Rapport

Projectnummer: 362326
Referentienummer: SWNL0235476
Datum: 29-11-2018

Aanvullende technologie voor medicijnrestenverwijdering op RWZI Houten

Verkenning

Definitief

Opdrachtgever:
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR)
Postbus 550
3990 GJ HOUTEN

Verantwoording

Titel	Aanvullende technologie voor medicijnrestenverwijdering op RWZI Houten
Subtitel	Verkenning
Projectnummer	362326
Referentienummer	SWNL0235476
Revisie	Definitief
Datum	29-11-2018

Auteur(s)	Patricia Clevering-Loeffen, Jans Kruit
E-mailadres	patricia.clevering-loeffen@sweco.nl

Gecontroleerd door	Jans Kruit
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Njord Oskam
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

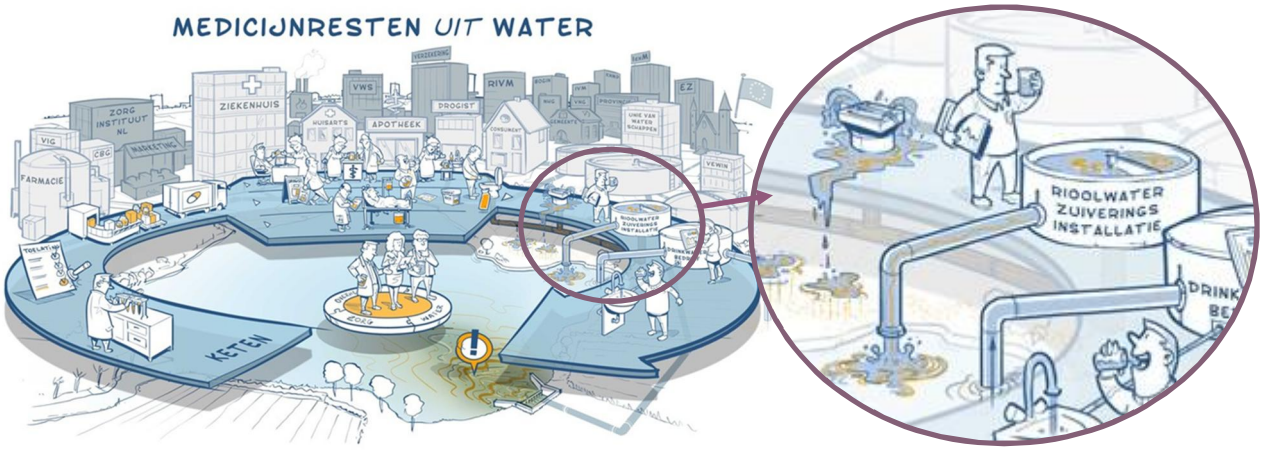
1 Inleiding 4
1.1 Achtergrond 4
1.2 Doelstellingen 5
1.3 Leeswijzer 5
2 Uitgangspunten 6
2.1 RWZI Houten 6
2.2 Randvoorwaarden gidsstoffen 8
2.2.1 Landelijke set van 11 gidsstoffen en beoogde verwijdering 8
2.2.2 Eigenschappen gidsstoffen 8
2.3 Randvoorwaarden vanuit drinkwaterinnamepunt 9
2.4 Resultaten meetprogramma en afgeleide uitgangspunten 9
2.4.1 Influent- en effluentconcentraties 10
2.4.2 Verwijderingsrendementen RWZI Houten 11
3 Uitwerking varianten en keuze voorkeursvariant 13
3.1 Keuze varianten 13
3.2 Globale uitwerking varianten 14
3.3 Verwijderingsrendementen 15
3.4 Vergelijkende kosten 16
3.4.1 Kostenuitgangspunten vergelijking varianten 16
3.4.2 Vergelijkende investerings- en jaarlijkse kosten van de varianten 17
4 Evaluatie 18
4.1 Afwegingscriteria technologien 18
4.2 Afweging varianten en keuze voorkeursvariant 19
5 Globale dimensionering O_3-installatie 22
5.1 Opvoergemaal 22
5.2 O_2-opslag 22
5.3 O_3-generatoren 22
5.4 O_3-reactor 22
5.5 Voorlopige Proces Flow Diagram (PFD) 24
5.6 Voorlopige Civiele lay-out 25
5.7 Indicatieve kostenraming Ozon-installatie 26

Bijlage 1. Zuiveringsproces drinkwaterlocatie Leiduin
Bijlage 2. Analyseprogramma
Bijlage 3. Resultaten meetronde augustus, september en oktober 2018
Bijlage 4. Resultaten meetronde september 2017

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Momenteel is steeds meer aandacht voor de aanwezigheid van microverontreinigingen in oppervlaktewater, grondwater en drinkwater en het reduceren hiervan vanuit (afval)waterstromen. Het belang van een integrale ketenaanpak voor verwijdering van microverontreinigingen - met name geneesmiddelen - in de waterketen is urgent voor (drink)waterkwaliteit en wordt vanuit het Ministerie van I&W nagestreefd (zie Figuur 1-1). Doel is op alle plekken in de medicijnketen doelmatig maatregelen te treffen om de negatieve impact op de (drink)waterkwaliteit terug te dringen.



Figuur 1-1 Ketenaanpak Rijksoverheid en positie rwzi's

Hoewel er (nog) geen normen zijn voor het effluentgehalte van microverontreinigingen, verrichten waterschappen inspanningen om inzichtelijk te maken waar medicijnresten in effluent een mogelijk negatieve impact op de waterkwaliteit hebben en hoe kosteneffectief invulling kan worden gegeven aan het terugdringen van medicijnresten in water. Er is een landelijke hotspotanalyse uitgevoerd (STOWA 2017-42) waarin rwzi's via verschillende maatlatten beoordeeld zijn op de ernst van hun emissie met betrekking tot medicijnresten. Dit dient als vertrekpunt voor discussie over daadwerkelijk te nemen maatregelen.
Een aantal rwzi's van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden komt hierin naar voren in de maatlat 'beïnvloeding drinkwaterbronnen'. RWZI Houten is daar een van en valt in de groep van rwzi's die samen 30% van de totale binnenlandse score veroorzaken bij 'beïnvloeding oppervlaktewaterinnamepunten'.

HDSR heeft de ambitie om aan de slag te gaan met medicijnrestenverwijdering in het kader van lerend implementeren en hiermee kennis te ontwikkelen. Gezien de uitkomsten van de landelijke hotspotanalyse, de reeds beschikbare gebiedsdossiers voor drinkwater, de schaalgrootte en de prestatie van de rwzi, heeft HDSR besloten de mogelijkheden voor de verwijdering van microverontreinigingen op RWZI Houten in kaart brengen middels een verkennende studie. In dit rapport is een systeemkeuze uitgewerkt met betrekking tot de haalbaarheid van de verwijdering van microverontreinigingen op RWZI Houten, passend binnen de voorwaarden van de landelijke bijdrageregeling vanuit het Ministerie van I&W.

Er zijn verschillende technologieën beschikbaar om de invloed te verlagen, die allemaal, afhankelijk van lokale randvoorwaarden, voor- en of nadelen hebben.

De kosten verschillen per technologie, en een recent overzicht van technologieën en bijhorende kosten is te vinden in STOWA 2017-36. Deze kennis is onder meer betrokken bij deze verkenning.

Er is uit september 2017 één meting beschikbaar wat betreft de prestatie van RWZI Houten op het gebied van medicijnrestenverwijdering. In het kader van de verkenning, zijn in augustus tot en met oktober 2018 aanvullende metingen uitgevoerd. Het analysepakket is in overeenstemming met Waternet vastgesteld, aangezien zij het drinkwaterinnamepunt beheren waarop RWZI Houten van invloed is.

1.2 Doelstellingen

Er zijn twee doelstellingen:

- Het uitvoeren van een verkenning voor de best passende aanvullende technologie op RWZI Houten voor het verwijderen van medicijnresten.
- Het uitwerken van deze aanvullende technologie tot het niveau van een globaal schetsontwerp voor de verwijdering van medicijnresten op RWZI Houten.

Deze verkenning is de basis voor een bestuursvoorstel, waarmee het bestuur een keuze maakt over het al dan niet realiseren van een aanvullende technologie op RWZI Houten.

1.3 Leeswijzer

De uitgangspunten voor deze studie staan beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 zijn de varianten uitgewerkt en in hoofdstuk 4 is een keuze voor één variant gemaakt. Deze variant is in hoofdstuk 5 uitgewerkt als globaal schetsontwerp inclusief indicatieve kostenraming.

2 Uitgangspunten

2.1 RWZI Houten

RWZI Houten is een laag belaste rioolwaterzuivering met biologische stikstof en fosfaat verwijdering met een ontwerpcapaciteit van 72.000 i.e. à 150 gTZV en 2.850 m^3/h.
De P-verwijdering is van het type Phoredox. Er zijn twee beluchtingstanks (carrousels) aanwezig en drie nabezinktanks. De rwzi is gebouwd in 1982 en uitgebreid in 2000.

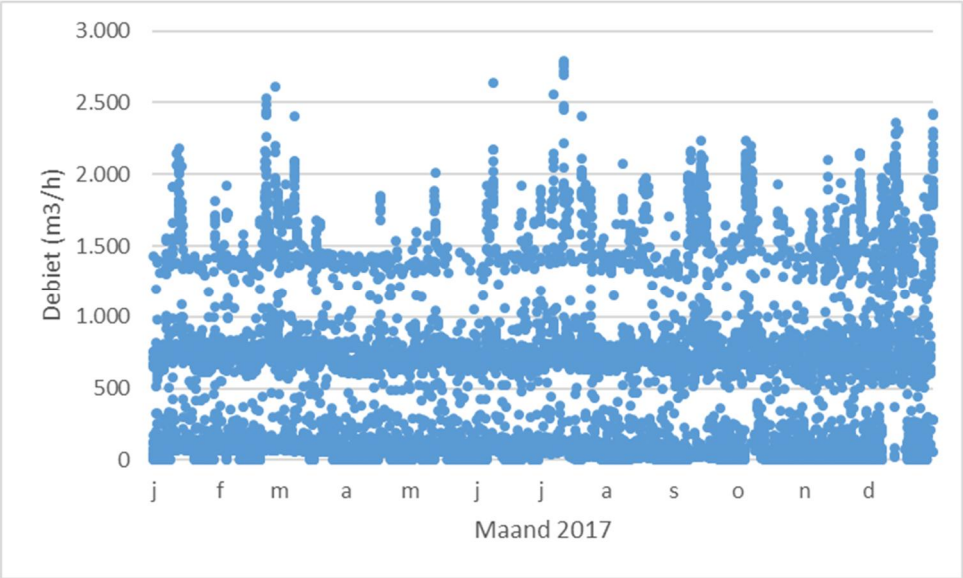
Figuur 2-1 Luchtfoto RWZI Houten (bron www.hdsr.nl)

Op basis van de gemiddelde biologische belasting in 2016-2017 is de rwzi op dit moment voor 77% belast (zie Tabel 2-1).

Tabel 2-1 Huidige belasting versus ontwerp

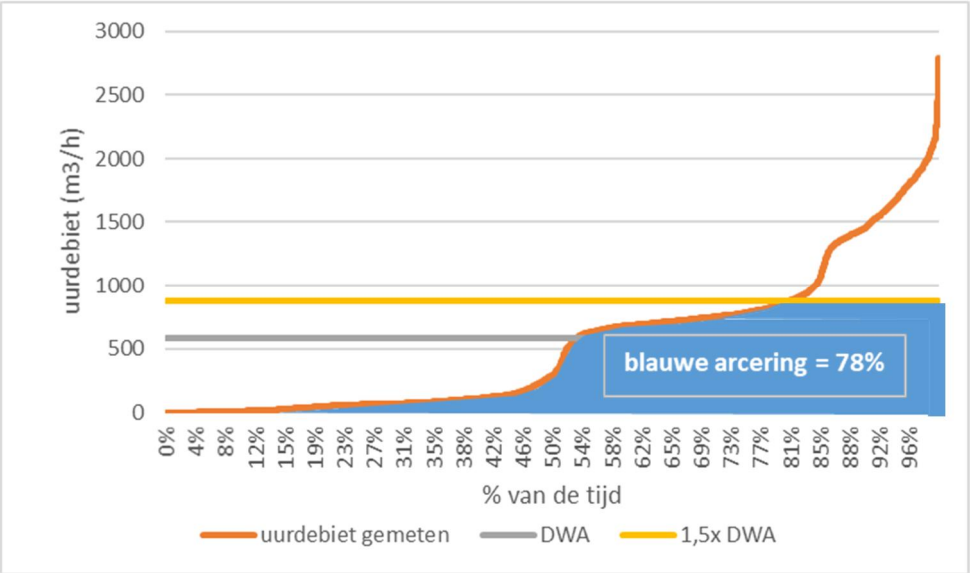
	Gemiddelde 2016-2017	Ontwerp	Eenheid
Biologische belasting	55.638	72.000	i.e. a 150 g TZV
Hydraulische belasting maximaal per uur (RWA)		2.850	m^3/h
DWA		580	m^3/h
Hydraulische belasting per dag	11.992		m^3/d

De gemeten uurdebieten van 2017 zijn uitgezet in Figuur 2-2, hieruit is af te lezen dat veel waarden rond de 100 en 750 m^3/h liggen.



Figuur 2-2 Uurdebieten gemeten in 2017

In Figuur 2-3 is de frequentieverdeling gegeven, net als het DWA uurdebiet (580 m^3/h) en 1,5x DWA (870 m^3/h). Dit laatste is een ontwerpwaarde voor aanvullende technologien. Bij 870 m^3/h wordt 78% van het debiet behandeld (zie blauwe arcering in Figuur 2-3).



Figuur 2-3 Frequentieverdeling uurdebieten en relatie met DWA uurdebiet

De gemeten effluentwaarden en de vergunde grenswaarden voor in het effluent zijn gegeven in Tabel 2-2 . Voor N-totaal en P-totaal voldoet de effluentkwaliteit ruimschoots. Ook op de andere parameters wordt voldaan aan de vergunde grenswaarden. In 2017 is slechts eenmalig een overschrijding van de opgeloste bestanddelen gemeten.

Tabel 2-2 Gemeten effluentwaarden versus vergunde grenswaarden

	Gemiddelde 2016-2017	Grenswaarde		Eenheid
CZV	23,2	125	individuele meetwaarde	mg/l
BZV	2,4	30	individuele meetwaarde	mg/l
N-totaal	3,6	10	voortschrijdend jaargemiddelde	mg/l
P-totaal	0,75	2	voortschrijdend jaargemiddelde	mg/l
OB	3,9	20	individuele meetwaarde	mg/l

Voor HDSR is een belangrijk uitgangspunt voor de aanvullende technologie om medicijnresten te verwijderen dat de huidige effluentkwaliteit voor wat betreft CZV, BZV, N-tot, P-tot en zwevende stof minimaal behouden blijft. Een verbetering van de effluentkwaliteit is in principe niet nodig; de rwzi moet wel blijven voldoen aan de huidige lozingsnormen.

2.2 Randvoorwaarden gidsstoffen

2.2.1 Landelijke set van 11 gidsstoffen en beoogde verwijdering

Het ministerie van I&W heeft een bijdrageregeling voor aanvullende zuivering op rwzi's opgesteld. In samenspraak met de waterbeheerders is een lijst van 11 gidsstoffen opgesteld:

- Carbamazepine.
- Propanolol.
- Trimethoprim.
- Metoprolol.
- Benzotriazool.
- Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool.
- Hydrochloorthiazide.
- Sulfamethoxazol.
- Diclofenac.
- Clarithromycine.
- Sotalol.

Ook is in samenspraak een beoogd rendement voor de verwijdering van de 11 gidsstoffen opgesteld. Van de elf gidsstoffen moeten de zuiveringsrendementen van minimaal 7 afzonderlijke gidsstoffen gemiddeld (rekenkundig) minimaal 70% zijn om te voldoen voor de Rijksbijdrage. Daarnaast moet door het toepassen van een aanvullende zuiveringstechniek ook de biotoxiciteit van het effluent met minimaal 50% doen afnemen. De aanvullende techniek dient 10 jaar te blijven functioneren waarbij het verwijderingsrendement gemonitoord en gerapporteerd dient te worden.

HDSR heeft bovenstaande voorwaarden voor het verkrijgen van de Rijksbijdrage gekozen als uitgangspunt bij de beoordeling van de beschikbare technologieën om medicijnresten te verwijderen op RWZI Houten. De mate waarin deze stoffen aanwezig zijn in het afvalwater van RWZI Houten is bepaald aan de hand van het analyseprogramma (zie paragraaf 2.4).

2.2.2 Eigenschappen gidsstoffen

In Tabel 2-3 is de volgorde van oplosbaarheid in water en de Koc waarde van de gidsstoffen gegeven. Deze kunnen van invloed zijn op de verwijdering in een rwzi. Naast deze, zijn ook andere eigenschappen van belang.

Tabel 2-3 Oplosbaarheid en Koc van de 11 gidsstoffen*

laatste waarde ↔ hoogste waarde	**Oplosbaarheid in water (bij 25 °C)**	laatste waarde ↔ hoogste waarde	**Koc**
	Benzotriazool Metoprolol Sotalol Hydrochloorthiazide Sulfamethoxazol Trimethoprim Propranolol Carbamazepine Claritromycine Diclofenac		Carbamazepine Diclofenac Claritromycine Benzotriazool Trimethoprim Sulfamethoxazol Metoprolol
	Niet bekend: Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool		*Niet bekend:* Propranolol Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool Hydrochloorthiazide Sotalol

Koc *De adsorptive coëfficient (Koc) is een maat voor de mate waarin een stof aan organische stof hechten in de bodem. Daarom zegt het ook iets de mobiliteit in opgeloste vorm.*

2.3 Randvoorwaarden vanuit drinkwaterinnamepunt

De effluentlozing van RWZI Houten heeft effect op het innamepunt in het Lekkanaal. Daarom is op 16 augustus 2018 met Waternet afgestemd welke aandachtstoffen er nu zijn bij het drinkwaterinnamepunt en welke mogelijk van RWZI Houten afkomstig zijn. HDSR wil graag daar waar mogelijk een bijdrage leveren aan de verwijdering van aandachtstoffen.

Vanaf het drinkwaterinnamepunt wordt het water gezuiverd op productielocatie Leiduin. Het drinkwater in Nederland kent een hoge kwaliteit en doorloopt diverse zuiveringsstappen om deze kwaliteit te borgen. In Bijlage 1 zijn de stappen van het zuiveringsproces van productielocatie Leiduin gegeven. De grondstof voor het drinkwater deze productielocatie is voornamelijk rivierwater uit het Lekkanaal, dat aangevuld is met natuurlijk duinwater.
De voorzuivering van het rivierwater gebeurt in Nieuwegein, waarna het naar de Amsterdamse Waterleidingduinen bij Vogelenzang wordt getransporteerd. Nadat het water de duinen is gepasseerd, vindt nog een nazuivering op de vestiging Leiduin plaats. Er wordt gebruik gemaakt van meerdere zuiveringsprocessen, zoals coagulatie, snelle zandfiltratie, duinfiltratie, ozonisatie, ontharding en koolfiltratie.

Op basis van ontvangen meetgegevens van Waternet over 2014-2018 blijkt dat alle 11 gidsstoffen op enig moment boven hun detectielimiet gemeten worden en dus aangetroffen zijn bij het innamepunt Nieuwegein. Kijkende naar de maximale waarden van de gidsstoffen bij het inlaatpunt Nieuwegein in het ‘Jaarrapport 2017. De Rijn’ van RIWA (2018) komt naar voren dat de maximaal gemeten waarden van Metoprolol (0,21 µg/l), Benzotriazool (0,96 µg/l) en Hydrochloorthiazide (0,12 µg/l) boven de 0,1 µg/l liggen. Van de 11 gidsstoffen kunnen deze drie als aandachtstof worden bestempeld voor het drinkwaterinnamepunt.

De overige stoffen die door Waternet als aandachtstof worden gezien, zijn opgenomen in het analyseprogramma voor RWZI Houten (zie paragraaf 2.4) en zijn:

- EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur)
- Glyfosaat
- AMPA
- Bisfenol A

Met de metingen in augustus – oktober 2018 is gekeken of deze aandachtstoffen daadwerkelijk worden aangetroffen in het effluent van RWZI Houten.

Schone(re) drinkwaterbronnen zijn van belang voor de drinkwaterproductie. Waternet heeft aangegeven dat het aanvullend verwijderen van medicijnresten en bovengenoemde aandachtstoffen wenselijk is, bezien vanuit het drinkwater.

2.4 Resultaten meetprogramma en afgeleide uitgangspunten

In augustus, september en oktober 2018 is vijfmaal een 48-uurs debietproportionele monstername van het influent en effluent uitgevoerd bij droogweer. Het analyseprogramma is opgenomen in Bijlage 2 en de meetresultaten met het berekende verwijderingspercentage in Bijlage 3. In Tabel 2-4 zijn de gemiddelde influent- en effluentconcentraties en verwijderingsrendementen gegeven.

2.4.1 Influent- en effluentconcentraties

Welke gidsstoffen zijn er daadwerkelijk aangetroffen in augustus – oktober 2018?
Op RWZI Houten zijn de gidsstoffen in het influent en effluent geanalyseerd in die periode. Van Propranolol en het mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool zijn geen analyseresultaten bekend[1] en Benzotriazool is alleen in het effluent gemeten.

De concentraties Trimethoprim, Hydrochloorthiazide en Claritromycine zijn soms in het influent aanwezig. De overige metingen in het influent en alle metingen van de gidsstoffen in het effluent zijn altijd aangetroffen.

Tabel 2-4 Gids- en overige stoffen gemeten in influent en effluent van RWZI Houten (µg/l)*

	Influent gemiddelde (µg/l)	Influent stdev (µg/l)	Effluent gemiddelde (µg/l)	Effluent stdev (µg/l)
Gidsstoffen				
Carbamazepine	0,85	0,10	0,70	0,12
Propranolol	nb		nb	
Trimethoprim	0,13	0,02	0,03	0,02
Metoprolol	1,60	0,25	0,84	0,17
Benzotriazool	nb		6,18	1,24
Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool	nb		nb	
Hydrochloorthiazide	2,83	2,13	1,62	1,80
Sulfamethoxazol	0,74	0,26	0,12	0,02
Diclofenac	0,57	0,14	0,39	0,08
Claritromycine	<0,10-0,13		0,04	0,01
Sotalol	1,07	0,26	0,49	0,04
EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur)	<100		<100	
AMPA	nb		3,50	
Glyfosaat	nb		<1 - 0,24	
Bisfenol A	nb		nb	
DOC (mg/l)			8,0	0,6
Bromide (mg/l)			<0,20	
Bromaat			<10	
Chroom totaal			<0,50 - 0,7	

* *gemiddelde van 5 metingen in augustus – oktober 2018*
** *De detectielimiet van Bromide is relatief hoog in het influent. Het is aan te bevelen een laboratorium te vinden die dit nauwkeuriger kan meten in het effluent.*
nb *= niet bepaald/geen resultaten*

Voorkomen gidsstoffen in het effluent?
Benzotriazool heeft de hoogste concentraties van de gidsstoffen in het effluent, gevolgd door Hydrochloorthiazide en Metoprolol. De concentratie van Hydrochloorthiazide varieert echter sterk in zowel het influent als effluent. Trimethoprim en Claritromycine zijn juist in zeer lage concentraties in het effluent aanwezig.

Vergelijking metingen 2018 met meting in 2017
In het kader van een onderzoek van de Provincie Utrecht is in september 2017 eenmalig de influent en effluentkwaliteit geanalyseerd op medicijnresten. In Bijlage 4 zijn de resultaten van de gidsstoffen in het onderzoek uit september 2017 opgenomen. De gemeten concentraties uit het onderzoek in 2017 komen, met uitzondering van Sotalol, goed met de recente metingen overeen.

[1] Waarschijnlijk door een fout bij de uitvoering in het laboratorium.

Wat zijn de resultaten van de overige aandachtstoffen?
Naast de gidsstoffen is een drietal aandachtstoffen gemeten, van de vierde (Bisfenol A) is zijn geen resultaten beschikbaar gekomen[1]. EDTA is niet aangetroffen in zowel het influent als effluent. Alleen AMPA is aangetroffen in het effluent van RWZI Houten. AMPA is een metaboliet van Glyfosaat die door oxidatie in het zuiveringsproces ontstaat.
Omdat Glyfosaat nauwelijks is aangetroffen, kan geconcludeerd worden dat dit al volledig is omgezet in AMPA door RWZI Houten.

Impact resultaten op de varianten
De DOC (Dissolved Organic Carbon, opgeloste organische koolstoffractie) waarde is met 8 mg/l een gangbare waarde voor effluent in Nederland. Deze DOC-waarde wordt gebruikt om de ozondosering vast te stellen. Bromide en Bromaat worden niet aangetroffen in het effluent van RWZI Houten. Op basis van deze Br-metingen geen reden om technologieën uit te sluiten bij de keuze voor de varianten.

2.4.2 Verwijderingsrendementen RWZI Houten

De gemiddelde verwijderingsrendementen zijn gegeven in Tabel 2-5. Hier zijn ook zijn de rendementen uit het onderzoek uit 2017 gegeven.

Verwijderingsrendementen gidsstoffen
De verwijdering van Carbamazepine en Diclofenac is het laagst en samen met Metoprolol, Hydrochloorthiazide en Sotalol is de verwijdering per stof 50% of lager. De verwijdering van Sulfamethoxazol en Trimethoprim is het hoogst (75 - 82%). Het verwijderingsrendement van Claritromycine is moeilijk te bepalen, vanwege het sporadisch voorkomen in het influent.

Het gemiddelde verwijderingsrendement van de 7 aangetroffen gidsstoffen op RWZI Houten is 53%. Kijkende naar de streefwaarde van 70% verwijdering per gidsstof, is een aanvullende technologie voor medicijnrestenverwijdering nodig.

Tabel 2-5 Gemeten verwijderingsrendement RWZI Houten*

	2017* rendement (%)	2018** rendement (%)	2018 stdev (%)	Watson database (%)
Gidsstoffen				
Carbamazepine	25	16	21	29
Propranolol	nb	nb		
Trimethoprim	82	76	24	53
Metoprolol	58	47	9	33
Benzotriazool	nb	nb		
Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool	nb	nb		
Hydrochloorthiazide	nb	39	19	32
Sulfamethoxazol	76	82	5	68
Diclofenac	23	28	25	38
Claritromycine	70	69		56
Sotalol	49	51	21	34
Gemiddelde gemeten gidsstoffen	54	53	13	43
EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur)	nb	nb		nb
AMPA	nb	nb		40
Glyfosaat	nb	nb		58
Bisfenol A	nb	nb		nb

* *Op basis van 1 meting in september 2017.*
** *Op basis van 5 metingen. Met uitzondering van Claritromycine; deze is op basis van 1 meting, omdat hier slechts 1 influent meting boven detectielimiet is.*
nb *= niet bepaald*

Hoe verhouden de resultaten op RWZI Houten zich in relatie tot de stofeigenschappen?
De gidsstoffen met de beste verwijdering zijn Sulfamethoxazol en Trimethoprim. Beiden hebben een matige oplosbaarheid in water (zieTabel 2-3). De gidsstoffen met de slechtste verwijdering zijn Carbamazepine en Diclofenac, deze hebben de hoogste Koc waarde (zie Tabel 2-3). Gezien het aantal metingen en het aantal stoffen, kan vooralsnog geen eenduidige relatie tussen stofeigenschappen en de verwijdering worden afgeleid.

Hoe verhouden de resultaten op RWZI Houten zich tot de Watson database?
De verwijdering van de gidsstoffen op RWZI Houten is vergelijkbaar of hoger dan de verwijderingspercentages in de Watson database. Uitzondering zijn Carbamazepine en Diclofenac. De goede verwijderingsrendementen op RWZI Houten kunnen worden gerelateerd aan een zeer goede nitrificatie. Wetenschappelijk onderzoek, onder andere Radboud Universiteit Nijmegen 2018 (NWO, STOWA), wijzen in die richting.

Wat zijn de resultaten van de overige aandachtstoffen?
Van de overige gemeten stoffen (EDTA, AMPA en Glyfosaat) is geen influentmeting gedaan of is deze niet aangetroffen (EDTA), waardoor er geen verwijderingsrendement kan worden bepaald. In de Watson database wordt een verwijdering van 58 en 40% gegeven voor de verwijdering van Glyfosaat en AMPA in een rwzi.

3 Uitwerking varianten en keuze voorkeursvariant

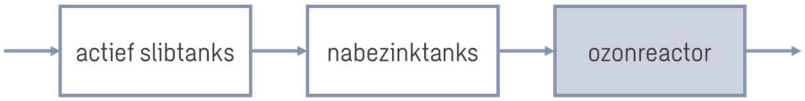
3.1 Keuze varianten

De volgende technologieën of combinaties van technologieën zijn als direct toepasbaar voor de verwijdering van medicijnresten uit afvalwater aangeduid en zijn voor RWZI Houten uitgewerkt:

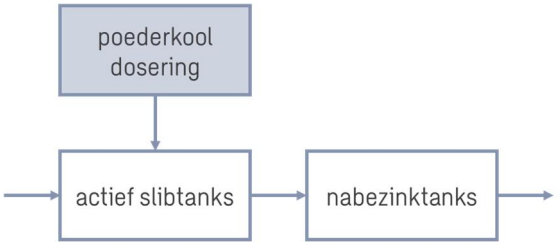
- O_3-oxidatie;
- Poederkooldosering aan actief slib;
- GAK-filtratie
- Combinatie van O_3-oxidatie met GAK-filtratie.

Deze technieken hebben zich bewezen als toepassing in de drinkwaterbereiding, op afvalwater in het buitenland en worden toegepast bij de in Nederland lopende of in opstart zijnde demonstratieonderzoeken naar verwijdering van medicijnresten uit afvalwater. Vooralsnog wordt voor de ozonoxidatie geen nabehandeling gerealiseerd, omdat resultaten (onder andere op RWZI's Grote Lucht (STOWA 2018-46) en Aachen (2017-2018)) zonder een dergelijke nabehandeling op zichzelf al een significante verbetering van de ecotoxiciteit laten zien.

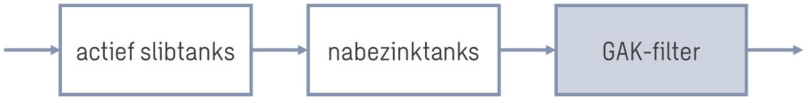
De vier varianten voor RWZI Houten zijn in Figuur 3-1 tot en met Figuur 3-4 als blokschema weergegeven. De blauw gearceerde blokken zijn de nieuw te realiseren onderdelen.



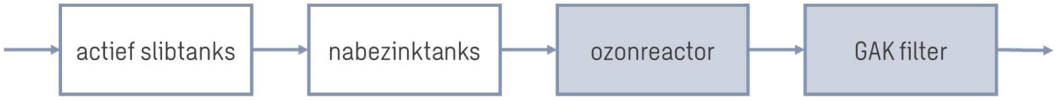
Figuur 3-1 Variant 1: O_3-oxidatie



Figuur 3-2 Variant 2: Poederkooldosering aan actief slib



Figuur 3-3 Variant 3: GAK-filtratie



Figuur 3-4 Variant 4: Combinatie van O_3-oxidatie met GAK-filtratie

3.2 Globale uitwerking varianten

Aan de hand van de getallen uit hoofdstuk 2 en paragraaf 3.4 zijn de varianten globaal uitgewerkt. De dimensionering van de belangrijkste onderdelen zijn gegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Dimensionering onderdelen

Variant en Procesonderdelen	Waarden	Eenheid
Variant 1: O_3-oxidatie		
O_2 voorraadtank	30*	m^3
O_3 generatoren	2 x 2,5	kg O_3/h
Reactorvolume	2 x 110	m^3
Opvoergemaal	870	m^3/h
Variant 2: Poederkooldosering aan actief slib		
Poederkoolvoorraad	20	m^3
Capaciteit pomp	1 x 1	m^3/h
Variant 3: GAK-filtratie		
Aantal GAK-filters	4+1	-
Oppervlakte GAK-filters totaal	140	m^2
Opvoergemaal	870	m^3/h
Variant 4: Combinatie van O_3-oxidatie met GAK-filtratie		
O_2 voorraadtank	30*	m^3
O_3 generatoren	2 x 1,7	kg O_3/h
Reactorvolume	2 x 110	m^3
Aantal GAK-filters	4+1	-
Oppervlakte GAK-filters totaal	140	m^2
Opvoergemaal	870	m^3/h

** Uitganspunt is standaard tankwagen, opslagtijd is ongeveer 20 dagen.*

In Tabel 3-2 is het verbruik van de varianten gegeven:

- Bij oxidatie met ozon (variant 1) wordt elektriciteit en ozon verbruikt voor de productie van ozon uit pure zuurstof, ook is energie nodig voor het oppompen van het effluent.
- Bij PACAS (variant 2) is het energieverbruik lager omdat hier slechts de aanmaak van de kool en het doseren nodig is. In deze variant wordt poederkool verbruikt en resulteert ~~dit~~ in extra slibafvoer.
- Het GAK-filter van variant 3 heeft een vergelijkbaar energieverbruik als ozon, met name voor het oppompen van het effluent. Er is granulair actief kool nodig, dat na verzadiging afgevoerd moet worden als afval.
- Variant 4 combineert ozon en GAK-filter, waardoor het deze de hoogste verbruiken heeft. Echter is het ozon verbruik en het benodigde granulair actief kool lager dan in de individuele variant, omdat de verwijdering van microverontreinigingen door beide technologieën wordt gerealiseerd.

Tabel 3-2 Verbruik of extra productie van de varianten

	Variant 1 Ozon	Variant 2 PACAS	Variant 3 GAK	Variant 4 Ozon+GAK	Eenheid
Elektriciteitsverbruik	170.706	102.424	170.706	324.342	kWh/jr
Verbruik actief kool	0	53	147	69	ton/jr
Ozon verbruik gemiddeld	570	0	0	407	kg O_3/jr
Personeel	5	3	4	9	uur/week
Extra slib naar eindverwerking	0	133	0	0	ton/jr

3.3 Verwijderingsrendementen

Op basis van ervaringen elders is in Tabel 3-3 weergegeven in welke mate de gidsstoffen verwijderd worden bij toepassing van ozon, poederkooldosering en GAK. Van GAK zijn niet alle rendementen ingevuld.

Ozon

Bij ozon is voor zes gidsstoffen de verwijdering hoger dan 90%. Kijkende naar ozon, dan variëren de rendementen van de zeer goed oplosbare gidsstoffen Metoprolol, Benzotriazool en mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool van laag tot hoog. Het laagste rendement is hier 40%, maar kan ook boven de 80 of 90 liggen, waardoor er geen eenduidig te verwachten effect voor RWZI Houten kan worden afgeleid. Verder is de verwijdering van Propranolol en Hydrochloorthiazide ongeveer tussen de beoogde verwijdering van 70% tot ongeveer 85%.

PACAS

Bij PACAS hebben slechts twee gidsstoffen (Metoprolol en Benzotriazool) een verwijdering hoger dan 80%. Propranolol, Sulfamethoxazol en Claritromycine de stoffen die van een laag rendement (respectievelijk 60, 10 en 50) variëren tot rond de 80% of zelfs tot 99 (Propranolol). De stoffen Carbamazepine, Trimethoprim, mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool, Hydrochloorthiazide, Diclofenac en Solatol hebben een verwijdering van ongeveer tussen de beoogde verwijdering van 65/70% tot ongeveer 90%.

GAK

Bij GAK liggen de gegeven rendementen in dezelfde range als dezelfde stoffen bij poederactief kool.

Ozon en GAK

In de combinatie van Ozon en GAK kan ozonconcentraties dermate worden verlaagd dat GAK de verwijdering van microverontreinigen op zich neemt, deze ozonconcentratie is instelbaar. De verwijderingsrendrendementen kunnen vergelijkbaar worden verwacht als met ozon of hoger.

Tabel 3-3 Te verwachten verwijderingsrendementen bij toepassing ozon of PACAS*

	Houten 2018 (%)	Ozon (%)	PACAS (%)	GAK (%)
Gidsstoffen				
Carbamazepine	16	>90	70-90	60-99
Propranolol	nb	70-85	60-99	
Trimethoprim	76	>90	70-99	
Metoprolol	47	40-99	80-99	75-99
Benzotriazool	nb	40-95	80-99	80-99
Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool	nb	60-90	75-99	
Hydrochloorthiazide	39	70-85	70-90	
Sulfamethoxazol	82	>90	10-80	25-75
Diclofenac	28	>90	65-90	50-95
Claritromycine	69	>90	50-80	65-85
Sotalol	51	>90	70-90	
EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur)		nb	nb	
AMPA		nb	nb	
Glyfosaat		nb	nb	
Bisfenol A		nb	nb	

* *Verwijderingspercentage bepaald op basis van effluent (na behandeling) en influent. Afgeleid uit STOWA 2018-02, STOWA 2015-27, verzamelde ervaringen van Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe in Duitsland, artikel Aqua & Gas nr 2, 2015: Überprüfung des reinigungseffekts.*

Samengevat
Op basis van Tabel 2-4 kan in principe worden gesteld dat alle gepresenteerde technologieën een voldoende verwijderingsrendement (70%) kan bewerkstelligen. Tevens kan worden gesteld dat de verwijderingszekerheid bij ozon groter is dan bij poederkool en bij GAK. Bij poederkooldosering liggen de minimale verwijderingsrendementen lager dan bij ozon en liggen de maximale rendementen ook lager dan bij ozon.

3.4 Vergelijkende kosten

3.4.1 Kostenuitgangspunten vergelijking varianten

Voor het ramen van de vergelijkende kosten voor de maatregelen op de rwzi's, is uitgegaan van de onderstaande kengetallen voor ontwerp en kosten (bron: Doelmatigheidsanalyse zuiveringen HDSR; achtergronddocument, van 15 september 2017, referentie: SWNL0212830).

Ontwerpkengetallen:

· Ozon:		
° Ontwerp aanvullende technologie:	870	m^3/h (1,5 x DWA, 78% van jaardebiet)
° DOC	8,0	mg/l
° Bromide	<0,19	mg/l
° Dosering O_3	0,5-0,7*	mg O_3/mg DOC
° Dosering O_3 bij nageschakeld GAK	0,3-0,5*	mg O_3/mg DOC
° Conversie puur O_2 naar O_3	10	%
° Verblijftijd reactor:	15	min bij maximaal debiet
· PACAS:		
° Dosering PAK:	20	mg/m^3
° Extra slib:	15	%
· GAK-filter:		
° Oppervlaktebelasting	8	m/h

* O_3 dosering van 0,7 mg O_3/mg DOC is voor bepalen ontwerpcapaciteit. Hetzelfde geldt voor 0,5 mg O_3/mg DOC bij nageschakeld GAK. Werkelijke dosering is lager.

Kostenkengetallen (inclusief BTW):

· Slibeindverwerking	€ 200	/ ton ds
· Electriciteit	€ 0,12	/ kWh
· Personeel	€ 60.000	/ jaar
· Prijs poedervormig actiefkool	€ 2.000	/ ton, inclusief transport
· Prijs GAK	€ 1.100	/ ton
· Prijs O_2	€ 0,14	/ kg
· Investeringskosten opvoergemaal	€ 200.000	stuksprijs all in
· Opslagfactor bouwkosten:		1,7
· Kapitaalslasten / stichtingskosten (gemiddelde van C/W en E)	10 %	/ jaar maal investering
· Onderhoudslasten	1,5 %	/ jaar maal investering
· Nauwkeurigheid kosten	30 %	

3.4.2 Vergelijkende investerings- en jaarlijkse kosten van de varianten

De vergelijkende investeringskosten zijn geraamd voor de vier varianten en gegeven in Tabel 3-4. Hieruit blijkt dat de investering voor variant 2 (PACAS) met € 700.000,- het laagst is, gevolgd door variant 1 (Ozon oxidatie) met € 1.724.000,-. De varianten met GAK-filters zijn de veruit het meest kostbaar met investeringen van 5,2 tot 7 miljoen euro.

Tabel 3-4 Vergelijkende bouwkosten en investeringskosten per variant

	Variant 1 Ozon	Variant 2 PACAS	Variant 3 GAK	Variant 4 Ozon+GAK	Eenheid
Bouwkosten	1.015.000	412.000	3.080.000	4.095.000	€ excl. BTW
Investeringskosten	1.724.000	700.000	5.236.000	6.960.000	€ incl. BTW

De totale jaarlijkse kosten van variant 2 (PACAS) zijn het laagst, direct gevolgd door variant 1 (ozon oxidatie) waarvan de totale jaarlijkse kosten slechts 8% hoger zijn met ongeveer € 18.000 per jaar. Dit ligt binnen de onnauwkeurigheid van de kostenraming.

De onderverdeling tussen de vaste en de variabele jaarlijkse kosten van de verschillende varianten verschilt sterk. Wanneer gekeken wordt naar de jaarlijkse en de exploitatiekosten (zie Tabel 3-5), blijkt dat de verdeling van de vaste jaarlijkse kosten voor de varianten vergelijkbaar is met die van de investeringskosten.

Voor de totale variabele kosten ziet het er anders uit. Voor variant 1 (ozon oxidatie) zijn de kosten met bijna € 60.000 per jaar ongeveer tweeëneenhalf maal lager dan de jaarlijkse kosten voor variant 2 (PACAS), deze zijn € 152.000 per jaar. Ook variant 4 is met ruimt € 163.000 euro tweeëneenhalf maal zo hoog als variant 1. Variant 3 is op basis van de variabele jaarlijkse kosten het meest ongunstig.

De verschillen in de jaarlijkse variabele lasten worden met name veroorzaakt door de hoge inkoop kosten voor het actief kool.

Tabel 3-5 Vergelijkende vaste en variabele jaarlijkse kosten per variant (incl. BTW)

	Variant 1 Ozon	Variant 2 PACAS	Variant 3 GAK	Variant 4 Ozon+GAK	Eenheid
Vaste kosten					
Kapitaalskosten	173.000	70.000	524.000	697.000	€/jr
Onderhoud	14.000	7.000	79.000	93.000	€/jr
Totaal vaste kosten	187.000	77.000	603.000	790.000	€/jr
Variabele kosten					
Kosten elektriciteit	21.000	13.000	20.000	39.000	€/jr
Kosten actief kool	-	107.000	162.000	76.000	€/jr
Kosten ozon	31.000	-	-	27.000	€/jr
Kosten chemicalien	-	-	-	-	€/jr
Kosten personeel	8.000	5.000	6.000	14.000	€/jr
Extra kosten indikking	-	-	-	-	€/jr
Extra kosten slibontwatering	-	-	-	-	€/jr
Extra kosten slibeindverw.	-	27.000	-	-	€/jr
GAK afvoerkosten	-	-	15.000	7.000	€/jr
Totaal variabele kosten	60.000	152.000	203.000	163.000	€/jr
Totaal jaarlijkse kosten	247.000	229.000	806.000	953.000	€/jr
Per m^3*	0,07	0,07	0,24	0,28	€/m^3
Per i.e. à 150 g TZV**	3,4	3,2	11,2	13,2	€/i.e.

* *Uitgaande van 3.414.122 m^3/j behandeld afvalwater, overeenkomstig met 78% van het jaardebiet van RWZI Houten*

** *Uitgaande van het ontwerpdebiet van 72.000 i.e. a 150g TZV*

4 Evaluatie

4.1 Afwegingscriteria technologien

Op basis van de conclusies uit het STOWA rapport ‘Verkenning technologische mogelijkheden voor verwijdering van geneesmiddelen uit afvalwater (STOWA 2017-36) zijn vier varianten opgesteld en uitgewerkt. Deze vier varianten zijn vervolgens vergeleken op een aantal criteria. De afwegingscriteria en hun weging zijn door HDSR voorafgaand aan het proces benoemd.

De weging varieert tussen 1 en 5, waarbij de criteria met een weging van 5 het zwaarst wegen. De varianten worden beoordeeld met:

- Score 1: laag, ongunstig, negatief, hoog verbruik, grote nadelige invloed.
- Score 2: gemiddeld, niet hoog, niet laag.
- Score 3: hoog, gunstig, positief, laag verbruik, geen nadelige invloed, positieve invloed.

Tabel 4-1 Afwegingscriteria en weging

	Weging
People	
· Betrouwbaarheid techniek	2
· Veiligheid voor medewerkers rwzi	4
· Inpassing op terrein rwzi	4
· Extra personele inzet op rwzi nodig	2
Planet	
· Verwijdering 70% gidsstoffen over rwzi	5
· Verwijdering aandachtstoffen drinkwaterinnamepunt	4
· Verlaging biotoxiciteit effluent rwzi	4
· Bijvangst van overige micro's, microplastics, pathogenen en virussen	2
· Energieverbruik	4
· CO_2 footprint (levenscyclus of transport)	3
· Circulariteit	4
· Vorming van schadelijke metabolieten of Bromaat	5
· Operationele flexibiliteit	4
· Effect op effluentkwaliteit rwzi voor huidige lozingsnormen	5
Profit	
· Investeringskosten	5
· Exploitatiekosten	5
· Rijksbijdrage (procentueel)	5
· Ervaring op de markt	1
· Slibvorming	2

4.2 Afweging varianten en keuze voorkeursvariant

In Tabel 4-2 zijn de varianten beoordeeld op de afwegingscriteria en gewogen, onder de tabel zijn de beoordelingen toegelicht. Uit de weging komt variant 1 (ozon oxidatie) als beste naar voren met een score van 162. Vervolgens variant 2 (PACAS) met 147 en daarna variant 3 en 4 (beide met GAK) met respectievelijk 126 en 124.

De varianten met GAK (3 en 4) vallen voornamelijk af op basis van de kosten (profit). Zij behalen slechts 22 punten ten opzichte van 47 en 45 voor respectievelijk variant 1 en 2. Op basis van People zijn variant 1 en 2 ook gelijk, het verschil wordt gemaakt in de duurzaamheidscriteria (planet). Hier scoort variant 1 het best op de verwijderingszekerheid van de gidsstoffen, bijvangst, CO_2 footprint, circulariteit en operationele flexibiliteit. Op energieverbruik en vorming metabolieten scoort variant 2 juist beter.

Tabel 4-2 Afwegingscriteria en weging

	Variant 1 Ozon	**Variant 2 PACAS**	**Variant 3 GAK**	**Variant 4 Ozon +GAK**	**Weging**
People					
· Betrouwbaarheid techniek	3	3	3	3	2
· Veiligheid voor medewerkers rwzi	1	1	2	1	4
· Inpassing op terrein rwzi	2	2	2	2	4
· Extra personele inzet op rwzi nodig	2	2	2	1	2
Totaal People	22	22	26	20	
Planet					
· Verwijdering 70% gidsstoffen over rwzi	3	2	2	3	5
· Verwijdering aandachtstoffen drinkwaterinnamepunt	2	2	2	2	4
· Verlaging biotoxiciteit effluent rwzi	3	3	3	3	4
· Bijvangst van overige micro's, microplastics, pathogenen en virussen	2	1	2	2	2
· Energieverbruik	1	2	1	1	4
· CO_2 footprint (levenscyclus of transport)	2	1	1	1	3
· Circulariteit	3	1	2	2	4
· Vorming van schadelijke metabolieten of Bromaat	2	3	3	2	5
· Operationele flexibiliteit	3	2	1	2	4
· Effect op effluentkwaliteit rwzi voor huidige lozingsnormen	2	2	2	2	5
Totaal Planet	93	80	78	82	
Profit					
· Investeringskosten	2	3	1	1	5
· Exploitatiekosten	3	2	1	1	5
· Rijksbijdrage (procentueel)	3	3	1	1	5
· Ervaring op de markt	3	3	3	3	1
· Slibvorming	2	1	2	2	2
Totaal Profit	47	45	22	22	
Sommatie gewogen (hoog is gunstig)	162	147	126	124	
Volgorde varianten	1	2	3	4	

De criteria en de score ervan is hieronder nader toegelicht:

- People:
  - De betrouwbaarheid van de technologieën en de inpassing op het terrein is niet onderscheidend. De technologieën in de varianten zijn vooraf geselecteerd op basis van betrouwbaarheid (zie paragraaf 2.6). Er is voldoende ruimte de technologieën te realiseren op het terrein van RWZI Houten.
  - Bij veiligheid voor medewerkers rwzi is gekeken naar het gebruik van hulpstoffen. Bij GAK is dit in de vorm van granulair actief kool in een filter. Dit is beoordeeld als het meest veilig. Geen van de technologieën zal een onacceptabel risico opleveren voor de veiligheid van de medewerkers van HDSR.
    - Rondom de voorraadtank van PACAS worden ATEX-procesonderdelen gerealiseerd en wordt N_2-gas gebruikt voor injectie in de silo ter voorkoming van stofexplosies.
    - Bij de Ozon installatie wordt op meerder plaatsen de concentratie O_3 gemeten. De bovenlucht van de tank wordt afgezogen en via een O_3 destructor geleid ter voorkoming van O_3 ontsnapping.
  - Omdat er in de variant met Ozon en GAK twee nieuwe technologieën gerealiseerd worden, zal hier de inzet van het personeel hoger zijn dan bij de andere drie varianten met slechts één technologie.
- Planet:
  - Verwijdering aandachtstoffen drinkwaterinnamepunt, verlaging biotoxiciteit effluent rwzi en effect op effluentkwaliteit rwzi voor huidige lozingsnormen zijn niet onderscheidend voor de vier varianten.
    - Op basis van de metingen is de verwijdering van AMPA het meest belangrijk voor de aandachtstoffen. Hier zijn echter geen resultaten van bekend. Van de drie gidsstoffen die waternet hoogste maximale concentraties hebben (zie paragraaf 2.3), lijkt PACAS voor twee ervan het meest zeker dat deze boven de 70% verwijderd zullen worden (zie paragraaf 3.3), echter is de bovenzijde van de range voor alle drie even hoog.
    - Op basis van literatuur zijn er aanwijzingen dat de technologieën een positief effect op de verlaging van de biotoxiciteit hebben.
    - De technologieën hebben geen negatief effect op de huidige effluentkwaliteit.
  - Verwijdering 70% gidsstoffen over rwzi is voor ozon het meest positief beoordeeld omdat hier de verwijderingszekerheid als grootst wordt verwacht, zie paragraaf 3.3.
  - Bijvangst van overige micro's, microplastics, pathogenen en virussen; bij PACAS is er geen bijvangst, dit is voor de andere technologieën wel het geval.
  - Energieverbruik is voor de PACAS-technologie het laagst, in deze variant is het niet nodig het effluent op te pompen.
  - CO_2 footprint; hier is gekeken naar aanvoer van hulpstoffen. Deze is voor de varianten met actief kool negatief beoordeeld.
  - Circulariteit; hier is vooral gekeken naar het gebruik van grondstoffen. Bij de varianten met actief kool is de score slechter dan de variant met Ozon, waarbij GAK positiever is dan PACAS, omdat hier de mogelijkheid is om het actief kool te regenereren waardoor hergebruik mogelijk is.
  - Vorming van schadelijke metabolieten of Bromaat; hier zijn de varianten zonder ozon positiever (score 3) beoordeeld. Omdat de gemeten waarde voor bromide en Bromaat onder het detectielimiet is in het analyseprogramma (respectievelijk <0,20 mg/l en <10 µg/l) is het risico op Bromaatvorming ingeschat als laag.
  - Bij operationele flexibiliteit is gekeken in hoeverre flexibel omgegaan kan worden met de installatie met het oog op verwijderingsrendement en operationele kosten. Bij de varianten met ozon en PACAS kan de dosering van respectievelijk ozon en

poederkool worden aangepast. Bij ozon kan daarnaast ook gevarieerd worden in het te behandelen effluent, hierdoor is deze variant het positiefst beoordeeld.

- Profit:
  - Investeringskosten; de investeringskosten voor PACAS zijn veruit het laagst, gevolgd door ozon. De investering voor de varianten met GAK is het hoogst.
  - Exploitatiekosten; de exploitatiekosten voor ozon zijn veruit het laagst, gevolgd door PACAS. De exploitatiekosten voor de varianten met GAK is het hoogst.
  - Rijksbijdrage (procentueel); de rijksbijdrage is € 0,07 per $m^3_{behandeld}$ gedurende 3 jaar. Afgerond zijn de jaarlijkse kosten voor de varianten ozon en PACAS ook gelijk aan € 0,07 per $m^3_{behandeld}$. Voor de varianten met GAK ligt dit veel hoger (€ 0,24 – 0,28 per $m^3_{behandeld}$.
  - Ervaring op de markt; de varianten zijn gekozen op basis van bestaande ervaring op de markt, waardoor dit criterium niet onderscheidend is voor de varianten.
  - Slibvorming; bij PACAS wordt het gedoseerde poederkool afgevoerd via het spuislib. Dit heeft effect op de verdere verwerking van het slib op RWZI Houten en elders. De andere varianten zijn nageschakeld en hebben geen effect op het zuiveringsproces van RWZI Houten of de slibverwerking.

5 Globale dimensionering O_3-installatie

In dit hoofdstuk is een voorlopige dimensionering van de ozon installatie opgesteld met een PFD en een mogelijke lay-out.

5.1 Opvoergemaal

Na de inbreng van effluentleiding Ø 700 mm in effluentleiding Ø 800 mm bij de afloop van nabezinktank 3 wordt voorgesteld een nat opvoergemaal te implementeren die het gewenste debiet op zodanig minimale opvoerhoogte pompt dat na de O_3-installatie het behandelde effluent onder vrijverval achter het opvoergemaal in effluentleiding kan worden geretourneerd.

· Opstelling en type	nat, centrifugaal	
· Vereiste pompcapaciteit:	870	m^3/h
· Aantal en capaciteit opvoerpompen	2 x 600	m^3/h

5.2 O_2-opslag

Pure zuurstof wordt aangevoerd en opgeslagen in een geïsoleerde tank. De exacte opslag varieert per leverancier. Voor RWZI Houten is uitgegaan van een standaard tank van 30 m^3. Deze opslagtank zit meestal in een huurcontract met de leverancier.

· Maximale O_2 vraag:	50	kg vloeibaar O_2/h
· Minimale opslagtijd:	7	d
· Minimaal benodigde opslagvolume:	± 15	m^3
· Standaard volume opslag:	30	m^3
· Minimale opslagtijd:	19	d

5.3 O_3-generatoren

Twee ozon generatoren zetten pure zuurstof voor een gedeelte via elektrodes om naar ozon. De ozongenerator is een volledige autonome M/E&I-package-unit.

· Voeding:	17,5	Nm^3 vloeibare O_2
· Maximale specifieke O_3 verbruik:	0,7	mg O_3/mg DOC
· Maximale capaciteit:	5	kg O_3/h
· Minimale capaciteit:	0,4	kg O_3/h
· Aantal en capaciteit O_3 generatoren:	2x 2,5	kg O_3/h
· Energieconsumptie:	8,7	kWh/kg
· Minimale behuizing:	6 x 3	m (inclusief 1 m loopruimte)
· Inbreng O_3 in effluent:	via venturi of keramische elementen	
· Waterkoeling:	15	kWh

5.4 O_3-reactor

De O_3-reactor is een betonnen reactor en heeft een 2-straten uitvoering met een propstroomconfiguratie voor de tanks, waardoor de lengte-breedte verhouding met 8,4 groot is. De tanks worden gerealiseerd als een gasdicht bouwwerk. Boven het wateroppervlakte in de tank wordt een vacuum gecreerd. Rest-ozon-luchtmengsel wordt via een druppelvanger (demister) naar een ozon vernietiger geleid. Deze staat in dezelfde ruimte als de ozon generatoren.

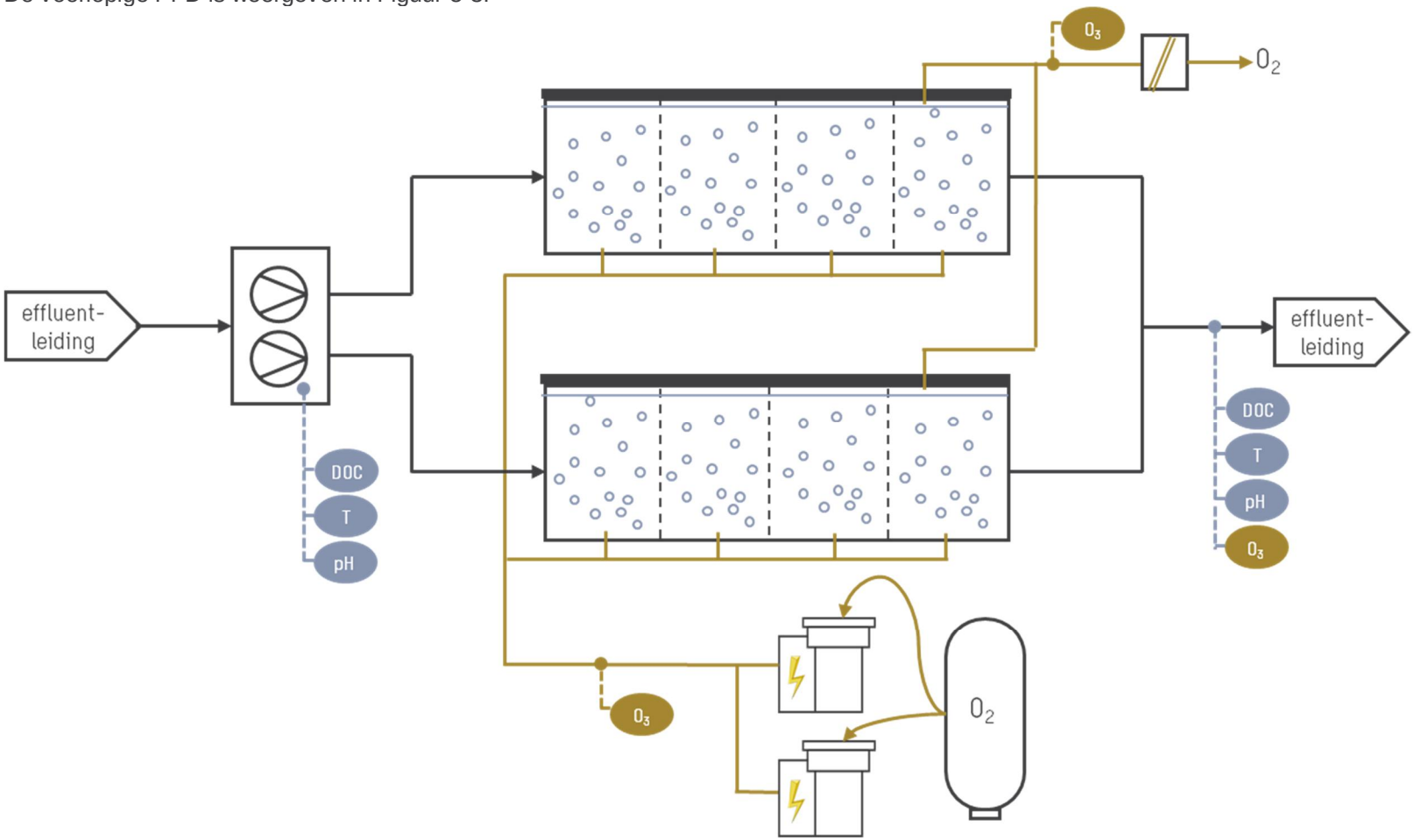
· Volume O_3-reactor:	220	m^3
· Volume per O_3-straat:	110	m^3
· Contacttijd bij max. debiet	15	min
· Waterdiepte diepte:	5,25	m
· Contactdiepte O_3:	5	m
· Lengte straat:	13,5	m
· Breedte straat:	1,6	m
· Afdekking:	volledig	
· Lucht na O_3-vernietiger:	< 0,1 O_3	ppm

Figuur 5-1 Ozongenerator, buitenkant (bron: Xylem)

Figuur 5-2 Ozongenerator, binnenkant (bron: Xylem)

5.5 Voorlopige Proces Flow Diagram (PFD)

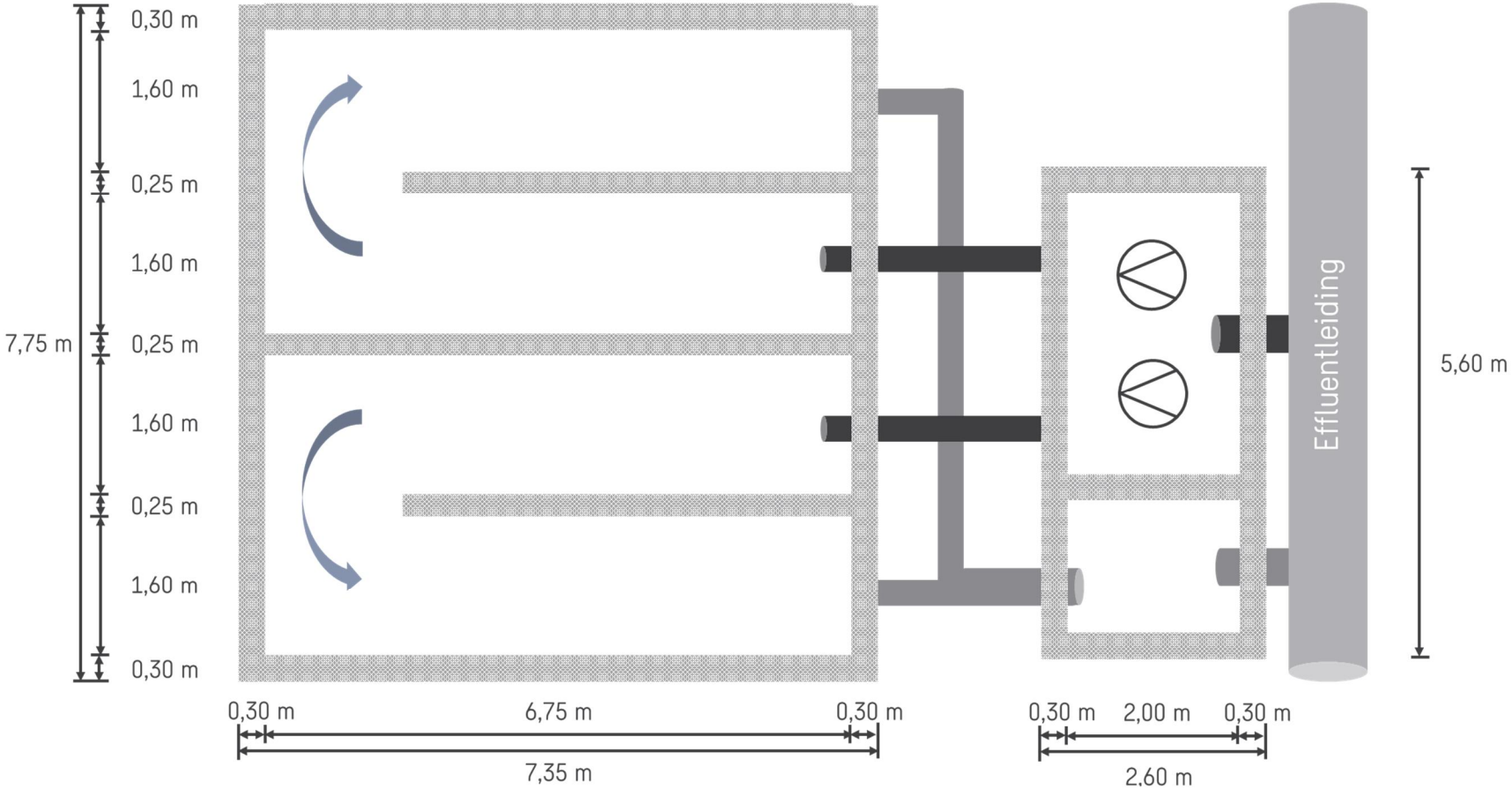
De voorlopige PFD is weergeven in Figuur 5-3.



Figuur 5-3 Voorlopige PFD

5.6 Voorlopige Civiele lay-out

De voorlopige Civiele lay-out is weergeven in Figuur 5-4.



Figuur 5-4 Voorlopige Civiele Lay-out

5.7 Indicatieve kostenraming Ozon-installatie

Een indicatieve kostenraming en de jaarlijkse kosten van de Ozon-installatie zijn gegeven in respectievelijk Tabel 5-1 en Tabel 5-2. Het betreft hier een kostenraming op Systeemkeuze/ Voorontwerp-niveau. De gepresenteerde kosten hebben een nauwkeurigheid van 30 %.

Hierbij zijn voor de indicatieve kostenraming de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Civiele werken:
  - Palenplan analoog aan de bestaande anaerobe reactor, lengte palen van 15 m;
  - Bodemplaat heeft een dikte van 500 mm;
  - Buitenwanden hebben een dikte van 300 mm;
  - Binnenwanden hebben een dikte van 250 mm
  - Afdekkingsplaat heeft een dikte van 300 mm
  - Behuizing van W/E&I voorzieningen in (prefab/container) gebouw bovenop reactor;
  - Grondwerk en grondwateronttrekking is nog niet duidelijk vooralsnog best guess
- Werktuigbouwkundige/ E&I/PA werken:
  - Pompen opvoergemaal op basis kostenkengetallen leveranciers;
  - Leidingen op basis kostenkengetallen Sweco;
  - O_3-installatie op basis kostenkengetallen Sweco Duitsland en Xylem;
  - E&I en PA op basis van kostenkengetallen Sweco Duitsland en percentage W-werken;
  - Er wordt voldoende beschikbare E-capaciteit verondersteld;
  - Locatie van de E-kasten dient nog te worden vastgesteld.

De berekening van de indicatieve vaste jaarkosten is gebaseerd op de volgende aanvullende kengetallen. De variabele jaarkosten zijn gelijk aan Tabel 3-5.

- Technische levensduur
  - Civiel: 30 jaar
  - Mechanisch en elektrisch: 15 jaar
  - Procesautomatisering: 10 jaar
- Rekenrente: 3 %
- Afschrijving: annuïtair
- Onderhoudskosten civiel 0,5 % / jaar maal bouwkosten
- Onderhoudskosten WTB & E 3 % / jaar maal kosten

Tabel 5-1: Indicatieve kostenraming O_3-installatie RWZI Houten (in €)

Bouwkosten	
Civiele werken	
Opvoergemaal	30.000
O_3-reactor	110.000
O_2-fundering	10.000
Bedrijfsgebouw	75.000
Grondwerk	20.000
Grondwateronttrekking	50.000
Subtotaal	**295.000**
Werktuigbouwkundige werken	
Opvoerpompen	30.000
Leidingen 300 mm	25.000
O_3-package	375.000
Subtotaal	**430.000**
E&I werken	
Instrumentatie	50.000
E/M&R techniek	235.000
Subtotaal	**285.000**
Subtotaal Bouwkosten Civiel, WTB, E&I	**1.010.000**
15 % onvolledigheidstoeslag	151.500
Totaal Bouwkosten	**1.161.500**
Toeslagen	
Advieskosten, Engineeringskosten, Bijkomende kosten, Inrichtingskosten, Onvoorzien, BTW	
Totaal Toeslagen (factor 0,6)	**696.900**
Totaal Indicatieve Kostenraming	**1.858.400**
Totaal (afgerond)	**1.850.000**

Tabel 5-2 Indicatieve vaste en variabele jaarlijkse kosten O_3-installatie RWZI Houten

		Eenheid
Vaste kosten		
Kapitaalskosten	142.000	€/jr
Onderhoud	27.000	€/jr
Totaal vaste kosten	169.000	€/jr
Variabele kosten		
Kosten elektriciteit	21.000	€/jr
Kosten actief kool	-	€/jr
Kosten ozon	31.000	€/jr
Kosten chemicalien	-	€/jr
Kosten personeel	8.000	€/jr
Extra kosten indikking	-	€/jr
Extra kosten slibontwatering	-	€/jr
Extra kosten slibeindverw.	-	€/jr
GAK afvoerkosten	-	€/jr
Totaal variabele kosten	60.000	€/jr
Totaal jaarlijkse kosten	229.000	€/jr
Per m^3*	0,07	€/m^3
Per i.e. à 150 g TZV**	3,2	€/i.e.

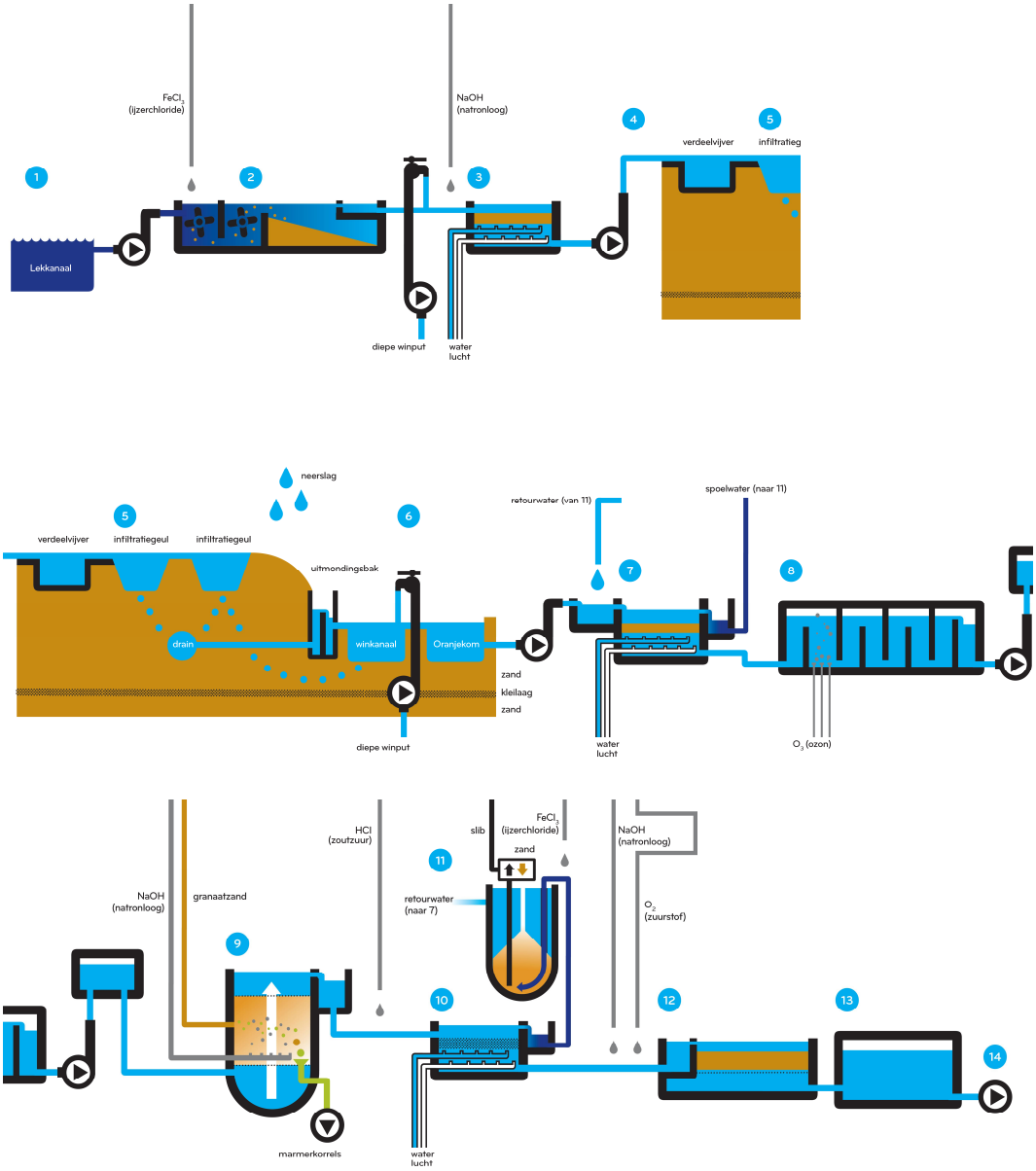
* *Uitgaande van 3.414.122 m^3/j behandeld afvalwater, overeenkomstig met 78% van het jaardebiet van RWZI Houten*

** *Uitgaande van het ontwerpdebiet van 72.000 i.e. a 150g TZV*

Bijlage 1. Zuiveringsproces drinkwaterlocatie Leiduin

In onderstaand schema zijn de veertien stappen van het zuiveringsproces van duinwater tot kraanwater van productielocatie Leiduin. De nummers in het schema verwijzen naar de verschillende stappen:

1. Inname rivierwater
2. Coagulatie
3. Snelle zandfiltratie
4. Transport
5. Infiltratie
6. Winning
7. Snelle zandfiltratie
8. Ozonisatie
9. Ontharding
10. Koolfiltratie
11. Spoelwaterbehandeling
12. Langzame zandfiltratie
13. Opslag
14. Transport en distributie



Bijlage 2. Analyseprogramma

	influent	effluent
11 gidsstoffen		
Carbamazepine	x	x
Propranolol	x	x
Trimethoprim	x	x
Metoprolol	x	x
Benzotriazool	x	x
Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool	x	x
Hydrochloorthiazide	x	x
Sulfamethoxazol	x	x
Diclofenac	x	x
Claritromycine	x	x
Sotalol	x	x
Ten behoeve van ontwerp		
DOC	-	x
Bromide	-	x
Bromaat	-	x
Chroom (III en IV)	-	x
Aandachtstoffen innamepunt		
EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur)	-	x
Glyfosaat	-	x
AMPA	-	x
Bisfenol A	-	x
N,N-dimethylsulfamide*	-	-

* N,N-dimethylsulfamide is door Waternet aangegeven als probleemstof.
Echter door hoge analysekosten (voorlopig) niet opgenomen in analyseprogramma

Bijlage 3. Resultaten meetronde augustus, september en oktober 2018

	Monstername 1			Monstername 2			Monstername 3			Monstername 4			Monstername 5		
	31-8-2018 t/m 2-9-2018			10-9-2018 t/m 12-9-2018			15-9-2018 t/m 17-9-2018			21-9-2018 t/m 23-9-2018			29-9-2018 t/m 1-10-2018		
Dag van de week	vr t/m zo			ma t/m wo			za t/m ma			vr t/m zo			za t/m ma		
	31-8 t/m 1-9	1-9 t/m 2-9		10-9 t/m 11-9	11-9 t/m 12-9		15-9 t/m 16-9	16-9 t/m 17-9		21-9 t/m 22-9	22-9 t/m 23-9		29-9 t/m 30-9	30-9 t/m 1-10	
Debiet rwzi in m3/dag	7065	7369		7546	7203		8187	8835		7318	10526		7402	7982	
	influent	effluent		influent	effluent		influent	effluent		influent	effluent		influent	effluent	
11 gidsstoffen			64%			63%			50%			36%			
Carbamazepine (ug/l)	0,94	0,55	41%	0,94	0,61	35%	0,8	0,82	-2%	0,85	0,81	5%	0,71	0,7	1%
Propranolol (ug/l)	nb	nb		nb	nb		nb	nb		nb	nb		nb	nb	
Trimethoprim (ug/l)	0,12	0,01	92%	0,14	0,02	86%	0,14	0,02	86%	<0,10	0,02		0,1	0,06	40%
Metoprolol (ug/l)	1,4	0,73	48%	1,9	0,86	55%	1,8	0,83	54%	1,3	0,66	49%	1,6	1,1	31%
Benzotriazool	nb	5,4		nb	4,6		nb	7,3		nb	7,5		nb	6,1	
Mengsel van 4- en 5-methylbenzotriazool (ug	nb	nb		nb	nb		nb	nb		nb	nb		nb	nb	
Hydrochloorthiazide (ug/l)	<1,0	0,53		2,2	0,8	64%	2,2	1,3	41%	1,0	0,69	31%	5,9	4,8	19%
Sulfamethoxazol (ug/l)	1,1	0,14	87%	0,87	0,11	87%	0,7	0,13	81%	0,62	0,14	77%	0,42	0,09	79%
Diclofenac (ug/l)	0,57	0,27	53%	0,68	0,35	49%	0,73	0,48	34%	0,42	0,43	-2%	0,43	0,4	7%
Claritromycine (ug/l)	<0,10	0,03		<0,10	0,04		<0,10	0,06		<0,10	0,04		0,13	0,04	69%
Sotalol (ug/l)	1,2	0,45	63%	1,3	0,47	64%	1,2	0,5	58%	1,0	0,46	54%	0,64	0,55	14%
Ten behoeve van ontwerp															
DOC (mg/l)		7,14			7,59			8,59			7,98			8,43	
Bromide (mg/l)		<0,20			<0,20			<0,20			<0,20			<0,20	
Bromaat (ug/l)		<10			<10			<10			<10			<10	
Chroom totaal (ug/l)		<0,5			<0,5			<0,50			0,69			0,58	
Aandachtsstoffen innamepunt															
EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur)	<100	<100		<100	<100		<100	<100		<100	<100		<100	<100	
AMPA (ug/l)		2,9			2,7			5,6			3,1			3,2	
Glyfosaat (ug/l)		<1			<1			0,24			<1			<1	
Bisfenol A		nb			nb			nb			nb			nb	

Resultaten Propranolol, Benzotriazool, mengsel 4- en 5- methylbenzotriazool en bisfenol A zijn niet ontvangen

Bijlage 4. Resultaten meetronde september 2017

LABNR	TYPE	WS	Monsterpunt	carbamazepine	claritromycine	diclofenac	ibuprofen	sulfamethoxazol	lincomycine	metformine	Acetylsulfamet-hoxazole	atenolol	azitromycine	capectiabine	furosemide	gemfibrozil	ifosfamide	jomeprol	naproxen	paracetamol	losartan	metoprolol	sotalol	trimethoprim	Amidotrizoïne-zuur	valsartan
1729770	Inf	HDSR	Houten	1,1	0,23	0,87	17	1,3	<1	130	0,84	1,1	0,29	0,19	3,7	0,94	<0,1	<10	9,9	340	1,8	2,6	3,9	0,33	< 0,5	5,9
1729771	Eff	HDSR	Houten	0,83	0,07	0,67	<0,5	0,31	<0,1	1,9	<0,01	0,1	0,31	<0,01	2,1	0,06	<0,01	<1	0,16	<0,01	0,18	1,1	2	0,06	< 0,05	0,49
1729812	-	HDSR	Amsterdam Rijn Kanaal inlaat (Utrecht)	0,05	<0,01	0,01	<0,5	0,05	<0,1	0,52	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<1	<0,05	0,03	<0,01	0,07	0,04	< 0,01	0,23	0,06
1729816	-	HDSR	intrekwater w01 Oude Rijn te Woerden	0,01	<0,01	<0,01	<0,5	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<1	<0,05	0,06	<0,01	<0,02	0,01	<0,01	0,02	<0,01
1729817	-	WSVV	Eem inlaat (Rijnwater) a289931	0,08	0,01	0,07	<0,5	0,05	<0,1	0,34	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,13	0,02	<0,01	<1	<0,05	0,06	<0,01	0,19	0,23	<0,01	<0,01	0,12
1729821	-	Waternet	intrekwater Nieuwegein	0,05	<0,01	0,01	<0,5	0,04	<0,1	0,6	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<1	<0,05	0,02	<0,01	0,07	0,03	<0,01	0,21	0,05

Ivermectine, oxytetracycline, amiodarone, cyclofosfamide en simvastatine zijn niet boven detectielimiet aangetroffen.