren, beïnvloedden ook het totale elektriciteitsverbruik. Deze apparaten zijn opgenomen in de filtratie-, droog- of ozonisatiestap.

Het energieverbruik van de filtratie- en monitoringsonderdelen zoals gemeten tijdens de operationele periode is niet representatief, omdat het een pilot plant betreft. De capaciteiten van deze onderdelen waren hoger dan strikt noodzakelijk (ze waren bedoeld voor *full-scale* toepassingen). De droog- en ozonisatiestappen kunnen echter wel worden beschouwd als realistisch voor 1 kolom, aangezien in een *full-scale* installatie elke kolom één voor één zal

worden geregenereerd. De ozongeneratorcapaciteit voor de pilot plant is ook nog steeds geschikt voor de *full-scale* installaties, echter zal de ozonvernietiger worden vervangen door een recirculatiegas pomp om rest-ozon te hergebruiken. In de pilot plant bevatte de ozonuitlaat van de kolom naar de vernietiger ongeveer 80% van het ozon in de inlaat, dus het ozonverbruik kan worden geoptimaliseerd. De koeler kan worden vervangen door een warmteopslag, zodat de afvalwarmte van de ozongenerator kan worden gebruikt voor het drogen van de zeolietkorrels voorafgaand aan de regeneratie. Ondanks dat deze apparaten het grootste energieverbruik hebben, worden zowel het drogen als de ozonisatie eenmaal per week toegepast voor elke kolom, dus zijn er geen extra/gespaarde apparaten nodig. Het energieverbruik werd niet gemonitord door een energiemeter, daarom zijn energieverbruiken gehaald uit de apparatuurgegevensbladen.

TABEL 5.1 ENERGIEVERBRUIK DROGEN EN OZONISATIE PER CYCLUS (EBCT = 10 MIN, Q = 0,5 M<sup>3</sup>/UUR)

	Apparaat	Eenheid	Werkuur (u)	Vermogen (Watt)	Energieverbruik (KWh)
Drogen	Blower	1	4	4600	18,40
	Luchtkanaalverwarmer	2	4	1200	9,60
	<b>Totale energieverbruik voor drogen</b>				<b>28,00</b>
Ozonisatie	Ozongenerator	1	1,5	2400	3,60
	Ozonanalysator	2	1,5	15	0,05
	Ozonalarm	1	1,5	6	0,01
	Ozonvernietiger	2	1,5	350	1,05
	Koeler	1	1,5	1288	1,93
	<b>Totale energieverbruik voor ozonisatie</b>				<b>6,64</b>

Het energieverbruik in Tabel 5.1 betreft een pilot plant die nog niet geoptimaliseerd is voor een *full-scale* installatie, en is dus slechts een indicatie. Uitgaande van het totale wekelijkse behandelde volume (80,4 m<sup>3</sup>) bedraagt het energieverbruik 0,34 kWh/m<sup>3</sup> voor drogen en 0,08 kWh/m<sup>3</sup> voor ozonisatie. Voor de *full-scale* installatie zal de energiebron voor drogen aardgas zijn (geen conversie van elektriciteit) om het energieverbruik te verminderen, zoals uitgevoerd in de haalbaarheidsstudie [7]. De luchtkanaalverwarmer zal niet meer worden gebruikt, want een industriële blower kan een hogere temperatuur leveren dan 60°C met een lager energieverbruik. De ozongenerator van deze pilot plant is ook geschikt voor een *full-scale* installatie, aangezien de regeneratie voor elke kolom één voor één zal worden uitgevoerd. In de *full-scale* zal ozonvernietiger niet meer worden toegepast, want er zal een recirculatiepomp worden geïnstalleerd van de ozonuitlaat terug naar de inlaat (paragraaf 5.4.3).

### 5.3 FILTRATIEPERIODE

#### 5.3.1 INTAKE EN PRE-FILTRATIE

De dompelpomp voor het innemen van AdOx-influent bevond zich direct binnenin de effluentgoot van de secundaire bezinktank. Deze pomp leidde het water door een prefilter (met 2 zeefcilinders van 100 µm) naar de influenttank. Het prefilter werd automatisch om de 30 minuten 8 seconden teruggespoeld, maar op locatie was handmatige reiniging (het borstelen van de cilinders) nodig, 3 keer gedurende de hele bedrijfsperiode.

Het oorspronkelijke voorfiltratiesysteem tussen de influenttank en de zeolietkolom bestond uit een zakkenfilter met een zeefmaat van 25 µm en 2 parallelle lijnen van 3 cartridgefilters, elk van 20 inch en 10 µm. In de praktijk raakte het zakkenfilter verstopt in minder

dan 30 minuten na het starten van de filtratie. Het werd vervolgens vervangen door een cartridgefilterkolom bestaande uit 7 cartridges (40 inch, 25 µm). Er werden 2 manometers geïnstalleerd aan zowel de inlaat als de uitlaat van de kolom. Wanneer beide meer dan 1 bar aangaven, was het tijd om de cartridges te vervangen. Vervolgens werden de cartridges elke 2 weken (2 cycli) vervangen.

### 5.3.2 BEHANDELD VOLUME EN *EMPTY BED CONTACT TIMES* (EBCTS)

De AdOx-filterkolom was gevuld met 0,086 m<sup>3</sup> high-silica zeolietkorrels met een bedhoogte van 1 m. Voor de eerste 10 cycli bedroeg de EBCT 10 minuten, wat betekent dat gemiddeld 12 m<sup>3</sup> water, of 140 BV's, dagelijks werd behandeld. In de laatste week, met een EBCT van 15 minuten, bedroeg het dagelijks behandelde volume 7,2 m<sup>3</sup> of 84 BV's. Aan het einde van de laatste cyclus was er een totaal volume van 612,3 m<sup>3</sup> behandeld met een EBCT van 10 minuten, en 34,5 m<sup>3</sup> met een EBCT van 15 minuten.

De beslissing om de EBCT te verhogen van 10 minuten naar 15 minuten in plaats van te verlagen naar 5 minuten was gebaseerd op de onbevredigende resultaten van de cycli met een EBCT van 10 minuten, vooral in de eerste vier weken. Hoewel de verwijdering van OMV's gedurende de laatste paar weken verbeterde (o.a. door een betere regeneratie door een hogere droogtemperatuur), zou het verlagen van de EBCT mogelijk tot een te lage verwijdering van OMV's leiden. In plaats daarvan werd het inkorten van de ozonisatietijd tot 1,5 uur als voordeliger beschouwd voor het verminderen van de CO<sub>2</sub>-footprint. Het verhogen van de EBCT in de laatste week werd als noodzakelijk beschouwd om de prestaties van de technologie te verbeteren.

## 5.4 REGENERATIEPERIODE

### 5.4.1 TERUGSPOELEN (VOOR- EN NASPOELING)

Tijdens de voorspoeling (voor de droogstap) werd het zeolietbed met AdOx-effluentwater uit de tank in beweging gebracht om het bed te reinigen van vaste stoffen en vuil. De stroomsnelheid kon 11,7 - 17,5 m/uur bereiken gedurende 15 minuten zonder dat de korrels uit de kolom werden gespoeld via de spoelbuis. In de eerste twee cycli werd enig resterend zeolietpoeder/kruimels in het spoelwater aangetroffen, maar daarna verdween dit.

Tijdens de naspoeling (na de ozonisatiestap) zijn de zeolietkorrels droog en hebben ze daarom een lagere massadichtheid. De stroomsnelheid werd verlaagd naar 9,4 – 11,7 m/uur om ervoor te zorgen dat er geen korrels uitspoelden. De kleur van het naspoelwater was iets geliger dan het voorspoelwater, hoogstwaarschijnlijk als gevolg van de transformatieproducten of geoxideerde laagmoleculaire NOM. In één cyclus (7 dagen, behandelingsdebiet 0,5 m<sup>3</sup>/uur) was het geproduceerde effluentvolume 84 m<sup>3</sup> en het spoelvolume (zowel voorspoelen als naspoelen gedurende 15 minuten) 0,4 - 0,75 m<sup>3</sup>, wat betekent dat slechts 1% van het effluent nodig was voor het spoelproces. Dit exclusief de spoelvereiste als gevolg van verstopping, aangezien in de pilotplant AdOx-influent door een reeks voorfiltraties stroomt voordat het de zeolietkolom bereikt (paragraaf 5.3.1).

### 5.4.2 DROGEN MET EEN BLOWER

Uit de experimenten kon worden waargenomen dat het (gedeeltelijk) drogen van het zeolietbed een belangrijke rol speelde in de verwijderingsprestaties van de volgende cyclus (zie paragraaf 4.2). De eerste twee cycli gebruikten alleen de standaard gemonteerde blower van de installaties fabrikant. De blower nam de omgevingslucht in de container (met een

verwarming tot 19°C), comprimeerde deze en liet deze van boven naar beneden door de zeolietkolom stromen, waarbij de luchttemperatuur aan de bovenkant slechts 35-36°C kon bereiken.

De eerste luchtkanaalverwarmer werd geïnstalleerd vóór de derde cyclus, waardoor de maximale temperatuur tot 42-45°C werd verhoogd. Vóór de zesde cyclus werd nog een luchtkanaalverwarmer in serie geïnstalleerd, waardoor de temperatuur tot 51-53°C steeg. De laatste twee cycli werden uitgevoerd bij een omgevingstemperatuur van ongeveer 25°C, waardoor de droogtemperatuur de kans kreeg om meer dan 60°C te bereiken.

#### 5.4.3 GENERATIE, Vernietigen en Recyclen van Ozongas

De oorspronkelijke instelling van ozonisatie was 3 uur, met een ozongas concentratie van 90 mg/L en een ozongas debiet van 3 m<sup>3</sup>/uur, gekozen op basis van laboratoriumschaal condities. Gedurende de eerste zeven cycli bleef de ozonisatieduur hetzelfde. Hoewel de ozongas concentratie en het ozongas debiet werden ingesteld op respectievelijk 100 mg/L en 2,8 m<sup>3</sup>/uur, schommelden de waarden in de praktijk elke 10-15 minuten, wat handmatige aanpassing vereiste. Het werkelijke bereik voor de concentratie was 90-110 mg/L en voor het debiet 2,5-3,2 m<sup>3</sup>/uur.

Vanaf de 8<sup>e</sup> cyclus, in het streven naar een lagere CO<sub>2</sub>- footprint, werd de ozonisatietijd teruggebracht tot 1,5 uur. De nieuwe instelling kwam voort uit de waarneming dat na minder dan 2 uur de ozonconcentratie in de uitlaat bijna hetzelfde was als de inlaat (75-85 mg/L). De resultaten laten zien dat er na zeven regeneraties geen significante afname werd gevonden in de adsorptiecapaciteit. Er is dus geen prestatieverlies vastgesteld na verkorting van de ozonisatietijd.

Het overtollige ozongas in de uitlaat werd naar twee ozonvernietigers gestuurd die in serie werkten. Wanneer de ozonuitlaatconcentratie minder dan de helft van de inlaat was, werd alleen de eerste verwarmd (wat actieve ozonvernietiging betekent), terwijl de tweede pas verwarmd werd nadat de uitlaatconcentratie rond de 60 mg/L lag.

Vergelijkbaar met het geval van het voorfiltratiesysteem was het ozonvernietigingsschema alleen bedoeld voor de pilot plant opstelling. In een *full-scale* AdOx-toepassing zal een ozonrecirculatiesysteem (vanaf de ozonuitlaat terug naar de inlaat) worden geïnstalleerd om ozon te besparen, de CO<sub>2</sub>-footprint te verminderen en zuurstofgebruik (voor ozongasproductie) te minimaliseren.

### 5.5 PROBLEMEN EN OPLOSSINGEN

De operationele periode is uitgevoerd met voldoende monitoring, zij het niet zonder problemen. Tijdens de operationele periode deden zich enkele technische problemen voor, met name als gevolg van storingen in de dompelpomp (vóór het begin van de 1<sup>e</sup> cyclus en in het midden van de 7<sup>e</sup> cyclus) en de elektriciteitsvoorziening (tussen de 7<sup>e</sup> en 8<sup>e</sup> cyclus). De ventilator voor het drogen van de zeolietkolom slaagde er niet in om verwarmde lucht met de verwachte temperatuur (60°C) te leveren, daarom werden er twee extra verwarmingselementen geïnstalleerd waarmee meer dan 53°C bereikt werd tijdens de 5<sup>e</sup> cyclus. Vanaf de 8<sup>e</sup> cyclus werd de ozonisatietijd teruggebracht van 3 naar 1,5 uur, met als doel de CO<sub>2</sub>-footprint te verminderen. De adsorptieprestaties na een kortere ozonisatietijd bleven stabiel in vergelijking met de eerdere cycli, waardoor 1,5 uur als de standaard ozonisatie-

tijd werd behouden. Vóór het begin van de 9<sup>e</sup> cyclus was er een ozonlekkage uit de uitlaatklep als gevolg van de agressieve aard van het gas ten opzichte van de (rubberen) verbindingring. Alle problemen, probleemoplossingen en wekelijks onderhoud zijn samengevat in Tabel 5.2.

**TABEL 5.2 PROBLEMEN, OPLOSSING EN WEKELIJKS ONDERHOUD TIJDENS DE WERKING VAN DE ADOX PILOT PLANT**

Fase	Cyclus	Start	Einde	Probleem	Probleemoplossing/wekelijks onderhoud
1 EBCT= 10 min. Q= 0,5 m <sup>3</sup> /u Ozonisatie= 3 uur	0	9-mrt	16-mrt	Pompstoring (geen gegevens)	Reservepomp installeren, pre-zeef vervangen door 50 µm
	1	16-mrt	23-mrt	Pre-zeef verstopt, hoge uitstoot van ozon	Pre-zeef vervangen door 100 µm, ozonvernietiger toevoegen
	2	27-mrt	3-apr	Stroomuitval (onstabiele transformatorinvoer)	Transformator herstarten. Kaarsenfilters van 25 en 10 µm vervangen
	3	4-apr	11-apr	-	1 <sup>e</sup> verwarmingselement voor drogen installeren
	4	11-apr	18-apr	-	Kaarsenfilters van 25 en 10 µm vervangen
	5	18-apr	25-apr	-	2 <sup>e</sup> verwarmingselement voor drogen installeren
	6	25-apr	2-mei	-	Kaarsenfilters van 25 en 10 µm vervangen
	7	2-mei	9-mei	Pompstoring	Reservepomp installeren
	-	16-mei	23-mei	Ozonlekkage uit de klep	De (rubberen) ring van de klep vervangen. Kaarsenfilters van 25 en 10 µm vervangen (geen gegevens)
2 EBCT= 10 min. Q= 0,5 m <sup>3</sup> /u Ozonisatie= 1,5 uur	8	23-mei	30-mei	Stroomuitval (stroomkabel doorgesneden door de grasmaaier)	Kabel opnieuw aansluiten
	9	30-mei	6-jun	-	Kaarsenfilters van 25 en 10 µm vervangen
	10	6-jun	13-jun	Overschakelen naar 0,3 m <sup>3</sup> /u (EBCT ≈ 15 min.)	
				Instellingen van de frequentieregelaar mislukt (1 dag), autosampler defect (slang lek)	Gemengde (wekelijkse) monsters, wekelijks gemiddelde verwijdering 2x uit de gemengde monsters
3 EBCT= 15min. Q= 0,3 m <sup>3</sup> /u Ozonisatie = 1,5 uur	11	13-jun	14-jun	Instellingen van de frequentieregelaar mislukt	Instellingen wijzigen (in de Nastec NOW app: debiet, delta start, delta stop, enz.)
		14-jun	15-jun	Instelling van de frequentieregelaar mislukt	Instellingen wijzigen (in de Nastec NOW app): debiet, delta start, delta stop, enz.
		14-jun	19-jun	Leidingbreuk (van de dompelpomp naar de pre-strainer)	Leiding repareren, aansluitingen verplaatsen en versterken
		19-jun	23-jun	-	Bemonsteringsperiode eindigt

# 6

## PRESTATIEVERGELIJKING EN OPTIMALISATIEMOGELIJKHEDEN

### 6.1 VERGELIJKING LABONDERZOEK ADOX, PILOT PLANT ONDERZOEK ADOX EN HAALBAARHEIDSSSTUDIE ADOX

In de pilot plant werden de belangrijkste proces- en bedieningsstappen zo veel mogelijk hetzelfde gehouden als in de laboratoriumexperimenten. Er zijn echter enkele procesinstellingen verschillend tussen de pilot plant en de laboratoriumexperimenten om de beter de link te kunnen leggen met de *full-scale* zoals beschreven in de haalbaarheidsstudie. De wijzigingen zijn samengevat in Tabel 6.1.

**TABEL 6.1** VERGELIJKING TUSSEN ADOX-INSTELLINGEN TIJDENS LABORATORIUM-, PILOT- EN (THEORETISCH) FULL-SCALE TOEPASSINGEN (HAALBAARHEIDSSSTUDIE)

Factor	Lab	Pilot plant	Haalbaarheidsstudie
Type zeoliet	2 high-silica zeolieten	1 high-silica zeoliet	2 high-silica zeolieten
OMV-concentraties in het influent	Constant	Fluctuerend	Fluctuerend
EBCT	20 min	10 en 15 min	10 en 5 min
Drogen	80°C, 7 uur	max. 60°C, 4 uur	max. 80°C, 5 uur
Ozonisatie	90 mg/L, 6 uur	90-100 mg/L, 3 en 1.5 uur	100 mg/L, 3 uur
Filtratie standtijd	5 dagen	7 dagen	7 dagen
Voorfilters	1 µm	100-25-10 µm	Geen

Het meest opvallende verschil tussen de laboratorium en pilot plant resultaten ligt in de verwijdering van enkele goed verwijderde stoffen, namelijk metoprolol, sotalol, propranolol en trimethoprim. Behalve propranolol zijn de andere drie stoffen opgenomen in de Nederlandse richtlijnen. De laboratoriumresultaten lieten een volledige verwijdering van deze stoffen zien. Daarentegen kon in de pilot plant testen alleen voor metoprolol en sotalol een verwijdering van 85-90% worden bereikt. Dit resultaat duidt erop dat een langere EBCT, een andere samenstelling van de zeolietkorrels en een hogere droogtemperatuur een hogere gemiddelde verwijdering kunnen geven. Voor andere geanalyseerde stoffen, zoals bijvoorbeeld trimethoprim was de concentratie te laag om verwijdering vast te kunnen stellen, terwijl verwijdering wel is te verwachten op basis van de laboratorium resultaten. Als de totale gemiddelde verwijdering hoger is dan vereist (wat het geval is als goed door AdOx verwijderbare gidsstoffen aanwezig zijn en dus de verwijdering gemeten kan worden, wat helaas niet het geval was in de pilot plant experimenten), zal een verlaging van de EBCT haalbaar zijn.

Opgemerkt dient te worden dat de haalbaarheidsstudie werd uitgevoerd met een lagere EBCT om de CO<sub>2</sub>-footprint te verminderen. Deze beslissing werd genomen na het zien van de snellere kinetiek van hoog-silica zeoliet (in poedervorm) vergeleken met geactiveerde koolstof [10]. Het feit dat de verwijderingsprestatie afneemt bij een lagere EBCT zou kunnen betekenen dat de granulatiemethode nog steeds verbeterd moet worden. Het feit dat de zeolietkorrels



in de pilot plant uit slechts één type zeoliet bestonden en in het labonderzoek uit meerdere typen heeft ook invloed gehad op het bereikte verwijderingsrendement. Verminderen van de CO<sub>2</sub>-footprint kan ook worden bereikt door optimalisatie van de ozonisatietijd, in combinatie met effectief drogen. De resultaten van de pilot plant laten zien dat zelfs 1,5 uur nog steeds een effectieve regeneratie oplevert, dus zelfs kortere duur zou mogelijk zijn.

## 6.2 ALTERNATIEVEN VOOR PROCESOPTIMALISATIE

Mogelijkheden voor verbetering en optimalisatie van AdOx zijn:

### 1. Ontwikkeling van zeolietkorrels

Er zullen drie belangrijke aandachtsgebieden zijn:

- a. Het produceren van mechanisch sterke korrels om vaker terugspoelen te ondersteunen (aangezien pre-filtratieseries niet toepasbaar zijn op *full-scale*),
- b. Het mengen van verschillende soorten high-silica zeoliet om een bredere range van verwijdering van OMV's en/of andere verontreinigingen (bijv. PFAS, totaal-N en/of totaal-P) te realiseren,
- c. Het aanbieden van een concurrerendere bulkprijs door de vorm, conversiemethode van poeder naar korrel en/of het percentage tussen het zeoliet en de binder te veranderen.

### 2. Standtijd versus EBCT

Uit de resultaten van de pilot plant kon duidelijk worden waargenomen dat de realistische EBCT voor AdOx in het bereik van 10-20 minuten ligt. Dit bereik hangt ook af van de standtijd voor de filtratiemodus zelf (5-7 dagen). In het geval dat er een vervolg onderzoek op pilotschaal of demonstratieschaal wordt gepland, kan de aanbevolen standtijd voor elke EBCT worden gespecificeerd.

### 3. Methode en apparatuur voor drogen

De resultaten van het pilot plant onderzoek laten zien dat effectief drogen essentieel is voor de adsorptieprestaties van de volgende cyclus. Optimalisatie kan onder meer de temperatuur (60-80°C), de drukluchtstroom (3 m<sup>3</sup>/uur), het type blower en de alternatieve warmtebron (bijvoorbeeld van de hoofdactiviteiten van de AWZI, ozongenerator, pompen of slibverbrandingsinstallatie) omvatten.

### 4. Regeneratietijd

Uit de resultaten van de pilot plant kon worden waargenomen dat een kortere regeneratietijd (minder dan 1,5 uur) mogelijk is. Een geoptimaliseerde instelling tussen de concentratie van het ozongas inlaat en de doorstromingssnelheid zal de vereiste ozonisatietijd beïnvloeden, wat getest zou kunnen worden in een volgende pilot plant of demonstratie installatie.

### 5. Recirculatie van ozongas vanaf de uitlaat

Voor dit mechanisme kan een geschikte membraanpomp worden geïnstalleerd, wat betekent dat deze bestand moet zijn tegen ozon en sporen van wateroverdracht naar de inlaat kan voorkomen. Huidige ozon technologie leveranciers leveren zo'n pomp nog niet, maar het materiaal en het pompmechanisme bestaan al en functioneren.

## 7

# INPASSING IN DE NEDERLANDSE ZUIVERINGSPRAKTIJK

## 7.1 VERANDERINGEN UITGANGSPUNTEN HAALBAARHEIDSONDERZOEK OP BASIS VAN HET PILOTONDERZOEK

Als een nageschakelde zuiveringstechniek is een *full-scale* AdOx installatie ontworpen die met een beschikbaarheid van 99,5% de maximale DWA-ontwerppiek kan behandelen, en 70% van de totale jaarlijkse afvalwateraanvoer van 7.665.000 m<sup>3</sup>/jaar [7] [8]. Tijdens de periode van het pilot plant onderzoek was het debiet door de pilot plant echter constant (0,5 m<sup>3</sup>/uur bij EBCT van 10 min en 0,3 m<sup>3</sup>/u bij EBCT van 15 min), ongeacht de werkelijke weersomstandigheden, of het nu regenachtig of droog weer was in elke cyclus. Dit zou invloed kunnen hebben op de daadwerkelijke concentraties van de OMV's in het effluent van de afvalwaterzuiveringsinstallatie, met betrekking tot seizoensgebonden variaties. Dit impliceert dat verdere testen noodzakelijk zijn voordat een *full-scale* AdOx-behandeling geïntegreerd kan worden in het afvalwaterzuiveringsproces.

Het STOWA-model voor het berekenen van de CO<sub>2</sub>-footprint van een *full-scale* AdOx installatie, zoals uitgevoerd in de haalbaarheidsstudie, was gebaseerd op de DWA van een referentie afvalwaterzuiveringsinstallatie met 100.000 inwonerequivalenten, waarbij werd aangenomen dat 21 filterkolommen parallel aan elkaar zijn geïnstalleerd en regeneratie van elke kolom na elkaar plaats vindt [7] [8]. Met behulp van de resultaten van de pilot plant werd de CO<sub>2</sub>-footprint berekening geactualiseerd (paragraaf 7.3) met enkele wijzigingen zoals samengevat in Tabel 7.1. De wijzigingen hadden ook invloed op de kostenraming (paragraaf 7.4).

TABEL 7.1 WIJZIGINGEN IN DE BEREKENING VAN DE CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT EN TOTALE KOSTEN: ADOX HAALBAARHEIDSSSTUDIE VERSUS PILOT PLANT ONDERZOEK

Factor (om te wijzigen)	Eenheid	Haalbaarheidsstudie	Na pilot plant onderzoek (in gebruik voor dit rapport)
EBCTs	min	5 en 10	10 en 15
Filtratie standtijd	dag	7	5 en 7
Ozonisatietijd	uur	3	1,5
Ozongasconcentratie (inlaat)	mg/L	90	100
Droogtijd	uur	5	4
Koeltijd	min.	5	0 (niet vereist)
Terugspoelpercentage	%	4	10 (1% voor het proces, de rest voor verstopping)

De voor- en na-terugspoelstroom bleef nog steeds binnen het bereik zoals gegeven in de haalbaarheidsstudie (0,8 - 1,5 m<sup>3</sup>/u). Aangezien in één cyclus (7 dagen, debiet = 0,5 m<sup>3</sup>/uur) het productievolume van het effluent 84 m<sup>3</sup> was en het terugspoelvolumen (zowel vóór- als naspoeling gedurende 15 minuten) 0,4 - 0,75 m<sup>3</sup>, was het terugspoelpercentage slechts <1%. Deze waarde is lager dan in de haalbaarheidsstudie (4%). Het is echter nog steeds onbekend

hoeveel terugspoelvolume nodig is voor opheffen van verstopping door zwevende stof in het effluent, indien geen voorfiltratie wordt toegepast. Het percentage werd daarom gewijzigd naar 10% van het ruwe AWZI-influent (standaardpercentage), nadat was gebleken dat de voorfiltratieserie in de pilot plant een cruciale rol speelde en gemakkelijk verstopt raakte.

Tabel 7.1 toont dat er op basis van de resultaten van het pilot plant onderzoek twee alternatieven zijn voor de EBCT (10 en 15 min) en beladingstijd (5 en 7 dagen). Daarom zijn vier scenario's gebruikt om de CO<sub>2</sub>-footprint en behandelingskosten te berekenen.

## 7.2 CONTACTTIJD EN ONTWERPDEBIET

Het ontwerpdebiet voor de *full-scale* AdOx werd gehandhaafd op 1040 m<sup>3</sup>/u (ontwerp DWA-piek) en minimaal 70% van de jaarlijkse afvalwateraanvoer (7.665.000 m<sup>3</sup>/jaar), zijnde 5.365.500 m<sup>3</sup>/jaar, in overeenstemming met de IPMV-richtlijnen van STOWA [8].

De basisverwijderingsefficiëntie van OMV's van de hoofd-AWZI (het biologische systeem) werd gehandhaafd op 10%, ondanks de daadwerkelijk variërende concentraties van het effluent van AWZI Leiden-Noord, en rekening houdend met een vereiste *by-pass* tijdens regenweer omstandigheden [23]. Met behulp van deze basislijn en de resultaten van de pilot plant kan een AWZI uitgerust met een *full-scale* AdOx-systeem werken met een EBCT van 10 of 15 minuten, en een standtijd van het zeolietfilter van 5 of 7 dagen. In lijn met de voortdurende ontwikkeling van nieuwe zeolietkorrels wordt verwacht dat de verwijderingsefficiëntie voor een EBCT van 10 minuten zal toenemen. Daarom zijn de CO<sub>2</sub>-footprint en kostenraming berekend voor twee scenario's met verschillende EBCT's (10 en 15 minuten).

## 7.3 ENERGIE EN CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT

De CO<sub>2</sub>-footprint van de AdOx-technologie is berekend met behulp van het IPMV-model van STOWA voor een standaard (biologische) stedelijke AWZI met een grootte van 100.000 inwonerequivalenten. De oorspronkelijke berekening van de CO<sub>2</sub>-footprint werd uitgevoerd in de haalbaarheidsstudie met vier scenario's op basis van STOWA 2022-10 [7].

AdOx zal naar verwachting worden gebruikt als een post-filtratie voor het effluent van de bestaande afvalwaterzuiveringsinstallatie. Net als bij Ozon+ZF en GAK wordt het voldoende geacht 70% van het totale effluent te behandelen. Bij regenweer afvoer is een *by-pass* vereist. Aangenomen is dat voor de *full-scale* toepassing 21 kolommen worden geïnstalleerd, elk met een debiet van 50 m<sup>3</sup>/u, een diameter van 2 m en een zeoliet-filterbed hoogte van 2 m. Per week worden ongeveer 3-4 kolommen gedurende 6 uur geregenereerd, met inbegrip van de voorspoeling (15 minuten), het drogen (4 uur), het injecteren van ozongas (1,5 uur) en de naspoeling (15 minuten).

De berekening van CO<sub>2</sub>-emissie per jaar van de AdOx-technologie in vergelijking met de bestaande AWZI en andere technologieën is te vinden in Bijlage B.

### 7.3.1 ADOX-INFLUENT OPVOERHOOGTE

Een kortere EBCT (10 minuten) kan de benodigde hoogte van de filtratiekolom verminderen. De opvoerhoogte voor de filtratiepomp is berekend uit de kolomhoogte, de operationele opvoerhoogte en het hoogteverschil tussen de effluentuitlaat van de nabezinktank en de bodem van de filtratiekolom van AdOx. De kolomhoogte werd verkregen door de optelling

van de bedhoogte (2 m), 30% bedhoogte voor het anticiperen op verstopping, 50% bedhoogte voor expansie tijdens terugspoelen en 10% bedhoogte als vrijboord. Dit resulteert in een totale hoogte van 3,8 m. De operationele opvoerhoogte (ten gevolge van aanzuiging en wrijving) wordt verondersteld 30% te zijn van de kolomhoogte als zijnde de statische opvoerhoogte, die gelijk is aan 1,2 m. Tenslotte wordt het hoogteverschil tussen de uitlaat van de nabezinktank en de bodem van de kolom verondersteld 2 m te bedragen. De totale opvoerhoogte van het rioolwater (AdOx-influent) bedraagt derhalve 6,9 m (ingevoerd als 7 m in het CO<sub>2</sub>-model).

Met dezelfde schatting is de totale opvoerhoogte voor opvoeren rioolwater (AdOx-influent) met EBCT van 15 minuten 8 m. Deze invoerhoogte is in overeenstemming met de standaard opvoerhoogte voor andere filtratietechnologieën (Ozon+ZF en GAK) met dezelfde EBCT uit het STOWA-model.

### 7.3.2 WARMTE VOOR DROGEN

De droging vóór de ozonregeneratie wordt *in-situ* uitgevoerd, waarbij de warmte rechtstreeks uit fossiele brandstoffen wordt gegenereerd (zonder deze vooraf in elektriciteit om te zetten). Op basis van de richtlijnen komt 1 Nm<sup>3</sup> aardgas overeen met 1,79 kg CO<sub>2</sub>, terwijl met hetzelfde volume 11 kWh warmte wordt geproduceerd [24]. Dit betekent dat de warmte uit aardgas 0,16 kg CO<sub>2</sub>/kWh produceert, oftewel slechts 31% van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die door elektriciteit wordt geproduceerd voor dezelfde benodigde energie.

Na het aftappen van de filter bevatten de zeolietkorrels nog steeds een waterinhoud van 40% [12]. Daarom moet 25% van het bestaande watervolume verdampen om voldoende regeneratie te verkrijgen [12]. Het volume water dat per filter in 4 uur moet worden verdampt, bedraagt dus 1238 m<sup>3</sup> of 309 kg/uur. Aangenomen dat de omgevingstemperatuur vóór verwarming 18°C is en de gewenste droogtemperatuur 60°C is, bedraagt de specifieke verwarmingsenergie voor temperatuurverhoging 395.770 kJ en de latente verwarmingsenergie (van water naar damp) 729.617 kJ. De totale benodigde verwarmingsenergie bedraagt dus 3636 kJ/kg verdampte waterinhoud (niet de jaarlijkse m<sup>3</sup> behandeld water).

Aangenomen dat 3-4 filters per dag worden geregenereerd, is de benodigde (elektrische) energie voor het drogen in het geval van regeneratie elke 7 dagen respectievelijk 953.612 kWh/jaar of 0,11 kWh/m<sup>3</sup> behandeld water met een EBCT 10 minuten, en 1.430.504 kWh/jaar of 0,16 kWh/m<sup>3</sup> behandeld water met EBCT 15 minuten. Voor regeneratie elke 5 dagen is dit 1.338.724 kWh/jaar of 0,15 kWh/m<sup>3</sup> behandeld water met EBCT van 10 minuten, en 2.008.207 kWh/jaar of 0,23 kWh/m<sup>3</sup> behandeld water met EBCT 15 minuten. Door het gebruik van de elektriciteit-aardgas conversiefactor (31%) bedraagt de energie voor het drogen in het geval van 7-daagse regeneratie 292.790 kWh/jaar met EBCT 10 minuten of 439.211 kWh/jaar met EBCT van 15 minuten. Voor een regeneratie van 5 dagen is dit 411.032 kWh/jaar met een EBCT van 10 minuten of 616.585 kWh/jaar met een EBCT van 15 minuten.

### 7.3.3 PRODUCTIE VAN ZEOLIETKORRELS

Op het invulblad van het CO<sub>2</sub>-footprintsworkblad van STOWA staat geen invoercel voor zeoliet. Daarom werd de invoercel voor actieve kool gebruikt om het gewicht van zeoliet in te vullen met behulp van CO<sub>2</sub>-footprint /gewichtskonversiefactor tussen de productie van zeolietkorrels en granulaire actieve kool (GAK), zoals uitgevoerd in de haalbaarheidsstudie [25] [7].

Het energieverbruik van zeolietkorrels is berekend door het energieverbruik te nemen voor het synthetiseren van zeolietpoeder, het granulatieproces en het sinteren van de zeolietkorrels. De benodigde energie voor het synthetiseren komt uit de productie van zeolietpoeder met Prinz-ringvorming als een chemische katalysator, wat bedraagt 0,03 kWh/kg zeolietpoeder [26]. De energie voor het granulatieproces is gebaseerd op de granulatie van 150 gram poedermengsel zoals uitgevoerd door Delft Solids Solutions (DSS). Door het proces met 1-kW stroom van de machine na 40 minuten werd 70% van de poedermengsel omgezet in korrels, wat resulteert in 6,35 kWh/kg korrels. De nieuw zeolietkorrels voor de pilot plant waren geproduceerd via extrusie, dus de CO<sub>2</sub>-footprint voor het granulatieproces kan anders zijn, maar het is echter nog geldig om te gebruiken vanwege een efficiëntere productie van de korrels in geval van extrusie (geen residu van de poedermengsel als in granulatie tijdens haalbaarheidsstudie).

De energie voor het sinteren is gebaseerd op het verwarmen van de zeolietkorrels (voor de pilot plant) in een oven tot 950 °C met 70-kW stroom (laadcapaciteit ±180 kg) gedurende 2 uur, wat resulteert in 0,78 kWh/kg korrels. Daarom bedraagt het totale energieverbruik voor de productie van de zeolietkorrels 7,15 kWh/kg zeolietkorrels.

Het vereiste gewicht van de korrels is 51 ton voor een EBCT van 5 minuten en 102 ton voor een EBCT van 10 minuten. Met gebruikmaking van een conversiefactor uit de IPMV-richtlijnen (1 kWh = 0,53 kg CO<sub>2</sub>) draagt het energieverbruik voor de zeolietproductie bij met 0,82 kg CO<sub>2</sub>/kg zeoliet als korrels [7]. Om de waarden in het CO<sub>2</sub>-model in te vullen wordt een conversiefactor gegeven door het energieverbruik voor de productie van zeolietkorrels met een hoog silica-gehalte te vergelijken met actieve kool in korrelvorm (GAK), waarbij 1 kg GAK een bijdrage van 11 kg CO<sub>2</sub> oplevert [27]. Opgemerkt dient te worden dat de CO<sub>2</sub>-footprint van de grondstof (bijvoorbeeld silica zaden, mijnbouw, siliconenafval, etc.) onbekend is en daarom niet meegenomen wordt in de berekening [28]. De conversiefactor is dus 0,07 kg zeoliet/kg GAK. De input voor het CO<sub>2</sub>-model in de GAK-cel was daarom 7,6 ton voor een EBCT van 10 minuten en 11,5 ton voor een EBCT van 15 minuten.

#### 7.3.4 OZONPRODUCTIE, OZONVERBRUIK EN ZUURSTOFTOEVOER

De *in-situ*-regeneratie met ozon begint met de injectie van ozongas onderin de kolom (*in-gas*). Het overtollige gas wordt aan de bovenzijde van de kolom afgevoerd (*off-gas*). Tabel 4.1 geeft weer dat ozon in het *off-gas* werd gedetecteerd en binnen 3 uur was de concentratie van ozon in het *off-gas* vrijwel hetzelfde als in het *in-gas*. Dit zou kunnen betekenen dat het ozonverbruik geleidelijk afneemt; om ozongas te besparen werd de ozonisatieduur verminderd tot 1,5 uur.

In een *full-scale* toepassing zal ook een recirculatiesysteem worden ingevoerd. Deze recirculatie zal het mogelijk maken het ozon *off-gas* terug te voeren naar het *in-gas*, wat zal resulteren in een efficiënter ozongebruik en bijgevolg in een lager elektriciteitsverbruik voor het genereren van ozon. Aangezien de volledige ozonregeneratie gepland is gedurende 1,5 uur, zal de energie voor het opwekken van ozon alleen in het eerste half uur op volle capaciteit nodig zijn. De benodigde capaciteit in het laatste uur zal afhangen van het recirculatiesysteem dat gebruik maakt van een kleine ozonbestendige gaspomp met een te verwaarlozen energieverbruik in vergelijking met de ozongenerator. Daarom is in deze haalbaarheidsstudie het energieverbruik voor de ozongenerator (100 mg/L gedurende 90 min zonder gasrecirculatie) gedeeld door een factor 3 vanwege het efficiëntere gebruik van ozon door gasrecirculatie.

Het ozongas voor de pilot plant werd geproduceerd uit gasvormige zuurstof. Het converteerde ozongas varieert afhankelijk van de afstemming van de in- en uitgangsdrukken en de omgevingstemperatuur. Het ozongas voor de *full-scale* toepassing wordt daarentegen geproduceerd uit vloeibare zuurstof (LOX). Het benodigde ozongas is 18,50 g ozon/kg zeolietkorrels [7] [13]. Voor de zuurstofconsumptie van de ozongenerator is uitgegaan van 7 Nm<sup>3</sup> zuurstof/kg ozon op basis van informatie over verschillende typen ozongeneratoren. LOX-compressiefactor van zuurstofgas is 0,92 Nm<sup>3</sup>/L [29]. Dit betekent dat voor elke regeneratieproces 0,51 m<sup>3</sup> LOX nodig is. De dichtheid van LOX is 1141 kg/m<sup>3</sup> [30]. Aangenomen dat er elke dag 3-4 filters worden geregenereerd, bedraagt het jaarlijks verbruik van LOX voor ozonisatie elke 7 dagen respectievelijk 71 ton voor een EBCT van 10 minuten en 107 ton voor een EBCT van 15 minuten. Voor elke 5 dagen bedraagt het 100 ton voor een EBCT van 10 minuten en 150 ton voor een EBCT van 15 minuten. Er wordt een *close-loop* uitgevoerd (recirculatie) om het ozongas dat uit de uitlaat komt op te slaan en het tijdens de ozonisatieperiode met behulp van een gaspomp naar de kolom terug te voeren.

### 7.3.5 TERUGSPOELEN

In paragraaf 7.1 is vermeld dat het terugspoelwater in volume 10% van het effluent bedraagt, voor zowel voor- als naspoeling. De belangrijkste functie van de voerspoeling is het verwijderen van verstoppingen en het opnieuw ordenen van de zeolietkorrels in het bed, zodat dit gereed is voor drogen en ozonregeneratie. De naspoeling voert mogelijk restanten van de geoxideerde micro's naar het (biologische) hoofdbehandelingsproces. Bij het AdOx-proces wordt er geen slib en neerslag geproduceerd in het filter. Of in het midden van de standtijd tijdens de adsorptiefase (5-7 dagen) nog een terugspoeling nodig is, kan later in de *full-scale* toepassing worden nagegaan.

### 7.3.6 SCENARIO'S

De wijzigingen na de pilot plant studie (Tabel 7.1) resulteerden in bijgewerkte versies met twee verschillende EBCT's: 10 en 15 minuten. Bovendien kon een kortere beladingstijd resulteren in een hogere verwijdering, wat leidde tot twee opties voor de beladingstijd: 5 en 7 dagen. Aangezien de zeolietkorrels voor de pilot plant werden besteld tegen een aangepaste prijs, lag de prijs dicht bij de detailhandelsprijs uit de haalbaarheidsstudie. Hoewel deze prijs waarschijnlijk zal dalen bij een grote bestelling (bulkprijs), zijn er momenteel geen verdere scenario's gebaseerd op prijzen anders dan de bulkprijs en retailprijs. De scenario's als volgt:

1. EBCT = 10 minuten, beladingstijd = 7 dagen  
Het eerste scenario heeft betrekking op de eerste 10 cycli van de pilot plant. De lagere invoerwaarden betreffen lager elektriciteitsgebruik (vanwege kortere droog- en ozonisatieduur) en de lagere vloeibare zuurstofvraag (vanwege verkorte ozonisatie). De opvoerhoogte van het AWZI-effluent werd gehandhaafd op 7 m (en niet op de standaardwaarde van 8 m) aangezien de EBCT lager is dan die van Ozon+ZF en GAK (respectievelijk 15 en 17 minuten en daarmee de zeoliet kolomhoogte geringer) [31] [32]. Het gewicht van zeoliet is 102,3 ton en met de conversiefactor is het 7,8 ton.
2. EBCT = 10 minuten, beladingstijd = 5 dagen  
Aangezien de verwijdering van sommige stoffen continu oploopt gedurende een beladingstijd van 7 dagen (Figuur 4.2), zou het eerder regenereren van het zeolietbed een alternatief kunnen zijn, terwijl de EBCT op 10 minuten blijft. De totale verwijderingsprestaties zouden kunnen toenemen, maar ook het energieverbruik en CO<sub>2</sub>-footprint door de frequentere regeneratie. Het gewicht van zeoliet is hetzelfde als in scenario 1.

## 3. EBCT = 15 minuten, beladingstijd = 7 dagen

Dit scenario heeft betrekking op de laatste cyclus van de pilot plant. Terwijl de duur van belading, drogen en ozonisatie hetzelfde was als bij de EBCT van 10 minuten, werd de opvoerhoogte van het AWZI-effluent 8 m (standaardwaarde), aangezien de EBCT nu bijna gelijk is aan Ozon+ZF en GAK [31] [32]. Met deze hogere EBCT nam de benodigde hoeveelheid zeolietkorrels en vloeibare zuurstof (voor ozongeneratie) toe. Het gewicht van zeoliet is 153,5 ton en met de conversiefactor is het 11,5 ton.

## 4. EBCT = 15 minuten, beladingstijd = 5 dagen

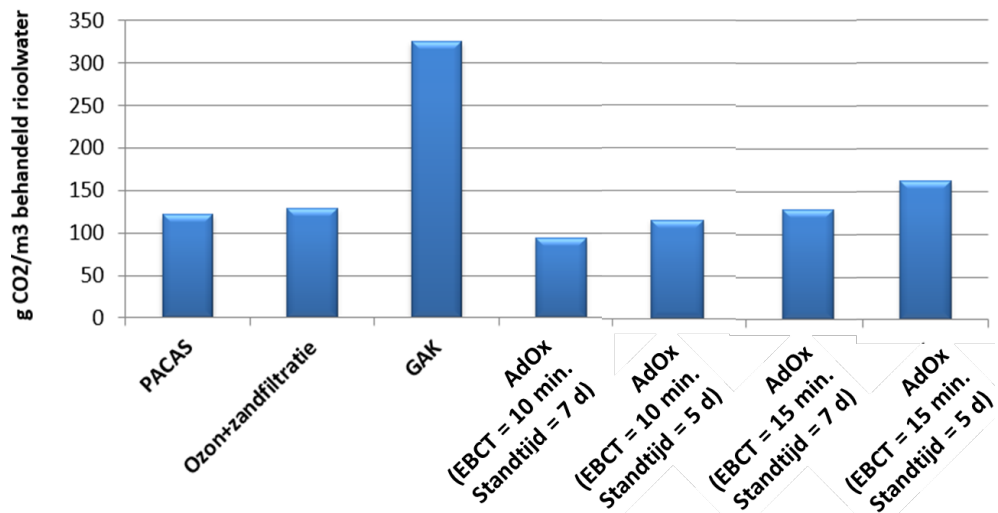
Het optimale scenario is een combinatie van een langere EBCT (15 minuten) en een kortere standtijd (5 dagen), waarmee het verwijderingspercentage 80-90% kan bereiken. Dit heeft echter als consequentie dat energiegebruik en CO<sub>2</sub>-footprint stijgen. Het gewicht van zeoliet is hetzelfde als in scenario 3.

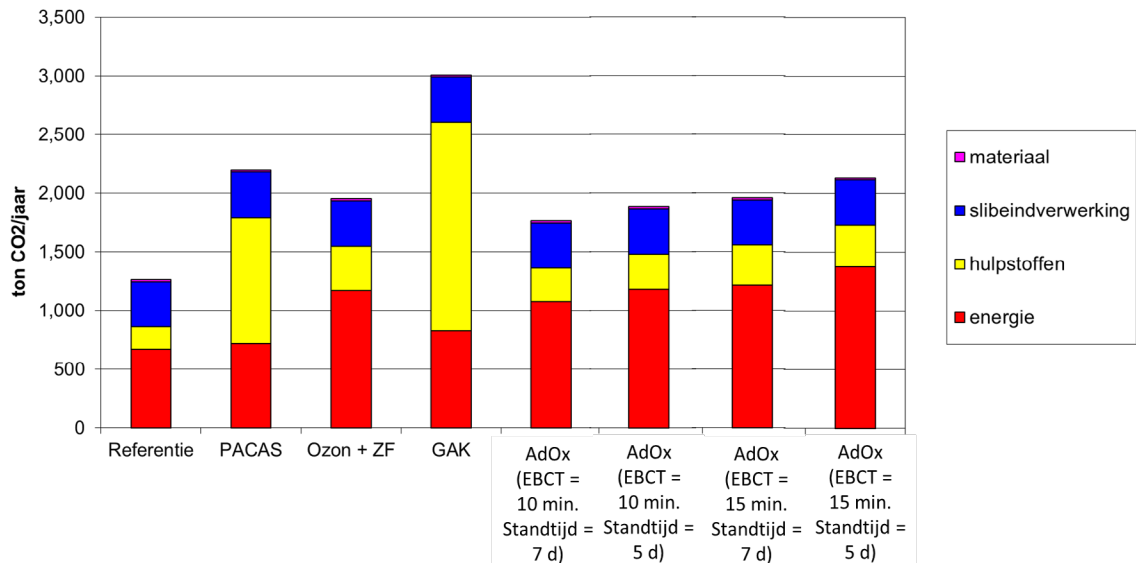
De vergelijking van AdOx met de referentie AWZI (zonder enige OMV-behandeling), PACAS, Ozon+ZF en GAK is samengevat in Tabel 7.2, Figuur 7.1 en Figuur 7.2.

**TABEL 7.2** CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT: PACAS, OZON+ZF, GAK EN ADOX (EBCT = 10 MIN, STANDTIJD = 7 DAGEN) OP BASIS VAN HET PILOT PLANT ONDERZOEK

		Ref	PACAS	Ozon+ZF	GAK	AdOx (scen. 1)	AdOx (scen. 2)	AdOx (scen. 3)	AdOx (scen. 4)
CO <sub>2</sub> -footprint totaal	ton CO <sub>2</sub> /jr	1265	2198	1953	3009	1774	1892	1970	2147
behandelde hoeveelheid	m <sup>3</sup> /jaar	0	7.665.000	5.365.500	5.365.500	5.365.500	5.365.500	5.365.500	5.365.500
CO <sub>2</sub> -footprint verwijdering micro's	g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>		122	128	325	95	117	131	164

**FIGUUR 7.1** CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT VOOR HET VERWIJDEREN VAN OMV'S: PACAS, OZON+ZF, GAK EN ADOX (VIER SCENARIO'S) OP BASIS VAN HET PILOT PLANT ONDERZOEK



FIGUUR 7.2 TOTALE CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT: PACAS, OZON+ZF, GAK EN ADOX (VIER SCENARIO'S) OP BASIS VAN HET PILOT PLANT ONDERZOEK

#### 7.4 KOSTENBEREKENING

De kostenberekening werd uitgevoerd voor alle vier de scenario's zoals gebruikt voor de CO<sub>2</sub>-footprint berekeningen (paragraaf 7.3). De analyse betreft zowel de investeringen of kapitaalkosten (CAPEX) als de operationele kosten (OPEX). De waarde van elk kostenelement was in principe hetzelfde als in de haalbaarheidsstudie (STOWA 2022-10); wijzigingen werden alleen toegepast op basis van gewijzigde omstandigheden resulterend uit het pilot plant onderzoek.

Met inachtneming van de STOWA IPMV Call 2020-richtlijnen werden de investeringskosten of CAPEX onderverdeeld in 5 disciplines: Civiel, Mechanisch, Elektrisch en Procesautomatisering. De waarden van de kosten werden overgenomen uit RHDHV Kostencalculator [33]. De zeolietkorrels met hoog silicagehalte werden verondersteld als het opstartmateriaal, zonder jaarlijkse toevoeging of vervanging, en zijn daarom opgenomen als CAPEX. De volledige berekening is te vinden in Bijlage C-1.

Bij deze investeringskosten zijn 25% aannemersloon, 25% onvolledigheidsfactor en 80% ingenieurs - projectmanagement kosten opgeteld, behalve voor het opstartmateriaal omdat dit als eenmalige verbruiksmateriaal wordt aangeschaft. In de huidige prijs is ook het vervoer over zee inbegrepen.

Om de CAPEX en de OPEX op gelijke wijze samen te voegen en de jaarlijkse totale kosten te bepalen, werden de eenmalige investeringskosten geprojecteerd op basis van hun levensduur; 30 jaar voor de civiele, 15 jaar voor de mechanische en elektrische, 5 jaar voor de procesautomatisering en 30 jaar voor het opstartmateriaal. De projectie werd uitgevoerd met behulp van een analyse van de Jaarlijkse Equivalente Kosten (JEK) aan de hand van de volgende formule:

$$A = P \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

waar :

A = geraamde jaarlijkse kosten

P = huidige kosten (netto kontante waarde of NPV)

n = levensduur van elke kosteninvestering

i = rente percentage (4%, zoals in de STOWA IPMV Call 2020-richtlijnen)



### 7.4.1 STICHTINGSKOSTEN

In principe werden de CAPEX-kosten gehandhaafd zoals in de haalbaarheidsstudie [7]. De kosten voor apparatuur en faciliteiten zijn ontleend aan de RHDHV kostencalculator uit het jaar 2018, en ook de waarden uit de haalbaarheidsstudie werden gehanteerd [7]. Deze kosten zijn niet aangepast aan de inflatie (2018-2023) en dienen niet als raming voor een praktijkschaalinstallatie toepassing, maar enkel ter vergelijking met de andere STOWA-IPMV technologieën. Waarden voor de levensduur, bouwkosten en onvolledigheidsfactor volgden dezelfde STOWA-richtlijnen als voor de haalbaarheidsstudie [7].

De wijzigingen ten opzichte van de haalbaarheidsstudie betreffen:

- De toegepaste EBCTs zijn 10 minuten en 15 minuten met een standtijd van 5 of 7 dagen (dezelfde scenarios als in CO<sub>2</sub>-footprint berekening).
- Geen reserve-eenheid vereist voor de blower. De droogtijd kon worden gehandhaafd op 4 uur, dus in het geval van een *full-scale* installatie met meerdere kolommen kan één blower worden gebruikt voor maximaal 6 kolommen per dag.
- De prijs van zeolietkorrels zoals toegepast in de pilot plant lag dicht bij de bovengrens van de retailprijs (€ 120/kg, scenario 3 haalbaarheidsstudie), vanwege het feit dat het de eerste (kleinschalige) testbatch betrof. In *full-scale* toepassingen zal de bulkprijs gelden (minimaal € 25/kg zoals in scenario 2 en 4 van de haalbaarheidsstudie) [7]. Daarom werden de zeolietkosten voor de vier scenario's berekend met behulp van twee prijzen: retail (€ 120/kg, zoals de prijs voor de pilot plant) en bulk (€ 25/kg) [34]. De uiteindelijke prijs zal waarschijnlijk tussen deze twee prijzen liggen.

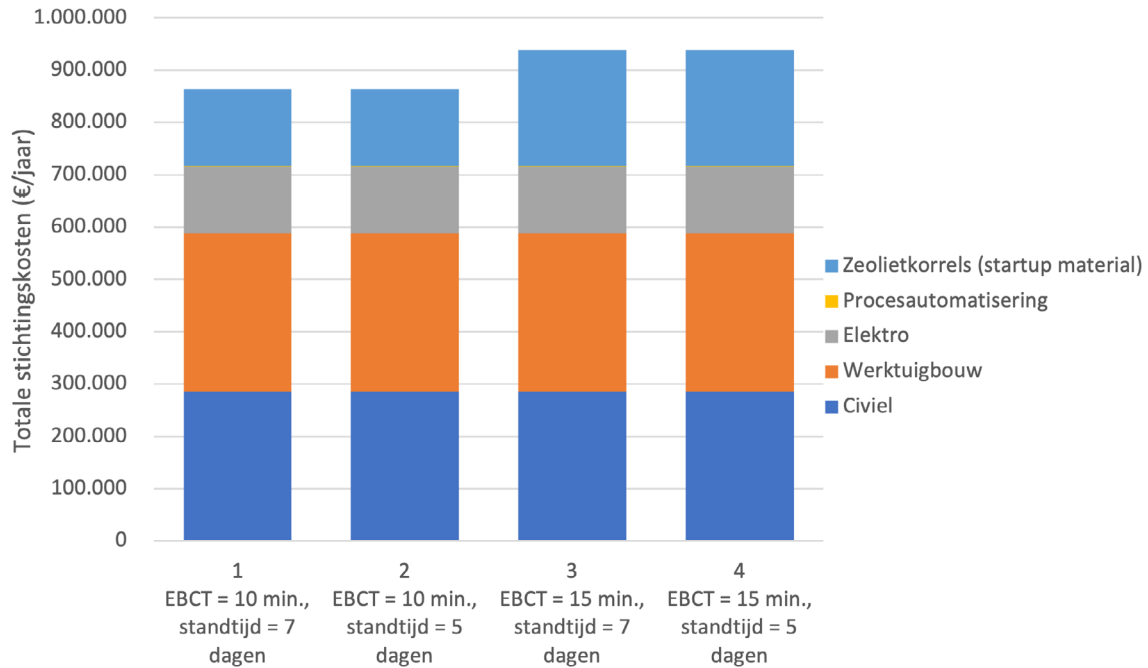
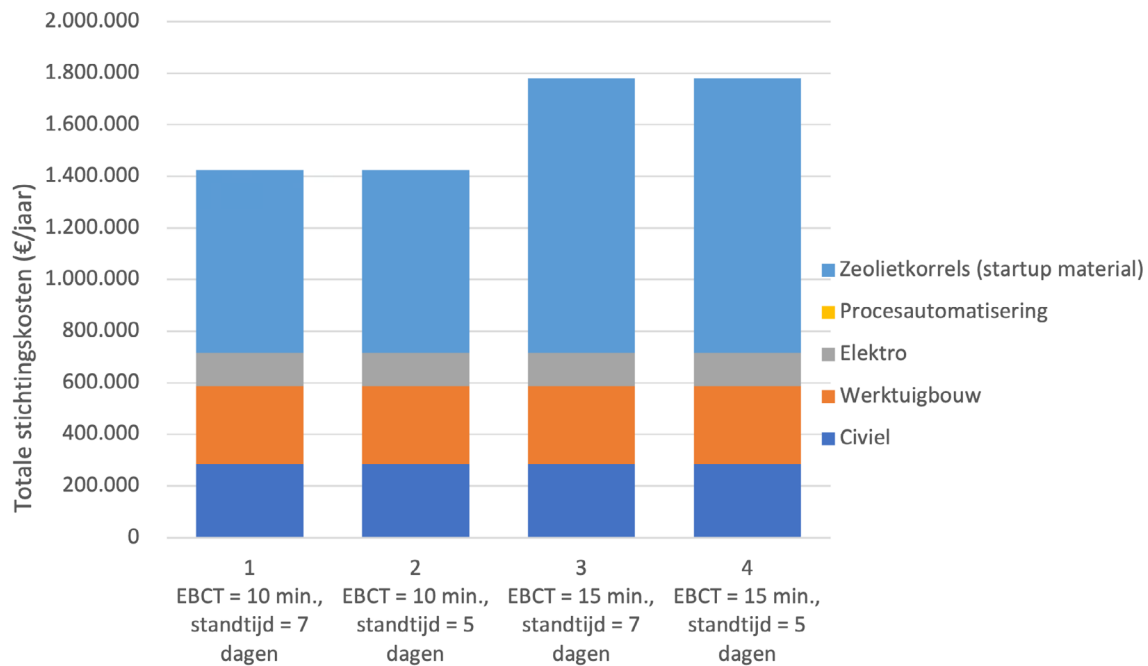
TABEL 7.3 EENHEIDSPRIJZEN VOOR FULL-SCALE ADOX-TOEPASSING

Kostenpost	Aantal	Totale stichtingskosten (€)				Referentie
		Civiel	Werktuigbouw	Elektro	Procesauto-matisering	
Influentpomp	21*	52.808	6213	3.106	-	RHDHV Kostenkalkulator
AdOx-filter	21	1.569.175	995.823	452.647	-	RHDHV Kostenkalkulator
Blower met luchtverwarmer	1*	801	901	300	-	Almond Techniek
Ozongenerator met stroomvoorziening	1	127.658	191.487	47.872	-	Wedeco PDO 1000-148 (2008)
Vloeibare zuurstof (LOX) cilinder incl. verdamper	1	257	289	96	-	Multigaz BV
Membraan gaspomp voor de recirculatie van ozon	1	225	253	84	-	Alibaba (pneumatic chemical pump)
Ozonvernietiger (indien nodig)	1	123	139	46	-	Fruugo
Procesautomatisering	-	-	-	-	1.200	RHDHV Kostenkalkulator
<b>Totaal basiskosten</b>		<b>1.753.563</b>	<b>1.195.401</b>	<b>504.300</b>	<b>1.200</b>	
Aannemersloon (25%)		438.391	298.850	126.075	-	STOWA IPMV 2020
Onvolledigheidsfactor (25%)		547.989	373.563	157.594	300	STOWA IPMV 2020
Ingenieurs- projectmanagement (80%)		2.191.954	1.494.252	630.376	1.200	STOWA IPMV 2020
<b>Totale bouwkosten</b>		<b>4.931.897</b>	<b>3.362.067</b>	<b>1.418.345</b>	<b>2.700</b>	

\* : Gebaseerd op 21 kolommen waarvan 20 kolommen in filtratiemodus en 1 in regeneratie

Kostenpost	Aantal	Totale opstartmateriaal voor stichtingskosten (€)	Referentie
Zeolietkorrels	102 ton	12.275.417 (retailprijs), 2.557.378 (bulkprijs)	Pilot plant

Na aanpassingen op basis van de resultaten van de pilot plant liggen de CAPEX-kosten voor AdOx per m<sup>3</sup> behandeld water tussen € 0,11 - € 0,12/m<sup>3</sup> bij gebruik van de bulkprijs voor zeoliet en tussen € 0,19 - € 0,23/m<sup>3</sup> bij gebruik van de retailprijs. De verdeling per kostenelement is weergegeven in Figuur 7.3 en Figuur 7.4.

**FIGUUR 7.3 CAPEX VOOR VIER SCENARIO'S VAN ADOX MET BULK ZEOLIETPRIJS (OP BASIS VAN HET PILOT PLANT ONDERZOEK)****FIGUUR 7.4 CAPEX VOOR VIER SCENARIO'S VAN ADOX MET RETAILPRIJS VOOR ZEOLIET (OP BASIS VAN HET PILOT PLANT ONDERZOEK)**

#### 7.4.2 OPERATIONELE KOSTEN

Net zoals met de stichtingskosten, werden ook de operationele kosten (OPEX) gehanteerd zoals vermeld in de haalbaarheidsstudie [7]. Omdat de OPEX nauw samenhangt met de CAPEX, varieert deze ook volgens de vier scenario's en twee zeolietprijzen. Alle kosten voor apparatuur en faciliteiten zijn gebaseerd op de RHDHV kostenkalkulator [7]. Andere kostenposten, waaronder onderhoud voor civiele werken, werktuigbouw, elektrische en procesautomatisering, volgden dezelfde STOWA-richtlijnen als in de haalbaarheidsstudie [7]. De waarden voor variabele kosten of OPEX werden zoals Tabel 7.4 in bepaald volgens de STOWA IPMV Call 2020-richtlijnen.

TABEL 7.4 OPEX VOOR ADOX FULL-SCALE TOEPASSING

Kostenpost	Eenheid	Eenheidsprijs (€/jaar)	Referentie
<b>I. Operationeel en onderhoud</b>			
Onderhoud civiel	LS	0.5% van de civiele CAPEX	IPMV Richtlijnen 2020
Onderhoud werktuigbouw	LS	3% van werktuigbouw CAPEX	IPMV Richtlijnen 2020
Onderhoud elektro	LS	3% van elektrische CAPEX	IPMV Richtlijnen 2020
Onderhoud procesautomatisering	LS	3% van procesautomatisering CAPEX	IPMV Richtlijnen 2020
Personeel	FTE	50.000,00	IPMV Richtlijnen 2020
Elektriciteit	kWh	0,10	IPMV Richtlijnen 2020
Warmte (voor het drogen)	kWh	0,10	Eurostat 2020 (NL)
Productie terugspoelen	m <sup>3</sup>	0,04	IPMV Richtlijnen 2020
Verwerking van het spoelwater	m <sup>3</sup>	0,01	IPMV Richtlijnen 2020
<b>II. Consumeerbare materialen</b>			
Polymeer	kg	3,00	IPMV Richtlijnen 2020
Vloeibare zuurstof (LOX) voor ozonisatie	kg	0,20	IPMV Richtlijnen 2020
IJzerchloride 40% w/w	ton	120,00	IPMV Richtlijnen 2020
Polyaluminiumchloride 40% w/w	ton	120,00	IPMV Richtlijnen 2020
Methanol	ton	355,00	IPMV Richtlijnen 2020
Geproduceerd slib	ton (ds)	600,00	IPMV Richtlijnen 2020
Extra verse zeolietkorrels	kg	€ 26,96/jaar (van € 120/kg opstartmateriaal)	Pilot plant

In AdOx kunnen bijna alle operationele taken automatisch worden gepland, daarom werd voor de personeelssterkte slechts 0,5 FTE ingevuld. Voor de AdOx behandeling bestaan de elektriciteitskosten uit het pompen van het effluent van de AWZI als het influent van de filtratiekolom, twee terugspoelstappen en ozongeneratie. Voor het droogproces is warmte nodig, waarvan wordt aangenomen dat het uit fossiele brandstoffen komt (paragraaf 7.3.2). De prijs wordt berekend per kWh, en is dus gelijk aan de prijs van elektriciteit (€ 0,1/kWh).

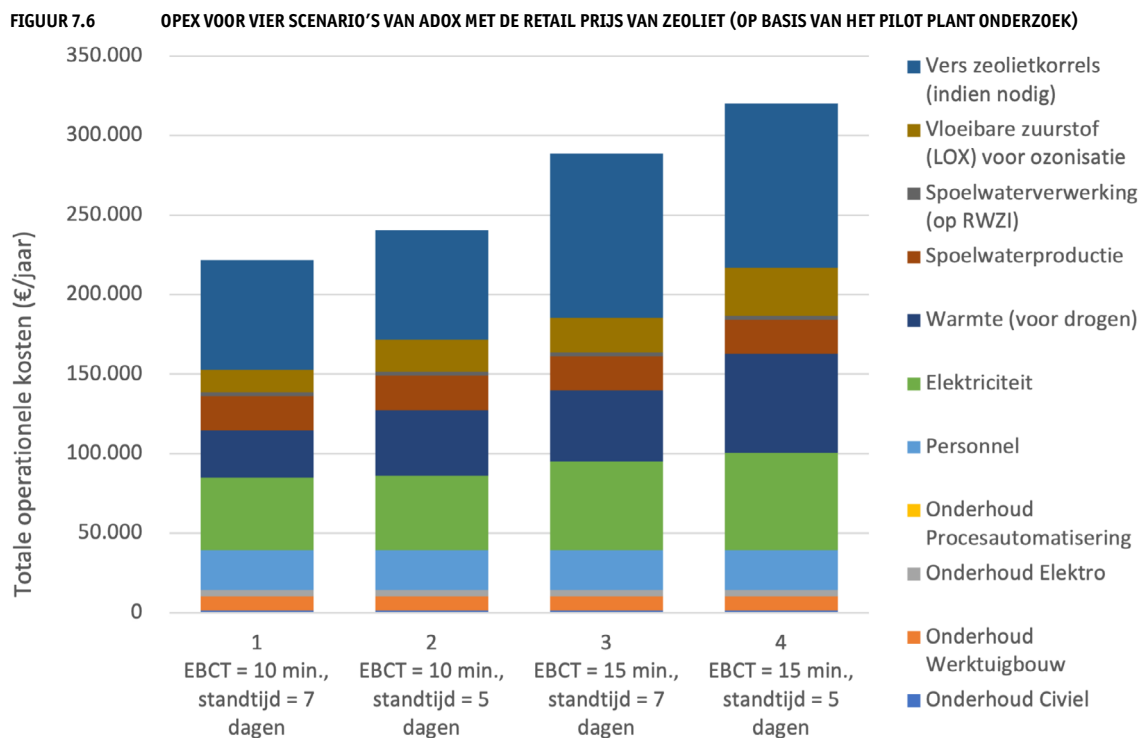
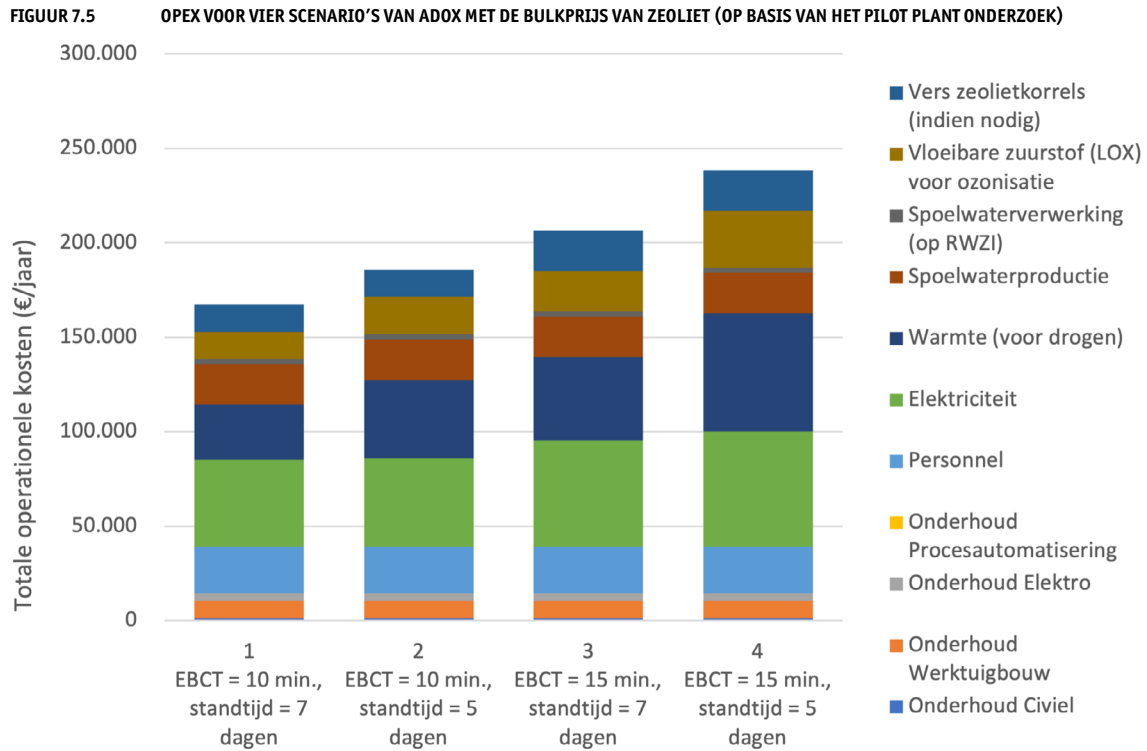
AdOx heeft twee (terug-)spoelingen, daarom omvat het totale volume van de voorspoeling- en terugspoeling. In AdOx wordt het voorspoelwater direct geloosd op het oppervlaktewater, daarom hoeft alleen het naspoelwater te worden teruggevoerd naar de hoofd-AWZI. De verwerkingskosten worden alleen toegepast op de naspoeling. De totale spoelwaterproductie bedraagt 107.310 m<sup>3</sup>/jaar en het volume van de naspoeling bedraagt 53.665 m<sup>3</sup>/jaar.

De wijzigingen ten opzichte van de haalbaarheidsstudie betreffen:

- Het terugspoelvolume werd verhoogd van 4% naar 10%, vanwege de zwevende deeltjes in het effluent van de nabezinktank. In de pilot plant werd dit afgevangen in de voorfiltratiestappen, in een *full-scale* toepassing worden geen voorfiltratiestappen gebruikt. Daarom zal er teruggespoeld moeten worden tijdens de looptijd van een zeolietkolom, niet alleen gedurende de voor- en naspoeling tijdens een regeneratie. De terugspoelsnelheid is echter lager dan in het geval van Ozon+ZF en GAK vanwege de lage dichtheid van de zeoliet korrels. Daarom zou het totale terugspoelvolume van AdOx minder kunnen zijn dan van Ozon+ZF en GAK. Vooralsnog is 10% aangehouden.
- Het benodigde elektriciteitsverbruik is verminderd vanwege een kortere ozonisatieduur (van 3 naar 1,5 uur), ondanks de toegenomen behoefte aan terugspoelen (van 4% naar 10%).
- De benodigde hoeveelheid warmte (uit fossiele brandstoffen) is verminderd vanwege een kortere droogtijd (van 5 naar 4 uur).
- De aanvulling met nieuwe zeolietkorrels is verminderd van 5% naar 2,5% elke 5 jaar, aangezien er geen daling in de bedhoogte werd waargenomen tussen de 1<sup>e</sup> en 11<sup>e</sup> cyclus

van de pilotinstallatie, wat impliceert dat geen zeolietmateriaal verloren gaat tijdens spoelen en ozonregeneratie. De kosten van deze extra korrels hangen af van de kosten van het opstartmateriaal en worden berekend met behulp van twee waarden (bulk- en retailprijs), zoals in de CAPEX voor startmateriaal (paragraaf 7.4.1).

Na aanpassingen op basis van de resultaten van de pilot plant liggen de operationele kosten (OPEX) van AdOx per m<sup>3</sup> behandeld water tussen € 0,02 en € 0,03/m<sup>3</sup> bij gebruik van de bulkprijs van zeoliet en tussen € 0,03 en € 0,04/m<sup>3</sup> bij gebruik van de retailprijs. De verdeling per kostenpost is weergegeven in Figuur 7.5 en Figuur 7.6.

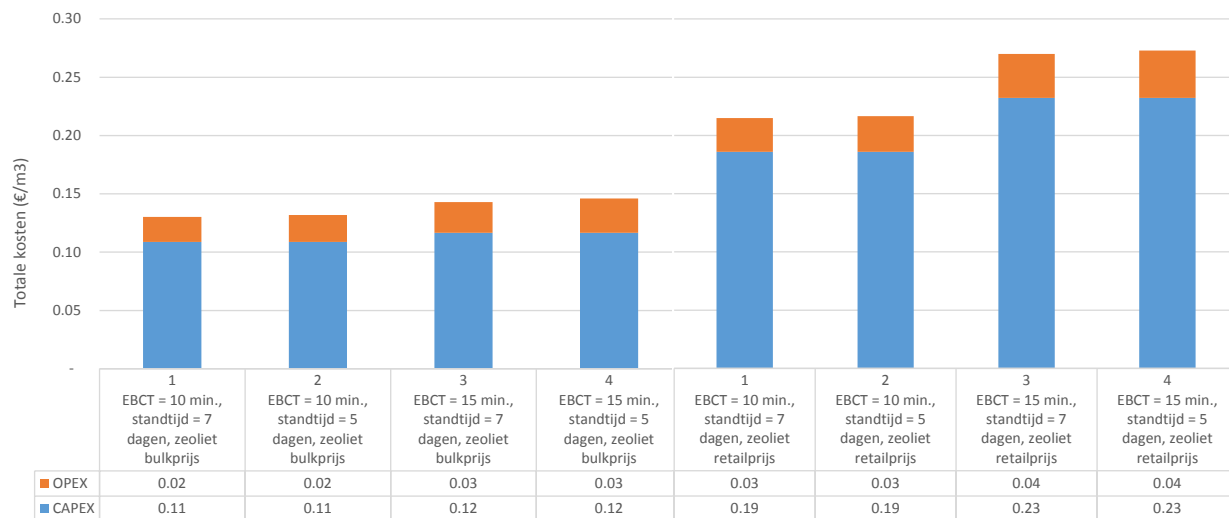


De kosten van de vier scenario's met twee zeolietprijzen zijn samengevat in Tabel 7.5. De tabel laat zien dat de totale kosten van AdOx variëren tussen € 0,13 – 0,15/m<sup>3</sup> bij gebruik van de bulkzeolietprijs en tussen € 0,21 – 0,27/m<sup>3</sup> bij gebruik van de retailprijs. De verhouding tussen CAPEX en OPEX voor alle scenario's is weergegeven in Figuur 7.7. Gedetailleerde berekeningen zijn te vinden in Bijlage C.

TABEL 7.5 KOSTENSAMENVATTING VOOR ADOX (VIER SCENARIO'S, TWEE ZEOLIETPRIJZEN) OP BASIS VAN DE PILOT PLANT STUDIE

Eenheid	CAPEX				OPEX				Totaal			
	(€/jaar)		(€/m <sup>3</sup> )		(€/jaar)		(€/m <sup>3</sup> )		(€/jaar)		(€/m <sup>3</sup> )	
	Bulk-prijs	Retail-prijs	Bulk-prijs	Retail-prijs	Bulk-prijs	Retail-prijs	Bulk-prijs	Retail-prijs	Bulk-prijs	Retail-prijs	Bulk-prijs	Retail-prijs
<b>Scenario 1</b> EBCT = 10 min, standtijd = 7d	863.700	1.425.700	0,11	0,19	185.914	234.737	0,02	0,03	1.049.614	1.660.436	0,13	0,21
<b>Scenario 2</b> EBCT = 10 min, standtijd = 5d	863.700	1.425.700	0,11	0,19	206.713	288.578	0,02	0,03	1.070.413	1.714.278	0,14	0,22
<b>Scenario 3</b> EBCT = 15 min, standtijd = 7d	937.700	1.780.700	0,12	0,23	238.328	311.567	0,03	0,04	1.176.028	2.092.267	0,15	0,27
<b>Scenario 4</b> EBCT = 15 min, standtijd = 5d	937.700	1.780.700	0,12	0,23	167.311	221.884	0,03	0,04	1.105.011	2.002.584	0,15	0,27

FIGUUR 7.7 TOTALE KOSTEN VAN ADOX VOOR VIER SCENARIO'S EN TWEE ZEOLIETPRIJZEN (OP BASIS VAN HET PILOT PLANT ONDERZOEK)



Tabel 7.6 toont de vergelijking tussen AdOx en bestaande referentietechnologieën (PACAS, Ozon+ZF en GAK).

TABEL 7.6 TOTALE KOSTEN VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN PER BEHANDELDE M<sup>3</sup> AWZI-EFFLUENT (PACAS, OZON+ZF, GAK, ADOX)

Totale Kosten	PACAS (25 mg/L)	Ozon+ZF	GAK	AdOx (EBCT: 10 min.)	AdOx (EBCT: 15 min.)
€/m <sup>3</sup>	0,06	0,17	0,26	0,13 – 0,22	0,14 – 0,27
Bron	STOWA 2018-02	STOWA 2017-36	STOWA 2017-36	Tabel 7.5	Tabel 7.5

## 7.5 VERGELIJKING KOSTEN EN CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT MET REFERENTIETECHNOLOGIEËN

De kosten en CO<sub>2</sub>-footprint van AdOx en andere bestaande referentietechnologieën zijn samengevat in Tabel 7.7. De kosten zijn berekend met zowel bulk- en retailprijs. De berekening van het ozongasverbruik is gebaseerd op de pilot plant, die in de volgende proefinstallatie (tweede pilot plant) zal worden geoptimaliseerd. AdOx is competitief op de aspecten CO<sub>2</sub>-footprint en kosten. De OMV verwijdering blijft iets achter, maar optimaliseringsmogelijkheden zijn aanwezig (zie paragraaf 8.2).

**TABEL 7.7 VERGELIJKING KOSTEN EN CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT VERWIJDERING MICROVERONTREINIGINGEN (PACAS, OZON+ZF, GAK, ADOX)**

	Eenheid	PACAS (25 mg/L)	Ozon+ZF	GAK	AdOx (EBCT: 10 min)	AdOx (EBCT: 15 min)
CO <sub>2</sub> -footprint	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	122	128	325	95	131
CO <sub>2</sub> -footprint	ton CO <sub>2</sub> /jaar	2.198	1.953	3.009	1774	1970
Kosten	EUR/m <sup>3</sup>	0,05	0,17	0,26	0,13 (bulk) 0,22 (retail)	0,14 (bulk) 0,27 (retail)
Verwijderingsrendement gidsstoffen	%	70-75	80-85	80-85	67	74

## 7.6 INTEGRATIE IN NEDERLANDSE AWZI'S

Uit de resultaten (paragraaf 4.2) is gebleken dat AdOx met een EBCT van 10 minuten iets beter (5%) presteert volgens de richtlijnen van de EU dan volgens de NL-richtlijnen. Aan de andere kant is met een EBCT van 15 minuten de verwijdering van de NL-gidsstoffen hoger dan die van de EU. De algehele verwijdering van OMV's in de hele AWZI houdt rekening met *by-pass* tijdens RWA, en neemt daarom af met 5%. De details van de verwijderingsprestaties en de goed-verwijderde gidsstoffen volgens de EU- en NL-richtlijnen zijn samengevat in Tabel 7.7. AdOx presteert met betrekking tot OMV verwijdering minder dan de referentie technologieën.

TABEL 7.8 VERWIJDERINGSRENDEMENT ADOX VOLGENS DE EU DIRECTIVE EN NL-GIDSTOFFEN IN VERGELIJKING MET ANDERE TECHNOLOGIEËN

	Ozonisatie	PACAS	Granulair Actief Kool (GAK)	AdOx EBCT: 10 min	AdOx EBCT: 15 min
Instelling	0,7 g O <sub>3</sub> /g DOC	15-20 mg PAK/l	EBCT : 30 min; standtijd 6 maanden	EBCT : 10 min; standtijd 7 dagen	EBCT : 15 min; standtijd 7 dagen
Nageschakeld verwijderingsrendement volgens de NL richtlijnen (Ministerie IenW en IPMV) (%)	80-90	nvt	80-90	72*	79*
Nageschakeld verwijderingsrendement volgens de EU richtlijnen (%)	80-90	nvt	80-90	83*	77*
Overall verwijderingsrendement (%) volgens rekenregels bijdrageregeling Ministerie IenW en IPMV (7 van de 11)	80-85	70-80	80-85	67	74
Gekozen gidsstoffen NL (7 van de 11)	Carbamazepine, Diclofenac, Hydrochloor-thiazide, Sotalol, Metoprolol, Trimethoprim, Venlafaxine	Benzotriazool, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Sotalol, Metoprolol, Trimethoprim, Venlafaxine	Benzotriazool, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Sotalol, Metoprolol, Trimethoprim, Venlafaxine	Metoprolol, Sotalol, som 4,5-methyl benzotriazol, Thrimethoprim, - keuze tussen: 1,2,3-benzotriazol, Gabapentine of Venlafaxine - keuze tussen: Irbesartan of Hydrochloorthiazide	Metoprolol, Sotalol, Venlafaxine, Irbesartan, som 4,5-methyl benzotriazol, Thrimethoprim, - keuze tussen: 1,2,3-benzotriazol, Hydrochloorthiazide of Gabapentine
Overall verwijderingsrendement (%) volgens rekenregels concept EU Richtlijn Stedelijk Afvalwater dd 26/10/2022 (6 van de 12 onderverdeeld in categorieën)	75-85	70-80	75-85	78	72
Gekozen gidsstoffen EU (6 van de 12; verhouding van 2:1 voor aantal stoffen uit categorie 1 ten opzichte van aantal stoffen uit categorie 2)	Benzotriazool, Carbamazepine, Diclofenac, Citalopram, - keuze tussen metoprolol of venlafaxine - keuze tussen irbesartan of som 4,5-methyl benzotriazool	Benzotriazool, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Metoprolol; Venlafaxine Citalopram	Benzotriazool, som 4,5-methyl benzotriazol, Hydrochloor-thiazide, Metoprolol; Venlafaxine Citalopram	Amisulpride, Citalopram, Metroprolol, Venlafaxine, 1,2,3-benzotriazool, som 4,5-methyl benzotriazol	Amisulpride, Citalopram, Metroprolol, Venlafaxine, 1,2,3-benzotriazool, som 4,5-methyl benzotriazol

\* zie Tabel 4.4 en 4.5

# 8

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 8.1 CONCLUSIES EN ANTWOORDEN OP DE KENNISVRAGEN

Gedurende de operationele periode heeft de AdOx-pilotinstallatie na enige opstartproblemen een goede prestatie laten zien voor de verwijdering van OMV's. Op basis van de Nederlandse richtlijnen kon een maximale nageschakelde verwijdering van 79% worden bereikt, terwijl op basis van de EU-richtlijn een nageschakelde verwijdering van 83% mogelijk was. Dat betekent dat voor de Nederlandse situatie het overall rendement (eis 70%) net wordt gehaald, maar voor de EU-richtlijn (eis 80%) nog niet. De resultaten waren, wat betreft verwijderingsefficiëntie, nog niet helemaal op het niveau van de referentie technologieën, maar gezien het feit dat de pilot plant installatie slechts vier jaar na laboratoriumstudies werd gerealiseerd, is er nog veel ruimte voor optimalisatie. Het pilot plant onderzoek werd uitgevoerd op basis van de kennisvragen (paragraaf 3.2). De volgende inzichten kwamen als antwoorden op de kennisvragen:

#### 8.1.1 INZICHTEN OVER ADSORPTIE VAN ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN MET ZEOLIETEN

- In combinatie met de verwijdering door de AWZI en het bypass-systeem tijdens RWA, voldeed AdOx met een EBCT van 15 minuten (standtijd 7 dagen) aan de Nederlandse eis van de verwijdering van tenminste 70% van 7 van de 11 gidsstoffen (overall rendement 74%).
- De adsorptieprestaties van de pilot plant installatie waren niet geheel stabiel over 11 opeenvolgende cycli. Veranderingen in het verwijderingsrendement deden zich voor als gevolg van wisselende bedrijfscondities, met name de drooginstellingen, die een grote invloed hebben op de regeneratie-efficiëntie. Ook processtoringen in de pilot plant leidden tot variatie in verwijderingsrendementen.
- In de adsorptiefase raakte de zeolietkolom niet verstopt en ondervond geen verhoogde drukval door toepassing van een reeks voorfilters voordat het AWZI-effluent in de zeolietkolom werd gebracht als AdOx-influent. In *full-scale* uitvoering, zonder gebruik van voorfilters, zullen periodiek waarschijnlijk terugspoelingen nodig zijn om verstopping en drukval te beheersen.
- Bij een terugspoelsnelheid tussen 9,4 en 17,5 m/uur, werd geen uitspoeling van de zeolietkorrels waargenomen.
- DOC werd slechts in zeer geringe mate verwijderd door de zeolietkolom. Daarom heeft DOC weinig invloed op het proces: het consumeert geen ozon tijdens de regeneratie, wat een groot voordeel is ten opzichte van directe ozonisatie van AWZI-effluent.

#### 8.1.2 INZICHTEN OVER REGENERATIE VAN ZEOLIETEN MET OZON

- Op basis van de adsorptiecapaciteit over 11 opeenvolgende adsorptie-regeneratie cycli werd de zeolietkolom vrijwel volledig geregenereerd met ozongas, zelfs na het verlagen van de regeneratietijd tot 1,5 uur.
- Drogen met een voldoende hoge temperatuur (60 °C) speelde een belangrijke rol om een volledige regeneratie te waarborgen en daardoor de verwijderingsrendement te herstellen.
- Er trad geen afname van de adsorptiecapaciteit op na elf opeenvolgende adsorptie-regeneratie cycli. Het zeolietmateriaal lijkt inert voor ozongas en het spoelt niet uit tijdens de spoeling voor en na de regeneratie.



- Bromaatvorming is geen probleem voor de AdOx-technologie tijdens de adsorptiefase doordat ozon niet in contact komt met AWZI-effluent. De bromaatconcentratie in zowel AdOx-influent en -effluent was lager dan de detectielimiet (0,2 µg/L). Het terugspoelwater, dat gemengd wordt met AWZI-effluent, kan resten bromaat, ozon en oxidatieproducten bevatten, maar is door verdunningseffecten verwaarloosbaar en niet traceerbaar. Dit is een groot voordeel ten opzichte van technieken waarbij ozon in de hoofdstroom wordt toegepast.

### 8.1.3 INZICHTEN OVER DE BEOORDELING VAN DE GEHELE TECHNOLOGIE (ADSORPTIE-REGENERATIE)

- De CO<sub>2</sub>-footprint en behandelingskosten (met twee prijzen voor zeoliet: bulkprijis en retail prijs) van AdOx zijn berekend voor vier scenario's, samengevat in Tabel 8.1.

TABEL 8.1 CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT EN KOSTEN VAN ADOX VOOR VIER SCENARIO'S EN TWEE PRIJZEN VOOR ZEOLIET

Scenario (g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )		CO <sub>2</sub> footprint		CAPEX (€/m <sup>3</sup> )		OPEX (€/m <sup>3</sup> )		Total (€/m <sup>3</sup> )	
		Bulk	Retail	Bulk	Retail	Bulk	Retail	Bulk	Retail
		1	EBCT = 10 min., standtijd = 7 dagen	95	0,11	0,19	0,02	0,03	0,13
2	EBCT = 10 min., standtijd = 5 dagen	117	0,11	0,19	0,02	0,03	0,14	0,22	
3	EBCT = 15 min., standtijd = 7 dagen	131	0,12	0,23	0,03	0,04	0,15	0,27	
4	EBCT = 15 min., standtijd = 5 dagen	164	0,12	0,23	0,03	0,04	0,15	0,27	

De CO<sub>2</sub> footprint verschilt per scenario maar is vergelijkbaar met PACAS en Ozon+ZF. De CO<sub>2</sub> footprint is aanmerkelijk lager dan die van GAK. De kosten zijn vergelijkbaar met Ozon+ZF en GAK, maar hoger dan die van PACAS.

- De vermindering van ecotoxiciteit is geanalyseerd met behulp van vier bioassays (CALUX-Cytotox, -Erα, -P53 en -PAH) en verwijdering van andere stoffen dan de gidsstoffen is gemeten met een doelgerichte screening (UHPLC-QTOF). Op basis van de resultaten van de bioassay-analyses presteert AdOx goed in het verwijderen van hormonen en andere oestrogeenachtige stoffen zonder schade aan algemene celgetallen en genotoxiciteit: AdOx verwijdert meer dan 50% van het ecotoxicologische effect uit het AWZI-effluent. De doelgerichte screening laat zien dat AdOx over het algemeen de meeste stoffen kan verwijderen, zowel volledig als gedeeltelijk. Enkele stoffen werden gedetecteerd in het effluent, wat kan komen door de vorming van transformatieproducten of metabolieten in het AWZI-proces.

## 8.2 AANBEVELINGEN

AdOx heeft als nabehandelingstechniek bewezen veel potentie te hebben voor de verwijdering van OMV's uit huishoudelijk afvalwater. De prestaties van de pilot plant waren echter, wat betreft OMV verwijdering, minder dan de resultaten van het laboratoriumonderzoek en lagen op de grens van de Nederlandse doelstellingen en Europese doelstellingen. AdOx presteert nu nog minder dan de referentie technologieën met betrekking tot OMV-verwijdering. Een hogere OMV-verwijdering lijkt vooral bereikt te kunnen worden door de zeolietkorrels te optimaliseren. Aanbevolen wordt om net zoals in het laboratoriumonderzoek te werken met zeolietkorrels die bestaan uit meerdere zeoliet typen om een breder palet van OMV's vergaand te kunnen verwijderen. Vervolgens kunnen deze verbeterde zeolietkorrels worden getest in een tweede pilot plant onderzoek.

Uit de resultaten van de pilot plant installatie blijkt dat de AdOx-technologie de hoogste verwijdering van OMV's bereikt bij een EBCT van 15 minuten en een standtijd van 7 dagen (nageschakeld rendement 79%). De EBCT van *full-scale* AdOx kan nog worden geoptimaliseerd. Afhankelijk van OMV-concentraties in het influent, kan een *full-scale* AdOx installatie twee instellingen gebruiken: EBCT van 20 minuten voor droogweerafvoer (DWA) en EBCT van 10 minuten voor regenweerafvoer (RWA), vanwege lagere OMV-concentraties en een *by-pass* tijdens RWA. De verandering van de EBCT kan snel doorgevoerd worden door het aanpassen van het debiet (AdOx-influent). In de volgende pilot plant kan de meest geschikte EBCT verder worden onderzocht.

Wat betreft CO<sub>2</sub>-footprint scoort AdOx vergelijkbaar met de refentietechnieken PACAS en Ozon+ZF, en beter dan GAK. Optimalisatie kan die score nog verder verbeteren. Mogelijkheden zijn het recirculeren van ozongas, en het gebruik van restwarmte voor het drogen van de zeolietkolom voorafgaand aan de regeneratie. Een goede droging van de zeolietkorrels voorafgaand aan de regeneratie met ozongas is essentieel om ozon goed de geadsorbeerde OMV's in de zeolietkorrels te laten bereiken, waarmee ozongas gebruik verder kan worden beperkt met een positief effect op kosten en CO<sub>2</sub>-footprint.

Recirculatie van ozongas en gebruik van restwarmte zal ook de kosten van AdOx omlaag brengen. Een belangrijke kostenpost is het zeolietmateriaal. Samenwerking met zeolietproducenten om de productie van zeolietkorrels te optimaliseren en daarmee de kosten van zeolietmateriaal te beperken is een belangrijke vervolgstap in de verdere ontwikkeling van AdOx. De genoemde optimalisatiemogelijkheden (recirculatie ozongas, gebruik restwarmte voor drogen) zal ook de kostenprestatie van AdOx verbeteren.

Kort samengevat liggen de optimalisatiemogelijkheden op de volgende gebieden:

1. Verder ontwikkelen van (multi-type) zeolietkorrels
2. Verbeteren van de droging van de zeolietkolom vóór regeneratie
3. Efficiënter gebruik van ozon door recirculatie van ozongas
4. Afstemmen standtijd zeolietkolom versus EBCT

Met deze optimalisaties zal naar verwachting ruimschoots voldaan kunnen worden aan de Nederlandse en Europese doelstelling voor OMV verwijdering uit afvalwater, en zal de CO<sub>2</sub> footprint prestatie en de kostenprestatie van AdOx verbeteren. In een vervolg pilot plant onderzoek zal moeten worden bewezen dat deze optimalisaties leiden tot het bereiken van zowel de Nederlandse als Europese eisen ten aanzien van OMV verwijdering.

Behalve verdere technologie ontwikkeling is een marktverkenning van belang. In het kader van een NWO Take-off project (AdOx-TIME) gaat hier aandacht aan gegeven worden in de komende periode.

## 9

## BIBLIOGRAFIE

- [1] P. Rout, T. Zhang, P. Bhunia en R. Surampalli, „Treatment technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants: A review,” *Science of the Total Environment*, vol. 753, p. 141990, 2020.
- [2] M. O. Barbosa, N. F. F. Moreira, A. R. Ribeiro, M. F. R. Pereira en A. M. T. Silva, „Occurrence and removal of organic micropollutants: An overview of the watch list of EU Decision 2015/495,” *Water Research* 94, pp. 257-279. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.02.047>, 2016.
- [3] C. J. Houtman, J. Kroesbergen, K. Lekkerkerker-Teunissen en J. P. van der Hoek, „Human health risk assessment of the mixture of pharmaceuticals in Dutch drinking water and its sources based on frequent monitoring data,” *Science of the Total Environment*, vol. 496, pp. 54-62, 2014.
- [4] J. P. van der Hoek, J. van Alphen, K. R. en R. van der Oost, „Geneesmiddelen in de watercyclus,” *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, vol. 157, nr. 10, pp. 433-438, 2013.
- [5] Y. Luo, W. Guo, H. Ngo, L. Nghiem, F. Hai, J. Zhang, S. Liang en X. Wang, „A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment,” *Science of the Total Environment*, Vols. 473-474, pp. 619-641, 2014.
- [6] M. Fu, „Adsorption of Organic Micropollutants by Zeolite Granules and Subsequent Ozone-based Regeneration. PhD Thesis,” TU Delft. ISBN 978-94-6366689-3, Delft, 2023.
- [7] L. C. Rietveld, J. P. van der Hoek, S. G. J. Heijman, N. Fausta, M. Fu, N. Jiang, Y. Doekhi-Bennani en N. Stokhof, „Haalbaarheidsstudie AdOx. Een Next Generation Adsorptie - Oxidatieproces voor de Verwijdering van Organische Microverontreinigingen uit Stedelijk Afvalwater,” STOWA 2022-10, Amersfoort, the Netherlands, 2022.
- [8] STOWA, „INNOVATIEPROGRAMMA MICROVERONTREINIGINGEN UIT RWZI-AFVALWATER (IPMV). PROCEDURE DOCUMENT. CALL FOR PROPOSALS 2020,” 24 April 2020. [Online]. Available: <https://www.stowa.nl/publicaties/innovatieprogramma-microverontreinigingen-uit-rwzi-afvalwater>.
- [9] STOWA, „Evaluatie gidsstoffen,” Mirabella Mulder Waste Water Management, STOWA, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, The Netherlands, 2021.
- [10] N. Jiang, R. Shang, S. G. J. Heijman en L. C. Rietveld, „High-silica zeolites for adsorption of organic micro-pollutants in water treatment: a review,” *Water Research* 144, pp. 145-161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.017>, 2018.
- [11] A. Elshof, „Engineering zeolite pellets for the adsorption of organic micropollutants. Master Thesis,” Delft University of Technology, Delft. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:12cd16a6-eb4a-4083-bb68-bef2e2755591>, 2019.

- [12] M. Fu, J. Wang, B. Heijman en J. P. van der Hoek, „Removal of organic micropollutants by well-tailored granular zeolites and subsequent ozone-based regeneration,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 44, nr. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102403>, p. 102403, 2021.
- [13] M. Fu, S. G. J. Heijman en J. P. van der Hoek, „Removal of organic micropollutants from wastewater effluent : Selective adsorption by a fixed-bed granular zeolite filter followed by in-situ ozone-based regeneration,” *Separation and Purification Technology*, vol. 303, p. 122303, 2022.
- [14] Y. Doekhi-Bennani, N. M. Leilabady, M. Fu, L. C. Rietveld, J. P. van der Hoek en S. G. J. Heijman, „Simultaneous removal of ammonium ions and sulfamethoxazole by ozone regenerated high silica zeolites,” *Water Research* 188, p. 116472. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116472>, 2021.
- [15] STOWA, „Landelijke Hotspotanalyse Geneesmiddelen RWZI's,” STOWA 2017-42, Amersfoort, the Netherlands, 2017.
- [16] J. P. van der Hoek, J. K. R. van Alphen en R. van der Oost, „Geneesmiddelen in de watercyclus (The presence of medications in the water cycle),” *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, vol. 157, nr. 10, pp. 433-438, 2013.
- [17] K. J. Appeldoorn, R. Berbee, R. S. van Doorn, C. P. Petri en D. Roes, „Watergerelateerde Emissies vanuit RWZI's in het kader van de iPRTR,” STOWA 2013-W01, Amersfoort, 2013.
- [18] J. J. M. Baltussen, „Emissie onderzoek op een Zestal RWZI's in het Kader van de E-PRTR,” STOWA 2010-W07, Amersfoort, Netherlands, 2010.
- [19] C. J. Houtman, R. ten Broek en A. Brouwer, „Steroid hormonal bioactivities, culprit natural and synthetic hormones and other emerging contaminants in waste water measured using bioassays and UPLC-tQ-MS,” *Science of the Total Environment*, vol. 630, pp. 1492-1501, 2018.
- [20] M. L. de Baat, T. E. Pronk, S. J. P. van den Berg en R. van der Oost, „Sleutelfactor Toxiciteit. Kalibratie van de risicogrenzen voor interpretatie van bioassays,” Kennis Impuls Water Kwaliteit, Amersfoort, Netherlands, 2021.
- [21] C. J. Houtman, R. ten Broek, Y. van Oorschot, D. Kloes, R. van der Oost, M. Rosielle en M. H. Lamoree, „High resolution effect-directed analysis of steroid hormone (ant) agonists in surface and wastewater quality monitoring,” *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 80, nr. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103460>, p. 103460, 2020.
- [22] N. Jiang, „High-silica Zeolites as Novel Adsorbents for the Removal of Organic Micropollutants in Water Treatment. Doctoral Thesis,” Delft University of Technology, Delft. <https://doi.org/10.4233/uuid:d4e7d2a8-aed1-48c8-98c3-eb61f18dde0b>, 2019.
- [23] M. Mulder, E. van Voorthuizen en J. Langeveld, „Verwijdering van organische microverontreinigingen - Handvatten voor de keuze van behandelingstechniek in combinatie met de benodigde hydraulische capaciteit,” STOWA 2020-06, Amersfoort, 2020.
- [24] Swedish Gas Centre, „Biogas: Basic data on biogas - Sweden,” GLN Reklambyrå AB, Malmö, 2007.

- [25] A. O. Zaykovskaya, N. Kumar, E. A. Kholkina, N. S. Li-Zhulanov, P. Mäki-Arvela, A. Aho, J. Peltonen, M. Peurla, I. Heinmaa, B. T. Kusema, S. Streiff en D. Y. Murzin, „Synthesis and physico-chemical characterization of Beta zeolite catalysts: Evaluation of catalytic properties in Prins cyclization of (–)-isopulegol,” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 302, nr. ISSN 1387-1811. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110236>, p. 110236, 2020.
- [26] A. O. Zaykovskaya, N. Kumar, E. A. Kholkina, N. S. Li-Zhulanov, P. Mäki-Arvela, A. Aho, J. Peltonen, M. Peurla, I. Heinmaa, B. T. Kusema, S. Streiff en D. M. Yu, „Synthesis and physico-chemical characterization of Beta zeolite catalysts: Evaluation of catalytic properties in Prins cyclization of (–)-isopulegol,” *Microporous and Mesoporous Materials*, p. 110236. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110236>, 2020.
- [27] P. Bayer, E. Heuer, U. Karl en M. Finkel, „Economical and ecological comparison of granular activated carbon (GAC) adsorber refill strategies,” *Water Research*, vol. 39, nr. 9. doi: 10.1016/j.watres.2005.02.005, pp. 1719-1728, 2005.
- [28] C. E. Latunussa, K. Georgitzikis, C. T. d. Matos, M. Grohol, U. Eynard, D. Wittmer, L. Mancini, M. Unguru, C. Pavel, S. Carrara, F. Mathieux, D. Pennington en G. A. Blengini, „European Commission, Study on the EU’s list of Critical Raw Materials (2020), Factsheets on Critical Raw Materials,” GROW.C.2. European Commission, doi: 10.2873/92480, 2020.
- [29] C. de Jong en M. Bechger, „Haalbaarheidsstudie O3-STEP Filter,” STOWA 2020-18, Amersfoort, Netherlands. <https://www.stowa.nl/publicaties/haalbaarheidsstudie-o3-step-filter>, 2020.
- [30] Commissie van Preventie van Rampen (CPR). Adviesraad Gevaarlijke Stoffen (AGS), „Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 9. Vloeibare zuurstof,” Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Binnenlandse Zaken, Ministerie van Verkeer en Waterstaat., Voorburg, Netherlands. <https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/81474/1664357530-pgs9-1983-v0-1-vloeibare-zuurstof.pdf>, 1983.
- [31] P. de Been, M. van den Braak, J. Boorsma, O. Helsen, A. Koomen, C. Aulich, Y. Tolman, E. Knol, S. Scherrenberg, R. vander Oost, I. Leenen, E. Schuman, K. Kujawa-Roeleveld, A. de Wilt en G. Ijpelaar, „Zoetwaterfabriek awzi De Groote Lucht. Pilotonderzoek ozonisatie en zandfiltratie,” STOWA 2018-46, Amersfoort, Nederland, 2018.
- [32] V. Luimstra, T. Spit, M. Bechger, R. van der Aa, C. Morgenschweis, T. van den Eijnde, R. van Oost, J. P. van der Hoek, J. Foekema, C. de Jong, E. Broeders en F. Kramer, „Pilotonderzoek O3-STEP filter,” Witteveen+Bos 119390/23-004.878. STOWA., Amersfoort, Nederland, 2023.
- [33] RHDHV, „Kostenstandaard,” 2021. [Online]. Available: <https://kostenstandaard.nl/>.
- [34] R. L. Virta, „Zeolites.,” US Geological Survey Minerals Yearbook, Reston, Virginia. USA, 2002.
- [35] STOWA, „Innovation Program Removal of Micropollutants at WWTPs,” STOWA 2019-12A, Amersfoort. <https://www.stowa.nl/publicaties/innovation-program-removal-micropollutants-wwtps>, 2019.

- [36] STOWA, „Monitoring 1-STEP® Filter Horstermeer,” STOWA 2013-35. ISBN 978.90.5773.615.5, Amersfoort, Nederland. <https://www.stowa.nl/publicaties/monitoring-1-stepfilter-horstermeer>, 2013.
- [37] STOWA, „PACAS - Poederkooldosering in Actiefslib voor Verwijdering van Microverontreinigingen. Onderzoek Naar Effectiviteit en Efficiëntie Op De RWZI Papendrecht,” STOWA 2018-02. ISBN 978.90.5773.770.1, Amersfoort, Nederland. <https://www.stowa.nl/publicaties/pacas-poederkooldosering-actiefslib-voor-verwijdering-van-microverontreinigingen>, 2018.
- [38] STOWA, „Proof of Concept en Laboratoriumonderzoek Verwijdering Microverontreinigingen uit RWZI-Effluent met het O3-STEP® Filter,” STOWA 2018-67. ISBN 978.90.5773.826.5, Amersfoort, Nederland. <https://www.stowa.nl/publicaties/proof-concept-en-laboratoriumonderzoek-verwijdering-microverontreinigingen-uit-rwzi>, 2018.
- [39] Mirabella Mulder Waste Water Management, STOWA, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, „Review of indicator substances,” STOWA. Final version 2.0. 9-July, 2021.
- [40] STOWA, „Verkenning van technologische mogelijkheden voor verwijdering van geneesmiddelen uit afvalwater,” STOWA 2017-36. ISBN 978.90.5773.761.9, Amersfoort, Nederland, 2017.
- [41] STOWA, „Verwijdering van Microverontreinigingen uit Effluenten van RWZI's,” STOWA 2015-27. ISBN 978-90-5773-677-3, Amersfoort, Nederland. <https://www.stowa.nl/publicaties/verwijdering-van-microverontreinigingen-uit-effluenten-van-rwzis>, 2015.
- [42] N. Jiang, *Adsorption of organic micropollutants in the effluent of wastewater treatment plants by high-silica zeolites. Presentation Slide*, Delft: AdOx User Committee Meeting, 2020.
- [43] N. Jiang, R. Shang, S. G. J. Heijman en L. C. Rietveld, „Adsorption of triclosan, trichlorophenol and phenol by high-silica zeolites: Adsorption efficiencies and mechanisms,” *Separation and Purification Technology*, p. 116152. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116152>, 2020.
- [44] N. Jiang, M. Erdős, O. A. Moulto, R. Shang, T. J. H. Vlugt, S. G. J. Heijman en L. C. Rietveld, „The adsorption mechanisms of organic micropollutants on high-silica zeolites causing S-shaped adsorption isotherms: An experimental and Monte Carlo simulation study,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 389, nr. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123968>, p. 123968, 2020.
- [45] S. Jiang, „Proposal for removal of organic micropollutants present in wastewater by zeolite granules: Adsorption mechanisms and efficacy,” Delft University of Technology, 2021.
- [46] S. Jiang, „Removal of Organic Micro-pollutants Present in the Effluent of Wastewater Treatment Plant by Zeolite Granules. Master Thesis,” Delft University of Technology, Delft. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:b909784a-5d17-431d-abc7-7619eb64773a>, 2022.
- [47] X. Zheng, N. Jiang, H. Zheng, Y. Wu en S. G. J. Heijman, „Predicting adsorption isotherms of organic micropollutants by high-silica zeolite mixtures,” *Separation and Purification Technology*, vol. 282, nr. A. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.120009>, p. 120009, 2022.

- [48] M. Fu, M. He, S. G. J. Heijman en J. P. van der Hoek, „Ozone-based regeneration of granular zeolites loaded with acetaminophen,” *Separation and Purification Technology* 256, p. 117616. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117616>, 2021.
- [49] STOWA, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Mirabella Mulder Waste Water Management, „Review of Indicator Substances,” 09 July 2021. [Online]. Available: STOWA.

# BIJLAGEN

## **A. RESULTATEN MICROVERONTREINIGINGEN**

1. Dagelijkse monsters (TU Delft waterlab)
2. Wekelijkse monsters (Het Waterlaboratorium)
3. Target screening UHPLC-QTOF (Het Waterlaboratorium)

## **B. BEREKENING CO<sub>2</sub>-FOOTPRINT**

(4 scenario's: EBCT = 10 of 15 minuten, standtijd = 5 of 7 dagen)

1. Energieverbruik
2. CO<sub>2</sub>-model invulblad
3. CO<sub>2</sub>-model berekening

## **C. KOSTENBEREKENING**

(4 scenario's, met bulk- en retailprijs van zeolietkorrels)

1. CAPEX
2. OPEX

## **D. DIMENSIONERING VAN DE PILOT PLANT**



## **A. RESULTATEN MICROVERONTREINIGINGEN**

# 1. Dagelijkse monsters (TU Delft lab)

Adsorption Cycle	Date	Volume Reading (m <sup>3</sup> )	Bed volume	Benzotriazole		4,5-methyl-benzotriazole		Carbamazepine		Diclofenac		Hydrochlorothiazide		Metoprolol		Sulfamethoxazole		Propranolol		Sotalol		Trimethoprim		Clarithromycin		Gabapentin		Venlafaxine		Azithromycin		Irbersartan			
				Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)		
1	16/03 PM	97.87	0.00	0.31	2.57	0.09	0.33	#N/A	0.03	#N/A	0.00	#N/A	#N/A	0.02	1.49	0.28	0.16	0.01	0.04	0.04	1.68	#N/A	0.12	0.02	0.02	0.14	0.42	1.73	6.75	4.38	0.09	0.09	0.21	0.01	0.03
	17/03 AM	101.87	46.51	0.59	2.75	0.05	0.18	0.03	0.18	0.40	#N/A	0.65	#N/A	0.05	1.59	#N/A	0.20	0.02	0.02	0.08	1.78	0.10	0.22	0.08	0.15	0.63	1.78	7.52	10.50	0.15	0.26	0.34	0.03		
	17/03 PM	107.87	116.28	0.89	2.33	0.07	0.09	0.00	0.04	#N/A	#N/A	2.77	#N/A	0.07	1.49	0.10	0.32	#N/A	0.04	0.16	1.65	0.08	0.11	0.06	0.14	1.04	1.96	6.09	9.42	0.14	0.24	0.02	0.02		
	18/03 AM	113.87	186.05	0.95	2.05	0.12	0.14	0.02	0.04	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.14	1.47	#N/A	0.24	0.01	0.02	0.22	1.72	#N/A	0.18	0.12	0.17	0.92	1.91	9.03	6.90	0.17	0.22	0.02	0.03		
	18/03 PM	119.87	255.81	1.05	2.18	0.14	0.14	0.01	0.05	#N/A	#N/A	#N/A	0.84	0.17	1.70	#N/A	0.34	#N/A	#N/A	0.28	1.97	#N/A	0.22	0.08	0.20	1.05	2.16	9.75	10.36	0.16	0.19	0.02	0.03		
	19/03 AM	125.87	325.58	0.99	2.41	0.05	0.16	0.02	0.20	0.01	0.01	0.87	#N/A	0.18	2.02	0.46	0.41	#N/A	0.06	0.31	2.11	#N/A	0.26	0.14	0.18	1.22	1.65	9.06	10.29	0.23	0.22	0.02	0.03		
	19/03 PM	129.87	372.09	1.10	1.89	0.04	0.11	#N/A	0.02	#N/A	#N/A	1.03	#N/A	0.18	1.59	0.07	0.05	0.00	0.00	0.28	1.74	#N/A	0.12	0.13	0.12	1.03	1.73	10.09	8.05	0.24	0.19	0.02	0.02		
	20/03 AM	131.40	389.88	1.03	2.08	0.00	0.15	0.01	0.05	0.00	0.00	#N/A	1.81	0.15	1.77	#N/A	0.34	0.01	0.00	0.27	1.94	0.10	0.19	0.09	0.14	1.37	0.14	8.22	10.25	0.14	0.14	0.02	0.03		
	23/03 PM	134.60	389.88	0.37	1.72	#N/A	#N/A	#N/A	0.02	#N/A	0.00	#N/A	#N/A	0.05	0.90	#N/A	0.00	0.18	#N/A	0.08	1.17	0.04	0.09	0.03	0.07	0.29	1.13	10.69	10.49	0.05	0.08	0.02	0.02		
	24/03 AM	139.47	446.51	0.14	1.44	0.03	0.20	0.06	0.03	#N/A	0.04	#N/A	#N/A	0.01	0.84	0.10	0.14	0.15	0.12	0.01	0.96	0.05	0.13	0.05	0.10	0.16	0.77	10.68	10.68	0.04	0.16	0.01	0.02		
27/03 PM	144.34	503.14	0.24	1.91	0.02	#N/A	0.02	0.02	0.00	0.00	#N/A	#N/A	0.01	0.82	0.11	0.19	#N/A	0.27	0.01	1.03	0.18	0.17	0.06	0.11	0.19	0.81	10.62	10.70	0.06	0.10	0.02	0.02			
30/03 AM	149.21	559.77	0.39	2.04	0.05	0.15	0.14	0.03	0.00	0.01	#N/A	#N/A	0.03	1.19	0.05	0.08	0.31	0.28	0.06	1.52	0.23	0.22	0.11	0.08	0.39	1.21	10.71	10.66	0.20	0.11	0.02	0.02			
30/03 PM	154.08	616.40	0.78	2.51	0.06	#N/A	0.16	0.16	#N/A	0.00	#N/A	#N/A	0.10	1.37	0.29	0.14	0.44	0.21	0.18	1.65	0.27	0.16	0.13	0.17	0.67	1.41	10.58	10.53	0.19	0.20	0.02	0.02			
31/03 AM	158.95	673.02	1.07	2.54	#N/A	#N/A	0.17	0.16	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.14	1.44	0.25	0.46	0.33	0.35	0.25	1.58	0.24	0.20	0.14	0.14	0.84	1.25	10.51	10.73	0.17	0.20	0.03	0.03			
31/03 PM	163.82	729.65	1.12	2.07	#N/A	#N/A	#N/A	0.11	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.14	1.18	0.11	0.33	0.32	0.32	0.23	1.39	0.18	0.20	0.12	0.15	0.66	1.02	10.70	10.64	0.14	0.19	0.03	0.02			
01/04 AM	168.69	786.28	1.03	1.42	0.07	0.14	#N/A	#N/A	0.01	0.01	#N/A	#N/A	0.11	0.81	0.12	0.26	0.33	0.17	0.17	0.87	0.05	0.25	0.08	0.08	0.41	0.61	10.72	10.76	0.06	0.10	0.02	0.02			
01/04 PM	173.56	842.91	1.04	1.21	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.01	0.01	#N/A	#N/A	0.14	0.87	0.14	0.04	0.32	0.49	0.22	1.01	0.12	0.10	0.10	0.10	0.79	0.98	10.26	10.55	0.12	0.07	0.02	0.02			
02/04 AM	178.43	899.53	0.98	1.17	0.07	0.14	0.10	0.03	0.01	0.00	#N/A	0.77	0.14	0.88	0.42	0.14	0.31	0.38	0.24	1.06	0.10	0.20	0.07	0.10	0.68	0.80	10.12	10.68	0.12	0.10	0.03	0.02			
02/04 PM	183.30	956.16	0.98	1.19	0.09	#N/A	0.11	0.04	#N/A	0.00	#N/A	#N/A	0.22	1.07	0.46	0.11	0.34	0.25	0.32	1.23	0.21	0.32	0.11	0.10	0.76	1.22	10.67	9.60	0.13	0.07	0.03	0.02			
03/04 PM	183.30	956.16	0.34	1.32	0.06	#N/A	0.03	0.05	0.00	#N/A	0.23	0.70	0.07	1.12	#N/A	0.18	0.21	0.28	0.11	1.29	0.26	0.31	0.04	0.10	0.47	1.35	10.47	7.47	0.08	0.21	0.02	0.03			
04/04 AM	189.63	1029.81	0.55	1.46	0.05	0.16	0.05	0.19	#N/A	0.01	2.62	0.98	0.09	1.20	0.27	0.23	#N/A	0.41	0.15	1.39	0.24	0.31	0.08	0.09	0.68	1.68	9.97	6.25	0.12	0.14	0.02	0.02			
04/04 PM	195.97	1103.45	0.36	1.66	0.04	0.14	0.05	0.05	0.01	0.01	0.55	#N/A	0.08	1.26	0.20	0.33	0.34	0.42	0.13	1.51	0.24	0.21	0.07	0.10	0.66	1.88	9.92	6.37	0.06	0.09	0.02	0.02			
05/04 AM	202.30	1177.09	0.92	2.23	0.08	#N/A	0.09	0.10	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.16	1.34	0.05	0.14	0.27	0.30	0.25	1.54	0.12	0.19	0.08	0.12	1.17	2.02	5.00	7.15	0.14	0.15	0.02	0.02			
05/04 PM	208.63	1250.74	0.72	2.09	0.05	0.18	0.08	0.12	#N/A	0.01	#N/A	#N/A	0.16	1.31	0.33	0.26	0.23	0.38	0.24	1.56	0.13	0.37	0.09	0.14	1.27	2.11	3.74	6.22	0.12	0.11	0.02	0.02			
06/04 AM	214.97	1324.38	1.16	2.71	0.05	0.19	0.09	0.13	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.21	1.43	0.17	0.61	0.28	0.05	0.32	1.65	0.14	0.20	0.09	0.12	1.19	2.20	5.07	5.54	0.14	0.11	0.02	0.02			
06/04 PM	221.30	1398.02	1.03	2.88	0.04	0.22	0.16	0.45	0.00	0.60	#N/A	5.20	0.20	1.80	0.69	0.21	#N/A	0.06	0.32	1.95	0.16	0.21	0.03	0.14	1.19	2.34	2.84	4.94	0.10	0.21	0.02	0.28			
07/04 AM	227.63	1471.67	1.30	2.35	0.07	0.19	0.18	0.26	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.25	1.79	0.43	0.17	0.03	#N/A	0.35	2.01	0.11	0.14	0.05	0.15	1.52	2.67	2.70	4.50	0.09	0.21	0.02	0.04			
07/04 PM	233.97	1545.31	1.21	2.20	0.10	0.18	0.22	0.22	#N/A	0.01	#N/A	#N/A	0.22	1.46	0.30	0.10	0.07	0.15	0.31	1.76	0.19	0.17	0.07	0.12	1.35	2.23	2.54	5.32	0.07	0.09	0.02	0.02			
08/04 AM	240.30	1618.95	1.48	2.14	0.13	0.20	0.21	0.25	0.00	#N/A	#N/A	#N/A	0.31	1.72	0.33	0.71	0.05	0.00	0.45	1.82	0.17	0.16	0.05	0.12	1.46	2.58	4.86	4.00	0.06	0.11	0.04	0.04			
08/04 PM	246.63	1692.60	1.45	1.76	#N/A	0.22	0.22	0.21	#N/A	#N/A	104.66	0.25	0.25	1.52	0.49	0.30	#N/A	#N/A	0.38	1.64	0.02	0.13	0.07	0.14	1.42	2.06	2.66	5.69	0.08	0.16	0.02	0.03			
09/04 AM	252.97	1766.24	1.50	1.85	0.10	0.20	0.25	0.22	0.01	0.01	#N/A	#N/A	0.37	1.24	0.42	0.53	0.14	0.08	0.54	1.55	0.10	0.36	0.13	0.06	1.73	2.24	4.20	3.10	0.11	0.10	0.02	0.02			
09/04 PM	259.30	1839.88	1.59	2.11	0.13	0.28	0.28	0.21	0.00	0.01	#N/A	#N/A	0.44	1.50	0.32	0.21	#N/A	0.14	0.56	1.77	0.44	0.18	0.15	0.09	2.08	2.10	2.62	5.62	0.27	0.10	0.04	0.03			
10/04 AM	265.63	1913.53	1.27	2.28	0.11	0.21	0.26	0.23	#N/A	0.01	#N/A	#N/A	0.42	1.71	0.33	#N/A	0.01	0.04	0.57	1.95	0.17	0.26	0.14	0.08	2.01	2.49	2.77	6.81	0.18	0.15	0.03	0.04			
10/04 PM	271.97	1987.17	1.66	2.00	0.15	0.22	0.36	0.22	0.00	#N/A	#N/A	#N/A	0.57	1.91	0.31	0.43	0.09	0.07	0.80	2.02	0.39	0.37	0.19	0.13	2.66	2.74	2.39	6.16	0.20	0.18	0.03	0.03			
11/04 AM	278.30	2060.81	1.32	1.55	0.12	0.19	0.21	0.26	0.01	0.00	#N/A	#N/A	0.49	1.73	0.22	0.22	#N/A	0.12	0.61	1.85	0.16	0.32	0.16	0.19											

Adsorption Cycle	Date	Volume Reading (m <sup>3</sup> )	Bed volume	Benzotriazole		4,5-methyl-benzotriazole		Carbamazepine		Diclofenac		Hydrochlorothiazide		Metoprolol		Sulfamethoxazole		Propranolol		Sotalol		Trimethoprim		Clarithromycin		Gabapentin		Venlafaxine		Azithromycin		Irbersartan	
				Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)	Conc.(out)	Conc.(in)
	14/06 AM	712.40	6958.49	0.53	2.07	0.05	0.22	0.13	0.04	0.06	#N/A	3.03	0.01	0.80	0.09	0.26	0.06	0.01	0.08	1.80	0.04	0.03	0.10	0.16	0.08	0.58	#N/A	#N/A	0.07	0.24	0.00	#N/A	
	14/06 PM	712.40	6958.49	0.60	1.96	0.04	0.23	0.16	0.43	0.05	0.03	0.18	#N/A	0.84	0.20	#N/A	0.02	#N/A	0.03	1.70	0.01	0.02	0.07	0.04	0.13	0.59	#N/A	#N/A	0.08	0.03	#N/A	0.00	
	15/06 AM	712.40	6958.49	0.83	2.15	0.08	0.28	0.36	0.48	0.04	0.04	#N/A	0.31	0.01	0.95	#N/A	#N/A	0.07	#N/A	0.05	1.79	0.03	0.04	0.06	0.06	0.58	#N/A	#N/A	0.16	0.10	0.00	0.00	
	15/06 PM	713.48	6971.09	0.92	2.51	0.14	0.43	0.16	0.33	0.02	0.05	#N/A	#N/A	0.02	1.14	0.21	0.03	0.01	0.01	1.77	0.03	0.03	0.02	0.21	0.07	0.56	#N/A	#N/A	0.00	0.13	#N/A	0.00	
	16/06 AM	714.57	6983.68	0.94	2.84	0.21	0.57	0.15	0.25	0.08	0.04	#N/A	#N/A	0.00	1.11	0.01	0.07	0.07	0.04	1.73	0.04	0.02	0.07	0.25	0.06	0.59	#N/A	#N/A	0.10	0.25	#N/A	0.00	
	16/06 PM	715.65	6996.28	1.41	3.36	0.32	0.86	0.15	0.30	0.05	0.03	#N/A	#N/A	0.01	1.19	0.02	0.16	0.00	0.08	1.68	0.02	0.05	0.11	0.18	0.08	0.50	#N/A	#N/A	0.13	0.24	#N/A	0.00	
	17/06 AM	716.73	7008.88	1.29	3.21	0.35	0.90	0.24	0.31	0.02	0.03	1.76	#N/A	0.01	1.16	#N/A	#N/A	0.02	#N/A	1.66	0.02	0.06	0.09	0.16	0.12	0.56	#N/A	#N/A	0.02	0.12	0.00	0.00	
	17/06 PM	717.82	7021.47	1.48	3.66	0.59	1.33	0.37	0.29	0.06	0.02	#N/A	#N/A	0.01	1.24	#N/A	0.06	0.02	0.05	1.63	0.04	0.22	0.13	0.14	0.10	0.50	#N/A	#N/A	0.06	0.08	#N/A	0.00	
	18/06 AM	718.90	7034.07	1.42	3.34	0.51	1.26	0.31	0.36	0.05	0.00	#N/A	#N/A	0.00	1.34	0.18	#N/A	0.05	#N/A	1.64	0.01	0.05	0.13	0.24	0.14	0.57	#N/A	#N/A	0.03	0.17	#N/A	0.00	
	18/06 PM	718.90	7034.07	1.61	3.72	0.56	1.56	0.25	0.33	0.01	0.04	#N/A	#N/A	0.01	1.12	#N/A	#N/A	0.08	#N/A	1.69	0.03	0.01	0.12	0.29	0.11	0.57	#N/A	#N/A	0.06	0.20	0.00	#N/A	
	19/06 AM	722.01	7070.25	1.33	3.42	0.58	1.47	0.24	0.29	0.05	0.02	#N/A	#N/A	0.01	1.06	#N/A	#N/A	0.06	0.03	1.58	0.06	0.01	0.08	0.28	0.08	0.51	#N/A	#N/A	0.10	0.34	#N/A	0.00	
	19/06 PM	725.12	7106.42	1.39	3.26	0.69	1.76	0.15	0.20	0.06	0.04	#N/A	#N/A	0.01	1.07	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	1.54	0.01	0.02	0.05	0.22	0.15	0.69	#N/A	#N/A	0.06	0.22	0.00	0.00	
	20/06 AM	728.23	7142.60	1.47	3.20	0.68	1.71	0.16	0.21	0.05	0.02	#N/A	#N/A	0.00	1.13	#N/A	0.05	0.07	0.02	1.54	0.06	0.04	0.08	0.25	0.18	0.75	#N/A	#N/A	0.07	0.25	0.00	0.00	
	20/06 PM	731.34	7178.77	1.62	3.68	0.75	2.19	0.11	0.18	0.03	0.03	#N/A	0.78	0.01	1.13	#N/A	#N/A	0.03	0.01	1.44	0.04	0.03	0.13	0.49	0.09	0.76	#N/A	#N/A	0.17	0.57	#N/A	0.01	
	21/06 AM	734.46	7214.95	1.54	3.50	0.66	1.82	0.14	0.15	0.04	0.02	#N/A	2.56	0.01	1.11	0.12	0.01	#N/A	0.01	1.44	0.04	0.08	0.14	0.34	0.10	0.90	#N/A	#N/A	0.10	0.50	#N/A	0.01	
	21/06 PM	737.57	7251.12	1.84	3.64	0.84	2.11	0.15	0.15	0.02	#N/A	#N/A	0.52	0.01	0.89	#N/A	#N/A	0.04	#N/A	1.22	0.07	0.06	0.22	0.66	0.14	0.71	#N/A	#N/A	0.22	0.70	0.00	0.01	
	22/06 AM	740.68	7287.30	1.69	3.07	0.64	1.65	0.15	0.14	#N/A	0.04	#N/A	#N/A	0.01	0.81	0.10	#N/A	0.06	#N/A	1.23	0.05	0.02	0.10	0.48	0.33	0.74	#N/A	#N/A	0.18	0.63	#N/A	0.00	
	22/06 PM	743.79	7323.48	1.91	3.29	0.88	1.75	0.38	0.16	0.02	0.02	#N/A	0.96	0.02	0.84	0.17	0.14	#N/A	#N/A	1.22	0.08	0.09	0.28	0.92	0.32	0.75	#N/A	#N/A	0.26	1.18	0.00	0.00	
	23/06 AM	746.90	7359.65	1.87	2.63	0.76	1.53	0.37	0.15	0.08	0.02	#N/A	0.09	0.02	0.85	0.02	#N/A	#N/A	0.05	1.22	0.13	0.15	0.24	0.43	0.33	0.71	#N/A	#N/A	0.20	0.48	0.01	0.00	

11

## 2. Wekelijkse monsters (Het Waterlaboratorium)

OMP Compound	Status	Reporting limit (µg/l)	(STOWA evaluation 2021)	Cycle 1		Cycle 2		Cycle 3		Cycle 4		Cycle 5		Cycle 6		Cycle 7		Cycle 8		Cycle 9		Cycle 10		Cycle 11 (EBCT 15 min.)	
				16/03 - 23/03	27/03 - 03/04	03/04 - 11/04	11/04 - 18/04	18/04 - 25/04	25/04 - 02/05	02/05 - 23/05	23/05 - 30/05	30/05 - 06/06	06/06 - 13/06	13/06 - 23/06	Influent [µg/l]	Effluent [µg/l]	Influent [µg/l]	Effluent [µg/l]	Influent [µg/l]	Effluent [µg/l]	Influent [µg/l]	Effluent [µg/l]	Influent [µg/l]	Effluent [µg/l]	Influent [µg/l]
4,5-Methylbenzotriazole	indicator	0.2		0.287	<0.200	0.256	<0.200	0.284	<0.200	0.407	<0.200	0.254	<0.200	0.223	<0.200	0.256	<0.200	0.318	<0.200	0.392	<0.200	0.469	<0.200	2.65	0.916
Amisulpride	-	0.05		0.212	0.06	0.149	0.051	0.163	0.059	0.154	<0.050	0.148	<0.050	0.14	<0.050	0.129	<0.050	0.253	<0.050	0.267	<0.050	0.227	<0.050	0.171	<0.050
Azithromycine	monitoring	0.5		<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	0.504	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	0.568	<0.500	0.578	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500	<0.500
Benzotriazole	indicator	0.2		1.9	0.805	1.96	0.929	2.19	1.26	2.11	1.05	1.87	1.15	1.9	0.98	1.76	0.625	3.62	1.37	2.62	1.46	3.87	2.92	3.86	1.65
Candesartan	monitoring	0.1		0.26	0.239	0.233	0.231	0.274	0.27	0.286	0.263	0.253	0.239	0.244	0.224	0.208	0.174	0.384	0.275	0.36	0.314	0.327	0.414	0.345	0.211
Carbamazepine	indicator	0.05		0.287	0.26	0.261	0.256	0.341	0.32	0.313	0.297	0.312	0.308	0.281	0.268	0.274	0.246	0.456	0.363	0.454	0.414	1.55	1.98	1.09	0.95
Citalopram	-	0.05		0.184	0.104	0.175	0.097	0.193	0.114	0.168	0.087	0.151	0.075	0.157	0.065	0.161	<0.050	0.215	<0.050	0.188	<0.050	0.167	<0.050	0.099	<0.050
Clarithromycine	monitoring	0.3		<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300	<0.300
Diclofenac	indicator	0.2		0.511	0.443	0.441	0.417	0.539	0.53	0.551	0.493	0.499	0.439	0.461	0.388	0.295	0.228	0.55	0.386	0.705	0.554	0.621	0.692	0.577	0.27
Furosemide	-	1		<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Gabapentine	indicator	0.5		1.92	1.03	1.39	0.807	1.7	1.14	1.76	0.991	1.6	0.899	1.43	0.755	1.26	<0.500	1.47	<0.500	1.06	0.533	0.942	0.648	0.999	<0.500
Hydrochloorthiazide	indicator	0.5		1.38	0.911	1.21	0.839	1.58	1.15	1.52	1.06	1.32	0.879	1.27	0.834	0.859	<0.500	1.73	0.685	1.78	1.1	1.44	1.31	1.27	<0.500
Irbesartan	indicator	0.1		0.386	0.25	0.53	0.409	0.584	0.453	0.576	0.408	0.465	0.31	0.444	0.275	0.332	0.212	0.605	0.3	0.706	0.395	0.511	0.192	0.558	0.107
Metoprolol	indicator	0.05		1.17	0.098	1.01	0.105	1.15	0.221	1.16	0.176	1.05	0.138	0.982	0.11	0.82	<0.050	1.41	0.067	1.3	0.104	1.09	0.214	0.78	<0.050
Propranolol	monitoring	0.05		0.056	<0.050	0.051	<0.050	0.055	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Sotalol	indicator	0.1		1.44	0.183	1.6	0.234	1.45	0.422	1.22	0.246	2	0.327	1.88	0.271	0.758	<0.100	2.01	0.117	1.32	0.125	1.87	0.182	1.72	<0.100
Sulfamethoxazol	monitoring	0.1		0.329	0.22	0.329	0.252	0.355	0.347	0.338	0.288	0.233	0.196	0.209	0.178	0.154	<0.100	0.238	0.172	0.238	0.185	0.232	0.238	0.144	<0.100
Trimethoprim	indicator	0.05		0.132	0.076	0.121	0.071	0.139	0.084	0.121	0.068	0.085	<0.050	0.098	<0.050	0.056	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Venlafaxine	indicator	0.1		0.341	0.166	0.296	0.149	0.325	0.178	0.316	0.145	0.279	0.123	0.341	0.122	0.265	<0.100	0.507	<0.100	0.411	<0.100	0.381	<0.100	0.306	<0.100

### 3. Target Screening (UHPLC-QTOF)



## 1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23498 – Sample Screening and Quantitation

### Analysis: 1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23498

Creation Date	2023-04-18 06:57	Sample Type	Sample
Method	HWL_NEG_2.0 (61)	Mass Calib. Date	2023-04-18 14:36
Station Name	ImpactII	Operator	tasq
Instrument	impact II	Instrument SN	1825265.10087
Data Path	D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230417\neg\1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF_RB1_01_23498.d		

### Screening Results

Analyte						Chromatogram
2,4-Dinitrophenol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	183.0047	0.69	0.23	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.40	●●●	●●●	-		
Bentazon-d7 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	246.0935	-0.90	0.31	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●	-		
Carbetamide-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	240.1402	-0.76	-0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.70	●●●	●●●	-		
Chlorbromur (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	290.9541	-0.45	0.06	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.50	●●●	●●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	225.0597	-0.52	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	295.1126	-1.10	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●●	-		



1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23498 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.0567	0.65	0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.63	●●●	●●●	-		
PFBA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.9792	0.56	0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.29	●●●	●●●	-		
PFBS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.9430	-0.19	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.15	●●●	●●●	-		
PFHxA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	312.9728	-0.14	-0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.25	●●●	●●●	-		
PFHxS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	398.9366	-1.96	-0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.25	●●●	●●●	-		
PFPeA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	262.9760	0.45	0.03	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.95	●●●	●●●	-		
Quinoxifen-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	310.0145	39.67	-0.39	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.60	●●●	●●	-		
Saccharin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	181.9917	-0.64	-0.06	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.60	●●●	●●●	-		

1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



Analysis: 1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471

Creation Date	2023-04-17 20:56	Sample Type	Sample
Method	HWL_POS_1.2 (55)	Mass Calib. Date	2023-07-14 13:13
Station Name	ImpactII-Server	Operator	tasq
Instrument	impact II	Instrument SN	1825265.10087
Data Path	D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230417\pos\1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF_RB1_01_23471.d		

Screening Results

Analyte						Chromatogram
10-Hydroxycarb:	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	255.1128	0.97	0.31	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.94	●●●	●●	●●●		
10.11-Dihydro-10.1 dihydroxycar:	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1077	-0.45	-0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		
2-Phenyl-5-benzimidazol acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0485	-0.72	0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	●●●		
2.6 - Dichlorobenz (BAM)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	189.9821	-2.72	0.07	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.58	●●●	●●●	●●●		
Aceclidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	170.1176	-2.67	0.16	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.87	●●●	●●●	●●●		
Aliskiren	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	552.4007	-0.35	0.00	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.87	●●●	●●●	●●●		

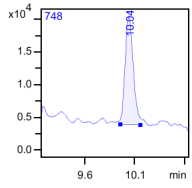
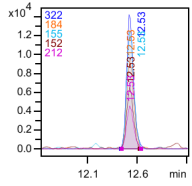
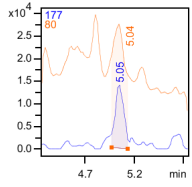
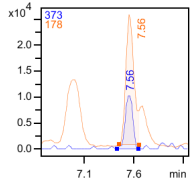


1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Amisulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	370.1795	-1.13	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.00	●●●	●●●	●●●		
Atenolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.1703	0.31	-0.16	4/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●●	●●●	●●		
Atorvastatine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	559.2603	2.31	0.01	3/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.10	●●	●●●	●●		
Atrazine-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	221.1324	-1.99	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.15	●●●	●●●	-		
Azithromycir	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	749.5158	-1.42	0.18	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.77	●●	●●●	●●●		
Azoxystrobin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	404.1241	0.03	-0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.20	●●●	●●●	●●●		
Bentazon-d7 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	248.1081	22.47	-0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●●	-		
Benzotriazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	120.0556	-2.29	0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.82	●●●	●●●	-		

Analyte						Chromatogram
Bezaifibrate	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	362.1154	4.45	0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.89	●●	●●●	●●●		
Bupropion	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	240.1150	-0.45	0.08	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.76	●●●	●●●	●●●		
Carbamazepin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	237.1022	-2.30	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.50	●●●	●●●	●●●		
Carbetamide-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	242.1548	-1.20	0.09	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.60	●●●	●●●	-		
Chlorbromur (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	292.9687	-0.41	0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.55	●●●	●●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	227.0742	-2.56	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.1271	-0.22	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●●	-		
Cimetidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.1230	-3.67	0.25	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.24	●●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Citalopram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1711	-1.24	-0.15	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.72	●●●	●●●	●●●		
Clarithromycin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	748.4842	-1.31	0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.90	●●●	●●●	—		
Clopidogrel	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	322.0663	0.50	0.15	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.38	●●●	●●●	●●●		
Clozapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	327.1371	2.72	0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.19	●●●	●●●	●●●		
Codeine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.1594	-1.24	0.24	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.40	●●●	●●●	●●		
Cotinine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	177.1022	-2.20	0.05	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.00	●●●	●●●	●●●		
Deacetyldiltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	373.1580	-0.76	0.15	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.41	●●●	●●●	●●●		
Diazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	285.0789	1.39	0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.45	●●●	●●●	—		

1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



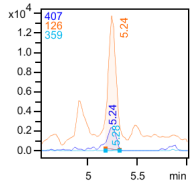
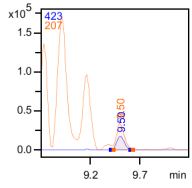
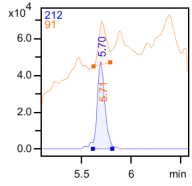
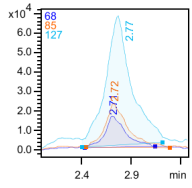
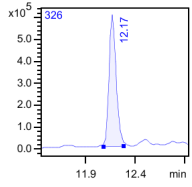
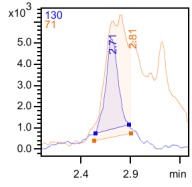
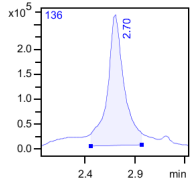
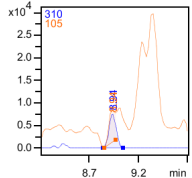
Analyte						Chromatogram
Diazinon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	305.1083	14.51	-0.19	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.95	●●●	●●●	-		
Diazinon-d10 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	315.1711	-0.16	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.95	●●●	●●●	-		
Diclofenac	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	296.0240	-1.70	-0.04	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●●●	●●●		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.0491	-0.08	-0.09	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.45	●●●	●●●	-		
Diltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1686	0.96	0.08	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.18	●●●	●●●	●●●		
Dimethylpht:	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	195.0652	-1.65	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.69	●●●	●●●	●●●		
Disopyramid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	340.2383	-0.32	0.18	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.74	●●●	●●●	●●●		
Doxylamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1805	-1.26	0.14	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.18	●●●	●●●	●●●		

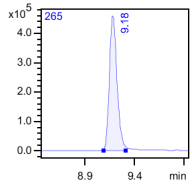
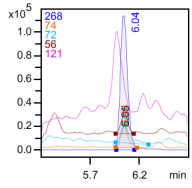
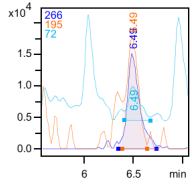
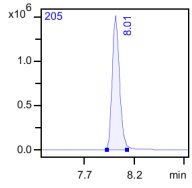
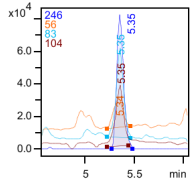
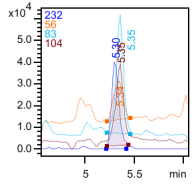
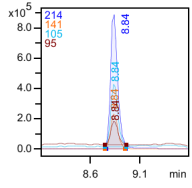
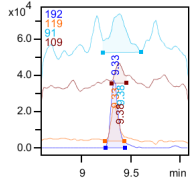
1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
EDDP	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.1903	-0.75	0.07	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.38	●●●	●●●	●●●		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	367.1578	-0.27	0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.27	●●●	●●●	—		
Fenuron-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	170.1336	-3.35	0.20	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.10	●●●	●●●	—		
Fexofenadine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	502.2952	-1.98	0.15	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.60	●●●	●●●	●●●		
Flecainide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1451	-0.07	0.10	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.45	●●●	●●●	●●●		
Fluopyram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	397.0537	2.26	-0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.95	●●●	●●●	●●●		
Gabapentin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	172.1332	-3.33	0.04	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	299.9843	21.50	-0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●●	—		

Analyte						Chromatogram
Hydroxycotinine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	193.0972	-1.19	-0.19	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.13	●●●	●●●	●●●		
Icaridin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	230.1751	1.89	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.79	●●●	●●●	●●●		
Iopromide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	791.8770	-0.65	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●●	●●●	●●●		
Irbesartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	429.2397	-0.28	0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.32	●●●	●●●	●●●		
Ketamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	238.0993	-0.74	0.12	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.68	●●●	●●●	●●●		
Lamotrigine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	256.0151	-1.79	-0.10	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	●●●		
Levocetirizine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	389.1626	0.50	0.08	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.85	●●●	●●●	●●●		
Lidocaine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	235.1805	-1.88	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.65	●●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Lincomycin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	407.2210	-0.33	-0.03	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.27	●●●	●●●	●●●		
Losartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	423.1695	0.17	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.45	●●●	●●●	●●●		
Mefenorex	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.1201	-10.30	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.84	●●	●●●	●●●		
Melamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	127.0727	-2.85	0.03	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.73	●●●	●●●	●●●		
Metconazole-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	326.1901	-0.80	-0.03	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.20	●●●	●●●	-		
Metformin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	130.1087	-2.92	-0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.74	●●●	●●●	●●●		
Metformine-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.1464	-3.19	0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.70	●●●	●●●	-		
Methadone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	310.2165	-4.35	-0.02	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.96	●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Metobromurc d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	265.0453	-1.39	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.20	●●●	●●●	—		
Metoprolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	268.1907	-1.50	0.09	4/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.95	●●●	●●●	●●		
Mirtazapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	266.1652	0.88	0.18	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.31	●●●	●●●	●●●		
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	205.1009	-2.87	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	—		
N-Acetyl-4-aminoantipyr.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	246.1237	-1.17	0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-Formyl-4-aminoantipyr.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	232.1081	-2.29	0.00	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-butylbenzen.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	214.0896	-2.15	-0.01	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.85	●●●	●●●	●●●		
N,N-Diethyl-m-toluamide. DEET	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	192.1383	-1.43	-0.00	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.33	●●●	●●●	●●●		



1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0712	-0.16	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.60	●●●	●●●	—		
Nevirapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.1240	-5.34	0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.05	●●	●●●	●●●		
O-Desmethylno.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	236.1645	-0.84	-0.23	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.69	●●●	●●●	●●●		
O-Desmethyltra	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.1802	-0.44	0.19	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.06	●●●	●●●	●●●		
Oxazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	287.0582	1.13	0.06	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.35	●●●	●●●	●●●		
Oxcarbazepir	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.0972	-0.61	-0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		
Oxycodone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	316.1543	-1.47	0.24	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.56	●●●	●●●	●●●		
Pantoprazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	384.0824	-1.82	0.13	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.46	●●●	●●●	●●●		

1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



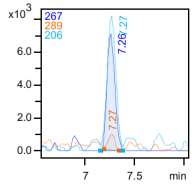
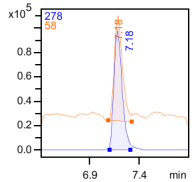
Analyte						Chromatogram
Phenprocoumon	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	281.1172	-0.53	0.23	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.05	●●●	●●●	●●●		
Phenylephrin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	168.1019	-4.09	0.10	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	3.12	●●●	●●●	●●●		
Phenytoin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.0972	0.15	0.12	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.61	●●●	●●●	●●●		
Quinidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1911	-0.07	-0.01	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.73	●●●	●●●	●●		
Quinine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1911	-0.07	0.23	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.49	●●●	●●●	●●		
Quinoxifen-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	312.0291	-1.16	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.60	●●●	●●●	-		
Ritalinic acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	220.1332	-2.15	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.75	●●●	●●●	●●●		
Rivaroxaban	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	436.0728	-1.74	0.13	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.03	●●●	●●●	●●		

Analyte						Chromatogram
Rosuvastatin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	482.1756	0.71	0.35	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.06	●●●	●●	●●●		
Sotalol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.1267	-1.82	-0.06	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.22	●●●	●●●	●●●		
Sulfamethoxazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.0594	-0.29	0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	●●●		
Sulfapyridine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.0645	-0.50	0.11	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Sulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	342.1482	-0.33	-0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.45	●●●	●●●	●●●		
Telmisartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	515.2442	-0.54	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.49	●●●	●●●	●●●		
Temazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	301.0738	0.00	0.02	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.66	●●●	●●●	●●●		
Terbutryn	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	242.1434	1.49	0.05	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.19	●●●	●●●	●●●		

1419854 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RB1\_01\_23471 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Tetraglyme	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	223.1540	-1.93	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.79	●●●	●●●	-		
Theobromine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	181.0720	-1.08	0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.10	●●●	●●●	●●●		
Tolbutamide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1111	-0.72	0.23	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.68	●●●	●●●	●●●		
Tramadol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	264.1958	-1.69	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.85	●●●	●●●	●●●		
Trimethoprin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	291.1452	-0.62	-0.03	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.25	●●●	●●●	●●●		
Triphenylphosphine Oxide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	279.0933	-0.09	0.18	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.81	●●●	●●●	●●●		
Urotropin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	141.1135	-2.89	0.07	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.75	●●●	●●●	●●●		
Valsartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	436.2343	-1.36	0.23	3/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.00	●●●	●●●	●●		

Analyte						Chromatogram
Valsartan Acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.0877	0.78	-0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.30	●●●	●●●	●●●		
Venlafaxine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.2115	-1.31	0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.15	●●●	●●●	●●●		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23500 – Sample Screening and Quantitation



Analysis: 1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23500

Creation Date 2023-04-18 07:41 Sample Type Sample  
 Method HWL\_NEG\_2.0 (61) Mass Calib. Date 2023-04-18 14:37  
 Station Name ImpactII Operator tasq  
 Instrument impact II Instrument SN 1825265.10087  
 Data Path true D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230417\neg\1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23500.d

Screening Results

Analyte						Chromatogram
2,4-Dinitrophenol	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	183.0047	-0.01	0.23	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.40	●●●	●●●	-		
Bentazon-d7 (IS)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	246.0935	-0.52	0.32	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●	-		
Carbetamide-d5 (IS)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	240.1402	0.08	-0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.70	●●●	●●●	-		
Chlorbromur (IS)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	290.9541	-0.70	0.06	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.50	●●●	●●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	225.0597	-0.54	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	295.1126	-1.30	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●●	-		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23500 – Sample Screening and Quantitation



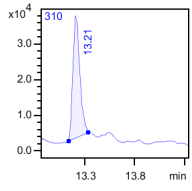
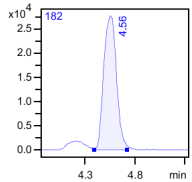
Analyte						Chromatogram
Diazinon-d10 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	313.1565	-5.15	-0.27	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.94	●●	●●	-		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.0345	-0.28	0.07	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.30	●●●	●●●	-		
Dinotefuran	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	201.0993	0.72	0.25	2/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.59	●●●	●●	●●		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	365.1432	-8.83	-0.27	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.20	●●	●●	-		
Fipronil	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	434.9314	-1.67	0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●●●	●●●		
Furosemide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	329.0004	-0.01	0.16	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.00	●●●	●●●	●●●		
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.9698	-0.70	0.26	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●	-		
Metconazole-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	324.1755	35.64	-0.47	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.15	●●●	●	-		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23500 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	203.0864	-0.78	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	-		
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.0567	-0.82	0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.63	●●●	●●●	-		
PFBA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.9792	-0.08	0.13	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.29	●●●	●●●	-		
PFBS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.9430	0.03	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.15	●●●	●●●	-		
PFHpA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	362.9696	-1.50	-0.07	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.25	●●●	●●●	-		
PFHxA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	312.9728	-0.42	-0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.25	●●●	●●●	-		
PFHxS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	398.9366	0.44	-0.07	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.25	●●●	●●●	-		
PFPeA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	262.9760	0.17	0.04	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.95	●●●	●●●	-		



Analyte						Chromatogram
Quinoxyfen- d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	310.0145	-4.60	-0.39	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.60	●●●	●●	-		
Saccharin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	181.9917	0.01	-0.04	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.60	●●●	●●●	-		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analysis: 1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473

Creation Date 2023-04-17 21:41 Sample Type Sample  
 Method HWL\_POS\_1.2 (55) Mass Calib. Date 2023-07-14 10:12  
 Station Name ImpactII-Server Operator tasq  
 Instrument impact II Instrument SN 1825265.10087  
 Data Path true D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230417\pos\1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473.d

Screening Results

Analyte						Chromatogram
10-Hydroxycarb:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	255.1128	1.18	0.31	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.94	●●●	●●	●●●		
10.11-Dihydro-10.1 dihydroxycar:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1077	0.19	-0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		
2-Phenyl-5-benzimidazol acid:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0485	0.93	0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	●●●		
2.6 - Dichlorobenz (BAM):	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	189.9821	-0.11	0.07	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.58	●●●	●●●	●●●		
Aceclidine:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	170.1176	-0.02	0.16	4/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.87	●●●	●●●	●●		
Aliskiren:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	552.4007	0.55	0.00	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.87	●●●	●●●	●●●		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Amisulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	370.1795	0.86	0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.00	●●●	●●●	●●●		
Arecoline	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	156.1019	-0.56	0.27	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.93	●●●	●●	●●●		
Atenolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.1703	0.69	-0.12	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●●	●●●	●●●		
Atorvastatine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	559.2603	1.34	0.01	3/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.10	●●●	●●●	●●		
Atrazine-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	221.1324	-1.12	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.15	●●●	●●●	-		
Azithromycin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	749.5158	-0.43	0.19	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.77	●●●	●●●	●●●		
Azoxystrobin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	404.1241	0.26	-0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.20	●●●	●●●	●●●		
Bentazon-d7 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	248.1081	25.13	-0.13	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●●	-		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Benzotriazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	120.0556	0.06	0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.82	●●●	●●●	—		
Benzoylcegoi	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	290.1387	1.56	0.16	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.75	●●●	●●●	●●●		
Bicalutamide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	431.0683	-1.06	-0.08	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.77	●●●	●●●	●●●		
Bisoprolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	326.2326	-0.03	0.06	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.95	●●●	●●●	●●●		
Bupropion	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	240.1150	0.19	0.08	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.76	●●●	●●●	●●●		
Carbamazepi	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	237.1022	-0.66	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.50	●●●	●●●	●●●		
Carbetamide-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	242.1548	-1.22	0.09	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.60	●●●	●●●	—		
Articaine (Articaine)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	285.1267	6.04	0.25	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.69	●●	●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Chlorbromur (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	292.9687	0.02	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.55	●●●	●●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	227.0742	-1.03	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.1271	0.92	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●●	-		
Cimetidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.1230	-1.17	0.28	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.24	●●●	●●	●●●		
Ciprofloxacin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	332.1405	1.98	0.28	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.42	●●●	●●	●●●		
Citalopram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1711	-1.60	-0.15	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.72	●●●	●●●	●●●		
Clarithromycin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	748.4842	-0.19	0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.90	●●●	●●●	-		
Clopidogrel	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	322.0663	-0.42	0.15	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.38	●●●	●●●	●●●		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Clozapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	327.1371	-1.42	0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.19	●●●	●●●	●●●		
Codeine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.1594	-0.57	0.26	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.40	●●●	●●	●●		
Cotinine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	177.1022	0.70	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.00	●●●	●●●	●●●		
Deacetyldiltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	373.1580	-0.91	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.41	●●●	●●●	●●●		
Diazinon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	305.1083	15.22	-0.18	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.95	●●●	●●●	-		
Diazinon-d10 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	315.1711	-0.18	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.95	●●●	●●●	-		
Diclofenac	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	296.0240	1.48	-0.04	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●●●	●●●		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.0491	0.58	-0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.45	●●●	●●●	-		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



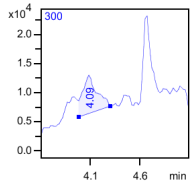
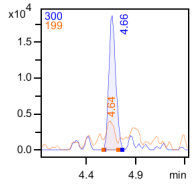
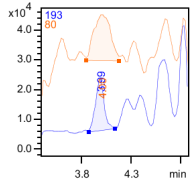
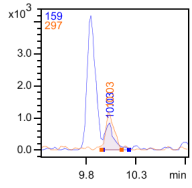
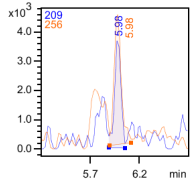
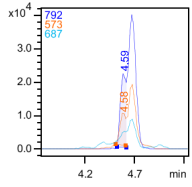
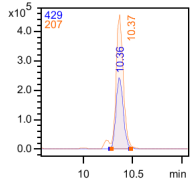
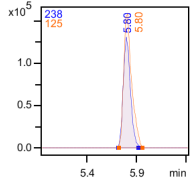
Analyte						Chromatogram
Diltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1686	1.65	0.08	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.18	●●●	●●●	●●●		
Dimethylpht:	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	195.0652	-2.01	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.69	●●●	●●●	●●●		
Disopyramidk	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	340.2383	0.79	0.18	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.74	●●●	●●●	●●●		
Diuron	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	233.0243	0.31	0.02	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.61	●●●	●●●	●●●		
Doxylamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1805	-0.85	0.13	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.18	●●●	●●●	●●●		
EDDP	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.1903	-0.48	0.07	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.38	●●●	●●●	●●●		
Ephedrine & Pseudoephedi	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	166.1226	-0.26	0.14	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.76	●●●	●●●	●●●		
Esomeprazok	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	346.1220	-7.19	-0.00	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.81	●●	●●●	●●●		

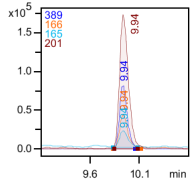
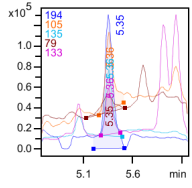
1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Ethambutol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	205.1911	0.91	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	3.36	●●●	●●●	●●●		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	367.1578	-0.70	0.05	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.27	●●●	●●●	—		
Fenuron-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	170.1336	-94.64	-0.07	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.10	●●●	●●●	—		
Fexofenadine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	502.2952	0.12	0.15	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.60	●●●	●●●	●●●		
Flecainide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1451	-1.39	0.10	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.45	●●●	●●●	●●●		
Fluopyram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	397.0537	3.12	-0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.95	●●	●●●	●●●		
Gabapentin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	172.1332	-0.81	0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Guanylurea	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	103.0614	12.35	-0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	1.20	●●●	●●●	—		



Analyte						Chromatogram
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	299.9843	-19.96	-0.26	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●	—		
Hydrocodone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.1594	-0.57	-0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.69	●●●	●●●	●●●		
Hydroxycotin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	193.0972	0.34	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.13	●●●	●●●	●●●		
Imazalil	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.0556	1.38	-0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.09	●●●	●●●	●●●		
Imidacloprid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	256.0596	1.97	0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.95	●●●	●●●	●●●		
Iopromide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	791.8770	-1.04	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●●	●●●	●●●		
Irbesartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	429.2397	-0.13	0.05	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.32	●●●	●●●	●●●		
Ketamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	238.0993	0.16	0.12	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.68	●●●	●●●	●●●		

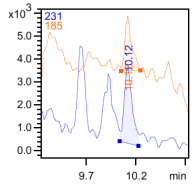
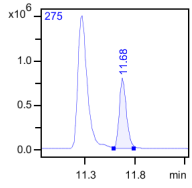
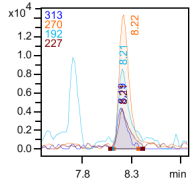
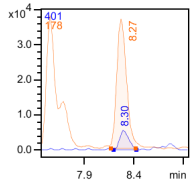
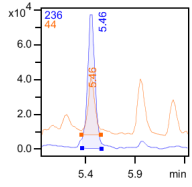
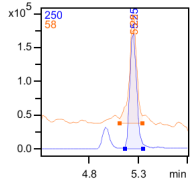
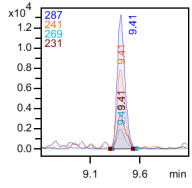
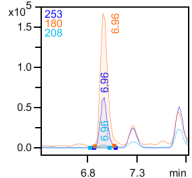
Analyte						Chromatogram
Labetalol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	329.1860	0.96	0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.74	●●●	●●●	●●●		
Lamotrigine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	256.0151	-0.80	-0.10	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	●●●		
Levocetirizine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	389.1626	-0.15	0.09	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.85	●●●	●●●	●●●		
Lidocaine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	235.1805	-0.18	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.65	●●●	●●●	●●●		
Lincomycin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	407.2210	-2.05	-0.03	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.27	●●●	●●●	●●●		
Losartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	423.1695	0.55	0.05	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.45	●●●	●●●	●●●		
MDMA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	194.1176	-1.27	-0.06	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.42	●●●	●●●	●●●		
Mefenorex	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.1201	-8.38	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.84	●●	●●●	●●●		

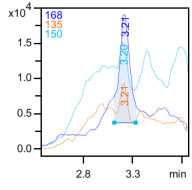
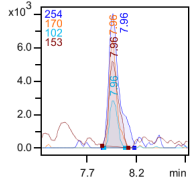
Analyte						Chromatogram
Melamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	127.0727	0.74	0.04	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.73	●●●	●●●	●●●		
Metconazole-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	326.1901	-0.94	-0.03	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.20	●●●	●●●	—		
Metformin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	130.1087	0.19	-0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.74	●●●	●●●	●●●		
Metformine-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.1464	0.18	-0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.70	●●●	●●●	—		
Methadone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	310.2165	-2.27	-0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.96	●●●	●●●	●●●		
Methiocarb-sulfone (NH4)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	276.1138	8.23	-0.15	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.28	●●	●●●	—		
Metobromurc d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	265.0453	-0.88	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.20	●●●	●●●	—		
Metoclopram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Metoprolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	268.1907	-0.59	0.09	4/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.95	●●●	●●●	●●		
Mirtazapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	266.1652	2.42	0.18	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.31	●●●	●●●	●●●		
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	205.1009	-1.22	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	-		
N,N-diphenylguan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.1182	0.25	-0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	-		
N-Acetyl-4-aminoantipyr	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	246.1237	-0.70	0.06	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-Formyl-4-aminoantipyr	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	232.1081	-1.26	0.01	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-butylbenzen	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	214.0896	-1.26	-0.01	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.85	●●●	●●●	●●●		
N,N-Diethyl-m-toluamide. DEET	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	192.1383	-0.88	-0.00	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.33	●●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Naproxen	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	231.1016	-0.58	0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.99	●●●	●●●	●●●		
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0712	0.17	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.60	●●●	●●●	—		
Norclozapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	313.1215	0.56	0.06	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.13	●●●	●●●	●●●		
Nordiltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	401.1530	0.47	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.21	●●●	●●●	●●●		
O-Desmethylnorclozapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	236.1645	-0.71	-0.24	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.69	●●●	●●●	●●●		
O-Desmethylnorclozapine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.1802	-1.25	0.19	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.06	●●●	●●●	●●●		
Oxazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	287.0582	-0.23	0.06	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.35	●●●	●●●	●●●		
Oxcarbazepine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.0972	-0.08	-0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Pantoprazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	384.0824	-0.10	0.13	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.46	●●●	●●●	●●●		
Phenazone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	189.1022	-1.44	0.10	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.90	●●●	●●●	●●●		
Pheniramine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	241.1699	1.99	0.18	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.98	●●●	●●●	●●●		
Phenprocoumon	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	281.1172	-0.74	0.23	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.05	●●●	●●●	●●●		
Phenylephrin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	168.1019	-0.75	0.09	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	3.12	●●●	●●●	●●●		
Phenytoin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.0972	-0.74	0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.61	●●●	●●●	●●●		
Procaine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	237.1598	0.08	0.30	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.21	●●●	●●	●●●		
Proguanil	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.1167	1.09	-0.02	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.98	●●●	●●●	●●●		

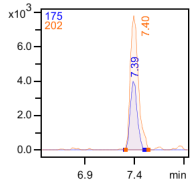
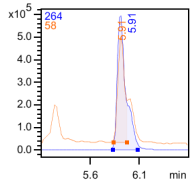
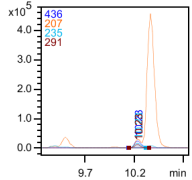
1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Quinidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1911	-1.53	-0.02	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.73	●●●	●●●	●●●		
Quinine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1911	-1.54	0.23	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.49	●●●	●●●	●●		
Quinoxifen-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	312.0291	-0.02	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.60	●●●	●●●	-		
Ritalinic acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	220.1332	-1.28	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.75	●●●	●●●	●●●		
Rivaroxaban	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	436.0728	-0.29	0.13	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.03	●●●	●●●	●●●		
Rosuvastatin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	482.1756	-0.69	0.35	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.06	●●●	●●	●●●		
Sertraline	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	306.0811	1.86	-0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.88	●●●	●●●	●●●		
Sitagliptin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	408.1254	-0.32	0.15	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.08	●●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Sotalol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.1267	-0.67	-0.02	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.22	●●●	●●●	●●●		
Sulfamethoxazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.0594	-0.07	0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	●●●		
Sulfapyridine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.0645	1.47	0.12	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Sulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	342.1482	0.09	-0.16	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.45	●●●	●●●	●●●		
Telmisartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	515.2442	1.06	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.49	●●●	●●●	●●●		
Temazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	301.0738	-0.69	0.02	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.66	●●●	●●●	●●●		
Terbutryn	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	242.1434	3.91	0.05	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.19	●●●	●●●	●●●		
Tetraglyme	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	223.1540	-1.15	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.79	●●●	●●●	—		



Analyte						Chromatogram
Theobromine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	181.0720	2.72	0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.10	●●●	●●●	●●●		
Thiabendazol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	202.0433	-1.12	0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.20	●●●	●●●	●●●		
Tolbutamide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1111	-0.53	0.23	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.68	●●●	●●●	●●●		
Tramadol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	264.1958	-0.06	0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.85	●●●	●●●	●●●		
Triamterene	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.1149	-1.58	0.24	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.61	●●●	●●●	●●●		
Trimethoprim	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	291.1452	-1.18	-0.03	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.25	●●●	●●●	●●●		
Triphenylphosphine Oxide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	279.0933	0.30	0.18	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.81	●●●	●●●	●●●		
Valsartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	436.2343	0.64	0.23	3/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.00	●●●	●●●	●●		

1419855 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RB2\_01\_23473 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Valsartan Acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.0877	2.02	-0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.30	●●●	●●●	●●●		
Venlafaxine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.2115	-1.01	0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.15	●●●	●●●	●●●		
Verapamil	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	455.2904	-2.14	0.10	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.03	●●●	●●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23853 – Sample Screening and Quantitation



Analysis: 1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23853

Creation Date 2023-07-06 02:16 Sample Type Sample  
 Method HWL\_NEG\_2.0 (61) Mass Calib. Date 2023-07-07 09:03  
 Station Name ImpactII-Server Operator tasq  
 Instrument impact II Instrument SN 1825265.10087  
 Data Path true D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230704\neg\1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23853.d

Screening Results

Analyte	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	Chromatogram
2,4-Dinitrophenol	183.0047	1.92	0.15	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.40	●●●	●●●	-		
Bentazon-d7 (IS)	246.0935	0.79	0.24	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●●	-		
Bentazone	239.0496	0.47	0.27	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●	●●●		
Carbetamide-d5 (IS)	240.1402	1.24	-0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.70	●●●	●●●	-		
Chlorbromur (IS)	290.9541	1.05	-0.06	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.50	●●●	●●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	225.0597	1.04	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		

Analyte						Chromatogram
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	295.1126	0.11	-0.18	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●●	-		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.0345	0.48	-0.17	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.30	●●●	●●●	-		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	365.1432	-6.78	-0.48	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.20	●●●	●	-		
Fipronil	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	434.9314	1.26	-0.17	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●●●	●●●		
Furosemide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	329.0004	2.24	0.11	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.00	●●●	●●●	●●●		
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.9698	0.45	0.23	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●●	-		
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	203.0864	-0.69	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	-		
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.0567	0.72	-0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.63	●●●	●●●	-		

Analyte						Chromatogram
PFBA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.9792	2.26	0.12	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.29	●●●	●●●	—		
PFBS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.9430	3.19	-0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.15	●●●	●●●	—		
PFHxS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	398.9366	1.03	-0.20	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.25	●●●	●●●	—		
PFPeA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	262.9760	2.50	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.95	●●●	●●●	—		
Saccharin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	181.9917	1.82	-0.09	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.60	●●●	●●●	—		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation

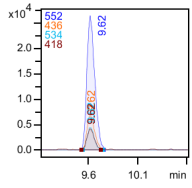
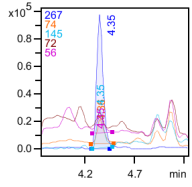
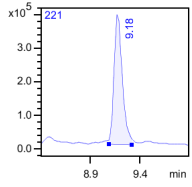
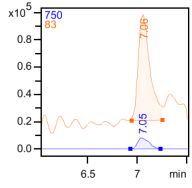
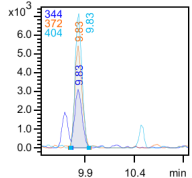


Analysis: 1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767

Creation Date	2023-07-04 18:40	Sample Type	Sample
Method	HWL_POS_1.2 (55)	Mass Calib. Date	2023-07-07 11:49
Station Name	ImpactII-Server	Operator	tasq
Instrument	impact II	Instrument SN	1825265.10087
Data Path	D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230704\pos\1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL_RC2_01_23767.d		

Screening Results

Analyte						Chromatogram
10-Hydroxycarb:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	255.1128	2.30	0.40	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.94	● ● ●	●	● ● ●		
10.11-Dihydro-10.1 dihydroxycar:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1077	1.10	-0.03	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	● ● ●	● ● ●	● ● ●		
2-Phenyl-5-benzimidazol acid	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0485	1.62	0.24	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	● ● ●	● ● ●	● ● ●		
2.6 - Dichlorobenz (BAM)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	189.9821	0.32	0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.58	● ● ●	● ● ●	● ● ●		
4-Methylbenzoi	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	134.0713	1.26	0.12	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.99	● ● ●	● ● ●	—		
Adenine	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.0618	1.00	0.33	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	3.43	● ● ●	● ●	● ● ●		

Analyte						Chromatogram
Adenosine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	268.1040	-0.01	-0.12	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.59	●●●	●●●	●●●		
Aliskiren	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	552.4007	-0.22	-0.25	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.87	●●●	●●●	●●●		
Amantadine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	152.1434	1.51	-0.17	2/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.22	●●●	●●●	●●		
Amisulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	370.1795	0.74	0.17	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.00	●●●	●●●	●●●		
Atenolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.1703	-0.03	-0.15	4/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●●	●●●	●●		
Atrazine-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	221.1324	0.13	0.03	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.15	●●●	●●●	-		
Azithromycin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	749.5158	0.85	0.28	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.77	●●●	●●	●●●		
Azoxystrobin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	404.1241	-0.16	-0.37	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.20	●●●	●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Bentazon-d7 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	248.1081	8.19	-0.45	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●	—		
Benzothiazol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.0215	1.72	-0.48	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.90	●●●	●	●●●		
Benzotriazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	120.0556	1.51	0.20	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.82	●●●	●●●	—		
Bicalutamide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	431.0683	0.40	-0.28	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.77	●●●	●●	●●●		
Bisoprolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	326.2326	1.30	0.16	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.95	●●●	●●●	●●●		
Candesartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	441.1670	0.01	-0.15	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.00	●●●	●●●	—		
Caprolactam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	114.0913	0.96	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	—		
Carbamazepi	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	237.1022	0.61	0.15	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.50	●●●	●●●	●●●		



1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Carbetamide-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	242.1548	0.85	0.17	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.60	●●●	●●●	-		
Chlorbromur (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	292.9687	-0.72	-0.27	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.55	●●●	●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	227.0742	1.77	0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.1271	0.73	-0.36	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●	-		
Chlortalidone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	339.0201	0.44	0.34	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.06	●●●	●●	●●●		
Cimetidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.1230	1.16	0.26	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.24	●●●	●●	●●●		
Citalopram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	325.1711	-0.21	-0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.72	●●●	●●●	●●●		
Clarithromyc	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	748.4842	-1.56	-0.12	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.90	●●●	●●●	-		

Analyte						Chromatogram
Clopidogrel	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	322.0663	0.31	-0.20	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.38	●●●	●●●	●●●		
Codeine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.1594	0.30	0.25	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.40	●●●	●●	●●●		
Deacetyldiltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	373.1580	-0.06	0.25	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.41	●●●	●●●	●●●		
Diazinon-d10 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	315.1711	0.14	-0.36	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.95	●●●	●●	-		
Diclofenac	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	296.0240	0.74	-0.46	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●	●●●		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.0491	44.27	0.10	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.45	●●●	●●●	-		
Diltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1686	0.87	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.18	●●●	●●●	●●●		
Disopyramid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	340.2383	0.19	0.25	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.74	●●●	●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
EDDP	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.1903	0.20	0.17	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.38	●●●	●●●	●●●		
Ethambutol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	205.1911	2.11	-0.06	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	3.36	●●●	●●●	●●●		
Famotidine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	338.0522	4.67	0.20	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.24	●●	●●●	●●●		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	367.1578	0.14	-0.26	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.27	●●●	●●	-		
Fenuron-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	170.1336	0.42	0.26	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.10	●●●	●●	-		
Fexofenadine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	502.2952	-0.07	0.10	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.60	●●●	●●●	●●●		
Flecainide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1451	0.11	0.19	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.45	●●●	●●●	●●●		
Fluopyram	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	397.0537	0.81	-0.39	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.95	●●●	●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation

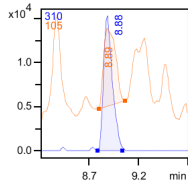
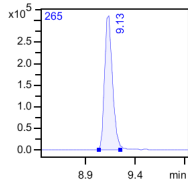
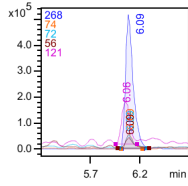
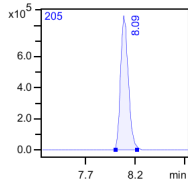
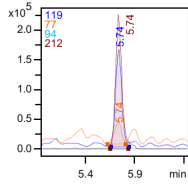
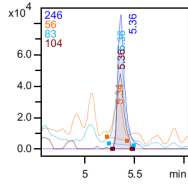
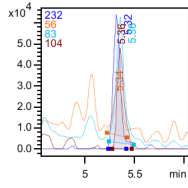
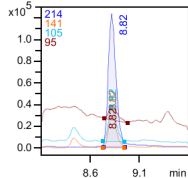


Analyte						Chromatogram
Gabapentin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	172.1332	0.41	0.03	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Guanylurea	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	103.0614	-21.75	-0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	1.20	●●●	●●●	—		
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	299.9843	8.56	0.31	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●	—		
Imidacloprid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	256.0596	2.76	0.08	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.95	●●●	●●●	●●●		
Iopromide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	791.8770	-1.20	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●●	●●●	●●●		
Irbesartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	429.2397	0.02	-0.29	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.32	●●●	●●	●●●		
Ketamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	238.0993	2.24	0.19	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.68	●●●	●●●	●●●		
Lamotrigine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	256.0151	0.71	-0.01	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Levocetirizine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	389.1626	0.07	-0.12	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.85	●●●	●●●	●●●		
Lidocaine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	235.1805	1.23	0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.65	●●●	●●●	●●●		
Losartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	423.1695	-0.12	-0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.45	●●●	●●●	●●●		
MDMA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	194.1176	0.90	-0.05	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.42	●●●	●●●	●●●		
Melamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	127.0727	2.09	0.07	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.73	●●●	●●●	●●●		
Metconazole-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	326.1901	-1.28	-0.40	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.20	●●●	●	-		
Metformin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	130.1087	1.27	-0.02	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.74	●●●	●●●	●●●		
Metformine-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.1464	1.64	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.70	●●●	●●●	-		

Analyte						Chromatogram
Methadone	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	310.2165	-1.58	-0.08	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.96	●●●	●●●	●●●		
Metobromurc d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	265.0453	-0.05	-0.07	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.20	●●●	●●●	—		
Metoprolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	268.1907	0.44	0.14	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.95	●●●	●●●	●●●		
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	205.1009	0.23	0.09	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	—		
N,N-diphenylguan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.1182	1.66	0.04	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	—		
N-Acetyl-4-aminoantipyr.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	246.1237	1.04	0.06	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-Formyl-4-aminoantipyr.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	232.1081	0.80	0.02	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-butylbenzen:	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	214.0896	0.22	-0.03	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.85	●●●	●●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
N.N-Diethyl-m-toluamide. DEET	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	192.1383	0.01	-0.08	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.33	●●●	●●●	●●●		
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0712	0.50	-0.30	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.60	●●●	●●	—		
Norcitaloprar	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	311.1554	-0.40	0.20	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.51	●●●	●●●	●●●		
Nordiltiazem	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	401.1530	0.25	0.12	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.21	●●●	●●●	●●●		
Norvenlafaxin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	264.1958	1.02	0.18	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.18	●●●	●●●	●●		
O-Desmethylnor...	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	236.1645	0.57	-0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.69	●●●	●●●	●●●		
O-Desmethylnor...	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.1802	0.39	0.21	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.06	●●●	●●●	●●●		
Oxazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	287.0582	0.46	-0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.35	●●●	●●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Oxcarbazepir 🔍	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.0972	0.92	-0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		
Pantoprazole	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	384.0824	0.68	0.13	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.46	●●●	●●●	●●●		
Proguanil	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.1167	0.73	0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.98	●●●	●●●	●●●		
Propranolol 🔍	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	260.1645	-0.09	0.03	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.62	●●●	●●●	-		
Propyphenazil	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	231.1492	1.12	0.40	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.23	●●●	●●	●●●		
Quinoxifen-d4 (IS) 🔍	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	312.0291	-0.24	-0.20	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.60	●●●	●●●	-		
Ritalinic acid	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	220.1332	1.18	0.18	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.75	●●●	●●●	●●●		
Rivaroxaban	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	436.0728	1.58	0.18	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.03	●●●	●●●	●●		



1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Sertraline	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	306.0811	-0.11	-0.23	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.88	●●●	●●●	●●●		
Sotalol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.1267	0.97	-0.05	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.22	●●●	●●●	●●●		
Sulfamethoxazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.0594	0.98	0.04	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	●●●		
Sulfapyridine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.0645	0.85	0.11	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Sulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	342.1482	0.56	-0.19	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.45	●●●	●●●	●●●		
Telmisartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	515.2442	0.44	-0.30	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.49	●●●	●●	●●●		
Temazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	301.0738	0.27	-0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.66	●●●	●●●	●●●		
Thiabendazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	202.0433	0.92	0.34	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.20	●●●	●●	●●●		

1427173 EXT-TUD-AWZI-LN-INFL\_RC2\_01\_23767 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Tolbutamide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1111	-0.33	0.19	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.68	●●●	●●●	●●●		
Tramadol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	264.1958	0.99	0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.85	●●●	●●●	●●●		
Triamterene	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	254.1149	-1.61	0.29	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.61	●●●	●●	●●●		
Triphenylphosphine Oxide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	279.0933	0.98	-0.04	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.81	●●●	●●●	●●●		
Valsartan Acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.0877	1.27	-0.01	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.30	●●●	●●●	●●●		
Venlafaxine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.2115	1.31	0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.15	●●●	●●●	●●●		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23855 – Sample Screening and Quantitation



Analysis: 1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23855

Creation Date 2023-07-06 03:01 Sample Type Sample  
 Method HWL\_NEG\_2.0 (61) Mass Calib. Date 2023-07-07 09:04  
 Station Name ImpactII-Server Operator tasq  
 Instrument impact II Instrument SN 1825265.10087  
 Data Path true D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230704\neg\1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23855.d

Screening Results

Analyte	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	Chromatogram
2,4-Dinitrophenol	183.0047	3.01	0.14	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.40	●●●	●●●	-		
Bentazon-d7 (IS)	246.0935	1.88	0.23	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●●	-		
Bentazone	239.0496	6.38	0.24	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●	●●●	●●●		
Carbetamide-d5 (IS)	240.1402	2.16	-0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.70	●●●	●●●	-		
Chlorbromur (IS)	290.9541	3.43	-0.06	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.50	●●●	●●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	225.0597	2.03	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23855 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	295.1126	2.01	-0.18	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●●	-		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.0345	2.17	-0.17	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.30	●●●	●●●	-		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	365.1432	-6.29	-0.48	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.20	●●●	●	-		
Fipronil	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	434.9314	-0.13	-0.17	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●●●	●●●		
Furosemide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	329.0004	2.77	0.10	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.00	●●●	●●●	●●●		
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.9698	0.23	0.23	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●●	-		
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	203.0864	2.42	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	-		
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.0567	2.05	-0.15	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.63	●●●	●●●	-		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23855 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
PFBA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	212.9792	2.37	0.09	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.29	●●●	●●●	-		
PFBS	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	298.9430	1.85	-0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.15	●●●	●●●	-		
PFPeA	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	262.9760	1.98	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.95	●●●	●●●	-		
Saccharin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	181.9917	2.08	-0.10	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.60	●●●	●●●	-		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation



Analysis: 1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769

Creation Date	2023-07-04 19:24	Sample Type	Sample
Method	HWL_POS_1.2 (55)	Mass Calib. Date	2023-07-10 09:49
Station Name	ImpactII-Server	Operator	tasq
Instrument	impact II	Instrument SN	1825265.10087
Data Path	D:\Data\Sample Data\Routine\2023\20230704\pos\1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF_RC3_01_23769.d		

Screening Results

Analyte						Chromatogram
1,2-benzisothiazone	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	152.0165	-0.93	0.09	2/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.30	●●●	●●●	●●		
10-Hydroxycarb:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	255.1128	-0.35	0.38	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.94	●●●	●●	●●●		
10,11-Dihydro-10.1 dihydroxycar:	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	271.1077	-2.41	-0.05	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		
2-Phenyl-5-benzimidazol acid	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0485	-0.98	0.23	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.70	●●●	●●●	●●●		
2,6 - Dichlorobenz (BAM)	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	189.9821	-1.12	0.09	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.58	●●●	●●●	●●●		
Adenine	m/z theo.	Δ m/z [ppm]	Δ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.0618	1.10	0.29	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	3.43	●●●	●●	●●●		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Adenosine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	268.1040	-1.42	-0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.59	●●●	●●●	●●●		
Amisulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	370.1795	-1.62	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.00	●●●	●●●	●●●		
Atrazine-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	221.1324	-2.60	0.02	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.15	●●●	●●●	-		
Azoxystrobin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	404.1241	-1.21	-0.37	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.20	●●●	●●	●●●		
Bentazon-d7 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	248.1081	24.12	0.01	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.20	●●●	●●●	-		
Benzotriazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	120.0556	-1.16	0.17	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.82	●●●	●●●	-		
Candesartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	441.1670	-2.32	-0.16	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.00	●●	●●●	-		
Caprolactam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	114.0913	-1.44	-0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	-		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Carbamazepin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	237.1022	-1.62	0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.50	●●●	●●●	●●●		
Carbetamide-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	242.1548	-2.19	0.15	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.60	●●●	●●●	-		
Chlorobromur (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	292.9687	-2.22	-0.27	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.55	●●●	●●	-		
Chloridazone d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	227.0742	-1.49	0.06	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	-		
Chloroxuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	297.1271	-2.55	-0.37	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.00	●●●	●●	-		
Clopidogrel	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	322.0663	-2.14	-0.20	5/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.38	●●●	●●●	●●●		
Darunavir	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	548.2425	-0.88	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.25	●●●	●●●	●●●		
Diazinon-d10 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	315.1711	-2.68	-0.36	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.95	●●●	●●	-		



1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Diclofenac	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	296.0240	-3.23	-0.46	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.43	●●●	●	●●●		
Diclofenac-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	300.0491	43.56	0.10	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.45	●●●	●●●	—		
Fenofibrate-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	367.1578	-2.54	-0.27	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.27	●●●	●●	—		
Fenuron-d5 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	170.1336	-1.02	0.24	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.10	●●●	●●●	—		
Fexofenadine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	502.2952	-3.06	0.09	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.60	●●	●●●	●●●		
Flecainide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	415.1451	-1.95	0.17	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.45	●●●	●●●	●●●		
Gabapentin	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	172.1332	0.32	0.01	2/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●		
Hydrochlorot d2 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	299.9843	-22.03	0.32	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.35	●●●	●●	—		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
Iopromide	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	791.8770	-1.77	0.13	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.50	●●	●●●	●●●		
Irbesartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	429.2397	-2.51	-0.29	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	10.32	●●	●●	●●●		
Ketamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	238.0993	1.22	0.17	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.68	●●●	●●●	●●●		
Lamotrigine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	256.0151	-1.99	-0.04	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	6.50	●●●	●●●	●●●		
Levocetirizine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	389.1626	-2.06	-0.13	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.85	●●●	●●●	●●●		
Lidocaine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	235.1805	-0.81	0.10	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.65	●●●	●●●	●●●		
Losartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	423.1695	-1.25	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.45	●●●	●●●	●●●		
Melamine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	127.0727	2.36	0.05	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.73	●●●	●●●	●●●		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation

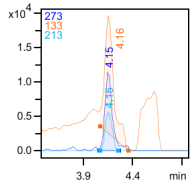
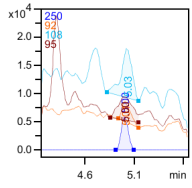
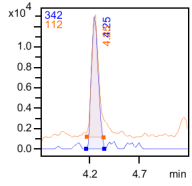
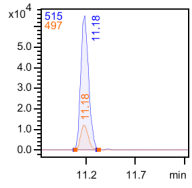
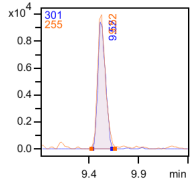
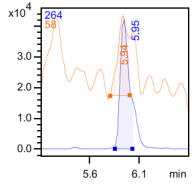
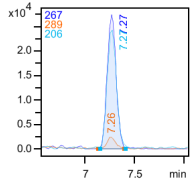
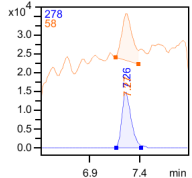


Analyte						Chromatogram
Metconazole-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	326.1901	-2.58	-0.41	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	12.20	●●●	●	—		
Metformine-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	136.1464	1.67	-0.00	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	2.70	●●●	●●●	—		
Metobromurc d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	265.0453	-3.33	-0.08	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.20	●●●	●●●	—		
Metoprolol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	268.1907	-1.62	0.13	4/5		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.95	●●●	●●●	●●		
Monuron-d6 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	205.1009	-1.21	0.07	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.00	●●●	●●●	—		
N-Acetyl-4-aminoantipyr.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	246.1237	-1.78	0.06	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-Formyl-4-aminoantipyr.	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	232.1081	1.85	0.01	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.30	●●●	●●●	●●●		
N-butylbenzen:	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	214.0896	-1.96	-0.04	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.85	●●●	●●●	●●●		

1427174 EXT-TUD-AWZI-LN-EFF\_RC3\_01\_23769 – Sample Screening and Quantitation



Analyte						Chromatogram
N.N-Diethyl-m-toluamide. DEET	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	192.1383	-1.12	-0.09	3/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.33	●●●	●●●	●●		
Neburon (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	275.0712	-1.31	-0.30	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.60	●●●	●●	—		
O-Desmethylntra	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.1802	-1.74	0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.06	●●●	●●●	●●●		
Oxazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	287.0582	-1.25	-0.05	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.35	●●●	●●●	●●●		
Oxcarbazepir	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	253.0972	-2.38	-0.05	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.07	●●●	●●●	●●●		
Pantoprazole	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	384.0824	-1.78	0.11	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	8.46	●●●	●●●	●●●		
Quinoxifen-d4 (IS)	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	312.0291	-1.10	-0.21	1/1		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	13.60	●●●	●●●	—		
Ritalinic acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	220.1332	-1.77	0.17	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.75	●●●	●●●	●●●		

Analyte						Chromatogram
Sotalol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	273.1267	-1.52	-0.07	3/3		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.22	●●●	●●●	●●●		
Sulfapyridine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	250.0645	3.11	0.10	4/4		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.90	●●●	●●●	●●●		
Sulpiride	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	342.1482	0.59	-0.20	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	4.45	●●●	●●●	●●●		
Telmisartan	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	515.2442	-1.25	-0.31	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	11.49	●●●	●●	●●●		
Temazepam	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	301.0738	-1.61	-0.14	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	9.66	●●●	●●●	●●●		
Tramadol	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	264.1958	-1.92	0.10	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	5.85	●●●	●●●	●●●		
Valsartan Acid	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	267.0877	-2.54	-0.03	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.30	●●●	●●●	●●●		
Venlafaxine	m/z theo.	$\Delta$ m/z [ppm]	$\Delta$ RT [min]	Mand Ions	Quantity	
	278.2115	-2.74	0.11	2/2		
	RT theo [min]	m/z Score	RT Score	Ions Score	R <sup>2</sup>	
	7.15	●●●	●●●	●●●		

# 1. Energieverbruik

## Scenario 1: EBCT = 10 min., loading time = 7 days

### ENERGY USE AND OPERATIONAL COST DUE TO ELECTRICITY

Disclaimer: all empty cells (N/A) mean they are still waiting for data from equipment's datasheets

#### Process Schedule

Total specific energy use will be calculated based on the schedule of one complete cycle, as follows:

Adsorption	=	162.00 h	(7 days - 8h-regeneration)
Backwash 1	=	0.25 h	(15 min.) (= draining +/- 10 min.)
Drying - Heating	=	4.00 h	(4 hours during pilot study)
Cooling - Fan only	=	0.00 h	(no cooling required)
Ozonation	=	1.50 h	(half of the duration during feasibility study)
Backwash 2	=	0.25 h	(15 min.)

Total population equivalent	=	100,000.00 p.e.	
Total influent flow rate	=	1,040.00 m <sup>3</sup> /h	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
Total volume of treated water in a week	=	168,480.00 m <sup>3</sup>	(assumed 7 days of adsorption)
Total required surface area (A <sub>T</sub> )	=	86.64 m <sup>2</sup>	

#### Number of columns and specifications

Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	(see schedule below: row 246 - 273)

#### Column sizing

Zeolite granules diameter, φ <sub>Z</sub>	=	2.00 mm	
Column diameter, D	=	2.29 m	(trial)
Ratio of bed height and diameter, H/D	=	0.87	empirical estimation from GAC column ratio is ≈10
Bed height, H	=	2.00 m	(trial)
Column height, H <sub>c</sub>	=	3.80 m	(bed height + 30% clogging + 50% bed expansion during backwash + 10% freeboard)
Influent flow rate, Q	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Surface area, A	=	4.13 m <sup>2</sup>	
Filtration velocity, v	=	12.00 m/h	(rapid sand filter = 5 - 12 m/h)
Bed volume, BV	=	8.25 m <sup>3</sup>	
Empty bed contact time, EBCT	=	10.00 min.	OK

#### ADSORPTION

Influent flow rate	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Volume of treated water in 1 cycle	=	8,022.86 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 7 days of adsorption)
Static head required for 1 pump	=	3.80 m	(= column height, H <sub>c</sub> )
Suction head and friction head	=	1.14 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the intake point to and the bottom of installation)
Required total head	=	6.94 m	(= 7 m for CO <sub>2</sub> -model)
Max. pump capacity	=	50.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Max. pump head	=	7.00 m	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	1.50 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	90%	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	1.35 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Pump specific energy	=	0.03 kWh/m <sup>3</sup> of water delivered	
Influent pump energy for 1 column, 1 week	=	240.69 kWh	
Influent pump energy for all columns, 1 week	=	4,813.71 kWh	(assumed that 1 column is in regeneration-mode)
Influent pump energy for all columns, 1 day	=	687.67 kWh/day	
Required energy for influent pumping per year	=	250,313.14 kWh/year	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for influent pumping per year	=	€ 34,067.62	
Pumping energy in 1 week	=	0.0286 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

#### Backwash

Backwash flow rate	=	4.95 m <sup>3</sup> /h	(STOWA 2015-27 = 10% from main flow rate per single backwash)
Volume of backwashed water	=	1.24 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 2 backwashes, each for 15 min.)
Static head required for 1 pump	=	3.80 m	(= column height, H <sub>c</sub> + depth of effluent tank)
Suction head and friction head	=	1.14 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the effluent tank and the bottom of the installation)
Required total head	=	6.94 m	
Max. pump capacity	=	5.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Max. pump head	=	8.30 m	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	0.65 kW	
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	65%	
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	0.42 kW	
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Backwash pump specific energy	=	0.13 kWh/m <sup>3</sup> of backwashed water	
Backwash pump energy for 1 week	=	0.16 kWh	
Required energy for backwashing per year	=	8.37 kWh	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for backwashing per year	=	€ 1.139092	
Backwashing energy in 1 week	=	0.000001 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
Percentage backwash from raw WWTP-Influent	=	4%	(during regeneration, in 8 hours max. 4 column(s) being backwashed for 2 x 15 minutes)
Without pre-filtration → more backwash	=	8%	(assumed 2x)

#### REGENERATION

Assumed that each day there will be 1 column to be regenerated, then:			
Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	
Bed volume in 1 column	=	8.25 m <sup>3</sup>	
Volume of zeolite bed to be regenerated in 1 week	=	181.54 m <sup>3</sup>	
Zeolite bulk density	=	590.32 kg/m <sup>3</sup>	(based on Mingjing He's thesis)
Zeolite mass in 1 column	=	4,871.20 kg	
Zeolite mass in 1 column to be regenerated in 1 week	=	107,166.33 kg	

#### Drying

Blower electric voltage, E	=	(To Be Announced)	V
Frequency, f	=	(To Be Announced)	Hz
Zeolite bed volume, V <sub>Z</sub>	=	8.25 m <sup>3</sup>	(1 column)
Water content in the zeolite pores	=	40%	(Mingjing He's thesis)
Water volume inside zeolite, v <sub>w</sub>	=	3.301 m <sup>3</sup>	
Water content required for regeneration	=	30%	(in order to have min. 70% regeneration)
Evaporation percentage	=	25%	(Mingjing He's thesis)
Volume of water to be evaporated	=	0.825 m <sup>3</sup>	(duration: 4.00 h)
Mass density of water, ρ	=	1,000 kg/m <sup>3</sup>	
Mass of required water to be evaporated	=	825 kg/column	
Per hour:			
Mass of evaporated water per hour, m	=	206.30 kg	(1 column)
Estimated temperature before heating, T <sub>1</sub>	=	18.00 deg C	(assumed as ambient temperature)
Target temperature after heating, T <sub>2</sub>	=	60.00 deg C	(Mingjing He's thesis)
Temperature change, ΔT	=	315.00 K	ΔT = (T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> ) + 273 K
Isochoric specific heat coefficient, cv	=	4.06 kJ/kg K	(at ΔT)
Specific heat until target temperature, Cs	=	263,830.92 kJ	Cs = m · cv · ΔT
Enthalpy of vaporization at target temperature, ch	=	2,357.70 kJ/kg	(at T <sub>2</sub> )
Latent heat at target temperature, Cl	=	486,382.18 kJ	(https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
Total heat for 1 hour drying period, C	=	750,213.11 kJ	C = m · ch
Required heating energy per kg water dried	=	3,636.60 kJ/kg	C = Cs + Cl
Per heating period:			
Required energy per heating period	=	833,576.79 kWh	(1 kg = 0.00027778 kWh)
2. Cooling			
Required energy per cooling period	=	- kWh	(1 kg = 0.00027778 kWh)
Required cooling energy per kg water dried	=	- kWh/kg	(assumed for 1 week, cooling energy will be 5% from heating because only the blower is moving, but not heating needed anymore)
3. Total			
Required energy for drying for 1 week	=	18,338.69 kWh	(for the same number of columns to be regenerated)
Required energy for drying per year	=	953,611.84 kWh	(1 year = 52 weeks)
Electricity cost	=	€ 13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for drying per year	=	€ 129,786.57	
Drying energy in 1 week	=	0.1088 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

#### Heat energy from natural gas

1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	11.00 kWh	(Swedish Gas Centre, 2007)
1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	11.00 kg CO <sub>2</sub>	(IPMV CALL 2020)
Heat from natural gas	=	1.79 kg CO <sub>2</sub> /kWh	
To calculate CO <sub>2</sub> footprint for drying:			
Energy for drying	=	0.11 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
CO <sub>2</sub> footprint for drying	=	17.71 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	

#### CO<sub>2</sub> footprint comparison for drying

From natural gas	=	17.71 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
From electricity	=	57.69 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
Conversion factor	=	0.31	
Thus, required drying energy	=	292,789.91 kWh/year	using fossil fuel

#### Ozonation

Generator use in full-scale plant	=	(To Be Announced)	
Max. ozone production	=	(To Be Announced)	g/h
Number of generator unit	=	1	
Efficiency	=	100.00 %	(assumed)
Actual ozone production	=	(To Be Announced)	kg/h
Required ozone concentration	=	100.00 mg/L	

Assumed that each cycle there will be 1 column to be regenerated, then:

Required ozone loading per hour	=	30.04 kg/h	
Required energy per ozone demand	=	12.00 kWh/kg ozone	(STOWA 2015-27: 10 kWh for production, 2 kWh for cooling the generator)
Required ozonation energy per hour	=	360.47 kWh/h	

#### Energy use (calculated weekly)

Recirculation system factor	=	3	(only 0.5 hour of full ozone generation → the rest is with recirculation system)
Ozone generation energy for 1 week	=	3,965.15 kWh	(assumed 1 week → 22 columns to be regenerated)
Ozone generation energy per year	=	206,188.03 kWh/year	(1 year = 52 weeks)
Electricity cost	=	€ 13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for ozonation per year	=	€ 28,062.19	
Ozone generation energy in 1 week	=	0.0235 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

#### Liquid oxygen (LOX) consumption

Ozone concentration	=	100 mg/L	Mingjing He's MSc Thesis (ozone gas supply flow rate = 0.8 L/min.)
Required ozone gas per kg of zeolite	=	18.50 g/kg	(from Max's latest column experiment)
Required zeolite mass in 1 column	=	4,871.20 kg	
Required ozone load in 1 column	=	90.12 kg	
Required ozone loading per hour	=	30.04 kg/h	(for checking)

Oxygen gas per ozone factor = 7.00 Nm<sup>3</sup> oxygen/kg ozone  
 Voor de zuurstofconsumptie van de ozongenerator is uitgegaan van 7 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/kg O<sub>3</sub> op basis van informatie over verschillende typen ozongeneratoren.

Daarnaast zijn er factoren voor de inefficiëntie van ozonproductie (90% van de zuurstof wordt omgezet in ozon) en verbruik opgenomen (90% van de ozon reageert met DOC).

LOX compression factor from oxygen gas	=	0.92 Nm <sup>3</sup> /kg	(from STOWA 2020-18)
LOX per ozone factor	=	7.61 L/kg ozone	
Required LOX per hour	=	228.56 L/h	
Required LOX per 1-time regeneration of 1 column	=	0.34 m <sup>3</sup>	(assumed 1 week = 1.5 hours of ozonation)
With 1 tank of LOX = 50 L and expansion rate from the LOX to oxygen gas = 1 : 861, the number of tanks required will be:	=	1 pc.	

Using a mass density of LOX, the weight of required LOX can be obtained:

LOX mass density	=	1.143 kg/m <sup>3</sup>	
Required LOX weight for 1 column	=	391.18 kg	
Required LOX weight per day (3-4 columns in regeneration)	=	1,369.12 kg	
Required LOX weight for a year	=	71,194.21 kg	

#### ZEOLITE PRODUCTION

High-silica zeolite powder production energy	=	0.03 kWh/kg powder	(value from Zaykovskaya, et al. 2020)
--	---	--------------------	---------------------------------------

#### Granulation process

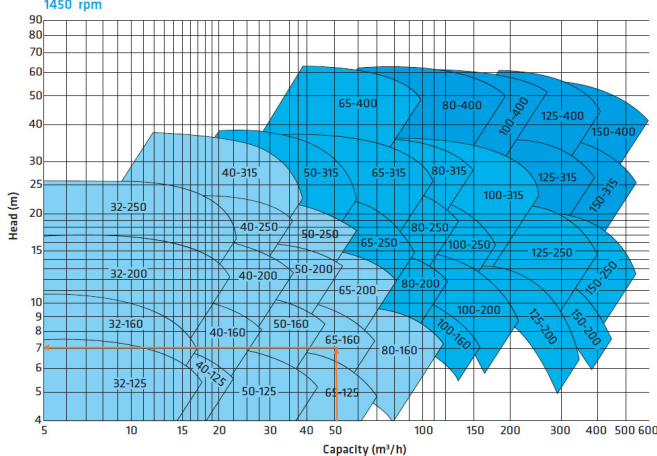
Power (from the machine), P	=	1 kW	(info from Delft Solids Solutions)
Electric voltage, V	=	230 V	(info from Delft Solids Solutions)
Motor frequency, f	=	50 Hz	(info from Delft Solids Solutions)
Powder weight for feasibility study, w	=	0.15 kg	(info from Delft Solids Solutions)
Granulation time for feasibility study, t	=	40 min.	(info from Delft Solids Solutions)

It is assumed that after granulation approximately 70% of the powder weight becomes usable granules, hence:

#### 1450 rpm (4 Pole Motor)

FORM	Pump Type	MOTOR	ECO SNM INSTALLATION DIMENSIONS (mm)																					
			Overall Dimensions										Foot Dimensions											
FW	IEC	DNB	A	W	Lm	H	H1	H2	H3	φ	m1	m2	m3	m4	n1	n2	n3	n4	Sp	Sm				
F1	65-160	11	90L	80	65	100	196	240	523	360	160	200	90	56	95	125	125	158	212	280	140	190	14	10
F1	65-160	1.5	90L	80	65	100	156	267	523	360	160	200	90	56	95	125	125	158	212	280	140	190	14	10
F1	65-160	2.2	100L	80	65	100	179	292	571	360	160	200	100	63	95	125	140	178	212	280	160	192	14	12

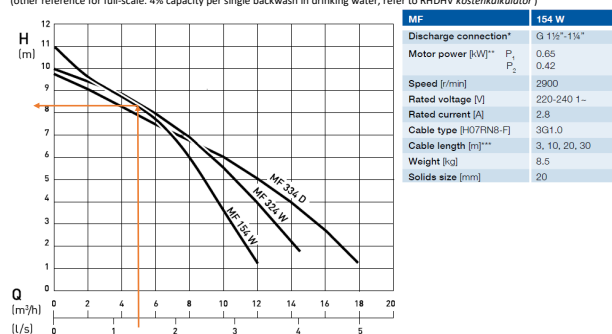
#### 1450 rpm



Flow rate =	49.52 m <sup>3</sup> /h	=	825.40 L/min.
Flow rate =	6,001,573 BV/h		
Adsorption volume =	972.2545 BV		720
Backwash flow =	0.600157 BV/h		
Backwash volume =	0.15 BV		

0.02%

(other reference for full-scale: 4% capacity per single backwash in drinking water, refer to RHDVH kostenkalkulator)



Q (l/s)

H (m)

Q (m<sup>3</sup>/h)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (m)

Q (l/s)

H (

Percentage of granulation efficiency = 70%  
 Actual power per hour of granulation = 0.67 kWh  
 Actual power per kg of granules = 6.35 kWh/kg granules

Total zeolite production energy = 7.15 kWh/kg granules  
 Weight of granules for full-scale = 102,295.14 kg  
 Granulation energy for full-scale = 731,652.70 kWh

It is also assumed that re-adsorption capacity after regeneration decreases after a few years, hence there will be 30% of zeolite replenishment after between 5-year period.  
 Replenishment of zeolite granules = 30%  
 Operational period until replenishment = 5 years

Volume of water to be treated during operational period = 40,435,200.00 m<sup>3</sup>  
 Granulation specific energy (first load) = 0.0181 kWh/m<sup>3</sup> of treated water (for the first year)  
 Granulation specific energy (replenishment) = 0.0054 kWh/m<sup>3</sup> of treated water/5-year-period

**Sintering zeolite granules (oven: Rohde ELS 1000/13)**

Target temperature = 950 deg C (assumed the lab temperature is 20 deg C)  
 Duration = 2 hours  
 Mass of zeolite put into 1 oven (oven capacity) = 180 kg (estimated by the loading of the pilot plant granules (60 kg) which covers 1/3 of the oven)  
 Frequency of using the oven = 568.31 times (total zeolite weight/oven capacity)  
 Power (from the machine), P = 70 kW  
 Total energy for sintering = 79,562.89 kWh  
 Sintering energy per kg of granules = 0.78 kWh/kg granules

**RECAP (FIRST YEAR)**

Process step	kWh/m <sup>3</sup>	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	27.57%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Drying	0.0334	32.25%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0235	22.71%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0181	17.46%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1036</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (first year)**

Factor:  
 1 kWh = 0.53 kg CO<sub>2</sub> (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)  
 Total CO<sub>2</sub> footprint will be:  
 = 42.65 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> of treated water  
 = 373.61 ton CO<sub>2</sub>/year (only in the first year)

CO<sub>2</sub> footprint zeolite production = 0.010 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> of treated water  
 = 0.82 kg CO<sub>2</sub>/kg zeolite  
 CO<sub>2</sub> footprint GAC = 11 kg CO<sub>2</sub>/kg GAC (Bayer, et al, 2005)  
 Converted weight of zeolite = 0.07

**RECAP (SECOND YEAR ONWARDS)**

Process step	kWh/m <sup>3</sup>	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	33.41%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Drying	0.0334	39.08%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0235	27.52%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Zeolite production	-	0.00%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.0855</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (second year onwards)**

Factor:  
 1 kWh = 0.53 kg CO<sub>2</sub> (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)  
 Total CO<sub>2</sub> footprint will be:  
 = 33.06 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> of treated water  
 = 289.59 ton CO<sub>2</sub>/year (only in the first year)

**RECAP (FIFTH YEAR)**

Process step	kWh/m <sup>3</sup>	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	31.41%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Drying	0.0334	36.74%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0235	25.88%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0054	5.97%	30% added zeolite granules
<b>TOTAL</b>	<b>0.0910</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (fifth year)**

Factor:  
 1 kWh = 0.53 kg CO<sub>2</sub> (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)  
 Total CO<sub>2</sub> footprint will be:  
 = 35.93 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> of treated water  
 = 314.80 ton CO<sub>2</sub>/year (only in the first year)

## Scenario 2: EBCT = 10 min., loading time = 5 days

### ENERGY USE AND OPERATIONAL COST DUE TO ELECTRICITY

Disclaimer: all empty cells (N/A) mean they are still waiting for data from equipment's datasheets

#### Process Schedule

Total specific energy use will be calculated based on the schedule of one complete cycle, as follows:

Adsorption	=	114.00 h	(5 days - 8h-regeneration)
Backwash 1	=	0.25 h	(15 min.) (= draining +/- 10 min.)
Drying - Heating	=	4.00 h	(4 hours during pilot study)
Cooling - Fan only	=	0.00 h	(no cooling required)
Ozonation	=	1.50 h	(half of the duration during feasibility study)
Backwash 2	=	0.25 h	(15 min.)

Total population equivalent	=	100,000.00 p.e.	
Total influent flow rate	=	1,040.00 m <sup>3</sup> /h	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
Total volume of treated water in a week	=	118,560.00 m <sup>3</sup>	(assumed 5 days of adsorption)
Total required surface area (A <sub>T</sub> )	=	86.64 m <sup>2</sup>	

#### Number of columns and specifications

Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	(see schedule below: row 246 - 273)

#### Column sizing

Zeolite granules diameter, φ <sub>z</sub>	=	2.00 mm	
Column diameter, D	=	2.29 m	(trial)
Ratio of bed height and diameter, H/D	=	0.87	empirical estimation from GAC column ratio is ≈10
Bed height, H	=	2.00 m	(trial)
Column height, H <sub>c</sub>	=	3.80 m	(bed height + 30% clogging + 50% bed expansion during backwash + 10% freeboard)
Influent flow rate, Q	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Surface area, A	=	4.13 m <sup>2</sup>	
Filtration velocity, v	=	12.00 m/h	(rapid sand filter = 5 - 12 m/h)
Bed volume, BV	=	8.25 m <sup>3</sup>	
Empty bed contact time, EBCT	=	10.00 min.	OK

#### ADSORPTION

Influent flow rate	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Volume of treated water in 1 cycle	=	5,645.71 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 cycle = 5 days)
Static head required for 1 pump	=	3.80 m	(= column height, H <sub>c</sub> )
Suction head and friction head	=	1.14 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the intake point to and the bottom of installation)
Required total head	=	6.94 m	(= 7 m for CO <sub>2</sub> -model)
Max. pump capacity	=	50.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Max. pump head	=	7.00 m	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	1.50 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	90%	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	1.35 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Pump specific energy	=	0.03 kWh/m <sup>3</sup> of water delivered	
Influent pump energy for 1 column, 1 cycle	=	169.37 kWh	(1 cycle = 5 days)
Influent pump energy for all columns, 1 week	=	3,387.43 kWh	(assumed that 1 column is in regeneration-mode)
Influent pump energy for all columns, 1 day	=	483.92 kWh/day	
Required energy for influent pumping per year	=	176,146.29 kWh/year	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for influent pumping per year	=	€ 23,973.51	
Pumping energy in 1 week	=	0.0286 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

#### Backwash

Backwash flow rate	=	4.95 m <sup>3</sup> /h	(STOWA 2015-27 = 10% from main flow rate per single backwash)
Volume of backwashed water	=	1.24 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 2 backwashes, each for 15 min.)
Static head required for 1 pump	=	3.80 m	(= column height, H <sub>c</sub> + depth of effluent tank)
Suction head and friction head	=	1.14 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the effluent tank and the bottom of the installation)
Required total head	=	6.94 m	
Max. pump capacity	=	5.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Max. pump head	=	8.30 m	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	0.65 kW	
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	65%	
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	0.42 kW	
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Backwash pump specific energy	=	0.13 kWh/m <sup>3</sup> of backwashed water	
Backwash pump energy for 1 week	=	0.16 kWh	
Required energy for backwashing per year	=	8.37 kWh	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for backwashing per year	=	€ 0.13610 /kWh	
Backwashing energy in 1 week	=	€ 1.139092	
Percentage backwash from raw WWTP-Influent	=	0.000001 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
Without pre-filtration → more backwash	=	4% (during regeneration, in 8 hours max. 4 columns) being backwashed for 2 x 15 minutes	
	=	8% (assumed 2x)	

#### REGENERATION

Assumed that each day there will be 1 column to be regenerated, then:			
Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	
Bed volume in 1 column	=	8.25 m <sup>3</sup>	
Volume of zeolite bed to be regenerated in 1 week	=	181.54 m <sup>3</sup>	
Zeolite bulk density	=	590.32 kg/m <sup>3</sup>	(based on Mingjing He's thesis)
Zeolite mass in 1 column	=	4,871.20 kg	
Zeolite mass in 1 column to be regenerated in 1 week	=	107,166.33 kg	

#### Drying

Blower electric voltage, E	=	(To Be Announced)	V
Frequency, f	=	(To Be Announced)	Hz
Zeolite bed volume, V <sub>z</sub>	=	8.25 m <sup>3</sup>	(1 column)
Water content in the zeolite pores	=	40%	(Mingjing He's thesis)
Water volume inside zeolite, v <sub>w</sub>	=	3.301 m <sup>3</sup>	
Water content required for regeneration	=	30%	(in order to have min. 70% regeneration)
Evaporation percentage	=	25%	(Mingjing He's thesis)
Volume of water to be evaporated	=	0.825 m <sup>3</sup>	(duration: 4.00 h)
Mass density of water, ρ	=	1,000 kg/m <sup>3</sup>	
Mass of required water to be evaporated	=	825 kg/column	
Per hour:			
Mass of evaporated water per hour, m	=	206.30 kg	(1 column)
Estimated temperature before heating, T <sub>1</sub>	=	18.00 deg C	(assumed as ambient temperature)
Target temperature after heating, T <sub>2</sub>	=	60.00 deg C	(Mingjing He's thesis)
Temperature change, ΔT	=	315.00 K	ΔT = (T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> ) + 273 K
Isobaric specific heat coefficient, cv	=	4.06 kJ/kg K	(at ΔT)
Specific heat until target temperature, C <sub>s</sub>	=	263,830.92 kJ	C <sub>s</sub> = m · cv · ΔT
Enthalpy of vaporization at target temperature, ch	=	2,357.70 kJ/kg	(at T <sub>2</sub> )
Latent heat at target temperature, Cl	=	486,382.18 kJ	(https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
Total heat for 1 hour drying period, C	=	750,213.11 kJ	C = m · ch
Required heating energy per kg water dried	=	3,636.60 kJ/kg	C = C <sub>s</sub> + Cl
	=	1,010.17 kWh/kg	(1 kJ = 0.00027778 kWh)
Per heating period:			
Required energy per heating period	=	833,576.79 kWh	(1 kJ = 0.00027778 kWh)
2. Cooling			
Required energy per cooling period	=	- kWh	(assumed for 1 week, cooling energy will be 5% from heating because only the blower is moving, but not heating needed anymore)
Required cooling energy per kg water dried	=	- kWh/kg	
3. Total			
Required energy for drying for 1 week	=	18,338.69 kWh	(for the same number of columns to be regenerated)
Required energy for drying per year	=	1,338,724.32 kWh	(1 year = 73 weeks)
Electricity cost	=	€ 13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for drying per year	=	€ 182,200.38	
Drying energy in 1 week	=	0.1547 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

#### Heat energy from natural gas

1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	11.00 kWh	(Swedish Gas Centre, 2007)
1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	11.00 kg CO <sub>2</sub>	(IPMV CALL 2020)
Heat from natural gas	=	1.79 kg CO <sub>2</sub> /kWh	
To calculate CO <sub>2</sub> footprint for drying:			
Energy for drying	=	0.15 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
CO <sub>2</sub> footprint for drying	=	25.17 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	

#### CO<sub>2</sub> footprint comparison for drying

From natural gas	=	25.17 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
From electricity	=	81.98 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
Conversion factor	=	0.31	
Thus, required drying energy	=	411,031.99 kWh/year	using fossil fuel

#### Ozonation

Generator use in full-scale plant	=	(To Be Announced)	
Max. ozone production	=	(To Be Announced)	g/h
Number of generator unit	=	1	
Efficiency	=	100.00 %	(assumed)
Actual ozone production	=	(To Be Announced)	kg/h
Required ozone concentration	=	100.00 mg/L	

Assumed that each cycle there will be 1 column to be regenerated, then:

Required ozone loading per hour	=	30.04 kg/h	
Required energy per ozone demand	=	12.00 kWh/kg ozone	(STOWA 2015-27: 10 kWh for production, 2 kWh for cooling the generator)
Required ozonation energy per hour	=	360.47 kWh/h	

#### Energy use (calculated weekly)

Recirculation system factor	=	3	(only 0.5 hour of full ozone generation → the rest is with recirculation system)
Ozone generation energy for 1 week	=	3,965.15 kWh	(assumed 1 week → 22 columns to be regenerated)
Ozone generation energy per year	=	289,456.27 kWh/year	(1 year = 73 weeks)
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for ozonation per year	=	€ 39,395.00	
Ozone generation energy in 1 week	=	0.0334 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

#### Liquid oxygen (LOX) consumption

Ozone concentration	=	100 mg/L	Mingjing He's MSc Thesis (ozone gas supply flow rate = 0.8 L/min.)
Required ozone gas per kg of zeolite	=	18.50 g/kg	(from Max's latest column experiment)
Required zeolite mass in 1 column	=	4,871.20 kg	
Required ozone load in 1 column	=	90.12 kg	
Required ozone loading per hour	=	30.04 kg/h	(for checking)

Oxygen gas per ozone factor = 7.00 Nm<sup>3</sup> oxygen/kg ozone  
 Voor de zuurstofconsumptie van de ozongenerator is uitgegaan van 7 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/kg O<sub>3</sub> op basis van informatie over verschillende typen ozongeneratoren.  
 Daarnaast zijn er factoren voor de inefficiëntie van ozonproductie (90% van de zuurstof wordt omgezet in ozon) en verbruik opgenomen (90% van de ozon reageert met DOC).  
 LOX compression factor from oxygen gas = 0.92 Nm<sup>3</sup>/kg (from STOWA 2020-18)

LOX per ozone factor	=	7.61 L/kg ozone	
Required LOX per hour	=	228.56 L/h	
Required LOX per 1-time regeneration of 1 column	=	0.34 m <sup>3</sup>	(assumed 1 week = 1.5 hours of ozonation)
With 1 tank of LOX = 50 L and expansion rate from the LOX to oxygen gas = 1 : 861, the number of tanks required will be:	=	1 pc.	

Using a mass density of LOX, the weight of required LOX can be obtained:

LOX mass density	=	1,143 kg/m <sup>3</sup>	
Required LOX weight for 1 column	=	391.18 kg	
Required LOX weight per day (3-4 columns in regeneration)	=	1,369.12 kg	
Required LOX weight for a year	=	99,945.72 kg	

#### ZEOLITE PRODUCTION

High-silica zeolite powder production energy	=	0.03 kWh/kg powder	(value from Zaykovskaya, et al. 2020)
--	---	--------------------	---------------------------------------

#### Granulation process

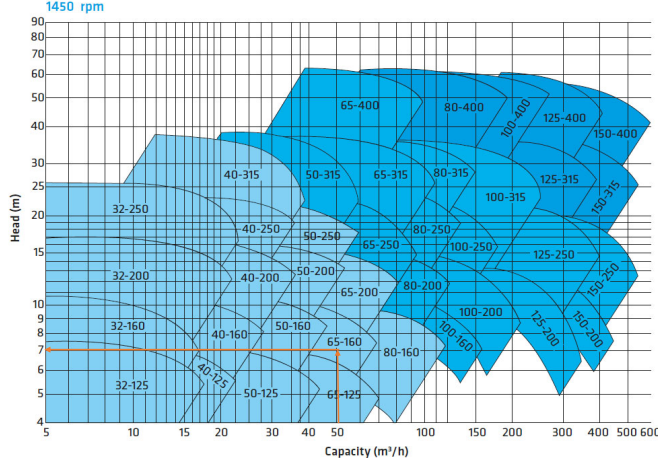
Power (from the machine), P	=	1 kW	(info from Delft Solids Solutions)
Electric voltage, V	=	230 V	(info from Delft Solids Solutions)
Motor frequency, f	=	50 Hz	(info from Delft Solids Solutions)
Powder weight for feasibility study, w	=	0.15 kg	(info from Delft Solids Solutions)
Granulation time for feasibility study, t	=	40 min.	(info from Delft Solids Solutions)

It is assumed that after granulation approximately 70% of the powder weight becomes usable granules, hence:

#### 1450 rpm (4 Pole Motor)

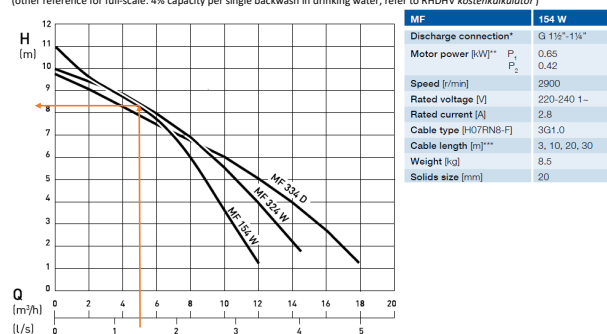
FORM	Pump Type	MOTOR	ECO SNM INSTALLATION DIMENSIONS (mm)																							
			Overall Dimensions												Foot Dimensions											
Fl	65-160	1.5	90L	80	65	100	156	267	523	360	160	200	90	56	95	125	125	158	212	280	140	190	14	10		
Fl	65-160	2.2	100L	80	65	100	179	292	571	360	160	200	100	63	95	125	140	178	212	280	160	192	14	12		

#### 1450 rpm

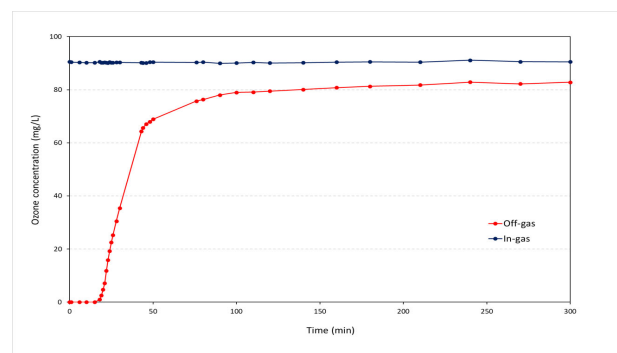


Flow rate =	49.52 m <sup>3</sup> /h	=	825.40 L/min.
Flow rate =	6.001571 BV/h		
Adsorption volume =	684.1791 BV		720
Backwash flow =	0.600157 BV/h		
Backwash volume =	0.15 BV		
	0.02%		

(other reference for full-scale: 4% capacity per single backwash in drinking water, refer to RHDVH kostenkalkulator)



MF	154 W
Discharge connection	3 1/2" - 1 1/4"
Motor power [kW]	P <sub>1</sub> 0.65 P <sub>2</sub> 0.42
Speed [rpm]	2900
Rated voltage [V]	220-240 1~
Rated current [A]	2.8
Cable type [H07RN8-F]	3G1.0
Cable length [m]	3, 10, 20, 30
Weight [kg]	8.5
Solids size [mm]	20





Percentage of granulation efficiency	=	70%
Actual power per hour of granulation	=	0.67 kWh
Actual power per kg of granules	=	6.35 kWh/kg granules
Total zeolite production energy	=	7.15 kWh/kg granules
Weight of granules for full-scale	=	102,295.14 kg
Granulation energy for full-scale	=	731,652.70 kWh

**Sintering zeolite granules (oven: Rohde ELS 1000/13)**

Target temperature	=	950 deg C	(assumed the lab temperature is 20 deg C)
Duration	=	2 hours	
Mass of zeolite put into 1 oven (oven capacity)	=	180 kg	(estimated by the loading of the pilot plant granules (60 kg) which covers 1/3 of the oven)
Frequency of using the oven	=	568.31 times	(total zeolite weight/oven capacity)
Power (from the machine), P	=	70 kW	
Total energy for sintering	=	79,562.89 kWh	
Sintering energy per kg of granules	=	0.78 kWh/kg granules	

It is also assumed that re-adsorption capacity after regeneration decreases after a few years, hence there will be 30% of zeolite replenishment after between 5-year period.

Replenishment of zeolite granules	=	30%
Operational period until replenishment	=	5 years
Volume of water to be treated during operational period	=	28,454,400.00 m3
Granulation specific energy (first load)	=	0.0257 kWh/m3 of treated water (for the first year)
Granulation specific energy (replenishment)	=	0.0077 kWh/m3 of treated water/5-year-period

**RECAP (FIRST YEAR)**

Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	21.13%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Drying	0.0475	35.12%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0334	24.73%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0257	19.02%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1352</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (first year)**

Factor:  
1 kWh = 0.53 kg CO2 (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)  
Total CO2 footprint will be:  
= 54.23 g CO2/m3 of treated water  
= 334.30 ton CO2/year (only in the first year)

CO2 footprint zeolite production	=	0.014 kg CO2/m3 of treated water
CO2 footprint GAC	=	0.82 kg CO2/kg zeolite
Converted weight of zeolite	=	11 kg CO2/kg GAC (Bayer, et al, 2005)
		0.07

**RECAP (SECOND YEAR ONWARDS)**

Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	26.09%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Drying	0.0475	43.37%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0334	30.54%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Zeolite production	-	0.00%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1095</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (second year onwards)**

Factor:  
1 kWh = 0.53 kg CO2 (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)  
Total CO2 footprint will be:  
= 40.60 g CO2/m3 of treated water  
= 250.29 ton CO2/year (only in the first year)

**RECAP (FIFTH YEAR)**

Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	24.37%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Drying	0.0475	40.51%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0334	28.53%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0077	6.58%	30% added zeolite granules
<b>TOTAL</b>	<b>0.1172</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (fifth year)**

Factor:  
1 kWh = 0.53 kg CO2 (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)  
Total CO2 footprint will be:  
= 44.69 g CO2/m3 of treated water  
= 275.49 ton CO2/year (only in the first year)

**B. CO<sub>2</sub> FOOTPRINT**

**Scenario 3: EBCT = 15 min., loading time = 7 days**

**ENERGY USE AND OPERATIONAL COST DUE TO ELECTRICITY**

Disclaimer: all empty cells (N/A) mean they are still waiting for data from equipment's datasheets

**Process Schedule**

Total specific energy use will be calculated based on the schedule of one complete cycle, as follows:

Adsorption	=	162.00 h	(7 days - 8h-regeneration)
Backwash 1	=	0.25 h	(15 min.) (= draining +/- 10 min.)
Drying - Heating	=	4.00 h	(4 hours during pilot study)
Cooling - Fan only	=	0.00 h	(no cooling required)
Ozonation	=	1.50 h	(half of the duration during feasibility study)
Backwash 2	=	0.25 h	(15 min.)

Total population equivalent	=	100,000.00 p.e.	
Total influent flow rate	=	1,040.00 m <sup>3</sup> /h	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
Total volume of treated water in a week	=	168,480.00 m <sup>3</sup>	(assumed 7 days of adsorption)
Total required surface area (A <sub>T</sub> )	=	107.42 m <sup>2</sup>	

**Number of columns and specifications**

Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	(see schedule below: row 246 - 273)

**Column sizing**

Zeolite granules diameter, φ <sub>z</sub>	=	2.00 mm	
Column diameter, D	=	2.55 m	(trial)
Ratio of bed height and diameter, H/D	=	0.95	empirical estimation from GAC column ratio is ≈10
Bed height, H	=	2.42 m	(trial)
Column height, H <sub>c</sub>	=	4.60 m	(bed height + 30% clogging + 50% bed expansion during backwash + 10% freeboard)
Influent flow rate, Q	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Surface area, A	=	5.12 m <sup>2</sup>	
Filtration velocity, v	=	9.68 m/h	(rapid sand filter = 5 - 12 m/h)
Bed volume, BV	=	12.38 m <sup>3</sup>	
Empty bed contact time, EBCT	=	15.00 min.	OK

**ADSORPTION**

Influent flow rate	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Volume of treated water in 1 cycle	=	8,022.86 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 7 days of adsorption)
Static head required for 1 pump	=	4.60 m	(= column height, H <sub>c</sub> )
Suction head and friction head	=	1.38 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the intake point to and the bottom of installation)
Required total head	=	7.98 m	(= 7 m for CO <sub>2</sub> -model)
Max. pump capacity	=	50.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Max. pump head	=	7.00 m	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	1.50 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	90%	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	1.35 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Pump specific energy	=	0.03 kWh/m <sup>3</sup> of water delivered	
Influent pump energy for 1 column, 1 week	=	240.69 kWh	
Influent pump energy for all columns, 1 week	=	4,813.71 kWh	(assumed that 1 column is in regeneration-mode)
Influent pump energy for all columns, 1 day	=	687.67 kWh/day	
Required energy for influent pumping per year	=	250,313.14 kWh/year	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for influent pumping per year	=	€ 34,067.62	
Pumping energy in 1 week	=	0.0286 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

**Backwash**

Backwash flow rate	=	4.95 m <sup>3</sup> /h	(STOWA 2015-27 = 10% from main flow rate per single backwash)
Volume of backwashed water	=	1.24 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 2 backwashes, each for 15 min.)
Static head required for 1 pump	=	4.60 m	(= column height, H <sub>c</sub> + depth of effluent tank)
Suction head and friction head	=	1.38 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the effluent tank and the bottom of the installation)
Required total head	=	7.98 m	
Max. pump capacity	=	5.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Max. pump head	=	8.30 m	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	0.65 kW	
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	65%	
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	0.42 kW	
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Backwash pump specific energy	=	0.13 kWh/m <sup>3</sup> of backwashed water	
Backwash pump energy for 1 week	=	0.16 kWh	
Required energy for backwashing per year	=	8.37 kWh	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for backwashing per year	=	€ 1.139092	
Backwashing energy in 1 week	=	0.000001 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
Percentage backwash from raw WWTP-Influent	=	4%	(during regeneration, in 8 hours max. 4 columns/s being backwashed for 2 x 15 minutes)
Without pre-filtration → more backwash	=	8%	(assumed 2x)

**REGENERATION**

Assumed that each day there will be 1 column to be regenerated, then:			
Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	
Bed volume in 1 column	=	12.38 m <sup>3</sup>	
Volume of zeolite bed to be regenerated in 1 week	=	272.33 m <sup>3</sup>	
Zeolite bulk density	=	590.32 kg/m <sup>3</sup>	(based on Mingjing He's thesis)
Zeolite mass in 1 column	=	7,307.24 kg	
Zeolite mass in 1 column to be regenerated in 1 week	=	160,759.21 kg	

**Drying**

<b>1. Heating</b>			
Blower electric voltage, E	=	(To Be Announced)	V
Frequency, f	=	(To Be Announced)	Hz
Zeolite bed volume, V <sub>z</sub>	=	12.38 m <sup>3</sup>	(1 column)
Water content in the zeolite pores	=	40%	(Mingjing He's thesis)
Water volume inside zeolite, v <sub>w</sub>	=	4.951 m <sup>3</sup>	
Water content required for regeneration	=	30%	(in order to have min. 70% regeneration)
Evaporation percentage	=	25%	(Mingjing He's thesis)
Volume of water to be evaporated	=	1.238 m <sup>3</sup>	(duration: 4.00 h)
Mass density of water, ρ	=	1,000 kg/m <sup>3</sup>	
Mass of required water to be evaporated	=	1,238 kg/column	
<b>Per hour:</b>			
Mass of evaporated water per hour, m	=	309.46 kg	(1 column)
Estimated temperature before heating, T <sub>1</sub>	=	18.00 deg C	(assumed as ambient temperature)
Target temperature after heating, T <sub>2</sub>	=	60.00 deg C	(Mingjing He's thesis)
Temperature change, ΔT	=	315.00 K	ΔT = (T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> ) + 273 K
Isobaric specific heat coefficient, cv	=	4.06 kJ/kg K	(at ΔT)
Specific heat until target temperature, Cs	=	395,770.28 kJ	(https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
Enthalpy of vaporization at target temperature, ch	=	2,357.70 kJ/kg	(at T <sub>2</sub> )
Latent heat at target temperature, Cl	=	729,617.33 kJ	(https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
Total heat for 1 hour drying period, C	=	1,125,387.61 kJ	Cl = m · ch
Required heating energy per kg water dried	=	3,636.60 kJ/kg	C = Cs + Cl
Per heating period:			
Required energy per heating period	=	1,250,440.68 kWh	(1 kJ = 0.00027778 kWh)
<b>2. Cooling</b>			
Required energy per cooling period	=	- kWh	(assumed for 1 week, cooling energy will be 5% from heating because only the blower is moving, but not heating needed anymore)
Required cooling energy per kg water dried	=	- kWh/kg	
<b>3. Total</b>			
Required energy for drying for 1 week	=	27,509.70 kWh	(for the same number of columns to be regenerated)
Required energy for drying per year	=	1,430,504.14 kWh/year	(1 year = 52 weeks)
Electricity cost	=	€ 13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for drying per year	=	€ 194,691.61 kWh/year	
Drying energy in 1 week	=	0.1633 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

**Heat energy from natural gas**

1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	11.00 kWh	(Swedish Gas Centre, 2007)
1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	1.79 kg CO <sub>2</sub>	(IPMV CALL 2020)
Heat from natural gas	=	0.16 kg CO <sub>2</sub> /kWh	
To calculate CO <sub>2</sub> footprint for drying:			
Energy for drying	=	0.16 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
CO <sub>2</sub> footprint for drying	=	26.57 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	

**CO<sub>2</sub> footprint comparison for drying**

From natural gas	=	26.57 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
From electricity	=	86.54 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
Conversion factor	=	0.31	
Thus, required drying energy	=	439,211.39 kWh/year	using fossil fuel

**Ozonation**

Generator use in full-scale plant	=	(To Be Announced)	
Max. ozone production	=	(To Be Announced)	g/h
Number of generator unit	=	1	
Efficiency	=	100.00 %	(assumed)
Actual ozone production	=	(To Be Announced)	kg/h
Required ozone concentration	=	100.00 mg/L	

Assumed that each cycle there will be 1 column to be regenerated, then:

Required ozone loading per hour	=	45.06 kg/h	
Required energy per ozone demand	=	12.00 kWh/kg ozone	(STOWA 2015-27: 10 kWh for production, 2 kWh for cooling the generator)
Required ozonation energy per hour	=	540.74 kWh/h	

**Energy use (calculated weekly)**

Recirculation system factor	=	3	(only 0.5 hour of full ozone generation → the rest is with recirculation system)
Ozone generation energy for 1 week	=	5,948.09 kWh	(assumed 1 week → 22 columns to be regenerated)
Ozone generation energy per year	=	309,300.72 kWh	(1 year = 52 weeks)
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for ozonation per year	=	€ 42,095.83 kWh/year	
Ozone generation energy in 1 week	=	0.0353 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

**Liquid oxygen (LOX) consumption**

Ozone concentration	=	100 mg/L	Mingjing He's MSc Thesis (ozone gas supply flow rate = 0.8 L/min.)
Required ozone gas per kg of zeolite	=	18.50 g/kg	(from Max's latest column experiment)
Required zeolite mass in 1 column	=	7,307.24 kg	
Required ozone load in 1 column	=	135.18 kg	
Required ozone loading per hour	=	45.06 kg/h	(for checking)

Oxygen gas per ozone factor = 7.00 Nm<sup>3</sup> oxygen/kg ozone  
 Voor de zuurstofconsumptie van de ozonator is uitgegaan van 7 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/kg O<sub>3</sub> op basis van informatie over verschillende typen ozonatoren.  
 Daarnaast zijn er factoren voor de inefficiëntie van ozonproductie (90% van de zuurstof wordt omgezet in ozon) en verbruik opgenomen (90% van de ozon reageert met DOC).  
 LOX compression factor from oxygen gas = 9.92 Nm<sup>3</sup>/kg (from STOWA 2020-18)

LOX per ozone factor	=	7.61 L/kg ozone	
Required LOX per hour	=	342.86 L/h	
Required LOX per 1-time regeneration of 1 column	=	0.51 m <sup>3</sup>	(assumed 1 week = 1.5 hours of ozonation)
With 1 tank of LOX = 50 L and expansion rate from the LOX to oxygen gas = 1: 861, the number of tanks required will be:	=	1 pc.	

Using a mass density of LOX, the weight of required LOX can be obtained:

LOX mass density	=	1.143 kg/m <sup>3</sup>	
Required LOX weight for 1 column	=	586.80 kg	
Required LOX weight per day (3-4 columns in regeneration)	=	2,053.80 kg	
Required LOX weight for a year	=	106,797.76 kg	

**ZEOLITE PRODUCTION**

High-silica zeolite powder production energy = 0.03 kWh/kg powder (value from Zaykovskaya, et al. 2020) The most efficient zeolite catalyst H-Beta-17 h-R-150 °C exhibited well-developed textural and structural properties as well as mild acidity together with the highest ratio between Brønsted and Lewis acid sites. (Zaykovskaya, et al. 2020). https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110236.

**Granulation process**

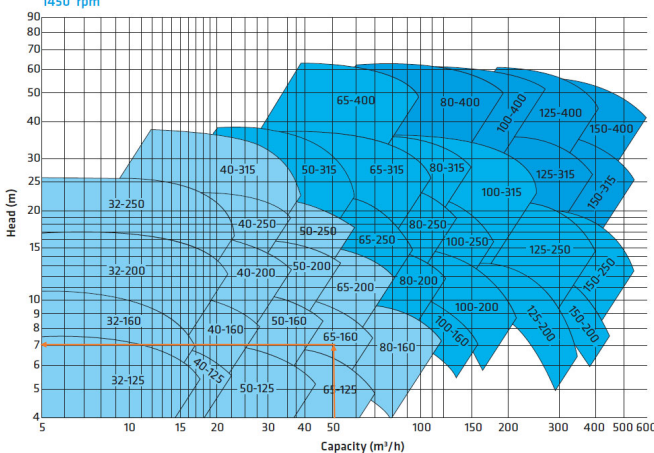
Power (from the machine), P	=	1 kW	(Info from Delft Solids Solutions)
Electric voltage, V	=	230 V	(Info from Delft Solids Solutions)
Motor frequency, f	=	50 Hz	(Info from Delft Solids Solutions)
Powder weight for feasibility study, w	=	0.15 kg	(Info from Delft Solids Solutions)
Granulation time for feasibility study, t	=	40 min.	(Info from Delft Solids Solutions)
Prinz cyclation temperature	=	150 deg C	(assumed the lab temperature is 20 deg C)
Duration	=	17 day	
Mass of zeolite measured	=	1 kg	
Specific heat for silica, c	=	703 J/kg/K	(assumed that the heat capacity is based on silica as higher ratio of the zeolite)
Energy, Q	=	m c ΔT	
	=	91,390.00 J/kg	
	=	0.03 kWh/kg	

It is assumed that after granulation approximately 70% of the powder weight becomes usable granules, hence:

**1450 rpm (4 Pole Motor)**

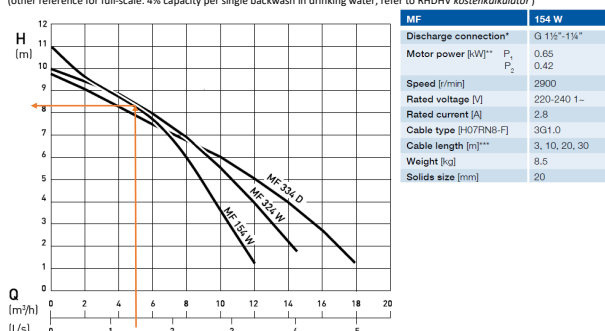
FORM	Pump Type	MOTOR	ECO SNM INSTALLATION DIMENSIONS (mm)																							
			Overall Dimensions												Foot Dimensions											
Fl	65-160	1.1	90L	80	65	100	156	267	523	360	160	200	90	56	95	125	125	158	212	280	140	190	14	10		
Fl	65-160	1.5	90L	80	65	100	156	267	523	360	160	200	90	56	95	125	125	158	212	280	140	190	14	10		
Fl	65-160	2.2	90L	80	65	100	179	292	571	360	160	200	100	63	95	125	140	178	212	280	160	192	14	12		

**1450 rpm**

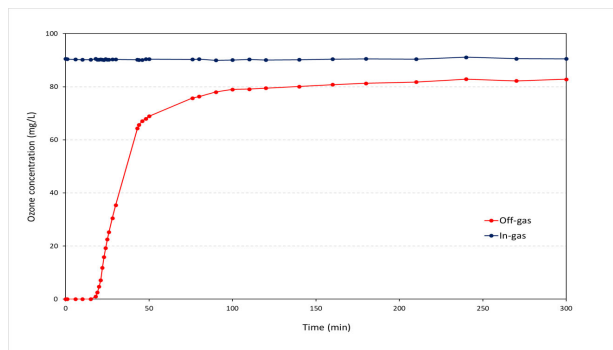


Flow rate =	49.52 m <sup>3</sup> /h	=	825.40 L/min.
Flow rate =	4.000806 BV/h		
Adsorption volume =	648.1305 BV		720
Backwash flow =	0.400081 BV/h		
Backwash volume =	0.10 BV		
	0.02%		

(other reference for full-scale: 4% capacity per single backwash in drinking water, refer to RHDHV kostenkalkulator)



MF	154 W
Discharge connection	3 1/2" - 1 1/4"
Motor power [kW]	P <sub>1</sub> 0.65 P <sub>2</sub> 0.42
Speed [rpm]	2900
Rated voltage [V]	220-240 1~
Rated current [A]	2.8
Cable type [H07RN8-F]	3G1.0
Cable length [m]	3, 10, 20, 30
Weight [kg]	8.5
Solids size [mm]	20



Percentage of granulation efficiency	=	70%
Actual power per hour of granulation	=	0.67 kWh
Actual power per kg of granules	=	6.35 kWh/kg granules
Total zeolite production energy	=	7.15 kWh/kg granules
Weight of granules for full-scale	=	153,451.97 kg
Granulation energy for full-scale	=	1,097,545.32 kWh

It is also assumed that re-adsorption capacity after regeneration decreases after a few years, hence there will be 30% of zeolite replenishment after between 5-year period.

Replenishment of zeolite granules	=	30%
Operational period until replenishment	=	5 years
Volume of water to be treated during operational period	=	40,435,200.00 m3
Granulation specific energy (first load)	=	0.0271 kWh/m3 of treated water (for the first year)
Granulation specific energy (replenishment)	=	0.0081 kWh/m3 of treated water/5-year-period

<b>Sintering zeolite granules (oven: Rohde ELS 1000/13)</b>	=	
Target temperature	=	950 deg C
Duration	=	2 hours (assumed the lab temperature is 20 deg C)
Mass of zeolite put into 1 oven (oven capacity)	=	180 kg
Frequency of using the oven	=	852.51 times (estimated by the loading of the pilot plant granules (60 kg) which covers 1/3 of the oven)
Power (from the machine), P	=	70 kW (total zeolite weight/oven capacity)
Total energy for sintering	=	119,351.53 kWh
Sintering energy per kg of granules	=	0.78 kWh/kg granules

RECAP (FIRST YEAR)			
Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	20.24%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Drying	0.0501	35.52%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0353	25.01%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0271	19.23%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1412</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (first year)**

Factor:	=	0.53 kg CO2	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
1 kWh	=		
Total CO2 footprint will be:	=	56.40 g CO2/m3 of treated water	
	=	494.11 ton CO2/year	(only in the first year)

CO2 footprint zeolite production	=	0.014 kg CO2/m3 of treated water
CO2 footprint GAC	=	0.82 kg CO2/kg zeolite
Converted weight of zeolite	=	11 kg CO2/kg GAC (Bayer, et al, 2005)
	=	0.07

**RECAP (SECOND YEAR ONWARDS)**

RECAP (SECOND YEAR ONWARDS)			
Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	25.06%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Drying	0.0501	43.97%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0353	30.97%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Zeolite production	-	0.00%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1140</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (second year onwards)**

Factor:	=	0.53 kg CO2	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
1 kWh	=		
Total CO2 footprint will be:	=	42.01 g CO2/m3 of treated water	
	=	368.07 ton CO2/year	(only in the first year)

**RECAP (FIFTH YEAR)**

RECAP (FIFTH YEAR)			
Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	23.39%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Drying	0.0501	41.04%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0353	28.90%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	4.7766E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0081	6.67%	30% added zeolite granules
<b>TOTAL</b>	<b>0.1222</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (fifth year)**

Factor:	=	0.53 kg CO2	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
1 kWh	=		
Total CO2 footprint will be:	=	46.33 g CO2/m3 of treated water	
	=	405.88 ton CO2/year	(only in the first year)

**Scenario 4: EBCT = 15 min., loading time = 5 days**

**ENERGY USE AND OPERATIONAL COST DUE TO ELECTRICITY**

Disclaimer: all empty cells (N/A) mean they are still waiting for data from equipment's datasheets

**Process Schedule**

Total specific energy use will be calculated based on the schedule of one complete cycle, as follows:

Adsorption	=	114.00 h	(5 days - 8h-regeneration)
Backwash 1	=	0.25 h	(15 min.) (= draining +/- 10 min.)
Drying - Heating	=	4.00 h	(4 hours during pilot study)
Cooling - Fan only	=	0.00 h	(no cooling required)
Ozonation	=	1.50 h	(half of the duration during feasibility study)
Backwash 2	=	0.25 h	(15 min.)
Total population equivalent	=	100,000.00 p.e.	
Total influent flow rate	=	1,040.00 m <sup>3</sup> /h	(Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
Total volume of treated water in a week	=	118,560.00 m <sup>3</sup>	(assumed 5 days of adsorption)
Total required surface area (A <sub>T</sub> )	=	107.42 m <sup>2</sup>	

**Number of columns and specifications**

Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	(see schedule below: row 246 - 273)

**Column sizing**

Zeolite granules diameter, φ <sub>Z</sub>	=	2.00 mm	
Column diameter, D	=	2.55 m	(trial)
Ratio of bed height and diameter, H/D	=	0.95	empirical estimation from GAC column ratio is ≈10
Bed height, H	=	2.42 m	(trial)
Column height, H <sub>c</sub>	=	4.60 m	(bed height + 30% clogging + 50% bed expansion during backwash + 10% freeboard)
Influent flow rate, Q	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Surface area, A	=	5.12 m <sup>2</sup>	
Filtration velocity, v	=	9.68 m/h	(rapid sand filter = 5 - 12 m/h)
Bed volume, BV	=	12.38 m <sup>3</sup>	
Empty bed contact time, EBCT	=	15.00 min.	OK

**ADSORPTION**

Influent flow rate	=	49.52 m <sup>3</sup> /h	
Volume of treated water in 1 cycle	=	5,645.71 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 5 days of adsorption)
Static head required for 1 pump	=	4.60 m	(= column height, H <sub>c</sub> )
Suction head and friction head	=	1.38 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the intake point to and the bottom of installation)
Required total head	=	7.98 m	(= 7 m for CO <sub>2</sub> -model)
Max. pump capacity	=	50.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Max. pump head	=	7.00 m	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
(Based on pump's specification):			
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	1.50 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	90%	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	1.35 kW	(from pump's specification graph: ECO SNM 65-160, 1450 rpm)
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Pump specific energy	=	0.03 kWh/m <sup>3</sup> of water delivered	
Influent pump energy for 1 column, 1 week	=	169.37 kWh	
Influent pump energy for all columns, 1 week	=	3,387.43 kWh	(assumed that 1 column is in regeneration-mode)
Influent pump energy for all columns, 1 day	=	483.92 kWh/day	
Required energy for influent pumping per year	=	176,146.29 kWh/year	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for influent pumping per year	=	€ 23,973.51	
Pumping energy in 1 week	=	0.0286 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

**Backwash**

Backwash flow rate	=	4.95 m <sup>3</sup> /h	(STOWA 2015-27 = 10% from main flow rate per single backwash)
Volume of backwashed water	=	1.24 m <sup>3</sup>	(assumed for 1 week with 2 backwashes, each for 15 min.)
Static head required for 1 pump	=	4.60 m	(= column height, H <sub>c</sub> + depth of effluent tank)
Suction head and friction head	=	1.38 m	(assumed 30% static head)
Elevation difference at site	=	2.00 m	(between the effluent tank and the bottom of the installation)
Required total head	=	7.98 m	
Max. pump capacity	=	5.00 m <sup>3</sup> /h	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
Max. pump head	=	8.30 m	(from pump's specification table: Sulzer MF154 D)
(Based on pump's specification):			
Electrical input (P <sub>1</sub> )	=	0.65 kW	
Motor efficiency (P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub> )	=	65%	
Motor work output (P <sub>2</sub> )	=	0.42 kW	
Electric voltage	=	220.00 V	(assumed single-phase)
Backwash pump specific energy	=	0.13 kWh/m <sup>3</sup> of backwashed water	
Backwash pump energy for 1 week	=	0.16 kWh	
Required energy for backwashing per year	=	8.37 kWh	
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for backwashing per year	=	€ 0.13610	
Backwashing energy in 1 week	=	€ 1.139092	
Percentage backwash from raw WWTP-Influent	=	0.000001 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
Without pre-filtration → more backwash	=	4% (during regeneration, in 8 hours max. 4 columns) being backwashed for 2 x 15 minutes	
	=	8% (assumed 2x)	

**REGENERATION**

Assumed that each day there will be 1 column to be regenerated, then:			
Assumed number of columns	=	21 pc.	
Number of columns to be regenerated in 1 week	=	22 pc.	
Bed volume in 1 column	=	12.38 m <sup>3</sup>	
Volume of zeolite bed to be regenerated in 1 week	=	272.33 m <sup>3</sup>	
Zeolite bulk density	=	590.32 kg/m <sup>3</sup>	(based on Mingjing He's thesis)
Zeolite mass in 1 column	=	7,307.24 kg	
Zeolite mass in 1 column to be regenerated in 1 week	=	160,759.21 kg	

**Drying**

<b>1. Heating</b>			
Blower electric voltage, E	=	(To Be Announced)	V
Frequency, f	=	(To Be Announced)	Hz
Zeolite bed volume, V <sub>Z</sub>	=	12.38 m <sup>3</sup>	(1 column)
Water content in the zeolite pores	=	40%	(Mingjing He's thesis)
Water volume inside zeolite, v <sub>w</sub>	=	4.951 m <sup>3</sup>	
Water content required for regeneration	=	30%	(in order to have min. 70% regeneration)
Evaporation percentage	=	25%	(Mingjing He's thesis)
Volume of water to be evaporated	=	1.238 m <sup>3</sup>	(duration: 4.00 h)
Mass density of water, ρ	=	1,000 kg/m <sup>3</sup>	
Mass of required water to be evaporated	=	1,238 kg/column	
<b>Per hour:</b>			
Mass of evaporated water per hour, m	=	309.46 kg	(1 column)
Estimated temperature before heating, T <sub>1</sub>	=	18.00 deg C	(assumed as ambient temperature)
Target temperature after heating, T <sub>2</sub>	=	60.00 deg C	(Mingjing He's thesis)
Temperature change, ΔT	=	315.00 K	ΔT = (T <sub>2</sub> - T <sub>1</sub> ) + 273 K
Isobaric specific heat coefficient, cv	=	4.06 kJ/kg K	(at ΔT)
Specific heat until target temperature, C <sub>s</sub>	=	395,770.28 kJ	(https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
Enthalpy of vaporization at target temperature, ch	=	2,357.70 kJ/kg	(at T <sub>2</sub> )
Latent heat at target temperature, Cl	=	729,617.33 kJ	(https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
Total heat for 1 hour drying period, C	=	1,125,387.61 kJ	Cl = m · ch
Required heating energy per kg water dried	=	3,636.60 kJ/kg	C = C <sub>s</sub> + Cl
	=	1,010.17 kWh/kg	(1 kJ = 0.00027778 kWh)
<b>Per heating period:</b>			
Required energy per heating period	=	1,250.44068 kWh	(1 kJ = 0.00027778 kWh)
<b>2. Cooling</b>			
Required energy per cooling period	=	- kWh	(assumed for 1 week, cooling energy will be 5% from heating because only the blower is moving, but not heating needed anymore)
Required cooling energy per kg water dried	=	- kWh/kg	
<b>3. Total</b>			
Required energy for drying for 1 week	=	27,509.70 kWh	(for the same number of columns to be regenerated)
Required energy for drying per year	=	2,008,207.74 kWh	(1 year = 73 weeks)
Electricity cost	=	€ 13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for drying per year	=	€ 273,317.07	
Drying energy in 1 week	=	0.2320 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

**Heat energy from natural gas**

1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	11.00 kWh	(Swedish Gas Centre, 2007)
1 Nm <sup>3</sup> natural gas	=	1.79 kg CO <sub>2</sub>	(IPMV CALL 2020)
Heat from natural gas	=	0.16 kg CO <sub>2</sub> /kWh	
To calculate CO <sub>2</sub> footprint for drying:			
Energy for drying	=	0.23 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	
CO <sub>2</sub> footprint for drying	=	37.76 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	

**CO<sub>2</sub> footprint comparison for drying**

From natural gas	=	37.76 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
From electricity	=	122.98 g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	
Conversion factor	=	0.31	
Thus, required drying energy	=	616,585.22 kWh/year	using fossil fuel

**Ozonation**

Generator use in full-scale plant	=	(To Be Announced)	
Max. ozone production	=	(To Be Announced)	g/h
Number of generator unit	=	1	
Efficiency	=	100.00 %	(assumed)
Actual ozone production	=	(To Be Announced)	kg/h
Required ozone concentration	=	100.00 mg/L	

Assumed that each cycle there will be 1 column to be regenerated, then:

Required ozone loading per hour	=	45.06 kg/h	
Required energy per ozone demand	=	12.00 kWh/kg ozone	(STOWA 2015-27: 10 kWh for production, 2 kWh for cooling the generator)
Required ozonation energy per hour	=	540.74 kWh/h	

**Energy use (calculated weekly)**

Recirculation system factor	=	3	(only 0.5 hour of full ozone generation → the rest is with recirculation system)
Ozone generation energy for 1 week	=	5,948.09 kWh	(assumed 1 week → 22 columns to be regenerated)
Ozone generation energy per year	=	434,210.63 kWh/year	(1 year = 73 weeks)
Electricity cost	=	13.61 cents/kWh	(Statista.com)
Electricity cost for ozonation per year	=	€ 59,096.07	
Ozone generation energy in 1 week	=	0.0502 kWh/m <sup>3</sup> of treated water	

**Liquid oxygen (LOX) consumption**

Ozone concentration	=	100 mg/L	Mingjing He's MSc Thesis (ozone gas supply flow rate = 0.8 L/min.)
Required ozone gas per kg of zeolite	=	18.50 g/kg	(from Max's latest column experiment)
Required zeolite mass in 1 column	=	7,307.24 kg	
Required ozone load in 1 column	=	135.18 kg	
Required ozone loading per hour	=	45.06 kg/h	(for checking)

Oxygen gas per ozone factor = 7.00 Nm<sup>3</sup> oxygen/kg ozone  
 Voor de zuurstofconsumptie van de ozonator is uitgegaan van 7 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/kg O<sub>3</sub> op basis van informatie over verschillende typen ozonatoren.  
 Daarnaast zijn er factoren voor de inefficiëntie van ozonproductie (90% van de zuurstof wordt omgezet in ozon) en verbruikt opgenomen (90% van de ozon reageert met DOC).  
 LOX compression factor from oxygen gas = 1.92 Nm<sup>3</sup>/kg (from STOWA 2020-18)  
 LOX per ozone factor = 7.61 L/kg ozone  
 Required LOX per hour = 342.86 L/h  
 Required LOX per 1-time regeneration of 1 column = 0.51 m<sup>3</sup> (assumed 1 week = 1.5 hours of ozonation)  
 With 1 tank of LOX = 50 L and expansion rate from the LOX to oxygen gas = 1 : 861, the number of tanks required will be: 1 pc.

Using a mass density of LOX, the weight of required LOX can be obtained:

LOX mass density	=	1.143 kg/m <sup>3</sup>
Required LOX weight for 1 column	=	586.80 kg
Required LOX weight per day (3-4 columns in regeneration)	=	2,053.80 kg
Required LOX weight for a year	=	149,927.63 kg

**ZEOLITE PRODUCTION**

High-silica zeolite powder production energy = 0.03 kWh/kg powder (value from Zaykovskaya, et al. 2020)

**Granulation process**

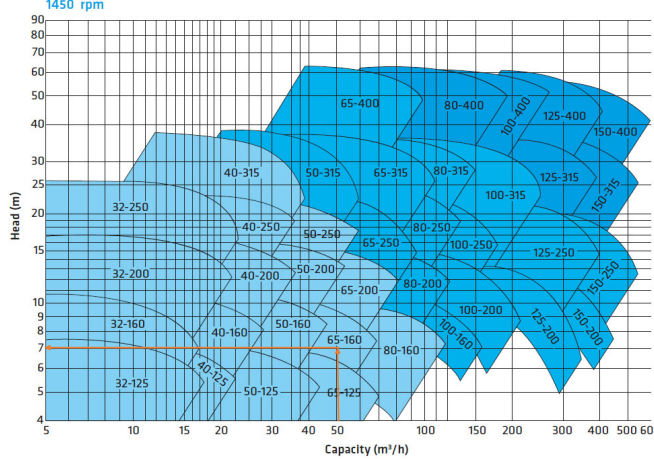
Power (from the machine), P	=	1 kW	(info from Delft Solids Solutions)
Electric voltage, V	=	230 V	(info from Delft Solids Solutions)
Motor frequency, f	=	50 Hz	(info from Delft Solids Solutions)
Powder weight for feasibility study, w	=	0.15 kg	(info from Delft Solids Solutions)
Granulation time for feasibility study, t	=	40 min.	(info from Delft Solids Solutions)

It is assumed that after granulation approximately 70% of the powder weight becomes usable granules, hence:

**1450 rpm (4 Pole Motor)**

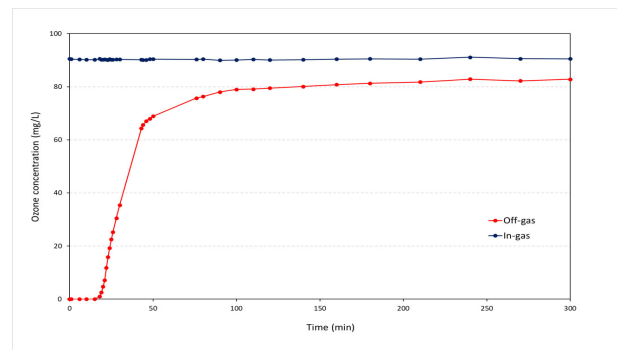
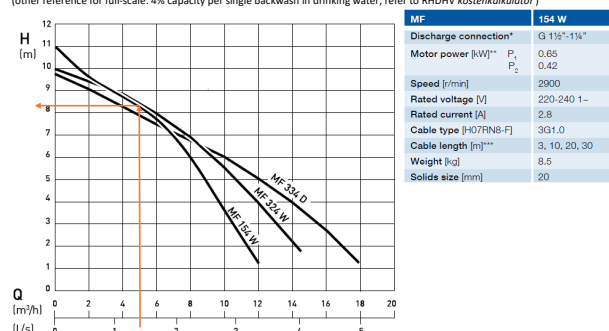
FORM	Pump Type	MOTOR	ECO SNM INSTALLATION DIMENSIONS (mm)																							
			Overall Dimensions												Foot Dimensions											
Fl	65-160	1.5	90L	80	65	100	156	267	523	360	160	200	90	56	95	125	125	158	212	280	140	190	14	10		
Fl	65-160	2.2	100L	80	65	100	179	292	571	360	160	200	100	63	95	125	140	178	212	280	160	192	14	12		

**1450 rpm**



Flow rate =	49.52 m <sup>3</sup> /h	=	825.40 L/min.
Flow rate =	4.000806 BV/h		
Adsorption volume =	456.0918 BV		720
Backwash flow =	0.400081 BV/h		
Backwash volume =	0.10 BV		
	0.02%		

(other reference for full-scale: 4% capacity per single backwash in drinking water, refer to RHDHV kostenkalkulator)



Percentage of granulation efficiency	=	70%
Actual power per hour of granulation	=	0.67 kWh
Actual power per kg of granules	=	6.35 kWh/kg granules
Total zeolite production energy	=	7.15 kWh/kg granules
Weight of granules for full-scale	=	153,451.97 kg
Granulation energy for full-scale	=	1,097,545.32 kWh

It is also assumed that re-adsorption capacity after regeneration decreases after a few years, hence there will be 30% of zeolite replenishment after between 5-year period.

Replenishment of zeolite granules	=	30%
Operational period until replenishment	=	5 years
Volume of water to be treated during operational period	=	28,454,400.00 m3
Granulation specific energy (first load)	=	0.0386 kWh/m3 of treated water (for the first year)
Granulation specific energy (replenishment)	=	0.0116 kWh/m3 of treated water/5-year-period

**Sintering zeolite granules (oven: Rohde ELS 1000/13)**

Target temperature	=	950 deg C
Duration	=	2 hours (assumed the lab temperature is 20 deg C)
Mass of zeolite put into 1 oven (oven capacity)	=	180 kg
Frequency of using the oven	=	852.51 times (estimated by the loading of the pilot plant granules (60 kg) which covers 1/3 of the oven)
Power (from the machine), P	=	70 kW (total zeolite weight/oven capacity)
Total energy for sintering	=	119,351.53 kWh
Sintering energy per kg of granules	=	0.78 kWh/kg granules

**RECAP (FIRST YEAR)**

Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	15.15%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Drying	0.0712	37.78%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0502	26.61%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0386	20.46%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1886</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (first year)**

Factor:	=	0.53 kg CO2 (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
1 kWh	=	
Total CO2 footprint will be:	=	
	=	73.77 g CO2/m3 of treated water
	=	454.80 ton CO2/year (only in the first year)

CO2 footprint zeolite production	=	0.020 kg CO2/m3 of treated water
	=	0.82 kg CO2/kg zeolite
CO2 footprint GAC	=	11 kg CO2/kg GAC (Bayer, et al, 2005)
Converted weight of zeolite	=	0.07

**RECAP (SECOND YEAR ONWARDS)**

Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	19.05%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Drying	0.0712	47.50%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0502	33.45%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Zeolite production	-	0.00%	powder production and granulation process
<b>TOTAL</b>	<b>0.1500</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (second year onwards)**

Factor:	=	0.53 kg CO2 (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
1 kWh	=	
Total CO2 footprint will be:	=	
	=	53.33 g CO2/m3 of treated water
	=	328.76 ton CO2/year (only in the first year)

**RECAP (FIFTH YEAR)**

Process step	kWh/m3	Percentage	Remark
Adsorption	0.0286	17.69%	All in operation (excluding 1 column in regeneration)
Pre-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Drying	0.0712	44.10%	Drying 70% from water content, heat from natural gas
Ozonation	0.0502	31.05%	Same ozone factor with STOWA 2015-27
Post-backwash	6.7878E-07	0.00%	
Zeolite production	0.0116	7.16%	30% added zeolite granules
<b>TOTAL</b>	<b>0.1616</b>	<b>100.00%</b>	

**CO2 footprint estimation (fifth year)**

Factor:	=	0.53 kg CO2 (Richtlijnen haalbaarheidsstudie IPMV CALL 2020)
1 kWh	=	
Total CO2 footprint will be:	=	
	=	59.46 g CO2/m3 of treated water
	=	366.57 ton CO2/year (only in the first year)

## 2. CO<sub>2</sub>-model invulblad

### Scenario 1: EBCT = 10 min., standtijd = 7 dagen

Invulblad parameters: geel gearceerde velden invullen voor zover van toepassing

Onderwerp	Eenheid	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Invulhulp
		per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	
Naam		Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	
		Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	AOx	
<b>Hoeveelheden</b>							
Aanvoer rioolwater	m3	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	Niet aanpasbaar
Influent CZV	kg	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	Niet aanpasbaar
Influent Nkj	kg	359,588	359,588	359,588	359,588	359,588	Niet aanpasbaar
Effluent Ntot	kg	52,140	52,140	52,140	52,140	52,140	Niet aanpasbaar
Verwijderde i.e. 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	97,225	97,225	97,225	97,225	97,225	Niet aanpasbaar
Behandelde i.e. in influent 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	Niet aanpasbaar
DOC effluent	mg/l	11	11	11	11	11	Niet aanpasbaar
<b>Dimensionering verwijdering micro's</b>							
Minimale jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	
Behandelde jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	7,665,000	5,365,500	5,365,500	5,365,500	Te behandelen jaarhoeveelheid minimaal 70%
Geproduceerd slib	ton ontwaterd slib	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Drogestofgehalte slib	%	21.10%	22.29%	21.10%	21.10%	21.10%	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Geproduceerd slib	ton ds	1,287	1,380	1,287	1,287	1,287	
Transport vloeibaar slib	km	50	50	50	50	50	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	0	0	0	0	0	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	km	100	100	100	100	100	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi exclusief verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	Niet aanpasbaar
Inkoop aardgas	Nm3	3,710	3,710	3,710	3,710	3,710	Niet aanpasbaar
Inkoop warmte	GJ						Niet aanpasbaar
<i>Inkoop brandstoffen</i>							
Diesel	kg	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi voor verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	0	91,104	654,591	4,380	498,978	Excl. opvoeren effluent en spoelwater, excl. productie en behandeling spoelwater
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>							
Opvoeren rioolwater	meter	0	0	8	8	7	Bij nageschakelde behandeling 8 meter opvoeren conform standaard
Percentage spoelwater	%	0%	0%	10%	10%	10%	Bij nageschakelde behandeling 10% spoelwater toepassen conform standaard
Gebruik spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
Afvoeren spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
<b>Inkoop hulpstoffen</b>							
		Oplossing					
Actieve kool	kg	100%	91,980		83,200	7,638	NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool geregenereerd	kg	100%			312,000		NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool biologische oorsprong	kg	100%					NB CO <sub>2</sub> -waarde obv. haalbaarheidsstudie biokolen
Aluminiumchloride, hydratevorm	kg	40%					Voor chemicaliën let op % oplossing (zie opmerking handleiding cel A8)
Aluminiumsulfaat, poedervorm	kg	100%					
Antiscalants (polycarboxylaten)	kg	100%					
Azijnzuur	kg	98%					
Bio-ethanol	kg	100%					
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	kg	100%					
Citroenzuur	kg	50%					
Glycerine uit epichloorhydrine	kg	100%					
Glycerine uit koolzaadolie	kg	100%					
Ijzer(II)chloride	kg	40%	260,000	260,000	260,000	260,000	
Ijzerchloridesulfaat	kg	100%					
Ijzersulfaat	kg	100%					
Kalkhydraat	kg	100%					
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	kg	100%					
Koolstofoxide, vloeibaar	kg	100%					
Magnesiumchloride	kg	54%					
Magnesiumchloride, anhydride	kg	100%					
Magnesiumchloride, hydrate, vaste vorm	kg	100%					
Magnesiumoxide	kg	100%					
Melasse uit suikerbieten	kg	100%					
Methanol	kg	100%					
Natriumalminaat oplossing	kg	38%					
Natriumchloride (zout), poedervorm	kg	100%					
Natriumhypochloriet	kg	15%					
Natronloog kwikcelproces	kg	50%					
Natronloog, membraanproces	kg	50%					
Natronloog, productiemix	kg	50%					
Polymeer, anionisch	kg	100%					
Polymeer, anionisch, vloeibaar	kg	100%					
Polymeer, kationisch, poeder	kg	100%					
Polymeer, kationisch, vloeibaar	kg	100%	23,168	22,083	23,168	23,168	
Polyaluminiumchloride	kg	100%	3,200	3,200	3,200	3,200	Niet aanpasbaar
Polyaluminiumsulfaat, poeder	kg	100%					
Waterstofperoxide	kg	50%					
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	kg	36%					
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	kg	100%					
Zoutzuur uit het Mannheim proces	kg	100%					
Zuurstof (vloeibaar)	kg	100%		445,337		71,194	
Zwavelzuur, vloeibaar	kg	100%					
<b>Materialen</b>							
Gewapend beton	m3	3,800	3,805	4,050	4,030	4,030	
Levensduur gewapend beton	jaar	30	30	30	30	30	Niet aanpasbaar

**Scenario 2: EBCT = 10 min., standtijd = 5 dagen**

Invulblad parameters: geel gearceerde velden invullen voor zover van toepassing

Onderwerp	Eenheid	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Invulhulp
		per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	
Naam		Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	
		Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	AOx	
<b>Hoeveelheden</b>							
Aanvoer rioolwater	m3	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	Niet aanpasbaar
Influent CZV	kg	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	Niet aanpasbaar
Influent Nkj	kg	359,588	359,588	359,588	359,588	359,588	Niet aanpasbaar
Effluent Ntot	kg	52,140	52,140	52,140	52,140	52,140	Niet aanpasbaar
Verwijderde i.e. 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	97,225	97,225	97,225	97,225	97,225	Niet aanpasbaar
Behandelde i.e. in influent 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	Niet aanpasbaar
DOC effluent	mg/l	11	11	11	11	11	Niet aanpasbaar
<b>Dimensionering verwijdering micro's</b>							
Minimale jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	
Behandelde jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	7,665,000	5,365,500	5,365,500	5,365,500	Te behandelen jaarhoeveelheid minimaal 70%
Geproduceerd slib	ton ontwaterd slib	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Drogestofgehalte slib	%	21.10%	22.29%	21.10%	21.10%	21.10%	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Geproduceerd slib	ton ds	1,287	1,380	1,287	1,287	1,287	
Transport vloeibaar slib	km	50	50	50	50	50	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	0	0	0	0	0	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	km	100	100	100	100	100	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi exclusief verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	Niet aanpasbaar
Inkoop aardgas	Nm3	3,710	3,710	3,710	3,710	3,710	Niet aanpasbaar
Inkoop warmte	GJ						Niet aanpasbaar
<i>Inkoop brandstoffen</i>							
Diesel	kg	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi voor verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	0	91,104	654,591	4,380	700,488	Excl. opvoeren effluent en spoelwater, excl. productie en behandeling spoelwater
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>							
Opvoeren rioolwater	meter	0	0	8	8	7	Bij nageschakelde behandeling 8 meter opvoeren conform standaard
Percentage spoelwater	%	0%	0%	10%	10%	10%	Bij nageschakelde behandeling 10% spoelwater toepassen conform standaard
Gebruik spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
Afvoeren spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
<b>Inkoop hulpstoffen</b>							
<i>Oplossing</i>							
Actieve kool	kg		91,980		83,200	7,638	NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool geregenereerd	kg				312,000		NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool biologische oorsprong	kg						NB CO2-waarde obv haalbaarheidsstudie biokolen
Aluminiumchloride, hydraatvorm	kg						Voor chemicaliën let op % oplossing (zie opmerking handleiding cel A8)
Aluminiumsulfaat, poedervorm	kg						
Antiscalants (polycarboxylaten)	kg						
Azijnzuur	kg						
Bio-ethanol	kg						
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	kg						
Citroenzuur	kg						
Glycerine uit epichloorhydrine	kg						
Glycerine uit koolzaadolie	kg						
Ijzer(II)chloride	kg	260,000	260,000	260,000	260,000	260,000	
Ijzerchloridesulfaat	kg						
Ijzersulfaat	kg						
Kalkhydraat	kg						
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	kg						
Koolstofoxide, vloeibaar	kg						
Magnesiumchloride	kg						
Magnesiumchloride, anhydride	kg						
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	kg						
Magnesiumoxide	kg						
Melasse uit suikerbieten	kg						
Methanol	kg						
Natriumalminaat oplossing	kg						
Natriumchloride (zout), poedervorm	kg						
Natriumhypochloriet	kg						
Natronloog kwikcelproces	kg						
Natronloog, membraanproces	kg						
Natronloog, productiemix	kg						
Polymeer, anionisch	kg						
Polymeer, anionisch, vloeibaar	kg						
Polymeer, kationisch, poeder	kg						
Polymeer, kationisch, vloeibaar	kg	23,168	22,083	23,168	23,168	23,168	
Polyaluminiumchloride	kg	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	Niet aanpasbaar
Polyaluminiumsulfaat, poeder	kg						
Waterstofperoxide	kg						
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	kg						
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	kg						
Zoutzuur uit het Mannheim proces	kg						
Zuurstof (vloeibaar)	kg			445,337		99,948	
Zwavelzuur, vloeibaar	kg						
<b>Materialen</b>							
Gewapend beton	m3	3,800	3,805	4,050	4,030	4,030	
Levensduur gewapend beton	jaar	30	30	30	30	30	Niet aanpasbaar



**Scenario 3: EBCT = 15 min., standtijd = 7 dagen**

Invulblad parameters: geel gearceerde velden invullen voor zover van toepassing

Onderwerp	Eenheid	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Invulhulp
		per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	
Naam		Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	
		Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	AoOx	
<b>Hoeveelheden</b>							
Aanvoer rioolwater	m3	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	Niet aanpasbaar
Influent CZV	kg	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	Niet aanpasbaar
Influent Nkj	kg	359,588	359,588	359,588	359,588	359,588	Niet aanpasbaar
Effluent Ntot	kg	52,140	52,140	52,140	52,140	52,140	Niet aanpasbaar
Verwijderde i.e. 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	97,225	97,225	97,225	97,225	97,225	Niet aanpasbaar
Behandelde i.e. in influent 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	Niet aanpasbaar
DOC effluent	mg/l	11	11	11	11	11	Niet aanpasbaar
<b>Dimensionering verwijdering micro's</b>							
Minimale jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	
Behandelde jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	7,665,000	5,365,500	5,365,500	5,365,500	Te behandelen jaarhoeveelheid minimaal 70%
Geproduceerd slib	ton ontwaterd slib	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Drogestofgehalte slib	%	21.10%	22.29%	21.10%	21.10%	21.10%	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Geproduceerd slib	ton ds	1,287	1,380	1,287	1,287	1,287	
Transport vloeibaar slib	km	50	50	50	50	50	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	0	0	0	0	0	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	km	100	100	100	100	100	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi exclusief verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	Niet aanpasbaar
Inkoop aardgas	Nm3	3,710	3,710	3,710	3,710	3,710	Niet aanpasbaar
Inkoop warmte	GJ						Niet aanpasbaar
<i>Inkoop brandstoffen</i>							
Diesel	kg	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi voor verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	0	91,104	654,591	4,380	748,512	Excl. opvoeren effluent en spoelwater, excl. productie en behandeling spoelwater
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>							
Opvoeren rioolwater	meter	0	0	8	8	8	Bij nageschakelde behandeling 8 meter opvoeren conform standaard
Percentage spoelwater		0%	0%	10%	10%	10%	Bij nageschakelde behandeling 10% spoelwater toepassen conform standaard
Gebruik spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
Afvoeren spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
<b>Inkoop hulpstoffen</b>							
Oplossing							
Actieve kool	kg	100%	91,980		83,200	11,458	NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool geregenereerd	kg	100%			312,000		NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool biologische oorsprong	kg	100%					NB CO2-waarde obv haalbaarheidsstudie biokolen
Aluminiumchloride, hydratevorm	kg	40%					Voor chemicaliën let op % oplossing (zie opmerking handleiding cel A8)
Aluminiumsulfaat, poedervorm	kg	100%					
Antiscalants (polycarboxylaten)	kg	100%					
Azijnzuur	kg	98%					
Bio-ethanol	kg	100%					
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	kg	100%					
Citroenzuur	kg	50%					
Glycerine uit epichloorhydrine	kg	100%					
Glycerine uit koolzaadolie	kg	100%					
Ijzer(II)chloride	kg	40%	260,000	260,000	260,000	260,000	
Ijzerchloridesulfaat	kg	100%					
Ijzersulfaat	kg	100%					
Kalkhydraat	kg	100%					
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	kg	100%					
Koolstofoxide, vloeibaar	kg	100%					
Magnesiumchloride	kg	54%					
Magnesiumchloride, anhydride	kg	100%					
Magnesiumchloride, hydrate, vaste vorm	kg	100%					
Magnesiumoxide	kg	100%					
Melasse uit suikerbieten	kg	100%					
Methanol	kg	100%					
Natriumaluminaat oplossing	kg	38%					
Natriumchloride (zout), poedervorm	kg	100%					
Natriumhypochloriet	kg	15%					
Natronloog kwikcelproces	kg	50%					
Natronloog, membraanproces	kg	50%					
Natronloog, productiemix	kg	50%					
Polymeer, anionisch	kg	100%					
Polymeer, anionisch, vloeibaar	kg	100%					
Polymeer, kationisch, poeder	kg	100%					
Polymeer, kationisch, vloeibaar	kg	100%	23,168	22,083	23,168	23,168	
Polyaluminiumchloride	kg	100%	3,200	3,200	3,200	3,200	Niet aanpasbaar
Polyaluminiumsulfaat, poeder	kg	100%					
Waterstofperoxide	kg	50%					
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	kg	36%					
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	kg	100%					
Zoutzuur uit het Mannheim proces	kg	100%					
Zuurstof (vloeibaar)	kg	100%		445,337		106,798	
Zwavelzuur, vloeibaar	kg	100%					
<b>Materialen</b>							
Gewapend beton	m3	3,800	3,805	4,050	4,030	4,030	
Levensduur gewapend beton	jaar	30	30	30	30	30	Niet aanpasbaar

**Scenario 4: EBCT = 15 min., standtijd = 5 dagen**

Invulblad parameters: geel gearceerde velden invullen voor zover van toepassing

Onderwerp	Eenheid	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Invulhulp
		per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar	
Naam		Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	
		Referentie	PACAS	Ozon + ZF	GAK	AoOx	
<b>Hoeveelheden</b>							
Aanvoer rioolwater	m3	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	7,665,000	Niet aanpasbaar
Influent CZV	kg	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	3,831,681	Niet aanpasbaar
Influent Nkj	kg	359,588	359,588	359,588	359,588	359,588	Niet aanpasbaar
Effluent Ntot	kg	52,140	52,140	52,140	52,140	52,140	Niet aanpasbaar
Verwijderde i.e. 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	97,225	97,225	97,225	97,225	97,225	Niet aanpasbaar
Behandelde i.e. in influent 150 g TZV	i.e. 150 g TZV	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	Niet aanpasbaar
DOC effluent	mg/l	11	11	11	11	11	Niet aanpasbaar
<b>Dimensionering verwijdering micro's</b>							
Minimale jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	5,365,500	
Behandelde jaarhoeveelheid nabehandeling	m3/jaar	5,365,500	7,665,000	5,365,500	5,365,500	5,365,500	Te behandelen jaarhoeveelheid minimaal 70%
Geproduceerd slib	ton ontwaterd slib	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Drogestofgehalte slib	%	21.10%	22.29%	21.10%	21.10%	21.10%	Mag alleen worden aangepast bij geïntegreerde maatregelen, niet bij nabehandeling
Geproduceerd slib	ton ds	1,287	1,380	1,287	1,287	1,287	
Transport vloeibaar slib	km	50	50	50	50	50	Niet aanpasbaar
Transport vloeibaar slib	ton	0	0	0	0	0	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	km	100	100	100	100	100	Niet aanpasbaar
Transport ontwaterd slib	ton	6,100	6,192	6,100	6,100	6,100	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi exclusief verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	1,193,548	Niet aanpasbaar
Inkoop aardgas	Nm3	3,710	3,710	3,710	3,710	3,710	Niet aanpasbaar
Inkoop warmte	GJ						Niet aanpasbaar
<i>Inkoop brandstoffen</i>							
Diesel	kg	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	Niet aanpasbaar
<b>Inkoop energie rwzi voor verwijdering micro's</b>							
<i>Inkoop energie</i>							
Inkoop elektriciteit	kWh	0	91,104	654,591	4,380	1,050,796	Excl. opvoeren effluent en spoelwater, excl. productie en behandeling spoelwater
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>							
Opvoeren rioolwater	meter	0	0	8	8	8	Bij nageschakelde behandeling 8 meter opvoeren conform standaard
Percentage spoelwater	%	0%	0%	10%	10%	10%	Bij nageschakelde behandeling 10% spoelwater toepassen conform standaard
Gebruik spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
Afvoeren spoelwater	m3	0	0	536,550	536,550	536,550	
<b>Inkoop hulpstoffen</b>							
<i>Oplossing</i>							
Actieve kool	kg	100%	91,980		83,200	11,458	NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool geregenereerd	kg	100%			312,000		NB let bij GAK op bulkgewicht per m3 actieve kool
Actieve kool biologische oorsprong	kg	100%					NB CO2-waarde obv haalbaarheidsstudie bio-kolen
Aluminiumchloride, hydraatvorm	kg	40%					Voor chemicaliën let op % oplossing (zie opmerking handleiding cel A8)
Aluminiumsulfaat, poedervorm	kg	100%					
Antiscalants (polycarboxylaten)	kg	100%					
Azijnzuur	kg	98%					
Bio-ethanol	kg	100%					
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	kg	100%					
Citroenzuur	kg	50%					
Glycerine uit epichloorhydrine	kg	100%					
Glycerine uit koolzaadolie	kg	100%					
Ijzer(II)chloride	kg	40%	260,000	260,000	260,000	260,000	
Ijzerchloridesulfaat	kg	100%					
Ijzersulfaat	kg	100%					
Kalkhydraat	kg	100%					
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	kg	100%					
Koolstofoxide, vloeibaar	kg	100%					
Magnesiumchloride	kg	54%					
Magnesiumchloride, anhydride	kg	100%					
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	kg	100%					
Magnesiumoxide	kg	100%					
Melasse uit suikerbieten	kg	100%					
Methanol	kg	100%					
Natriumalminaat oplossing	kg	38%					
Natriumchloride (zout), poedervorm	kg	100%					
Natriumhypochloriet	kg	15%					
Natronloog kwikcelproces	kg	50%					
Natronloog, membraanproces	kg	50%					
Natronloog, productiemix	kg	50%					
Polymeer, anionisch	kg	100%					
Polymeer, anionisch, vloeibaar	kg	100%					
Polymeer, kationisch, poeder	kg	100%					
Polymeer, kationisch, vloeibaar	kg	100%	23,168	22,083	23,168	23,168	
Polyaluminiumchloride	kg	100%	3,200	3,200	3,200	3,200	Niet aanpasbaar
Polyaluminiumsulfaat, poeder	kg	100%					
Waterstofperoxide	kg	50%					
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	kg	36%					
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	kg	100%					
Zoutzuur uit het Mannheim proces	kg	100%					
Zuurstof (vloeibaar)	kg	100%		445,337		149,928	
Zwavelzuur, vloeibaar	kg	100%					
<b>Materialen</b>							
Gewapend beton	m3	3,800	3,805	4,050	4,030	4,030	
Levensduur gewapend beton	jaar	30	30	30	30	30	Niet aanpasbaar

### 3. CO<sub>2</sub>-model berekening

Scenario 1: EBCT = 10 min., standtijd = 7 dagen

Afvalwaterzuivering in GER-waarden

Primair energieverbruik	ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar	
<b>Totaal</b>	<b>1265</b>	<b>100%</b>	<b>2198</b>	<b>100%</b>	<b>1953</b>	<b>100%</b>	<b>3009</b>	<b>100%</b>	<b>1774</b>	<b>100%</b>
energie	670	53%	718	33%	1169	60%	827	27%	1074	61%
hulpstoffen	193	15%	1072	49%	380	19%	1778	59%	296	17%
slibeindverwerking	386	30%	391	18%	386	20%	386	13%	386	22%
materiaal	17	1.3%	17	1%	18	1%	18	1%	18	1%

	Omreken- factor kg CO2/eenheid	Referentie ton CO2/jaar	PACAS ton CO2/jaar	Ozon + ZF ton CO2/jaar	GAK ton CO2/jaar	AdOx ton CO2/jaar
<b>Inkoop energie</b>		<b>670</b>	<b>718</b>	<b>1,014</b>	<b>672</b>	<b>932</b>
<i>Inkoop energie</i>						
Inkoop elektriciteit	0.53 kWh	628	676	972	630	890
Inkoop aardgas	1.79 Nm3	7	7	7	7	7
Inkoop warmte	1110.00 GJ	0	0	0	0	0
<i>Inkoop brandstoffen</i>						
Diesel	2.21 kg	35	35	35	35	35
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>142</b>
Energieverbruik opvoeren rioolwater	0.53 kWh	0	0	99	99	86
Energieverbruik productie en bewerking spoelwater	0.53 kWh	0	0	56	56	56
<b>Inkoop hulpstoffen</b>		<b>193</b>	<b>1,072</b>	<b>380</b>	<b>1,778</b>	<b>296</b>
Actieve kool	9.60 kg	0	883	0	799	73
Actieve kool geregenereerd	2.52 kg	0	0	0	786	0
Actieve kool biologische oorsprong	3.94 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumchloride, hydraatvorm	0.35 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumsulfaat, poedervorm	0.55 kg	0	0	0	0	0
Antiscalants (polycarboxylaten)	1.73 kg	0	0	0	0	0
Azijnzuur	3.06 kg	0	0	0	0	0
Bio-ethanol	4.12 kg	0	0	0	0	0
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	0.34 kg	0	0	0	0	0
Citroenzuur	0.90 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit epichloorhydrine	5.96 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit koolzaadolie	5.84 kg	0	0	0	0	0
IJzer(III)chloride	0.38 kg	99	99	99	99	99
IJzerchloridesulfaat	0.72 kg	0	0	0	0	0
IJzersulfaat	0.20 kg	0	0	0	0	0
Kalkhydraat	0.26 kg	0	0	0	0	0
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	0.25 kg	0	0	0	0	0
Koolstofdioxide, vloeibaar	0.64 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride	0.07 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, anhydride	1.38 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumoxide	0.16 kg	0	0	0	0	0
Melasse uit suikerbieten	0.36 kg	0	0	0	0	0
Methanol	2.20 kg	0	0	0	0	0
Natriumaluminaat oplossing	0.47 kg	0	0	0	0	0
Natriumchloride (zout), poedervorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Natriumhypochloriet	0.15 kg	0	0	0	0	0
Natronloog kwikcelproces	0.66 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, membraanproces	0.60 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, productiemix	0.67 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch	4.48 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch, vloeibaar	3.64 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, poeder	5.00 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, vloeibaar	3.90 kg	90	86	90	90	90
Polyaluminiumchloride	1.13 kg	4	4	4	4	4
Polyaluminiumsulfaat, poeder	1.01 kg	0	0	0	0	0
Waterstofperoxide	1.21 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	0.05 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	1.64 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit het Mannheim proces	0.41 kg	0	0	0	0	0
Zuurstof (vloeibaar)	0.42 kg	0	0	187	0	30
Zwavelzuur, vloeibaar	0.12 kg	0	0	0	0	0
<b>Materialen</b>		<b>17</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Gewapend beton	133.00 m3	17	17	18	18	18
<b>Slibeindverwerking</b>		<b>386</b>	<b>391</b>	<b>386</b>	<b>386</b>	<b>386</b>
Droging en verbranding van ontwaterd slib	0.05 kg	305	310	305	305	305
Transport vloeibaar slib	0.13 tonkm	0	0	0	0	0
Transport ontwaterd slib	0.13 tonkm	81	82	81	81	81

Scenario 2: EBCT = 10 min., standtijd = 5 dagen

Afvalwaterzuivering in GER-waarden

Primair energieverbruik	ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar	
<b>Totaal</b>	<b>1265</b>	<b>100%</b>	<b>2198</b>	<b>100%</b>	<b>1953</b>	<b>100%</b>	<b>3009</b>	<b>100%</b>	<b>1892</b>	<b>100%</b>
energie	670	53%	718	33%	1169	60%	827	27%	1180	62%
hulpstoffen	193	15%	1072	49%	380	19%	1778	59%	308	16%
slibeindverwerking	386	30%	391	18%	386	20%	386	13%	386	20%
materiaal	17	1.3%	17	1%	18	1%	18	1%	18	1%

	Omreken-factor kg CO2/eenheid	Referentie ton CO2/jaar	PACAS ton CO2/jaar	Ozon + ZF ton CO2/jaar	GAK ton CO2/jaar	AdOx ton CO2/jaar
<b>Inkoop energie</b>		<b>670</b>	<b>718</b>	<b>1,014</b>	<b>672</b>	<b>1,038</b>
<i>Inkoop energie</i>						
Inkoop elektriciteit	0.53 kWh	628	676	972	630	996
Inkoop aardgas	1.79 Nm3	7	7	7	7	7
Inkoop warmte	1110.00 GJ	0	0	0	0	0
<i>Inkoop brandstoffen</i>						
Diesel	2.21 kg	35	35	35	35	35
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>142</b>
Energieverbruik opvoeren rioolwater	0.53 kWh	0	0	99	99	86
Energieverbruik productie en bewerking spoelwater	0.53 kWh	0	0	56	56	56
<b>Inkoop hulpstoffen</b>		<b>193</b>	<b>1,072</b>	<b>380</b>	<b>1,778</b>	<b>308</b>
Actieve kool	9.60 kg	0	883	0	799	73
Actieve kool geregenereerd	2.52 kg	0	0	0	786	0
Actieve kool biologische oorsprong	3.94 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumchloride, hydraatvorm	0.35 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumsulfaat, poedervorm	0.55 kg	0	0	0	0	0
Antiscalants (polycarboxylaten)	1.73 kg	0	0	0	0	0
Azijnzuur	3.06 kg	0	0	0	0	0
Bio-ethanol	4.12 kg	0	0	0	0	0
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	0.34 kg	0	0	0	0	0
Citroenzuur	0.90 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit epichloorhydrine	5.96 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit koolzaadolie	5.84 kg	0	0	0	0	0
IJzer(III)chloride	0.38 kg	99	99	99	99	99
IJzerchloridesulfaat	0.72 kg	0	0	0	0	0
IJzersulfaat	0.20 kg	0	0	0	0	0
Kalkhydraat	0.26 kg	0	0	0	0	0
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	0.25 kg	0	0	0	0	0
Koolstofdioxide, vloeibaar	0.64 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride	0.07 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, anhydride	1.38 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumoxide	0.16 kg	0	0	0	0	0
Melasse uit suikerbieten	0.36 kg	0	0	0	0	0
Methanol	2.20 kg	0	0	0	0	0
Natriumaluminaat oplossing	0.47 kg	0	0	0	0	0
Natriumchloride (zout), poedervorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Natriumhypochloriet	0.15 kg	0	0	0	0	0
Natronloog kwikcelproces	0.66 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, membraanproces	0.60 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, productiemix	0.67 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch	4.48 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch, vloeibaar	3.64 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, poeder	5.00 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, vloeibaar	3.90 kg	90	86	90	90	90
Polyaluminiumchloride	1.13 kg	4	4	4	4	4
Polyaluminiumsulfaat, poeder	1.01 kg	0	0	0	0	0
Waterstofperoxide	1.21 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	0.05 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	1.64 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit het Mannheim proces	0.41 kg	0	0	0	0	0
Zuurstof (vloeibaar)	0.42 kg	0	0	187	0	42
Zwavelzuur, vloeibaar	0.12 kg	0	0	0	0	0
<b>Materialen</b>		<b>17</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Gewapend beton	133.00 m3	17	17	18	18	18
<b>Slibeindverwerking</b>		<b>386</b>	<b>391</b>	<b>386</b>	<b>386</b>	<b>386</b>
Droging en verbranding van ontwaterd slib	0.05 kg	305	310	305	305	305
Transport vloeibaar slib	0.13 tonkm	0	0	0	0	0
Transport ontwaterd slib	0.13 tonkm	81	82	81	81	81

Scenario 3: EBCT = 15 min., standtijd = 7 dagen

Afvalwaterzuivering in GER-waarden

Primair energieverbruik	ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar	
<b>Totaal</b>	<b>1265</b>	<b>100%</b>	<b>2198</b>	<b>100%</b>	<b>1953</b>	<b>100%</b>	<b>3009</b>	<b>100%</b>	<b>1970</b>	<b>100%</b>
energie	670	53%	718	33%	1169	60%	827	27%	1219	62%
hulpstoffen	193	15%	1072	49%	380	19%	1778	59%	348	18%
slibeindverwerking	386	30%	391	18%	386	20%	386	13%	386	20%
materiaal	17	1.3%	17	1%	18	1%	18	1%	18	1%

	Omreken-factor kg CO2/eenheid	Referentie ton CO2/jaar	PACAS ton CO2/jaar	Ozon + ZF ton CO2/jaar	GAK ton CO2/jaar	AdOx ton CO2/jaar
<b>Inkoop energie</b>		<b>670</b>	<b>718</b>	<b>1,014</b>	<b>672</b>	<b>1,064</b>
<i>Inkoop energie</i>						
Inkoop elektriciteit	0.53 kWh	628	676	972	630	1,022
Inkoop aardgas	1.79 Nm3	7	7	7	7	7
Inkoop warmte	1110.00 GJ	0	0	0	0	0
<i>Inkoop brandstoffen</i>						
Diesel	2.21 kg	35	35	35	35	35
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>
Energieverbruik opvoeren rioolwater	0.53 kWh	0	0	99	99	98
Energieverbruik productie en bewerking spoelwater	0.53 kWh	0	0	56	56	56
<b>Inkoop hulpstoffen</b>		<b>193</b>	<b>1,072</b>	<b>380</b>	<b>1,778</b>	<b>348</b>
Actieve kool	9.60 kg	0	883	0	799	110
Actieve kool geregenereerd	2.52 kg	0	0	0	786	0
Actieve kool biologische oorsprong	3.94 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumchloride, hydraatvorm	0.35 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumsulfaat, poedervorm	0.55 kg	0	0	0	0	0
Antiscalants (polycarboxylaten)	1.73 kg	0	0	0	0	0
Azijnzuur	3.06 kg	0	0	0	0	0
Bio-ethanol	4.12 kg	0	0	0	0	0
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	0.34 kg	0	0	0	0	0
Citroenzuur	0.90 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit epichloorhydrine	5.96 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit koolzaadolie	5.84 kg	0	0	0	0	0
IJzer(III)chloride	0.38 kg	99	99	99	99	99
IJzerchloridesulfaat	0.72 kg	0	0	0	0	0
IJzersulfaat	0.20 kg	0	0	0	0	0
Kalkhydraat	0.26 kg	0	0	0	0	0
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	0.25 kg	0	0	0	0	0
Koolstofdioxide, vloeibaar	0.64 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride	0.07 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, anhydride	1.38 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumoxide	0.16 kg	0	0	0	0	0
Melasse uit suikerbieten	0.36 kg	0	0	0	0	0
Methanol	2.20 kg	0	0	0	0	0
Natriumaluminaat oplossing	0.47 kg	0	0	0	0	0
Natriumchloride (zout), poedervorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Natriumhypochloriet	0.15 kg	0	0	0	0	0
Natronloog kwikcelproces	0.66 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, membraanproces	0.60 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, productiemix	0.67 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch	4.48 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch, vloeibaar	3.64 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, poeder	5.00 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, vloeibaar	3.90 kg	90	86	90	90	90
Polyaluminiumchloride	1.13 kg	4	4	4	4	4
Polyaluminiumsulfaat, poeder	1.01 kg	0	0	0	0	0
Waterstofperoxide	1.21 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	0.05 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	1.64 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit het Mannheim proces	0.41 kg	0	0	0	0	0
Zuurstof (vloeibaar)	0.42 kg	0	0	187	0	45
Zwavelzuur, vloeibaar	0.12 kg	0	0	0	0	0
<b>Materialen</b>		<b>17</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Gewapend beton	133.00 m3	17	17	18	18	18
<b>Slibeindverwerking</b>		<b>386</b>	<b>391</b>	<b>386</b>	<b>386</b>	<b>386</b>
Droging en verbranding van ontwaterd slib	0.05 kg	305	310	305	305	305
Transport vloeibaar slib	0.13 tonkm	0	0	0	0	0
Transport ontwaterd slib	0.13 tonkm	81	82	81	81	81

Scenario 4: EBCT = 10 min., standtijd = 5 dagen

Afvalwaterzuivering in GER-waarden

Primair energieverbruik	ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar		ton CO2/jaar	
<b>Totaal</b>	<b>1265</b>	<b>100%</b>	<b>2198</b>	<b>100%</b>	<b>1953</b>	<b>100%</b>	<b>3009</b>	<b>100%</b>	<b>2147</b>	<b>100%</b>
energie	670	53%	718	33%	1169	60%	827	27%	1378	64%
hulpstoffen	193	15%	1072	49%	380	19%	1778	59%	366	17%
slibeindverwerking	386	30%	391	18%	386	20%	386	13%	386	18%
materiaal	17	1.3%	17	1%	18	1%	18	1%	18	1%

	Omreken-factor kg CO2/eenheid	Referentie ton CO2/jaar	PACAS ton CO2/jaar	Ozon + ZF ton CO2/jaar	GAK ton CO2/jaar	AdOx ton CO2/jaar
<b>Inkoop energie</b>		<b>670</b>	<b>718</b>	<b>1,014</b>	<b>672</b>	<b>1,223</b>
<i>Inkoop energie</i>						
Inkoop elektriciteit	0.53 kWh	628	676	972	630	1,181
Inkoop aardgas	1.79 Nm3	7	7	7	7	7
Inkoop warmte	1110.00 GJ	0	0	0	0	0
<i>Inkoop brandstoffen</i>						
Diesel	2.21 kg	35	35	35	35	35
<b>Overig invloed nabehandeling op rwzi</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>155</b>
Energieverbruik opvoeren rioolwater	0.53 kWh	0	0	99	99	98
Energieverbruik productie en bewerking spoelwater	0.53 kWh	0	0	56	56	56
<b>Inkoop hulpstoffen</b>		<b>193</b>	<b>1,072</b>	<b>380</b>	<b>1,778</b>	<b>366</b>
Actieve kool	9.60 kg	0	883	0	799	110
Actieve kool geregenereerd	2.52 kg	0	0	0	786	0
Actieve kool biologische oorsprong	3.94 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumchloride, hydraatvorm	0.35 kg	0	0	0	0	0
Aluminiumsulfaat, poedervorm	0.55 kg	0	0	0	0	0
Antiscalants (polycarboxylaten)	1.73 kg	0	0	0	0	0
Azijnzuur	3.06 kg	0	0	0	0	0
Bio-ethanol	4.12 kg	0	0	0	0	0
Calciumoxide (ongebuste kalk; poeder)	0.34 kg	0	0	0	0	0
Citroenzuur	0.90 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit epichloorhydrine	5.96 kg	0	0	0	0	0
Glycerine uit koolzaadolie	5.84 kg	0	0	0	0	0
IJzer(III)chloride	0.38 kg	99	99	99	99	99
IJzerchloridesulfaat	0.72 kg	0	0	0	0	0
IJzersulfaat	0.20 kg	0	0	0	0	0
Kalkhydraat	0.26 kg	0	0	0	0	0
Kalkmelk op basis van gebuste kalk	0.25 kg	0	0	0	0	0
Koolstofdioxide, vloeibaar	0.64 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride	0.07 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, anhydride	1.38 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumchloride, hydraat, vaste vorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Magnesiumoxide	0.16 kg	0	0	0	0	0
Melasse uit suikerbieten	0.36 kg	0	0	0	0	0
Methanol	2.20 kg	0	0	0	0	0
Natriumaluminaat oplossing	0.47 kg	0	0	0	0	0
Natriumchloride (zout), poedervorm	0.19 kg	0	0	0	0	0
Natriumhypochloriet	0.15 kg	0	0	0	0	0
Natronloog kwikcelproces	0.66 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, membraanproces	0.60 kg	0	0	0	0	0
Natronloog, productiemix	0.67 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch	4.48 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, anionisch, vloeibaar	3.64 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, poeder	5.00 kg	0	0	0	0	0
Polymeer, kationisch, vloeibaar	3.90 kg	90	86	90	90	90
Polyaluminiumchloride	1.13 kg	4	4	4	4	4
Polyaluminiumsulfaat, poeder	1.01 kg	0	0	0	0	0
Waterstofperoxide	1.21 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur, reactie propyleen en chloor	0.05 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit de reactie van waterstof en chloor	1.64 kg	0	0	0	0	0
Zoutzuur uit het Mannheim proces	0.41 kg	0	0	0	0	0
Zuurstof (vloeibaar)	0.42 kg	0	0	187	0	63
Zwavelzuur, vloeibaar	0.12 kg	0	0	0	0	0
<b>Materialen</b>		<b>17</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Gewapend beton	133.00 m3	17	17	18	18	18
<b>Slibeindverwerking</b>		<b>386</b>	<b>391</b>	<b>386</b>	<b>386</b>	<b>386</b>
Droging en verbranding van ontwaterd slib	0.05 kg	305	310	305	305	305
Transport vloeibaar slib	0.13 tonkm	0	0	0	0	0
Transport ontwaterd slib	0.13 tonkm	81	82	81	81	81

## **C. KOSTENBEREKENING**

**1. CAPEX**

(with zeolite bulk price)

Scenario 1: EBCT = 10 min., loading time = 7 days

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Capital Expenditure (CAPEX)**

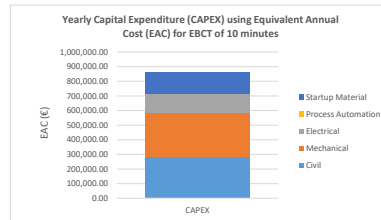
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spare	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	-	300.00	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>		<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	102,295.14	25.00	2,557,378.45	-	-	-	-	-	-	-	-	2,557,378.45	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>2,557,378.45</b>			

**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

**Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis**

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	2,557,378.45	30	4%	147,893.45
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>12,272,387.22</b>			<b>863,667.53</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.11 / m<sup>3</sup>



**Scenario 2: EBCT = 10 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Capital Expenditure (CAPEX)**

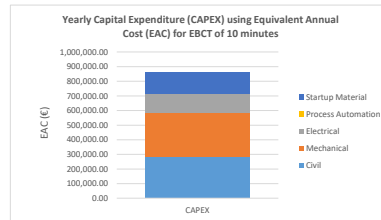
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spared	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	147.92	147.92	-	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	-	300.00	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>		<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	102,295.14	25.00	2,557,378.45	-	-	-	-	-	-	-	-	2,557,378.45	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>2,557,378.45</b>			

**Abbreviations:**

pc- pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

**Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis**

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	2,557,378.45	30	4%	147,893.45
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>12,272,387.22</b>			<b>863,667.53</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.11 / m<sup>3</sup>

Scenario 3: EBCT = 15 min., loading time = 7 days

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

Capital Expenditure (CAPEX)

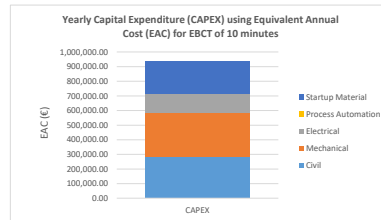
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spare	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	-	300.00	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>		<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	153,451.97	25.00	3,836,299.32	-	-	-	-	-	-	-	-	3,836,299.32	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>3,836,299.32</b>			

Abbreviations:

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	3,836,299.32	30	4%	221,853.57
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>13,551,308.09</b>			<b>937,627.65</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.12 / m<sup>3</sup>

**Scenario 4: EBCT = 15 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Capital Expenditure (CAPEX)**

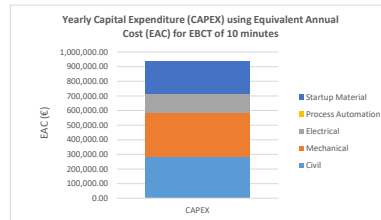
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spared	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	300.00	-	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>	-	<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	153,451.97	25.00	3,836,299.32	-	-	-	-	-	-	-	-	3,836,299.32	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>3,836,299.32</b>			

**Abbreviations:**

pc- pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

**Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis**

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	3,836,299.32	30	4%	221,853.57
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>13,551,308.09</b>			<b>937,627.65</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.12 /m<sup>3</sup>

(with zeolite retail price)

Scenario 1: EBCT = 10 min., loading time = 7 days

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

Capital Expenditure (CAPEX)

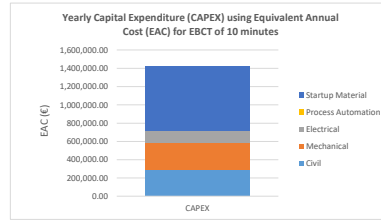
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spare	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spare	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	300.00	-	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>		<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	102,295.14	120.00	12,275,416.55	-	-	-	-	-	-	-	-	12,275,416.55	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>12,275,416.55</b>			

Abbreviations:

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	12,275,416.55	30	4%	709,888.56
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>21,990,425.32</b>			<b>1,425,662.63</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.19 / m<sup>3</sup>

**Scenario 2: EBCT = 10 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Capital Expenditure (CAPEX)**

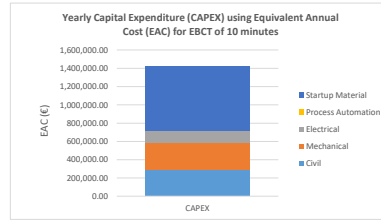
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spared	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	-	300.00	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>		<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules (BEA & MOR)	kg	102,295.14	120.00	12,275,416.55	-	-	-	-	-	-	-	-	12,275,416.55	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>12,275,416.55</b>			

**Abbreviations:**

- pc. pieces
- kg kilograms
- m meter
- LS Lumpsum cost type
- PVC polyvinyl chloride
- SS stainless steel
- incl. including

**Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis**

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	12,275,416.55	30	4%	709,888.56
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>21,990,425.32</b>			<b>1,425,662.63</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.19 / m<sup>3</sup>

Scenario 3: EBCT = 15 min., loading time = 7 days

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

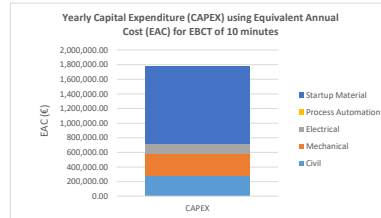
Capital Expenditure (CAPEX)

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spared	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	-	300.00	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>		<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	153,451.97	120.00	18,414,236.74	-	-	-	-	-	-	-	-	18,414,236.74	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>18,414,236.74</b>			

Abbreviations:  
 pc- pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	18,414,236.74	30	4%	1,064,897.14
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>28,129,245.51</b>			<b>1,780,671.21</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.23 /m<sup>3</sup>

Scenario 4: EBCT = 15 min., loading time = 5 days

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

Capital Expenditure (CAPEX)

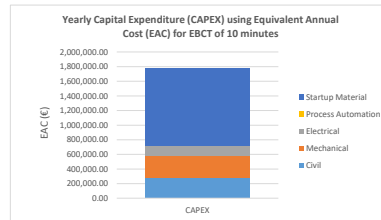
Tag	Item Description	Unit	Quantity	Material		Civil		Mechanical		Electrical		Process Automation		Total Cost (€)	Price Reference	Remark	
				Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)	Unit Price (€)	Total Price (€)				
<b>I. Equipment units and instruments</b>																	
1	Influent pump																
	Working	pc.	21	-	-	2,514.67	52,808.13	295.84	6,212.72	147.92	3,106.36	-	-	62,127.21	RHDHV Kostenkalkulator	From buffer pumps (only the pumps, not the pumping station)	
	Spared	pc.	1	-	-	2,514.67	2,514.67	295.84	295.84	147.92	147.92	-	-	2,958.44	[Working units]		
2	Filtration column	pc.	21	-	-	74,722.64	1,569,175.50	47,420.14	995,822.91	21,554.61	452,646.78	-	-	3,017,645.19	RHDHV Kostenkalkulator	From rapid sand filtration, incl. backwash pumps, backwash buffer tank and power supplies	
3	Blower (with heater)																
	Working	pc.	1	-	-	801.29	801.29	901.45	901.45	300.48	300.48	-	-	2,003.22	Almond Techniek	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	801.29	-	901.45	-	300.48	-	-	-	-	[Working units]		
4	Ozone generator and power supply unit																
	Working	pc.	1	-	-	127,658.00	127,658.00	191,487.00	191,487.00	47,871.75	47,871.75	-	-	367,016.75	Wedeco PDO 1000-148 (2008)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	127,658.00	-	191,487.00	-	47,871.75	-	-	-	-	[Working units]		
5	Liquid oxygen (LOX) cylinder incl. evaporator																
	Working	pc.	1	-	-	257.12	257.12	289.26	289.26	96.42	96.42	-	-	642.80	Multigaz BV	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	257.12	-	289.26	-	96.42	-	-	-	-	[Working units]		
6	Membrane gas pump for ozone recirculation																
	Working	pc.	1	-	-	225.14	225.14	253.28	253.28	84.43	84.43	-	-	562.84	Alibaba (pneumatic chemical pump)	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	225.14	-	253.28	-	84.43	-	-	-	-	[Working units]		
7	Ozone destructor																
	Working	pc.	1	-	-	123.56	123.56	139.00	139.00	46.33	46.33	-	-	308.89	Fruugo	Other unit price from RHDHV percentage: 40% C, 45% M, 15% E	
	Spared	pc.	0	-	-	123.56	-	139.00	-	46.33	-	-	-	-	[Working units]		
8	Process automation	LS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,200.00	1,200.00	1,200.00	RHDHV Kostenkalkulator	Incl. hardware, software and installation	
<b>Total Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation</b>						<b>1,753,563.40</b>		<b>1,195,401.47</b>		<b>504,300.47</b>		<b>1,200.00</b>		<b>3,454,465.34</b>			
Contractor fee (25%)						-	438,390.85	-	298,850.37	-	126,075.12	-	-	-	863,616.34	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Basic construction cost						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68		
Incompleteness factor (25%)						-	547,988.56	-	373,562.96	-	157,593.90	-	300.00	-	1,079,520.42	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
Subtotal incl. incompleteness						-	2,739,942.81	-	1,867,814.79	-	787,969.49	-	1,500.00	-	5,397,602.09		
Engineering and project management cost (80%)						-	2,191,954.25	-	1,494,251.83	-	630,375.59	-	1,200.00	-	4,318,081.68	IPMV Guidelines 2020	For Civil, Mechanical, Electrical, Process Automation
<b>Total Construction Cost</b>						-	<b>4,931,897.06</b>	-	<b>3,362,066.62</b>	-	<b>1,418,345.08</b>	-	<b>2,700.00</b>	-	<b>9,715,683.77</b>		
<b>II. Startup Material</b>																	
1	Zeolite granules	kg	153,451.97	120.00	18,414,236.74	-	-	-	-	-	-	-	-	18,414,236.74	Pilot plant	Excl. transport cost	
<b>Total Startup Material</b>														<b>18,414,236.74</b>			

Abbreviations:

pc- pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 incl. including

Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis

Total Construction Cost Type	Total Price (€)	Lifespan (year)	Interest Rate	EAC (€/year)
Civil	4,931,897.06	30	4%	285,212.10
Mechanical	3,362,066.62	15	4%	302,387.97
Electrical	1,418,345.08	15	4%	127,567.52
Process Automation	2,700.00	5	4%	606.49
Startup Material	18,414,236.74	30	4%	1,064,897.14
<b>TOTAL YEARLY CONSTRUCTION COST</b>	<b>28,129,245.51</b>			<b>1,780,671.21</b>



Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m<sup>3</sup>  
 Hence, the total investment cost will contribute to an addition of € 0.23 /m<sup>3</sup>

## 2. OPEX

(with zeolite bulk price)

Scenario 1: EBCT = 10 min., loading time = 7 days

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

### Operational Expenditure (OPEX)

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	456,510	0.10	45,650.95	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	292,790	0.10	29,571.78	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>138,710.41</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	71,194.21	0.20	14,238.84	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	2,557.38	5.62	14,361.41	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>28,600.26</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>167,310.66</b>		

### Abbreviations:

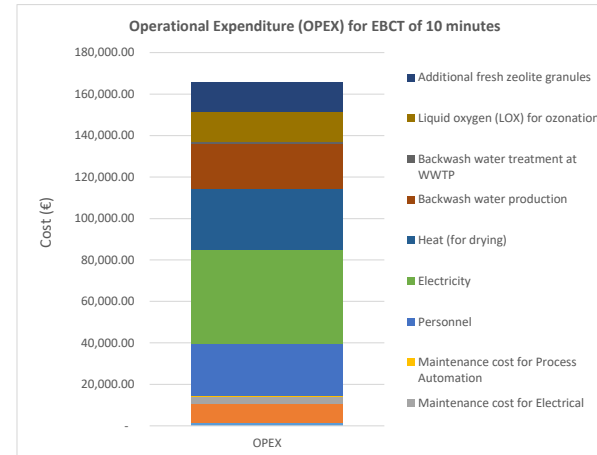
pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.02 /m3

\*)

### Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:

Unit price of zeolite pellets	=	25.00	€/kg
Lifespan	=	5	years
Interest rate	=	4%	
EAC	=	€ 5.62	€/kg



### Summary

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.19	89%
OPEX	167,310.66	€ 0.02	11%
<b>TOTAL</b>	<b>1,592,973.30</b>	<b>€ 0.21</b>	<b>100%</b>



**Scenario 2: EBCT = 10 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	465,611	0.10	46,561.09	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	411,032	0.10	41,514.23	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>151,562.99</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	99,945.72	0.20	19,989.14	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	2,557.38	5.62	14,361.41	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>34,350.56</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>185,913.55</b>		

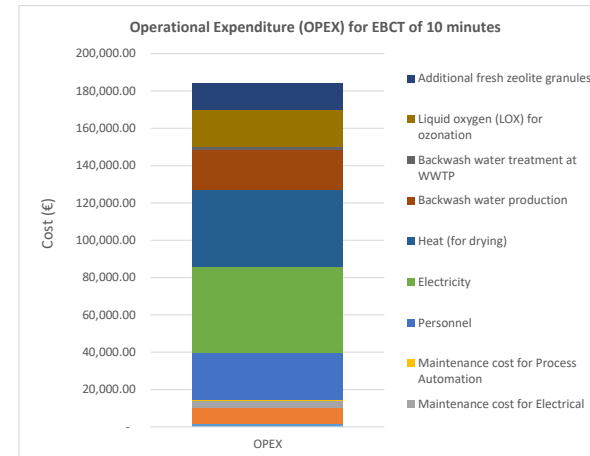
**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.02 /m3

**\*) Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets	=	25.00	€/kg
Lifespan	=	5	years
Interest rate	=	4%	
EAC	=	€ 5.62	€/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.19	87%
OPEX	185,913.55	€ 0.03	13%
<b>TOTAL</b>	<b>1,611,576.19</b>	<b>€ 0.21</b>	<b>100%</b>

**Scenario 3: EBCT = 15 min., loading time = 7 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	559,622	0.10	55,962.22	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	439,211	0.10	44,360.35	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>163,810.24</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	106,797.76	0.20	21,359.55	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	3,836.30	5.62	21,543.42	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>42,902.97</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>206,713.22</b>		

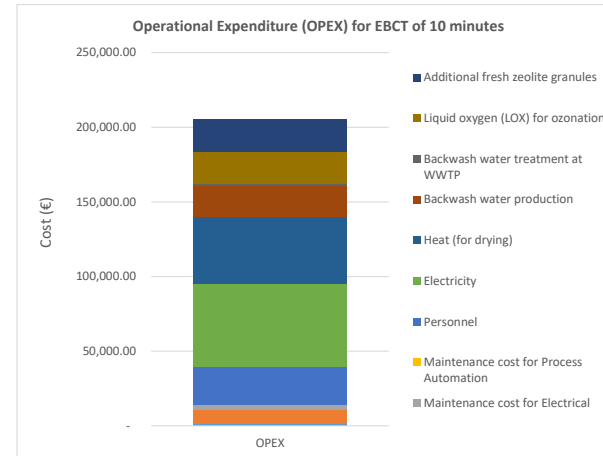
**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.03 /m3

**\*) Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets	=	25.00	€/kg
Lifespan	=	5	years
Interest rate	=	4%	
EAC	=	€ 5.62	€/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.23	88%
OPEX	206,713.22	€ 0.03	12%
<b>TOTAL</b>	<b>1,632,375.85</b>	<b>€ 0.26</b>	<b>100%</b>

**Scenario 4: EBCT = 15 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	610,365	0.10	61,036.53	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	616,585	0.10	62,275.11	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>186,799.31</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	149,927.63	0.20	29,985.53	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	3,836.30	5.62	21,543.42	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>51,528.95</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>238,328.25</b>		

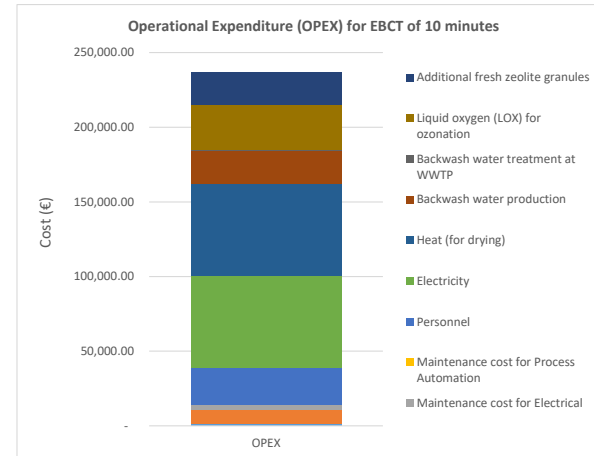
**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.03 /m3

**\*) Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets	=	25.00	€/kg
Lifespan	=	5	years
Interest rate	=	4%	
EAC	=	€ 5.62	€/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.23	90%
OPEX	238,328.25	€ 0.03	10%
<b>TOTAL</b>	<b>1,663,990.89</b>	<b>€ 0.26</b>	<b>100%</b>

(with zeolite retail price)

**Scenario 1: EBCT = 10 min., loading time = 7 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	456,510	0.10	45,650.95	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	292,790	0.10	29,571.78	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>138,710.41</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	71,194.21	0.20	14,238.84	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	2,557.38	26.96	68,934.78	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>83,173.63</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>221,884.03</b>		

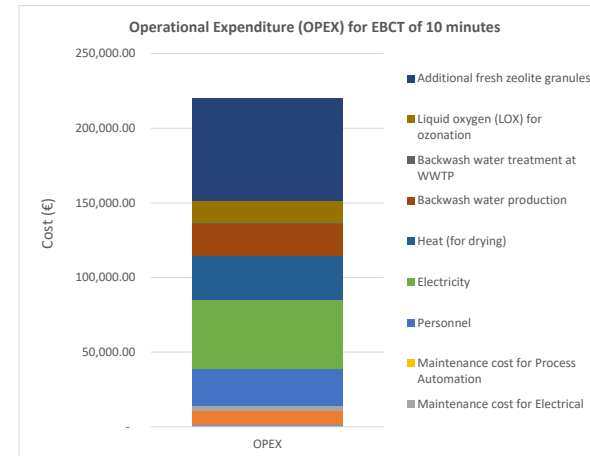
**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.03 /m3

**\*) Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets = 120.00 €/kg  
 Lifespan = 5 years  
 Interest rate = 4%  
 EAC = € 26.96 €/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.19	87%
OPEX	221,884.03	€ 0.03	13%
<b>TOTAL</b>	<b>1,647,546.67</b>	<b>€ 0.21</b>	<b>100%</b>

**Scenario 2: EBCT = 10 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	465,611	0.10	46,561.09	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	411,032	0.10	41,514.23	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>151,562.99</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	99,945.72	0.20	19,989.14	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 10 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	2,557.38	26.96	68,934.78	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>88,923.93</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>240,486.92</b>		

**Abbreviations:**

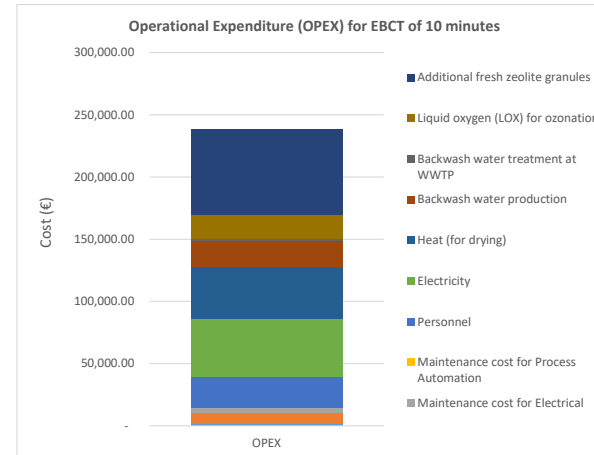
pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.03 /m3

\*)

**Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets	=	120.00	€/kg
Lifespan	=	5	years
Interest rate	=	4%	
EAC	=	€ 26.96	€/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.19	86%
OPEX	240,486.92	€ 0.03	14%
<b>TOTAL</b>	<b>1,666,149.56</b>	<b>€ 0.22</b>	<b>100%</b>

**Scenario 3: EBCT = 15 min., loading time = 7 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	559,622	0.10	55,962.22	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	439,211	0.10	44,360.35	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 5 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 5 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>163,810.24</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	106,797.76	0.20	21,359.55	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 5 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	3,836.30	26.96	103,408.42	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>124,767.97</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>288,578.22</b>		

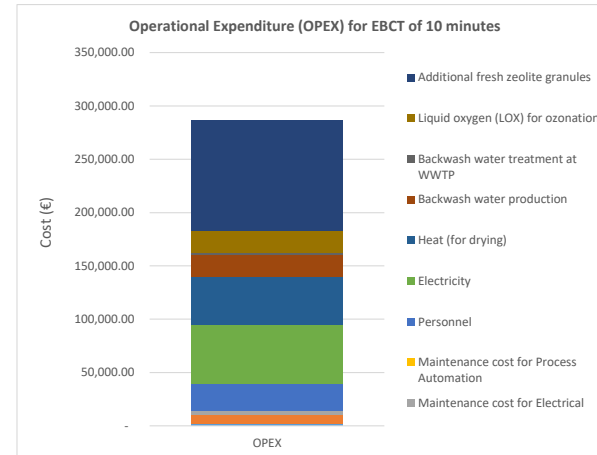
**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.04 /m3

**\*) Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets = 120.00 €/kg  
 Lifespan = 5 years  
 Interest rate = 4%  
 EAC = € 26.96 €/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.19	83%
OPEX	288,578.22	€ 0.04	17%
<b>TOTAL</b>	<b>1,714,240.85</b>	<b>€ 0.22</b>	<b>100%</b>

**Scenario 4: EBCT = 15 min., loading time = 5 days**

Project : AdOx full-scale (100,000 p.e.)  
 Estimated date : 07-Jun-2021  
 Revised date : 01-Sep-2023  
 Estimated by : Nessia Fausta  
 Reviewed by :

Approved by :

**Operational Expenditure (OPEX)**

Tag	Item Description	Unit	Quantity	Yearly Cost		Price Reference	Remark
				Unit Price (€)	Total Price (€)		
<b>I. Operation and Maintenance</b>							
1	Maintenance cost for Civil	LS	1	1,426.06	1,426.06	IPMV Guidelines 2020	0.5% from civil construction cost
2	Maintenance cost for Mechanical	LS	1	9,071.64	9,071.64	IPMV Guidelines 2020	3% from mechanical construction cost
3	Maintenance cost for Electrical	LS	1	3,827.03	3,827.03	IPMV Guidelines 2020	3% from electrical construction cost
4	Maintenance cost for Process Automation	LS	1	18.19	18.19	IPMV Guidelines 2020	3% from process automation cost
5	Personnel	FTE	0.5	50,000.00	25,000.00	IPMV Guidelines 2020	Assumed to be fully automated and routinely scheduled
6	Electricity	kWh	610,365	0.10	61,036.53	IPMV Guidelines 2020	From influent pumping, backwashing, and generating ozone
7	Heat (for drying)	kWh	616,585	0.10	62,275.11	Eurostat 2020 (for NL)	Assumed from natural gas
8	Backwash water production	m3	536,550.00	0.04	21,462.00	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
9	Backwash water treatment at WWTP	m3	268,275.00	0.01	2,682.75	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
<b>Total Operation and Maintenance</b>					<b>186,799.31</b>		
<b>II. Consumable Materials</b>							
1	Polymer	kg	-	3.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
2	Liquid oxygen (LOX) for ozonation	kg	149,927.63	0.20	29,985.53	IPMV Guidelines 2020	From STOWA CO2-model for EBCT = 15 min.
3	Ferric chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
4	Polyaluminum chloride 40% w/w	ton	-	120.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
5	Methanol	ton	-	355.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
6	Sludge processing (dewatered)	ton (ds)	-	600.00	-	IPMV Guidelines 2020	Not required for AdOx
7	Additional fresh zeolite granules	kg	3,836.30	26.96	103,408.42	Pilot plant	Once every 5 years approx. 2.5% of granules will be replenished*
<b>Total Consumable Materials</b>					<b>133,393.95</b>		
<b>TOTAL OPEX (per year)</b>					<b>320,193.25</b>		

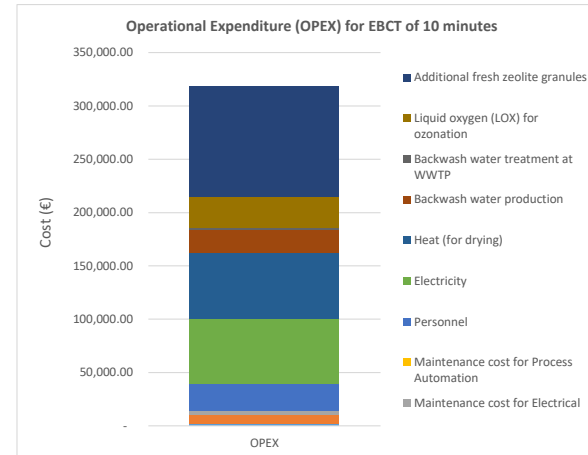
**Abbreviations:**

pc. pieces  
 kg kilograms  
 m meter  
 LS Lumpsum cost type  
 PVC polyvinyl chloride  
 SS stainless steel  
 ton (ds) ton of produced sludge (thickened, dewatered, transported)

Since minimum 70% of the yearly wastewater should be treated, the yearly volume will be: 7,665,000 m3  
 Hence, the total operation and maintenance costs will contribute to an addition of € 0.04 /m3

**\*) Yearly unit price for additional fresh zeolite pellets using Equivalent Annual Cost (EAC) Analysis:**

Unit price of zeolite pellets = 120.00 €/kg  
 Lifespan = 5 years  
 Interest rate = 4%  
 EAC = € 26.96 €/kg



**Summary**

Cost Type	Yearly Price (€/year)	Treated Water Price (€/m3)	Ratio
CAPEX	1,425,662.63	€ 0.19	82%
OPEX	320,193.25	€ 0.04	18%
<b>TOTAL</b>	<b>1,745,855.89</b>	<b>€ 0.23</b>	<b>100%</b>

## **D. DIMENSIONERING PILOT PLANT**



**ESTIMATED COLUMN SIZE**

**Column size for pilot (Q = 0.5 m3/h)**

Øz	= zeolite granules diameter	(mm)	=	2.00
D	= minimum column diameter	(m)	=	0.33
H/D	= ratio of bed height and column diameter	(-)	=	3.03
H	= minimum bed height	(m)	=	1.00
Hc	= column height	(m)	=	1.90
Q influent	= influent capacity from the WWTP effluent	(m3/h)	=	0.50
A	= surface area	(m2)	=	0.09
v	= linear filtration velocity	(m/h)	=	5.85
BV	= bed volume	(m3)	=	0.09
CV	= column volume	(m3)	=	0.16
EBCT	= empty bed contact time	(min.)	=	10.26
v backwash	= backwash velocity	(m/h)	=	11.69
Q backwash	= pre- and post-backwash, 10% from Q influent	(m3/h)	=	1.00

**EBCT 10 & 15 min.**

**References:**

empirical estimation from GAC column ratio is ≈10  
(bed height + 30% clogging + 50% bed expansion during backwash + 10% freeboard)

**OK**  
twice of filtration velocity (assumed 50% bed expansion)  
assumed from full-scale based on RHDHV *kostenkalkulator*, for 1 - 3 BVs

**ESTIMATED OZONE DOSE**

**Ozone dose for lab experiment**

[O3 gas lab]	= applied ozone concentration in lab experiment	(mg/L)	=	90
Q lab	= applied product gas flow in lab experiment	(m3/h)	=	0.048
Dlab	= column diameter from lab experiment	(m)	=	0.04
Hc	= column height from lab experiment	(m)	=	1
Alab	= column surface area from lab experiment	(m2)	=	0.0012566
Vlab	= column volume from lab experiment	(m3)	=	0.0012566
v	= superficial velocity from lab experiment	(m/s)	=	0.0106103
Loading lab	= ozone supply mass rate	(g/h)	=	4.32
Generator use	= Modular 4 HC			

Mingjing He's MSc Thesis  
Mingjing He's MSc Thesis (ozone gas supply flow rate = 0.8 L/min.)  
Mingjing He's MSc Thesis (column inner diameter)  
Mingjing He's MSc Thesis

(used as the constant for upscaling to pilot size)

Xylem - WEDECO slide, manual (currently used in the lab)

Estimated weight of zeolite in a column during regeneration experiment:

Glab	= weight of zeolite in experimental column	(g)	=	100
EBCT	= empty bed contact time	(min.)	=	11
Q feed - lab	= feed flow rate for experimental column	(m3/h)	=	0.00092
Vlab	= volume of zeolite bed	(m3)	=	0.00017
Zeolite bulk density	= mass of zeolite granules required for 1 column	(kg/m3)	=	590.32
Duration for zeolite production using 3D printing		(day)	=	1

Mingjing He's MSc Thesis  
Mingjing He's MSc Thesis  
Mingjing He's MSc Thesis (Q = 15.4 mL/min.)

(calculated from column dimensions of Mingjing He's MSc Thesis)  
Max's estimation (100-150 g/day with 8 hours in the Waterlab)

**Estimated weight of zeolite in pilot column**

**For EBCT = 15 min.**

V	= volume of zeolite bed in pilot	(m3)	=	0.09
G	= weight of zeolite bed in pilot	(kg)	=	50.49
Duration for zeolite production using 3D printing		(day)	=	336.60
		(month)	=	11.22

Bed volume \* dose of zeolite  
Max's estimation (100-150 g/day with 8 hours in the Waterlab)

Required ozone gas per kg of zeolite in 3 hours	(g/kg)	=	18.50
Required zeolite mass	(kg)	=	50.49
Required ozone load	(g)	=	934.06
Required load per hour	(g/h)	=	311.35
Required flow per hour	(m3/h)	=	3.46

(from Max's latest column experiment)

(3 hours)

(with concentration = 90 mg/L)

Generator use	= GSO 18-50			
P-O3	= max. ozone production	(g/h)	=	420.00
T-O3	= time for ozonation	(h)	=	2
LOX as feed	= liquid oxygen demand	(m3/h)	=	4.00
Total LOX	= total demand for full-time ozonation	(L)	=	8000

Xylem - WEDECO slide, datasheet, manual

(approximate value based on GSO 18-50 which needs 4 m3/h)

With 1 tank of LOX = 50 L and expansion rate from the LOX to oxygen gas = 1 : 861, the number of tanks required will be:

	(pc.)	=	1
--	-------	---	---

And for 2 phases where each phase = 12 cycles, the total oxygen demand will be:

	(L)	=	96000	(1 phase * 12 cycles)
--	-----	---	-------	-----------------------

Which means, the amount of refill will be:

	times	=	2
--	-------	---	---

(tank volume = 50 L, pressure = 200 bar, expansion rate to gas = 1 : 861)

**Estimated weight of zeolite in pilot column**

**For EBCT = 5 min.**

V	= volume of zeolite bed in pilot	(m3)	=	0.09
G	= weight of zeolite bed in pilot	(kg)	=	50.49

Bed volume \* dose of zeolite

**Ozone dose for pilot**

Required ozone gas per kg of zeolite in 3 hours	(g/kg)	=	18.50
Required zeolite mass	(kg)	=	50.49
Required ozone load	(g)	=	934.06
Required load per hour	(g/h)	=	311.35
Required flow per hour	(m3/h)	=	3.46

(from Max's latest column experiment)

(with concentration = 90 mg/L)

**Mass Density (ρ) of Zeolite Granules**

*(from lab measurement)*

With graded cylinder:

Volume of demi water (initial)	V1	=	150 mL
Volume of demi water with added zeolite granules	V2	=	160.75 mL
Added mass of zeolite granules	Δm	=	20.0058 g
Mass density of zeolite granules	ρ	=	1.86100465 g/mL
		=	1861.00465 kg/m3

