

KRW-MAATREGELEN VOOR NUTRIËNTENVERWIJDERING IN DE AFVALWATERKETEN



RAPPORT

2024
27

KRW-MAATREGELEN VOOR NUTRIËNTENVERWIJDERING
IN DE AFVALWATERKETEN

RAPPORT

2024

27

ISBN 978.94.6479.062.7



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Paul Deng (RHDHV)
Winnie Hoogendoorn (RHDHV)
Jimmy van Opijnen (RHDHV)
Laura Piai (RHDHV)
Arnoud de Wilt (RHDHV)
Coen de Jong (Witteveen+Bos)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Bob van Es (Waterschap Vechtstromen)
Wobke Gerritse (Waterschap Rivierenland)
Koen van Gijn (Waterschap Rijn en IJssel)
Arjen van Nieuwenhuizen (Witteveen+Bos)
Mariska Ronteltap (Hoogheemraadschap van Delfland)
Ruud Schemen (Waterschap de Dommel)
Cora Uijterlinde (STOWA)
Henry van Veldhuizen (Waterwaarde)
Marlies Verhoeven (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden)
Andries Vonken (Waterschapsbedrijf Limburg)

FOTO OMSLAG rwzi Amersfoort (fotograaf Evert van de Worp)

VORMGEVING Buro Vormvast

STOWA STOWA 2024-27

ISBN 978.94.6479.062.7

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

Dit rapport geeft een geactualiseerde inventarisatie van KRW-maatregelen voor nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen. Deze inventarisatie kunnen de waterschappen gebruiken bij het maken van een selectie van de te nemen maatregelen om de oppervlaktewaterkwaliteit dichterbij het KRW-doel te brengen.

Sinds 2005 is de Kaderrichtlijn Water van kracht. Rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) hebben een impact op de oppervlaktewaterkwaliteit omdat ze hierop effluent lozen. Afhankelijk van welke rwzi het betreft kan de impact op de oppervlaktewaterkwaliteit uiteenlopen van verwaarloosbaar tot allesbepalend. Voor rwzi's betekent dit concreet dat er op diverse locaties in Nederland verbeteringen nodig zijn op het vlak van stikstof en fosforverwijdering.

Dit rapport inventariseert en presenteert de maatregelen die nu voorhanden zijn om stikstof en fosforverwijdering te verbeteren, daarbij wordt inzicht verschaft in kosten en CO₂-footprint bij toepassing op verschillende schaalgrootten. Met beslisschema's wordt duiding gegeven aan de volgorde waarin de verschillende soorten maatregelen in de afvalwaterketen het beste kunnen worden genomen.

Er is landelijk behoefte aan duiding rondom wat een doelmatige inspanning is die in de afvalwaterketen mag worden verwacht op het vlak van de nutriëntenverwijdering. In dit rapport wordt geadviseerd hier duiding aan te geven middels een definitie van best beschikbare technieken (BBT/BBT+) voor communale rwzi's.

Dit rapport is te gebruiken als een richtinggevend instrument en kan helpen om een voorselectie te maken bij de te overwegen maatregelen. Daarnaast kan met dit rapport snel een indicatie worden verkregen voor kosten en CO₂-footprint. Een locatie-specifieke studie naar de te nemen maatregelen per rwzi blijft wel nodig. Geadviseerd wordt om in deze studies maatregelen voor stikstof- en fosforverwijdering steeds in samenhang te beschouwen met de eisen die zullen voortkomen uit de herziene Europese richtlijn voor de behandeling van stedelijk afvalwater, met name de toekomstige eisen rondom medicijnrestenverwijdering zijn hierbij relevant.

In 2027 dienen de Nederlandse oppervlaktewateren aan de KRW te voldoen. Er zijn tot die tijd beperkte verwachtingen van innovaties die impact kunnen maken op het vlak van nutriëntenverwijdering in de afvalwaterketen, daarom is het zaak dat in de komende jaren de mogelijkheden die nu voorhanden zijn worden benut om de doelen van de KRW te helpen realiseren.

Mark van der Werf
Directeur STOWA

NOMENCLATUUR

Afkorting	Beschrijving
CZV	Chemisch zuurstofverbruik
BZV ₅	Biologisch zuurstofverbruik (na 5 dagen)
NKj-N	Kjeldahl-stikstof
N-totaal	Totaal-stikstof
P-totaal	Totaal-fosfor
OB	Onopgeloste bestanddelen
DON	Organisch opgelost stikstof (N _{org-opgelost})
DOP	Organisch opgelost fosfor (P _{org-opgelost})
SON	Organisch niet opgelost stikstof (N _{org-particulair})
SOP	Organisch niet opgelost fosfor (P _{org-particulair})
DWA	Droogweeraanvoer
RWA	Regenweeraanvoer
VFA	Vluchtige vetzuren (<i>volatile fatty acids</i>)
TRL	Technology Readiness Level. Een maat voor de technische volwassenheid van een techniek

SAMENVATTING

De voornaamste wetgeving over de kwaliteit van het oppervlaktewater is de Kaderrichtlijn Water (KRW). De kwaliteit van het oppervlaktewater wordt door vele factoren en actoren beïnvloed. Eén daarvan zijn de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). Rwzi's lozen gezuiverd rioolwater (effluent) op het oppervlaktewater. Dit rapport brengt het handelingsperspectief in kaart om de effluentkwaliteit van rwzi's te verbeteren, ten behoeve van de KRW-doelen voor stikstof en fosfor in het oppervlaktewater. Hierbij worden maatregelen in de aanvoerstelsels naar de rwzi's en op de rwzi's zelf beschouwd.

Het rapport bespreekt de haalbare kwaliteit vanuit rwzi's voor de verschillende fracties van stikstof en fosfor, en geeft een overzicht van meer dan 25 geïdentificeerde maatregelen om de kwaliteit te verbeteren. Deze maatregelen zijn in te delen in vier categorieën: het aanvoerstelsel, de hoofdzuivering, de deelstroombehandeling en de nabehandeling. Van alle maatregelen zijn aspecten als kosten, CO₂ footprint en ruimtebeslag inzichtelijk gemaakt. Daarnaast is richting gegeven aan een optimale volgorde van het toepassen van deze maatregelen (van lage naar hogere kosten, van meest duurzaam naar minder duurzaam). Voor de meest kansrijke maatregelen is per maatregel een factsheet opgesteld waarin relevante informatie over de maatregel is opgenomen. Het rapport bevat beslismomen om per locatie te komen tot (combinaties van) maatregelen die nader kunnen worden onderzocht.

Let op: De precieze maatregelen die uiteindelijk het meest geschikt zijn kunnen per locatie verschillen omdat ze afhankelijk zijn van de bestaande situatie. Dit detailniveau kan niet in deze studie worden gevangen, daarom dient per locatie altijd nog een nadere afweging in meer detail te worden gemaakt. Dit rapport dient te worden gezien als richtinggevend, en kan bijvoorbeeld helpen bij het maken van een inventarisatie en voorselectie van potentiële maatregelen voor een locatie.

Uitkomst van de studie is dat in algemene zin gesteld kan worden dat maatregelen in de hoofdzuivering het meest kosteneffectief en duurzaam zijn. Het laaghangend fruit is de optimalisatie van de processturing en beperkte werktuigbouwkundige ingrepen. Deze maatregelen richten zich op het uitnutten van de bestaande bouwwerken en vereisen dus geen bouwkundige uitbreiding. Bijkomend voordeel is dat een optimale processturing veelal resulteert in het reduceren van lachgasemissies (N₂O). Voor een optimaal aangestuurde rwzi is de volgende stap in de verbetering van de effluentkwaliteit de vergroting van de biologische zuiveringscapaciteit van de hoofdzuivering, hiervoor zijn diverse maatregelen voorhanden. Enkele maatregelen in de hoofdzuivering waarmee de verwijdering van stikstof verbetert, kunnen een (beperkt) negatief effect hebben op de verwijdering van fosfor en vice versa.

Om aan de eisen van de KRW te voldoen zal het voor diverse locaties nodig zijn om naast een optimaal aangestuurde rwzi met voldoende capaciteit in de hoofdzuivering ook een nabehandeling toe te passen. De KRW-eisen vertalen zich voor sommige rwzi's namelijk door in een effluentkwaliteit die alleen met een hoofdzuivering niet te bereiken is. Met een nabehandeling kan een nog betere effluentkwaliteit op stikstof en fosfor behaald worden waardoor veelal wel kan worden voldaan aan de KRW-eisen.

Voor locaties met een (centrale) slibgistingsinstallatie zoals energiefabrieken dient aandacht geschonken te worden aan het behandelen van deelstromen die uit de slibgistingsinstallaties vrijkomen. Zonder deelstroombehandeling zal het daar in de meeste gevallen niet lukken een goede effluentkwaliteit te behalen.

Maatregelen in het aanvoerstelsel kunnen een aanvullende bijdrage leveren in het verbeteren van de effluentkwaliteit. Bijvoorbeeld het voorkomen van pieklozingen die veelal tijdens regenweer voorkomen, of meer grip op het influent krijgen door het verminderen van industriële lozingen. Maatregelen in het aanvoerstelsel zijn doorgaans enkel in gezamenlijkheid met andere stakeholders zoals gemeenten en industrieën uit te voeren. De doorlooptijd van deze maatregelen is daardoor relatief lang omdat de onderlinge afstemming tussen stakeholders meestal de nodige tijd vereist en de investeringshorizon voor maatregelen in het aanvoerstelsel lang is.

Met de in dit rapport beschouwde maatregelen is op rwzi's een effluentkwaliteit te bereiken van ca. 2 – 4 mg N/l en 0,2 – 0,4 mg P/l (bij geoptimaliseerde hoofdzuivering en nabehandeling). De bandbreedte die hier wordt genoemd heeft verband met de afvalwatersamenstelling, het aanvoerpatroon en de invloed van regenweercondities op de rwzi. Deze kunnen gunstig of ongunstig zijn en zo invloed hebben op de prestaties.

Het verbeteren van de effluentkwaliteit ten behoeve van KRW-doelstellingen op stikstof en fosfor zal in vrijwel alle gevallen resulteren in het ook voldoen aan de eisen voor stikstof en fosfor van de Richtlijn Stedelijk Afvalwater. De geïdentificeerde maatregelen voor stikstof- en fosforverwijdering hebben slechts een beperkt effect op medicijnrestenverwijdering. Om medicijnrestenverwijdering te bereiken is een aanvullende zuiveringsstap vereist.

Bij het afwegen van KRW-maatregelen wordt aanbevolen een doorkijk te maken naar de invloed die de Richtlijn Stedelijk Afvalwater zal hebben op de eisen die in de toekomst aan rwzi's worden gesteld, met name voor medicijnrestenverwijdering. Het integraal bekijken van de huidige opgave voor nutriënten en de toekomstige opgave voor medicijnresten reduceert de kans op desinvesteringen en niet duurzame oplossingen. Naast de eisen die aan medicijnrestenverwijdering worden gesteld, wordt er in de richtlijn ook gesproken over o.a. water hergebruik, grondstoffenwinning en energieneutraliteit. Hierbij kunnen kansen voor synergie ontstaan.

Er zijn situaties waarbij de rwzi de voornaamste reden is dat het doel in het KRW-lichaam niet wordt gehaald. Bijvoorbeeld als vrijwel al het water uit een beek afkomstig is uit de rioolwaterzuivering, en de effluentkwaliteit die door de rioolwaterzuivering wordt geleverd niet voldoende is om de KRW-norm te halen. De normen kunnen zo scherp zijn, dat de inspanning die moet worden geleverd om de rwzi aan te passen buiten de bestaande kaders van de praktijk van municipale afvalwaterzuivering in Nederland ligt. De vraag moet worden gesteld in welke mate een aanpassing in termen van kosten en duurzaamheid nog in proportie is tot het doel wat voor de KRW wordt nagestreefd. Er wordt geadviseerd om hieraan (landelijk) duiding te gaan geven middels een definitie van best beschikbare technieken (BBT) voor municipale rioolwaterzuivering voor N- en P-verwijdering (BBT/ BBT+).

De innovaties die tot aan 2027 worden verwacht voor de beschikbare technieken voor nutriëntenverwijdering zijn beperkt. Geadviseerd wordt daarom om met de bestaande technieken en maatregelen plannen uit te werken om de KRW-doelen te realiseren. Dit rapport vormt een overzicht van deze technieken en maatregelen.

STOWA IN HET KORT

HOE WE WERKEN

STOWA is het kennis- en innovatiecentrum voor regionale waterbeheerders in Nederland; de waterschappen en provincies. We helpen ze met het verkrijgen van nieuwe kennis en inzichten die nodig zijn om de opgaven van de regionale waterbeheerders beter te kunnen uitvoeren. Dat doen we door kennisvragen te formuleren en te selecteren in programmacommissies. We zetten ons onderzoek uit bij een keur aan experts, adviesbureaus, instituten en universiteiten, die we begeleiden tijdens hun werk. We zorgen voor de beschikbaarstelling en verspreiding van de kennis, inzichten en antwoorden aan de gezamenlijke waterbeheerders. We stimuleren de uitwisseling van kennis en ervaringen, via bijeenkomsten, werkgroepen, excursies, conferenties en communities of practice. We werken samen met onder andere ministeries, Rijkswaterstaat, gemeenten, drinkwaterbedrijven.

WAT WE ONDERZOEKEN

Inhoudelijk richt Stowa zich op alle onderdelen van waterbeheer, van waterkering en stedelijk waterbeheer tot waterzuivering en watersystemen. Belangrijke thema's daarbij zijn klimaatadaptatie, waterveiligheid, waterkwaliteit en ecologie, energietransitie en circulaire economie.

De kennisvragen die Stowa beantwoordt liggen meestal op technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied. Onze kennis is altijd gericht op de praktijk van regionale waterbeheerders. Dat is waar we voor staan, als Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

WIE WE ZIJN

STOWA is als kennisorganisatie onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan regionale waterbeheerders zelf te bepalen hoe ze de kennis van Stowa in de praktijk gebruiken. STOWA kan daarbij een rol spelen als adviseur, maar is geen uitvoerder of regisseur.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast de cijfermatige jaarrekening onder meer ook een directieverslag over de stichting, haar activiteiten en kentallen opgenomen.

KRW-MAATREGELN VOOR NUTRIËNTENVERWIJDERING IN DE AFVALWATERKETEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	NOMENCLATUUR	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding en doel	1
	1.2 Afbakening	1
	1.3 Werkwijze	2
	1.3.1 Selectie van maatregelen	2
	1.3.2 Uitwerking in rapportage en factsheets	2
	1.4 Leeswijzer	4
2	UITGANGSPUNTEN	5
	2.1 Referentiezuiseringen	5
	2.1.1 Debieten en vuilvrachten	5
	2.1.2 Effluentkwaliteit	6
	2.1.3 Dimensies	8
	2.2 Uitgangspunten voor de beschouwde maatregelen	9
	2.3 Overige uitgangspunten	11
	2.4 CO ₂ footprint	12
	2.5 Kosten	13

3	MAATREGELEN IN HET AANVOERSTELSEL	14
3.1	Berging van de first flush	14
3.2	Reiniging van de riolering	16
3.3	Afvlakken van de droogweeraanvoer	17
3.4	Reductie van rioolvreemd water	17
3.5	Afkoppelen van regenwater van de gemengde riolering	18
3.6	Aanpassen van verbeterd gescheiden rioolstelsel	19
3.7	Grip op influent	20
3.8	Afweging tussen maatregelen	20
4	MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING	21
4.1	Verbeteren van processturing	27
4.1.1	Type aansturing	28
4.1.2	Beluchttingsregeling	29
4.1.3	Recirculatieregeling	32
4.1.4	Regeling voor dosering van metaalzouten	32
4.1.5	Regeling voor primair-slibpompen	33
4.1.6	Retourslibregeling	33
4.2	Toepassen van voorbehandeling	34
4.2.1	Toepassen van voorprecipitatie op bestaande voorbezinktanks	35
4.2.2	(Bij)bouwen van voorbezinktanks	36
4.2.3	(Bij)bouwen van een fijnzeefinstallatie	36
4.2.4	(Bij)bouwen van een DAF-systeem	37
4.3	Verhogen van de sibleeftijd	38
4.3.1	Verhogen van het slibgehalte bij een lagere SVI	38
4.3.2	Verhogen slibgehalte door bijbouwen nabezinktanks	41
4.3.3	Bijbouwen van biologisch volume	41
4.3.4	Toepassen van dragermaterialen (IFAS)	42
4.3.5	Toepassen van nabeluchting	43
4.4	Vergroten van de oxidatie capaciteit (OC)	45
4.4.1	Uitbreiden beluchttingscapaciteit	45
4.4.2	Toepassen pure zuurstof	45
4.5	Beïnvloeden afvalwatersamenstelling	45
4.5.1	Doseren van C-bron	45
4.5.2	Toepassen anaerobe tank	47
4.5.3	Lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn	47
4.5.4	Bypassen voorbehandeling	48
4.6	Overige maatregelen	49
4.6.1	Doseren van metaalzouten	49
4.6.2	Vergroten van interne recirculatiecapaciteit	50
4.6.3	Aanvullende hoofdzuiveringstechniek	52
4.6.4	Voorkomen van P-release bij indikking en ontwatering	53
5	DEELSTROOMBEHANDELING	54
5.1	Anammox-systeem	58
5.2	Ammoniakstripper	59
5.3	Struvietreactor	61
5.4	Doseren van metaalzouten in de slibgistingstank	62

6	NABEHANDELING	63
6.1	Vastbed mediafiltratie	69
6.2	Bewegend bed mediafiltratie	70
6.3	Doekfiltratie	71
6.4	Moving bed bioreactor (MBBR)	72
6.5	Natuurlijke systemen	73
6.6	Ultrafiltratie	73
6.7	Ionenwisseling	74
7	VERGELIJKING VAN MAATREGELEN	75
7.1	Verwijdering van N-totaal, NH ₄ -N en P-totaal	75
7.2	Kosten en CO ₂ -footprint per kg N-totaal verwijderd	77
7.3	Kosten en CO ₂ -footprint per kg NH ₄ -N verwijderd	79
7.4	Kosten en CO ₂ -footprint per kg P-totaal verwijderd	81
8	WELKE MAATREGELEN TE KIEZEN	83
8.1	Beslisboom op hoofdlijnen	83
8.2	Beslisboom deelstroombehandeling	84
8.3	Beslisboom hoofdzuivering	85
8.4	Beslisboom nabehandeling	87
8.5	Grenzen aan te bereiken effluentkwaliteit	88
	8.5.1 Wat is nu technisch mogelijk?	88
	8.5.2 Welke verbeteringen worden nog verwacht?	89
8.6	Raakvlakken met de herziene Richtlijn Stedelijk Afvalwater	90
9	CONCLUSIES	91
10	AANBEVELINGEN	94
11	LITERATUUR	96
BIJLAGE I	FACTSHEETS MAATREGELEN	101
BIJLAGE II	LOGLIST TECHNOLOGIEËN	148
BIJLAGE III	UITGANGSPUNTEN PER MAATREGEL	151

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING EN DOEL

Eind 2027 dienen de Nederlandse oppervlaktewateren aan de Kaderrichtlijn Water (KRW) te voldoen. Deze deadline nadert nu spoedig; recent heeft de Raad voor de Leefomgeving en infrastructuur de verwachting uitgesproken dat de doelen niet in 2027 zullen worden gehaald¹. Rijk en regio willen samen met het KRW-impulsprogramma inzetten op een stevige aanvullende inzet op het uitvoeren van verbeteracties, om zo te kunnen voldoen aan de KRW². Het impulsprogramma is geïnitieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Rwzi's hebben een impact op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Waterschappen staan voor de opgave om voor deze rwzi's effluenteisen vast te stellen die in samenspel met andere maatregelen in het watersysteem ervoor zorgen dat aan de KRW-eisen kan worden voldaan. Rondom rwzi's gaat het met name om lozingeisen voor stikstof (N-totaal en NH₄-N) en fosfor (P-totaal).

Vanuit het KRW-impulsprogramma wordt de huidige *restopgave* en het *handelingsperspectief* in kaart gebracht. Daaruit volgend wordt geïnventariseerd:

1. Wat de stand van zaken is rondom het vaststellen en het daadwerkelijk halen van de lozingsnormen van de rwzi's die lozen op KRW-lichamen (de restopgave). Dit is onderzocht en beschreven in STOWA rapport 2024-26.
2. Welke maatregelen er zijn om aan de vastgestelde normen te gaan voldoen (het handelingsperspectief). Dit is onderzocht en beschreven in het voorliggende rapport (STOWA 2024-27)

Afhankelijk van het ontvangende oppervlaktewater lopen de eisen die per rwzi worden gesteld uiteen. Om tot doelmatige maatregelen per locatie te komen hebben de waterschappen een tastbaar overzicht nodig waaruit blijkt wat een maatregel voor het rwzi effluent kan opleveren, tegen welke kosten, en met welke impact op duurzaamheidsambities zoals energieneutraliteit of klimaatneutraliteit.

Het doel van het project is dan ook om te komen tot een geactualiseerd overzicht van maatregelen voor verwijdering van nutriënten in de afvalwaterketen, hetgeen de waterschappen kunnen gebruiken om de doelstellingen van de KRW te bereiken.

1.2 AFBAKENING

Dit rapport is bedoeld om handvatten te bieden voor principe-keuzes, die locatiespecifiek nader kunnen worden uitgewerkt. In het rapport worden maatregelen voor N-totaal-, NH₄-N- en P-totaalverwijdering op conceptueel niveau beschouwd voor 'standaard' rwzi's. Daarbij

- 1 Brief van de Raad voor de leefomgeving en Infrastructuur aan minister Harbers van I&W. "Advies: Goed water, goed geregeld" d.d. 11/05/23
- 2 Brief van minister Harbers van I&W aan de tweede kamer der Staten-Generaal. "Vormgeving KRW Impulsprogramma" d.d. 05/06/23. Kenmerk: IENW/BSK-2023/148520

zijn aannames gedaan bij de inpassing die in dit rapport worden omschreven. Hierop zijn berekeningen gebaseerd voor onder meer kosten en duurzaamheid.

Om de precieze impact van het toepassen van maatregelen voor een rwzi te beoordelen en te komen tot besluitvorming wordt een locatiespecifieke studie altijd geadviseerd. De kengetallen en beslisbomen die worden gepresenteerd in dit rapport hebben de functie om waterschappen te helpen bij het maken van een voorselectie van maatregelen voor dergelijke studies. Daarnaast helpen ze bij het inschatten van de invloed van keuzes op kosten en duurzaamheidsambities.

1.3 WERKWIJZE

1.3.1 SELECTIE VAN MAATREGELEN

In deze studie is een selectie gemaakt van maatregelen die de verwijdering van N-totaal, NH₄-N en P-totaal op rwzi's kunnen verbeteren en die daarmee de KRW-doelen kunnen helpen realiseren. Daarbij zijn de volgende stappen gevolgd:

1. Het maken van een inventarisatie (hierna: longlist) van bekende maatregelen voor de verwijdering van N-totaal, NH₄-N en P-totaal. Aan de inventarisatie zijn vooraf geen eisen gesteld behalve dat een maatregel kan worden ingezet voor een verbeterde N-totaal en/of NH₄-N en/of P-totaal op rwzi's.
2. Het samenstellen van een 'shortlist' vanuit de longlist. De selectiecriteria daarvoor waren een Technology Readiness Level (TRL)³ van minimaal 7 en voldoende relevantie voor de Nederlandse praktijk⁴.

Onder een TRL van 7 wordt hier verstaan: een demonstratie installatie van de gebruikte technologie heeft op relevante schaal onder praktijkcondities ten minste één jaar gedraaid op een rwzi (c.q. aanvoerstelsel). Daarbij is over de landsgrenzen heen gekeken en is het niet vereist dat de maatregel in Nederland wordt toegepast. Een TRL van 7 in 2024 impliceert dat de technologie *full-scale* kan worden gebouwd voor 2027, daarom is deze eis bij de shortlist gesteld.

De longlist is als bijlage meegeleverd bij dit rapport (Bijlage A2). Daarbij is bij de technieken die niet op de shortlist zijn gekomen kort aangegeven waarom er geen verdere uitwerking is gemaakt. Met de longlist blijven technieken in opkomst in beeld en is voor de lezer navolgbaar of een techniek bij deze studie is beschouwd.

1.3.2 UITWERKING IN RAPPORTAGE EN FACTSHEETS

De maatregelen in de shortlist worden in dit rapport gepresenteerd in vier categorieën als volgt:

1. Aanvoerstelsel
2. Hoofdzuivering
3. Nabehandeling
4. Deelstroombehandeling

³ Zie STOWA 2019-12

⁴ Het is van belang dat de technologie voldoende relevantie heeft voor de Nederlandse praktijk en in Nederlandse condities goed toepasbaar is. Daarover is door de begeleidingscommissie een oordeel gevormd.

Elke categorie heeft een apart hoofdstuk waarin aandacht wordt besteed aan de maatregelen. Een selectie van deze maatregelen is kwantitatief uitgewerkt naar factsheets. De factsheets zijn complementair aan de uitwerking in het rapport. Daarvoor dient de maatregel voldoende te kwantificeren zijn in termen van kosten en effecten. Voor de categorie aanvoerstelsel is volstaan met een kwalitatieve uitwerking en zijn géén factsheets gemaakt, omdat kosten en effecten hierbij veel moeilijker in algemene zin te kwantificeren zijn.

Om tot een algemene kwantitatieve afweging te komen van verschillende maatregelen is een basis van vergelijk nodig. Daarom zijn voor deze studie drie referentie rwzi's gedefinieerd, die zijn gebaseerd op de uitgangspunten voor de 100.000 i.e. rwzi die als standaard rwzi in het IPMV⁵ is gebruikt. Daarbij zijn algemene uitgangspunten toegevoegd die nodig waren voor het toepassen van de maatregelen voor N-totaal-, NH₄-N- en P-totaalverwijdering.

Een kleinere rwzi van 20.000 i.e. dient om inzicht te geven in de invloed van schaalgrootte op de kosten en CO₂-footprint (uitgedrukt in CO₂-equivalenten) als het gaat om maatregelen voor de hoofdzuivering en nabehandeling. Deze aanpak is bij de eerste verkennende studies rondom technieken en kosten voor de KRW ook toegepast⁶.

Een grotere rwzi van 400.000 i.e. mét aanlevering van extern slib is gebruikt als referentie voor met name de deelstroombehandeling, omdat deze technieken meestal op grotere rwzi's (vaak energiefabrieken met centrale slibgisting) worden toegepast.

Maatregelen in het aanvoerstelsel en op de hoofdzuivering zijn steeds gezien als aanvullende technieken óf aanpassingen aan bestaande systemen. Daarbij is uitgegaan van bestaande actief slibsystemen⁷ om zoveel mogelijk systemen van toepassing te laten zijn op deze studie.

In Nederland waren in 2021 in totaal 315 rwzi's aanwezig. Daarvan waren er 300⁸ actief-slibsystemen van verschillende typen, 10 aerob-korrel-slibsystemen (AGS: *aerobic granular sludge*)⁹, 2 AGS-en-actiefslib-systemen, 2 oxidatiebedsystemen¹⁰ en 1 SBR-systeem (SBR: *sequencing batch reactor*, type ICEAS).

TABEL 1

OVERZICHT VAN UITGEWERKTE MAATREGELN PER REFERENTIEZUIVERING

Maatregel	20.000 i.e.	100.000 i.e.	400.000 i.e.
Maatregelen in het aanvoerstelsel	X	X	X
Maatregelen in de hoofdzuivering	X	X	*
Nabehandeling	X	X	
Deelstroombehandeling			X

* De maatregel 'lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn' is voor de referentiezouiveringen van 100.000 i.e. en 400.000 i.e. uitgewerkt. Aangezien deze maatregel een voorbehandeling vereist, is uitgegaan van voorbezinktanks voor de referentiezouivering van 100.000 i.e., afwijkend van Tabel 4.

- 5 Innovatieprogramma microverontreinigingen uit afvalwater (IPMV)
 6 Zie STOWA 2005-28 én STOWA 2006-08
 7 Bron: Waves databank 2021.
 8 Cijfers uit 2021. Inmiddels 299 systemen.
 9 Cijfers uit 2021. Inmiddels 12 systemen.
 10 Cijfers uit 2021. Inmiddels nog 1 systeem.

1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten besproken die zijn gehanteerd voor deze studie.

In hoofdstukken 3 t/m 6 worden maatregelen gepresenteerd voor het aanvoerstelsel, de hoofdzuivering, de nabehandeling en de deelstroombehandeling respectievelijk. De maatregelen betreffen een 'shortlist' van maatregelen die in 2027 kunnen worden toegepast. In hoofdstuk 7 wordt een vergelijking gemaakt tussen de maatregelen op basis van verwijderingsrendementen, kosten en duurzaamheid.

In hoofdstuk 8 bespreken we de hoe te komen tot een voorselectie van maatregelen, en geven we inzicht in welke volgorde maatregelen het beste genomen kunnen worden. Daarbij maken we een doorkijk naar raakvlakken met de herziene Europese richtlijn voor behandeling van stedelijk afvalwater en geven we aan welke grenzen er zijn aan de te behalen effluentkwaliteit met de nu beschikbare technieken.

In hoofdstukken 9 en 10 worden de conclusies en aanbevelingen verwoord.

Ook bevat het rapport de volgende bijlagen:

- a. Factsheets maatregelen
- b. Longlist technologieën
- c. Uitgangspunten per maatregel

2

UITGANGSPUNTEN

2.1 REFERENTIEZUIVERINGEN

2.1.1 DEBIETEN EN VUILVRACHTEN

In Tabel 2 worden de uitgangspunten weergegeven voor de drie referentiezuiveringen

TABEL 2 UITGANGSPUNTEN VOOR DE AANVOERDEBIETEN EN -VRACHTEN VAN DE DRIE REFERENTIEZUIVERINGEN

Parameter	Eenheid	20.000 i.e.	100.000 i.e.	400.000 i.e.
Hydraulisch				
Dagdebiet	m ³ /d	4.200	21.000	84.000
Jaardebiet	m ³ /j	1.533.000	7.665.000	30.660.000
Jaardebiet nabehandeling	m ³ /j	1.226.400	6.132.000	24.528.000
DWA-piek	m ³ /h	180	900	3.600
DWA-gemiddeld	m ³ /h	120	600	2.400
RWA-maximumdebiet	m ³ /h	480	2.400	9.600
Ontwerpdebiet nabehandeling	m ³ /h	208	1.040	4.160
Vuillast influent				
CZV	kg/d	2.200	11.000	44.000
BZV ₅	kg/d	880	4.400	17.600
Nkj-N	kg/d	200	1.000	4.000
P-totaal	kg/d	32	160	640
OB	kg/d	1.040	5.200	20.800
Extern slib toevoer				
Primair slib	kg ds/d	-	-	6.592
Secundair slib	kg ds/d	-	-	26.368

De vuillast in het influent is gebaseerd op de 100.000 i.e. rwzi vanuit het IPMV-programma¹¹, en is recht evenredig met belasting op inwonerequivalenten geschaald voor de andere referentiezuiveringen. Het jaardebiet van de nabehandeling is gesteld op 80% van het totale jaardebiet; dit wordt in de huidige praktijk gezien als ondergrens voor N- en P-verwijdering in nabehandelinginstallaties.¹²

De RWA/DWA_{gem} verhouding is gesteld op 4,0 voor de uitwerking naar factsheets. Waar relevant worden in het rapport invloeden van hogere of lagere verhoudingen op de maatregelen toegelicht.

De extern slibtoevoer bij de 400.000 i.e. zuivering is gebaseerd op de volgende aannamen:

- Een verhouding van intern slib ten opzichte van extern slib van 1:1,5
- Een aandeel van 20% primair slib en 80% secundair slib in het externe slib

11 Bron: Bijlage 4 – Standaard IPMV “Uitgangspunten berekeningen kosten en CO₂-footprint rwzi 100.000 i.e. 150 g TZV” uit Proceduredocument IPMV 2020

12 In het IPMV-programma is nog uitgegaan van een jaardebiet nabehandeling gelijk aan 70% van het totale jaardebiet. Recente projectervaring laat zien dat behandelen van 80% van het jaardebiet of meer veelal wenselijk is omdat hiermee de impact op de effluentkwaliteit wordt vergroot. Het optimum is locatiespecifiek.

2.1.2 EFFLUENTKwaliteit

Om met referentie rwzi's te werken in deze studie is het nodig dat er een effluentkwaliteit wordt gesteld die de rwzi in de huidige situatie al haalt zodat hiermee kan worden gemodelleerd bij het implementeren van maatregelen.

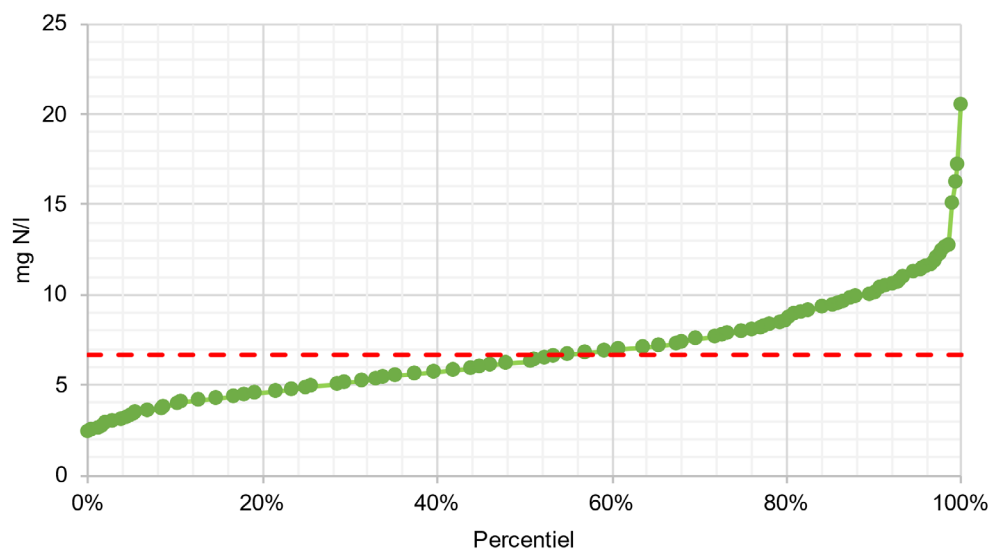
In deze paragraaf wordt deze effluentkwaliteit gepresenteerd en onderbouwd. Tabel 3 geeft de effluentkwaliteit voor de referentie rwzi's weer.

TABEL 3 REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit RWZI'S

Parameter	Eenheid	Waarde
Zwevende stof (OB)	mg/L	7,5
Opgelost zuurstof (DO)	mg/L	5,0
Aandeel P in zwevende stof	%	3,0%
Aandeel N in zwevende stof	%	6,0%
P-totaal	mg/L	0,9
PO ₄ -P	mg/L	0,53
P _{org-opgelost} (DOP)	mg/L	0,14
P _{org-particulair} (SOP)	mg/L	0,23
N-totaal	mg/L	6,7
NO ₃ -N	mg/L	3,5
NO ₂ -N	mg/L	0,25
NH ₄ -N	mg/L	1,0
N _{org-opgelost} (DON)	mg/L	1,5
N _{org-particulair} (SON)	mg/L	0,45

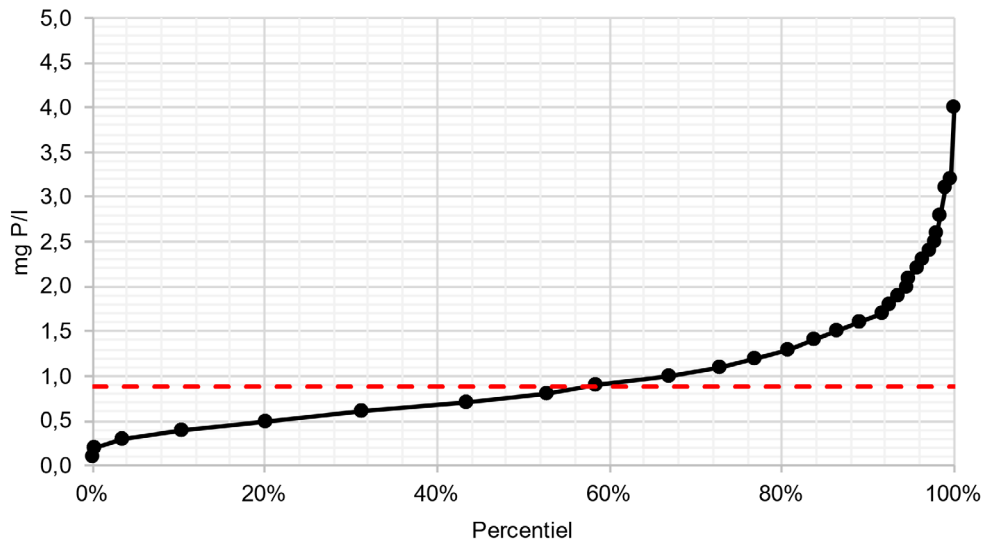
De gepresenteerde effluentkwaliteit voor stikstof en fosfor is gebaseerd op het rekenkundig gemiddelde van de zuiveringsprestaties van 315 Nederlandse rwzi's. In onderstaande figuren wordt de frequentieverdeling weergegeven.

FIGUUR 1 GEKOZEN REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit VOOR STIKSTOF TEN OPZICHTE VAN RWZI'S IN NEDERLAND (BEDRIJFSVERGELIJKING ZUIVERINGSBEHEER 2021)



FIGUUR 2

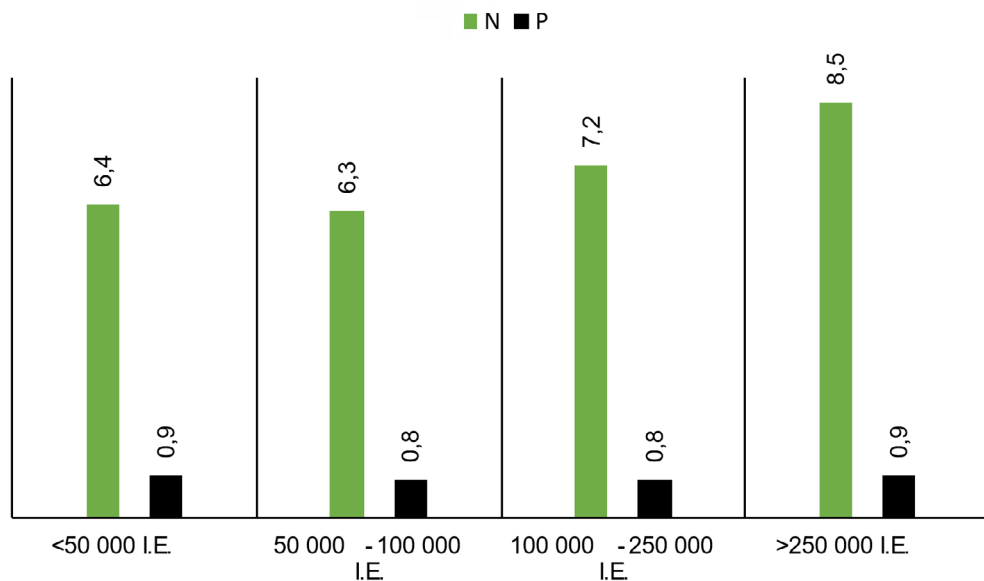
GEKOZEN REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit VOOR FOSFOR TEN OPZICHTE VAN RWZI'S IN NEDERLAND (BEDRIJFSVERGELIJKING ZUIVERINGSBEHEER 2021). NOOT: DE BEDRIJFSVERGELIJKING ZUIVERINGSBEHEER RAPORTEERT OP ÉÉN DECIMAAL, IN DE CURVE LIJKEN ER RELATIEF WEINIG RWZI'S TE ZIJN DIE LAGE WAARDEN VOOR TOTAALFOSFOR HALEN, MAAR IN DE WERKELIJKHEID LIGGEN DEZE PUNTEN OVER ELKAAR HEEN



In 2021 presteerden de Nederlandse rwzi's volgens de bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer gemiddeld 6,7 mg N/l en 0,9 mg P/l¹³. Op schaalniveau van de rwzi zijn er verschillen tussen 6,4 – 8,5 mg N/l en 0,8 en 0,9 mg P/l (zie Figuur 3).

FIGUUR 3

EFFLUENTPRESTATIES VAN NEDERLANDSE RWZI'S NAAR SCHAALGROOITE (BEDRIJFSVERGELIJKING ZUIVERINGSBEHEER 2021)



De kleinere rwzi's presteren op het gebied van stikstof doorgaans iets beter dan de rwzi's van gemiddelde grootte, en de grotere rwzi's presteren aanmerkelijk minder goed dan de middelgrote en de kleine rwzi's. Dit valt te verklaren door het feit dat hier vaak centraal slib wordt vergist, waardoor de oorspronkelijke zuivering hoger belast is geraakt met stikstof dan oorspronkelijk het geval was. Bij energiefabrieken kunnen daarnaast hogere effluentwaarden van DON (*dissolved organic nitrogen*, $N_{\text{org-opgelost}}$) en DOP (*dissolved organic phosphorus*,

¹³ Bron: Waves databank (UvW). Het betreft het rekenkundig gemiddelde van de jaargemiddelden van de rwzi's voor 2021

$P_{\text{org-opgelost}}$) worden verwacht. Ook kan de verhoogde effluentconcentratie van grote rwzi's samenhangen met minder stringente effluenteisen door lozingen op grotere oppervlakte-wateren. Daarnaast hebben de grotere rwzi's in stedelijk gebied te maken met meer belastingtoename door bevolkingsgroei; waardoor een hoge hydraulische/biologische belasting kan zijn opgetreden. De fosforprestaties zijn voor verschillende schaalgroottes zeer vergelijkbaar. Gelet op de vigerende norm van 1 mg P/l voor veel rwzi's kan het zijn dat waar dat nodig is aanvullend wordt gedoseerd tot net onder de norm.

De waarden voor DON en DOP uit Tabel 3 zijn gebaseerd op STOWA 2017-46 (p92-93). Voor DOP is daar gemiddeld 0,14 mg P/l gerapporteerd wanneer één uitschieter met specifiek industrieel afvalwater wordt weggelaten. Bij het uitgangspunt voor DON is gekozen voor een eenduidige waarde van 1,5 mg N/l waar in het handboek stikstof en fosforverwijdering¹⁴ gemiddeld 1,30 mg N/l voor rwzi's zonder slibgisting en 1,56 mg N/l voor rwzi's mét slibgisting werd gerapporteerd. De resterende fracties voor N en P uit Tabel 3 zijn gebaseerd op expert judgment of het sluitend maken van de balans voor N-totaal.

2.1.3 DIMENSIES

Tabel 4 geeft een overzicht van de gehanteerde dimensies bij de modellering.

TABEL 4 BELANGRIJKSTE DIMENSIES EN CAPACITEITEN VAN DE WATER- EN SLIBLIJN VAN DE DRIE REFERENTIEZUIVERINGEN

Parameter	Eenheid	20.000 i.e.	100.000 i.e.	400.000 i.e.
Voorbezinktank				
aantal	-	-	-	3
diameter	m	-	-	36,9
kantdiepte	m	-	-	2,0
Anaerobe zones				
type	-	selector + anaerobe	selector + anaerobe	selector + anaerobe
aantal	-	tank	tank	tank
verblijftijd selector	min	1	1	1
verblijftijd anaerobe tank	min	10	10	10
volume selector	m ³	45	45	45
volume anaerobe tank	m ³	62	308	1.010
		270	1.350	5.400
Biologie				
type	-	Phoredox	Phoredox	Phoredox
aantal straten	-	1	1	3
totaalvolume	m ³	3.150	15.730	65.440
voordenitrificatievolume	m ³	790	3.960	32.720
recirculatiecapaciteit	m ³ /h	720	3.600	34.000
waterdiepte	m	4	4	4
Beluchting				
type	-	bellenbeluchting	bellenbeluchting	bellenbeluchting
capaciteit	kg O ₂ /h	175	860	2.950
Nabezinking				
aantal	-	1	2	7
diameter	m	29,3	45,9	49,1
kantdiepte	m	2,0	2,0	2,0
Primair-slibindikking				
type/aantal	-	-	-	2 x gravitair
diameter	m	-	-	17,2
Secundair-slibindikking				
type/aantal	-	1 x bandindikker	3 x bandindikker	3 x bandindikker
capaciteit nominaal	m ³ /h	9	43	59

14 STOWA 2017-46 "Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit communale afvalwater op rwzi's".

Parameter	Eenheid	20.000 i.e.	100.000 i.e.	400.000 i.e.
Slibgisting				
aantal tanks (type)	-	-	-	4 (mesofiel)
totaalvolume	m ³	-	-	15.800
Slibontwatering				
type/aantal	-	-	-	6 x centrifuge
capaciteit	m ³ /h	-	-	33

Toelichting bij de dimensies van de onderdelen:

Voor modelleringsdoeleinden zijn de dimensies van de hoofdzuivering vastgesteld met een berekening van het HSA-model.¹⁵ Bij een jaargemiddelde totaalstikstof prestatie van 6,7 mg N/l en een ontwerptemperatuur van 11,0°C zijn zo de benodigde aerobe en anoxische ruimten berekend (zie STOWA 2017-46).

- Na toepassing van de anaerobe tank (biologische P-verwijdering) is ijzerdosering toegepast om modelmatig tot een doelwaarde van 0,53 mg PO₄-P/l te komen. Met de dosering van metaalzouten is de PO₄-P concentratie verlaagd om zo de referentie-effluentkwaliteit van P-totaal te bereiken (ca. 0,9 mg P/l, zie Tabel 3).
- De rwzi's hebben een gemiddelde sibleeftijd van 14 dagen.
- Alle rwzi's zijn voorzien van voordennitrificatie en interne recirculatie.
- Alle rwzi's zijn voorzien van een selector en anaerobe tank.¹⁶
- Voor slibgisting is uitgegaan van een verblijftijd van 20 dagen en mesofiele condities.
- Het slibgehalte op de rwzi's is verondersteld op 4,0 g/l, bij een ontwerp SVI₃₀ van 150 ml/g.

Bij enkele maatregelen is afgeweken van deze uitgangspunten, waar van toepassing is dit expliciet benoemd.

2.2 UITGANGSPUNTEN VOOR DE BESCHOUWDE MAATREGELEN

Uitgangspunten voor de hoofdzuivering

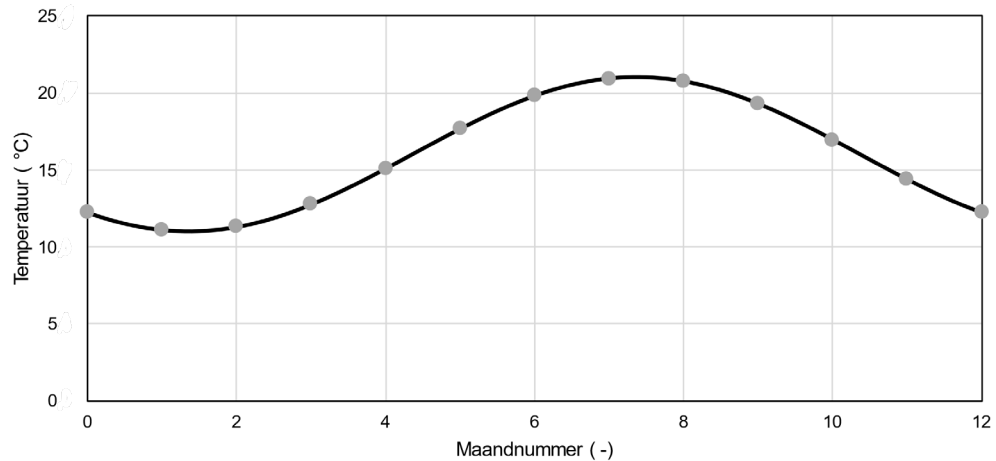
- Systemen beschikken over voordennitrificatie en simultane denitrificatie;
- Geïnstalleerde interne recirculatie bedraagt een factor 6,0 (20.000 en 100.000 i.e.) of 14,2¹⁷ (400.000 i.e.) ten opzichte van DWA₂₄.
- Het temperatuurprofiel uit Figuur 4 is aangenomen.

15 Het HSA-model heeft een bepaalde ondergrens voor N-totaal; tot deze grens kan er betrouwbaar met het HSA-model worden gerekend. Nitraat is hier de beperkende factor. De ondergrens voor NH₄-N is hier gezet op 1,0 mg N/l.

16 Hier is van uitgegaan om het effect van de maatregelen op alle schaalgroottes te kunnen vergelijken. In de praktijk zullen niet alle kleine rwzi's biologische P-verwijdering hebben.

17 De relatief hoge recirculatiefactor bij de grotere rwzi is nodig om de referentie effluentkwaliteit te behalen.

FIGUUR 4 TEMPERatuurPROFIEL VOOR MODELBEREKENINGEN (GEMIDDELD 16,0°C)



- Rendementen in de voorbezinktank (referentiezuiwing 400.000 i.e.) zijn als volgt aangenomen:
 - CZV: 35%
 - BZV₅: 35%
 - NKj-N: 5%
 - P-totaal: 10%
 - OB: 55%
- De volgende modelminima zijn gehanteerd na afloop van de hoofdzuiwing:
 - NH₄-N: 1,00 mg N/l (0,20 mg N/l bij aanvullende nabeluchting);
 - NO₃-N: 2,00 mg N/l;
 - PO₄-P: 0,20 mg P/l.

UITGANGSPUNTEN VOOR DE DEELSTROOMBEHANDELING

- De invloed van de deelstroommaatregelen op de effluentkwaliteit is berekend door de maatregelen weg te laten uit de referentiesituatie. De referentiesituatie bij 400.000 i.e. heeft dus zowel een N- als P-deelstroombehandeling en behaalt hiermee de referentie effluentkwaliteit uit Tabel 3. Dit is gedaan omdat de referentiesituatie zonder deelstroombehandeling onrealistisch was met een hoge metaalzoutdosering voor P-verwijdering en C-bron dosering voor N-verwijdering. Dit is een andere benadering dan bij de maatregelen in de hoofdzuiwing en nabehandeling, waar de referentie effluentkwaliteit al wordt bereikt alvorens het toepassen van maatregelen.
- De gemiddelde temperatuur van het rejectiewater bedraagt 30°C (maatgevend voor energievraag in OPEX-berekeningen).
- Er is geen natronloogdosering voorzien voor het behalen van een NH₄-N rendement van 80% in het anammox-systeem en de NH₃-stripper. Hierbij wordt opgemerkt dat dit rendement alleen mogelijk is als de alkaliniteit van het rejectiewater voldoende hoog is; de mol verhouding HCO₃/NH₄ dient minimaal 1,0 te zijn. Bij een te lage alkaliniteit is natronloogdosering vereist.

UITGANGSPUNTEN VOOR DE NABEHANDELING

- 80% van het jaardebiet wordt behandeld.
- 5 mgO₂/l in het ingaande water (relevant voor koolstofbronverbruik en nitrificerende filters).

UITGANGSPUNTEN VOOR N₂O-EMISSIES

- De invloed van maatregelen in de waterlijn op de N₂O-emissie is niet meegenomen. Dit is vanwege de veelheid van factoren die invloed heeft op de N₂O-emissie in een waterlijn en de kennisleemte bij de kwantitatieve invloed van specifieke maatregelen. In het versnellingsprogramma lachgas zal een meetcampagne worden ingericht waaruit meer duidelijkheid moet ontstaan over hoe de emissie in de praktijk kan worden beïnvloed.¹⁸ De verwachting is dat een verlaging van de slibbelasting en (stabiel) sturen op lagere ammoniumwaarden een positief effect hebben op de lachgasemissie uit de waterlijn.¹⁹
- Er is geen wijziging in N₂O-emissie meegenomen voor de nabehandeling omdat hierover momenteel te weinig kennis beschikbaar is.
- Voor anammox-systemen is uitgegaan van een emissiefactor van 0,023 kg N₂O-N/kg N-verwijderd (STOWA 2013-39)²⁰.
- Een deelstroombehandeling kan de stikstofvracht naar de waterlijn reduceren en dit heeft mogelijk voordelen voor de N₂O-emissie uit de waterlijn. Deze reductie in N₂O-emissie is bewust weggelaten uit deze studie, omdat het effect nog niet goed te kwantificeren is.

De uitgangspunten per maatregel zijn opgenomen in Bijlage A3.

2.3 OVERIGE UITGANGSPUNTEN

- Het bruto ruimtebeslag is berekend met een range van 1,2 – 1,8 netto ruimtebeslag. Dit betreft een schatting bij respectievelijk compact en ruim bouwen.
- In de kostenramingen is gerekend zijn geen tijdelijke voorzieningen of andere locatie-specifieke kosten geraamd. In de praktijk kunnen altijd locatiespecifieke zaken spelen die kostenverhogend of -verlagend werken.
- De kostenramingen betreffen de benoemde directe bouwkosten van een groene-weide situatie voor het bijbouwen van onderdelen. De benoemde directe bouwkosten zijn vertaald naar investeringen met een factor 2,8 (zie Tabel 7).

¹⁸ Zie: <https://unievannwaterschappen.nl/versnellingsprogramma-lachgasreductie-officieel-van-start/>

¹⁹ Zie STOWA 2023-33 “Ervaringen vanuit de community of practice (CoP) emissies van lachgas uit rwzi’s”.

²⁰ STOWA 2013-39 “Toepassing van Anammox in de hoofdstroom van een rioolwaterzuivering”

2.4 CO₂ FOOTPRINT

TABEL 5 EMISSIEFACTOREN²¹

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Energie			
Elektriciteit	kg CO ₂ /kWh	0,536	STOWA IPMV-actualisatie 2024 ²²
Warmte	kg CO ₂ /GJ	74,1	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Hulpstoffen			
Granulair actief kool (vers)	kg CO ₂ /kg	11,0	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Dragermateriaal (HDPE, gerecycled)	kg CO ₂ /kg	0,70	CE Delft 2021 ²³
Zand	kg CO ₂ /ton	2,20	Schatting RHDHV
IJzerchloride	kg CO ₂ /ton FeCl ₃	1,10	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Glycerine	kg CO ₂ /ton	5,96	STOWA IPMV
Magnesiumhydroxide	kg CO ₂ /kg Mg(OH) ₂	2,45	Luong <i>et al.</i> (2018) ²⁴
Methanol	kg CO ₂ /ton MeOH	2,53	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Natronloog	kg CO ₂ /ton NaOH	1,20	STOWA IPMV
Polymeer, anionisch, vloeibaar	kg CO ₂ /kg PE	1,03	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Zwavelzuur	kg CO ₂ /ton H ₂ SO ₄	0,12	STOWA IPMV
Grondstofproductie			
Ammoniumsulfaat (Haber Bosch)	kg CO ₂ /kg N	3,10	o.b.v. STOWA 2012-51
Struviet	kg CO ₂ /kg struviet	0,53	STOWA 2023-08
Directe emissies			
CH ₄	kg CO ₂ /kg CH ₄	29,8	IPCC
N ₂ O	kg CO ₂ /kg N ₂ O	273	IPCC
Bouwmaterialen			
Gewapend beton	kg CO ₂ /m ³	329	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Staal	kg CO ₂ /ton	4.000	Schatting RHDHV
Polypropyleen	kg CO ₂ /kg	4,88	Schatting RHDHV
RVS	kg CO ₂ /kg	3,74	Schatting RHDHV
Gietijzer	kg CO ₂ /kg	2,19	Schatting RHDHV
Slibeindverwerking			
Slibeindverwerking	kg CO ₂ /kg slib	0,05	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Slibtransport	kg CO ₂ /(km·ton)	0,105	STOWA IPMV-actualisatie 2024

Daar waar grondstoffen worden geproduceerd die producten vervangen wordt gerekend met een vermeden CO₂ footprint van het geproduceerde product. Dit geldt bijvoorbeeld voor ammoniumsulfaat.

21 De emissiefactoren uit STOWA IPMV kunnen afwijken van de Ecoinvent database en MKI-berekeningen.

22 STOWA 2024-28 "Evaluatie Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit rioolwater (IPMV)"

23 CE Delft 2021 "Klimaatimpact van afvalverwerkrouetes in Nederland – CO₂-kentallen voor recycleren en verbranden voor 13 afvalstromen"

24 Luong *et al.* 2018 "A comparison of carbon footprints of magnesium oxide and magnesium hydroxide produced from conventional processes"

2.5 KOSTEN

TABEL 6 EENHEIDSPRIJZEN

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Personeelskosten	EUR/FTE	80.000	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Elektriciteit	EUR/kWh	0,20	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Warmte	EUR/GJ	17,31	Schatting RHDHV
Biogas	EUR/Nm ³	-0,98	Schatting RHDHV
CO ₂ -beprijzing	EUR/ton CO ₂ -eq	130	Schatting RHDHV
Slibafvoer	EUR/ton ds	600	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Granulair actief kool	EUR/m ³	1.350	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Dragermateriaal	EUR/m ³	669	Schatting RHDHV
IJzerchloride (40%)	EUR/ton	150	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Koolstofbron (Carbo BWB-60, 60%)	EUR/ton	387	Schatting RHDHV
Magnesiumhydroxide (53%)	EUR/ton	500	Schatting RHDHV
Methanol	EUR/ton	800	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Natronloog (50%)	EUR/ton	310	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Polymeer (50% act.)	EUR/kg	3,00	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Verwerking spoelwater op rwzi	EUR/m ³	0,01	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Zand	EUR/m ³	60	Schatting RHDHV
Zwavelzuur (96%)	EUR/ton	245	Schatting RHDHV
Ammoniumsulfaat (38%)	EUR/ton	-20	Schatting RHDHV
Struviet	EUR/ton	-20	Schatting RHDHV

TABEL 7 FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

Parameter	Eenheid	Waarde	Bron
Rente (nominaal)	%	4,0	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Factor benoemde directe bouwkosten naar investeringskosten (incl. btw)	-	2,8	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Opslag bouwkosten en stichtingskosten*	%	80	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Opslag onvolledigheid**	%	25	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Opslag aannemerskosten***	%	25	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Afschrijvingstermijn civiele techniek	jaar	30	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Afschrijvingstermijn werktuigbouwkunde	jaar	15	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Afschrijvingstermijn elektrotechniek/PA	jaar	15	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Afschrijvingstermijn GAK ²⁵ , dragermateriaal, zand	jaar	15	Praktijkervaring (BODAC Emmen, 1STEP Horstermeer)
Onderhoudskosten civiele techniek	% van bouwkosten	0,5	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Onderhoudskosten werktuigbouwkunde	% van bouwkosten	3,0	STOWA IPMV-actualisatie 2024
Onderhoudskosten elektrotechniek/PA	% van bouwkosten	3,0	STOWA IPMV-actualisatie 2024

* Kosten voor btw, onvoorzien, engineering, projectmanagement, directievoering, verzekeringen, tijdelijke voorzieningen tijdens ombouw en opstart, opleiding en communicatie

** Over de kale investeringskosten inclusief aannemerskosten rekening houdend met een onvolledigheidsfactor

*** Over kale investeringskosten voor civiele, werktuigbouwkundige, elektrotechnische en procesautomatisering werkzaamheden. Deze opslag bestaat uit kosten voor de aannemer om het werk uit te voeren, zoals algemene bouwplaatskosten, uitvoeringskosten, algemene kosten, winst en risico.

De stichtingskosten bedragen dus: **(kale investeringskosten) * 1,25 * 1,25 * 1,8**.

De totale opslagfactor vanaf kale investeringen is: **1,25 * 1,25 * 1,8 ≈ 2,8**

25 De termijn geldt als gebruik van GAK als filtermedium, niet als standtijd van de actieve kool voor adsorptiedoeleinden.

3

MAATREGELN IN HET AANVOERSTELSEL

Er kunnen diverse maatregelen worden getroffen in het aanvoerstelsel van rwzi's die kunnen leiden tot een betere oppervlaktewaterkwaliteit. In dit hoofdstuk worden de volgende maatregelen kwalitatief beschreven:

TABEL 8 SHORTLIST VAN MAATREGELN IN HET AANVOERSTELSEL

Maatregel
Berging van de <i>first flush</i>
Reiniging van de riolering
Afvlakken van de droogweeraanvoer
Reductie van rioolvreemd water
Afkoppelen van regenwater van de gemengde riolering
Aanpassen van verbeterd gescheiden rioolstelsel
Grip op influent

3.1 BERGING VAN DE *FIRST FLUSH*

De *first flush* is de plotselinge en kortdurende toename van de vuilconcentratie in het afstromende hemelwater vlak na aanvang van een regenbui. Er zijn verschillende soorten *first flushes* te onderscheiden:

- **First flush uit de riolering** (door opwoeling van in een rioolstelsel bezonken vuil)
Komt geleidelijk op gang bij een heftige bui na een droge periode, aangezien het rioolstelsel eerst gevuld moet worden. De toename in vuilconcentratie is afhankelijk van de mate van vervuiling van riolen die naar het gemaal leiden, en in hoeverre de stroomsnelheid daar zodanig toeneemt dat het bezonken vuil opwerfelt.
- **First flush uit een persleiding ('DWA-prop')**
Vindt plaats bij elke bui na een droge periode, als de bui lang genoeg is om de persleiding, die DWA bevat, te vullen. Deze 'DWA-prop' heeft een DWA-concentratie met RWA-capaciteit. De vuilflux neemt even snel toe als het gemaaldebiet; de duur van de *first flush* is afhankelijk van de lengte/inhoud van de persleiding.
- **First flush uit een vrij verval transportriool** (van een stelsel naar de rwzi)
Vindt plaats na een droge periode die lang genoeg is om substantieel veel vuil te laten bezinken. Alleen bij transportriolen die bij DWA niet 'zelfreinigend' zijn.

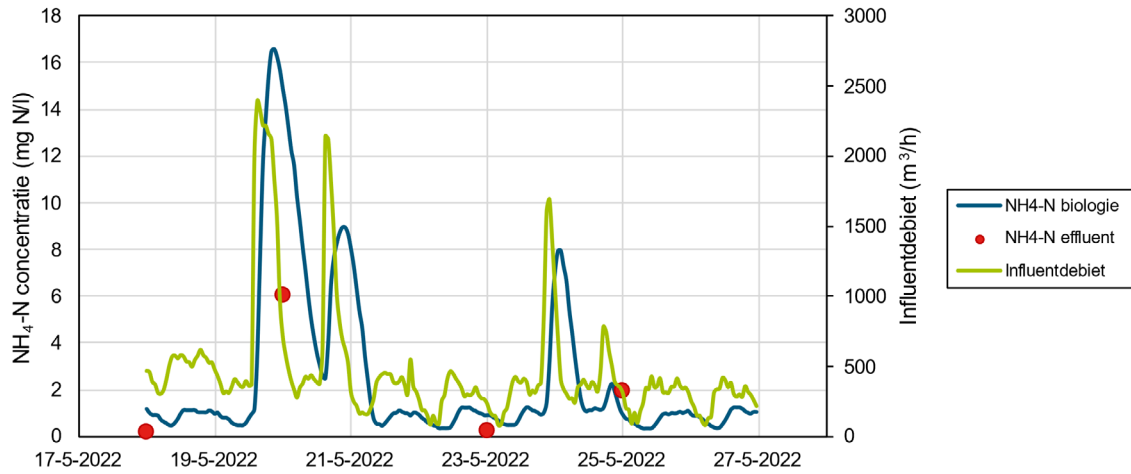
De concentratieverhoging resulteert (bij gemengde en verbeterd gescheiden rioolstelsels) in een verhoogde effluentconcentratie²⁶ uit de rwzi en piekbelastingen op het oppervlaktewatersysteem. Figuur 5 bevat een voorbeeld van een *first flush* op rwzi Winterswijk, met als gevolg een verhoogde ammoniumconcentratie in het effluent. Op veel rwzi's ontstaan verhoogde ammonium-effluentgehalten door onvoldoende nitrificatiecapaciteit van de biomassa om de ammoniumpiek direct te nitrificeren (STOWA 2007-24)²⁷. Ook is het mogelijk

²⁶ De mate waarin de *first flush* leidt tot verhoogde effluentgehalten is o.a. afhankelijk van de robuustheid van de zuivering en de extra vuilvracht die de zuivering binnenkomt. Daarnaast is een batchproces mogelijk gevoeliger dan een continu proces.

²⁷ STOWA 2007-24 "Het actief-slibproces – de mogelijkheden en grenzen"

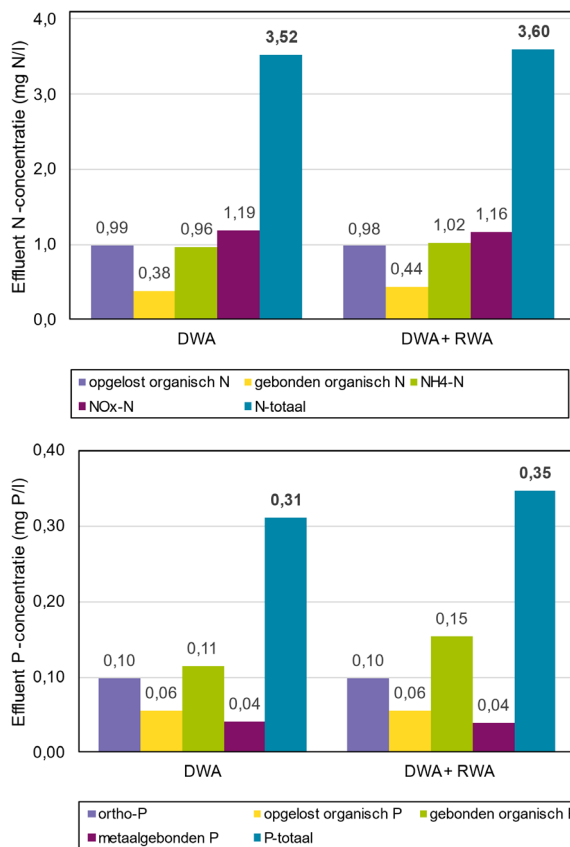
dat de beluchtingscapaciteit en/of de beluchtingsregeling te kort schieten om het zuurstofgehalte tijdens de piekaanvoer op peil te houden.

FIGUUR 5 AMMONIUMCONCENTRATIES (AT-ONLINEMETING EN EFFLUENT LABMETING) EN INFLUENTDEBIETEN VAN RWZI WINTERSWIJK (18-5-2022 T/M 26-5-2022)



De effluent N- en P-fractionering van rwzi Eindhoven bij DWA en DWA+RWA is weergegeven in Figuur 6. Ook hieruit blijken verhoogde effluentconcentraties bij regenweer; dit komt met name door de gebonden organische N- en P-fracties en ammonium. Het voorbeeld laat zien dat de impact per locatie sterk verschilt.

FIGUUR 6 EFFLUENT N- EN P-FRACTIONERING OP RWZI EINDHOVEN BIJ DWA EN DWA+RWA (3-4-2022 T/M 28-9-2022)



Om deze verhoogde effluentconcentraties te voorkomen kan de *first flush* stroom worden gebufferd in het stelsel en/of op de zuivering. Bij het bufferen in het rioolstelsel wordt de regenweeraanvoer over een langere periode uitgesmeerd; bij het bufferen op de rwzi wordt (een deel van) de regenweeraanvoer tijdelijk opgeslagen om zo het debiet te verlagen dat door de zuivering gaat.

De effectiviteit van deze maatregel op de kwaliteit van het oppervlaktewatersysteem is afhankelijk van het type oppervlaktewater. Indien het water gevoelig is voor piekbelastingen kan het bufferen van de *first flush* een effectieve maatregel zijn; doordat pieken in effluentconcentraties worden afgevlakt. Echter, bij gevoeligheid voor jaarvrachten kan een maatregel die zorgt voor een continue reductie in effluentconcentratie effectiever zijn (zie STOWA 2015-05)²⁸. Ook kunnen waterkwaliteitseisen m.b.t. ammonium een rol spelen in de effectiviteit van deze maatregel.

Daarnaast dient rekening te worden gehouden met het feit dat de *first flush* niet altijd de stroom is met de hoogste vuilvracht. In het geval van een DWA-prop is de *first flush* zeker vuil en kan worden gebufferd. In andere rioolssystemen kan het zijn dat de *second flush* de hoogste belasting heeft; doordat het vuil langzamer beweegt dan het regenwater. Om de vuilste stroom te bepalen die vervolgens kan worden gebufferd kan hier worden overwogen om met sensoren te werken. Hiermee is bij verschillende gemeenten en in academisch onderzoek ervaring opgedaan.

STUREN OP NEERSLAGVOORSPELLING

Een manier om de *first flush* te bergen in het stelsel is door gebruik te maken van neerslagvoorspelling. Er wordt gekeken of de verwachte neerslag²⁹ kan worden gebufferd in het rioolstelsel, zonder dat er een risico op overstortingen en/of wateroverlast bestaat. Hierdoor kan het rioolstelsel langzamer worden leeggepompt om hydraulische pieken naar de rwzi te beperken (indien er geen substantiële neerslag wordt verwacht tijdens het legen). Zo kan een betere effluentkwaliteit worden bereikt; o.a. doordat de bypass om de nabehandeling kleiner wordt.

Momenteel worden rioolstelsels vaak snel leeggepompt om toekomstige regenbuien op te vangen; dit kan resulteren in significante pieken in de aanvoer van zuiveringen. Door de sturing met algoritmes kan energie worden bespaard en de effluentkwaliteit worden verbeterd, terwijl het risico op overstortingen en/of wateroverlast wordt beperkt. Een mogelijk nadeel van het langzame leegpompen van riolen is de ophoping van vuil in het riool.

3.2 REINIGING VAN DE RIOLERING

De hoofdriolen binnen een rioolstelsel kunnen sterk vervuilen. Om dit tegen te gaan, en zo de vuilvracht van de *first flush* te beperken, kan worden overwogen om een periodieke reiniging uit te voeren. Deze reiniging kan het beste plaatsvinden op locaties waar vuil niet mag bezinken; dit is afhankelijk van de configuratie van het rioolstelsel. De configuratie bepaalt namelijk waar het opgewoelde vuil heengaat; naar de overstort of naar het gemaal.

Om de riolering te reinigen kan worden gespoeld met oppervlaktewater. Dit is voornamelijk relevant voor transportriolen (van een stelsel naar de rwzi); binnen een rioolstelsel vindt vooral reiniging van specifieke strengen plaats. Om het vuil op te woelen en naar

²⁸ STOWA 2015-05 "Reductie hydraulische belasting RWZI"

²⁹ Inclusief een veiligheidsmarge om het risico op overstortingen te beperken.

de zuivering te transporteren kan echter veel water nodig zijn. Daarnaast zal de spoeling zorgen voor een extra effluent vanuit de rwzi, soms neemt daardoor de vuilvracht vanuit de rwzi naar het lozingspunt ook toe. Er dient situatie-specifiek te worden gekeken naar de verhouding tussen deze extra emissie en de emissie door de *first flush* om de effectiviteit van deze maatregel te bepalen.

3.3 AFVLAKKEN VAN DE DROOGWEERAANVOER

Daarnaast kan de droogweeraanvoer worden afgevlakt. Deze DWA-afvlakking zal in veel gevallen weinig effect hebben op de effluentvrachten die worden geloosd uit de rwzi, omdat de zuivering is ontworpen om de variaties in de dagaanvoer te kunnen verwerken (STOWA 2008-14)³⁰. Vooral wanneer de beluchttingscapaciteit onvoldoende is kan de afvlakking leiden tot minder ammoniumpieken. Daarnaast kan DWA-afvlakking zorgen voor lagere stichtingskosten van een nabehandelingsinstallatie, doordat er een kleinere capaciteit nodig is voor het behandelen van dezelfde hoeveelheid van het dagdebiet. Dit is voornamelijk een voordeel bij zuiveringen met een grote DWA-variantie. Voor bestaande installaties is de besparing in aanschaf niet meer relevant.

Een ander voordeel van DWA-afvlakking is de reductie van lachgasemissies in de rwzi, doordat de zuivering gelijkmatiger wordt belast. Ook kan een (gering) voordeel in energieverbruik van pompen worden behaald. Een potentieel neveneffect van DWA-afvlakking is dat het rioolstelsel vuiler kan worden door buffering; dit kan leiden tot een grotere *first-flush* vuilvracht tijdens regenweercondities (STOWA 2019-03)³¹.

3.4 REDUCTIE VAN RIOOLVREEMD WATER

Er kunnen aanzienlijke afwijkingen optreden tussen het theoretische en werkelijke afvalwaterdebiet dat binnenkomt op een rioolwaterzuivering. Oorzaken voor dit rioolvreemd water (RVW) zijn bijvoorbeeld de infiltratie van grondwater ('lekkende riolen'), onbekende aangesloten drainages of een te lage overstortwand. Bovendien kunnen foutieve aansluitingen (RWA op DWA-riool of DWA op RWA-riool) bijdragen aan de hoeveelheid rioolvreemd water.

Door de reductie van de hoeveelheid RVW kunnen de volgende positieve effecten ontstaan:

- Verbetering van zuiveringsrendement en afname van de geloosde effluentvracht uit de rwzi;
- Minder overstortend volume en minder kans op overstortingen;
- Beperking van het energieverbruik van transportsysteem en rioolwaterzuivering;
- Bijdrage aan de bestrijding van droogte/hittestress doordat water in het gebied blijft.³²

Daarnaast kan de reductie van RVW leiden tot lagere kosten van een nabehandelingsinstallatie doordat een kleinere capaciteit benodigd is (analoog aan de redenatie van 3.3). Deze installaties worden hydraulisch ontworpen op de gemeten (droogweer)debieten, inclusief het aanwezige rioolvreemd water. Anderzijds kan de bypass van bestaande nabehandelingsinstallaties afnemen, waardoor een betere effluentkwaliteit kan ontstaan.

30 STOWA 2008-14 "Het effect van afkoppelen van hemelwater op de rwzi"

31 STOWA 2019-03 "Rek in afvalwatersystemen: hulpmiddel voor verkenning ruimte voor optimalisatie"

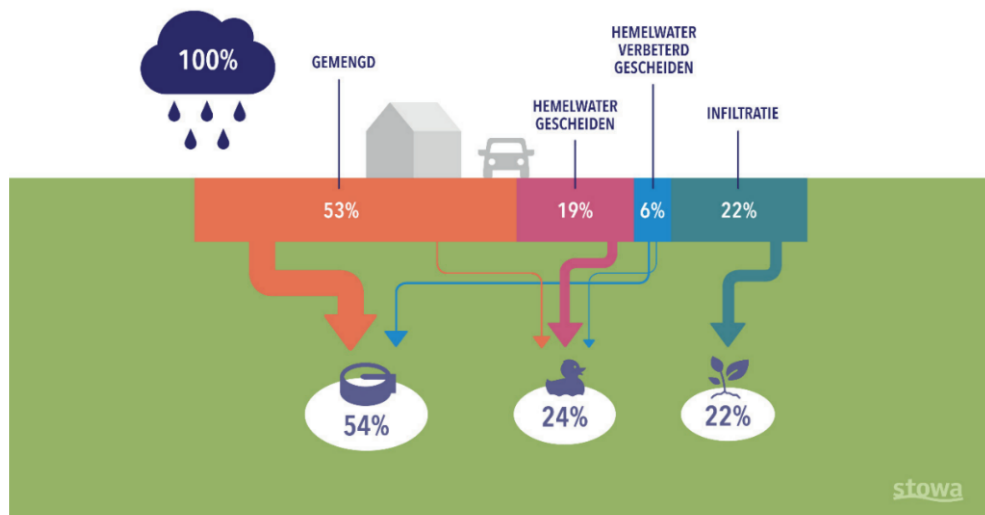
32 Er kan ook worden overwogen om droogte te bestrijden door water lokaal (vergaand) te zuiveren en te lozen op het lokale oppervlaktewater en/of te infiltreren.

Het reduceren van RVW kan ook negatieve aspecten met zich meebrengen. Zo is het bereiken van lage effluentconcentraties³³ moeilijker bij ‘dikker’ water (‘dikker’: hogere influentconcentraties). De reductie van RVW kan er ook voor zorgen dat effluent niet altijd beschikbaar is; dit is nadelig bij leveringsverplichtingen van het effluent of wanneer het effluent wordt ingezet voor het voeden van een watersysteem (‘beek valt droog’). Ook kan er meer geuroverlast plaatsvinden doordat de verblijftijd in persleidingen toeneemt. Bovendien kunnen er aanzienlijke kosten verbonden zijn met het reduceren van de hoeveelheid RVW. Er dient daarom een afweging te worden gemaakt tussen de voor- en nadelen; dit is situatie-specifiek en vereist maatwerk.

3.5 AFKOPPELEN VAN REGENWATER VAN DE GEMENGDE RIOLERING

Van alle neerslag op verhard oppervlak in Nederland komt 54% op de zuiveringen aan (zie Figuur 7). De verwerking van dit hemelwater vraagt om extra hydraulische capaciteit en heeft een negatieve invloed op het zuiveringsrendement. Er kan worden overwogen om dit hemelwater af te koppelen van de gemengde riolering; dit heeft uiteenlopende effecten (zie STOWA 2019-22).

FIGUUR 7 OVERZICHT VAN VERDELING HEMELWATER NAAR ZUIVERINGEN, OPPERVLAKTEWATER EN GRONDWATER. DE PERCENTAGES GEVEN VOOR HEEL NEDERLAND AAN WAAR DE NETTO NEERSLAG (NEERSLAG MINUS VERDAMPING) DIE VALT OP VERHARD OPPERVLAK UITEINDELIJK TERECHT KOMT. BRON: STOWA 2019-22³⁴



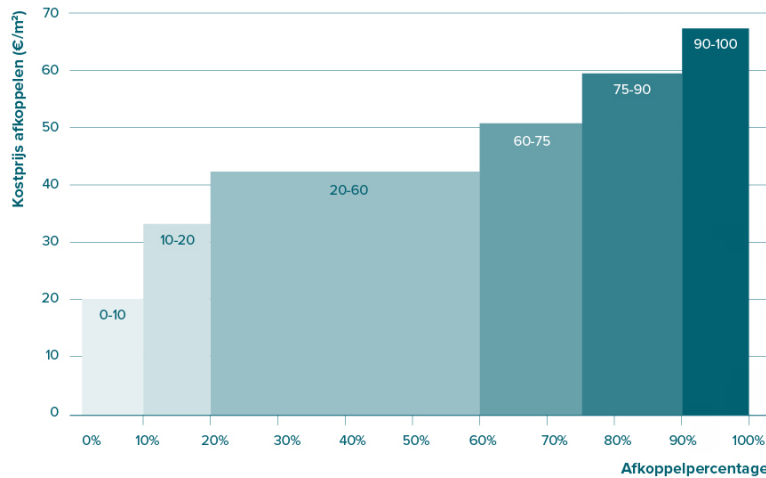
Hoewel het afkoppelen van regenwater leidt tot een afname van de geloosde effluentvracht uit de rwzi, zal het bereiken van lage effluentconcentraties moeilijker zijn. Dit heeft te maken met de hogere concentraties in het influent bij minder hemelwater. Daarnaast dient er rekening te worden gehouden met rioolvreemd water; bij lekke riolen kan geïnfiltreerd hemelwater alsnog als rioolvreemd water in het riool komen en naar de rwzi worden gevoerd. Bovendien kunnen er hoge kosten gepaard gaan met het afkoppelen van regenwater; een gemiddelde kostprijs van 48 EUR/m² afgekoppeld oppervlak (stichtingskosten excl. btw, zie Figuur 8) komt overeen met een investering van ca. 60 EUR/m³_{afgekoppeld}/jaar. Een rekenvoorbeeld is weergegeven in het onderstaande kader. Er zal per situatie moeten worden gekeken of

33 Dit hoeft geen negatief aspect te zijn; afhankelijk van het type oppervlaktewater kunnen er andere eisen aan het effluent worden gesteld (concentraties of vrachten). In Nederland worden doorgaans debiet proportionele monsters genomen, maar deze worden rekenkundig gemiddeld over het voortschrijdende kalenderjaar. Dit maakt dat verdunning helpt bij het halen van de effluenteisen.

34 STOWA 2019-22 “Afkoppelen – kansen en risico’s van anders omgaan met hemelwater in de stad”.

het afkoppelen van hemelwater een (kosten)effectieve maatregel is; in sommige gevallen kan het bouwen van een grotere nabehandelingsinstallatie goedkoper zijn.

FIGUUR 8 KOSTPRIJS VAN TRADITIONEEL AFKOPPELEN (EUR/M²) ALS FUNCTIE VAN HET TE BEREIKEN AFKOPPELPERCENTAGE (BRON: RIONED)³⁵



REKENVOORBEELD AFKOPPELEN REGENWATER

Neerslag: 800 mm/jaar

Gemiddelde kostprijs afkoppelen: 48 EUR/m² (prijspeil 1 januari 2021, bron: RIONED)

- 1 m² afkoppelen → 0,8 m³/jaar minder naar rwzi
- Afkoppelen 1 m³/uur = 8.760 m³/jaar = 10.950 m² verhard oppervlak
- 1,095 ha afkoppelen → investering van ca. 525.600 EUR

Jaarlijkse afkoppelkosten

- Stel: jaarlijkse kosten 5% van investering → 2,4 EUR/m²/jaar
- 1 m³/jaar afkoppelen = 1,25 m² oppervlak → 3,0 EUR/m³ verwerkte neerslag

3.6 AANPASSEN VAN VERBETERD GESCHIEDEN RIOOLSTELSEL

In verbeterd gescheiden rioolstelsels kan een *first flush* regeling worden geïmplementeerd. Hierbij wordt tijdens de regenbui het hemelwater naar de zuivering afgevoerd, waarna het stelsel (gevuld met relatief schoon regenwater) wordt leeggepompt naar het oppervlaktewater. Hierdoor zal er veel minder water naar de zuivering worden afgevoerd; dit lagere volume (m³) is gunstig voor de effluentvracht van de rwzi.

Daarnaast kan er worden overwogen om bepaalde hemelwaterpompen uit te schakelen om de piekbelasting naar de zuivering te reduceren. Hiervoor dient eerst te worden gekeken naar het effect van het uitschakelen van de pomp op de oppervlaktewaterkwaliteit. Wanneer dit geen problemen oplevert kan worden overwogen om de pomp permanent uit te zetten. De lagere piekbelasting (m³/h) is voordelig voor hydraulisch gelimiteerde zuiveringen. Wanneer bijvoorbeeld het slibgehalte kan worden verhoogd omdat men mag rekenen op een lager maximumdebiet, dan zal leiden tot een beter zuiveringsrendement.

³⁵ RIONED 2021 "Kosten per vierkante meter en volledig afkoppelen in Nederland"

3.7 GRIP OP INFLUENT

Naast het verminderen van piekbelastingen en het reduceren/afvlakken van aanvoerdebieten kunnen maatregelen worden genomen om de influentsamenstelling te verbeteren. Industriële lozingen kunnen een significante invloed hebben op deze samenstelling; met positieve of negatieve gevolgen voor de effluentkwaliteit. Zo kan een betere effluentkwaliteit worden bereikt door een verhoogde temperatuur van het influent of juist een slechtere effluentkwaliteit door een scheve CZV/N/P-verhouding. Ook kunnen industriële lozingen zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) bevatten of resulteren in verhoogde DON- en DOP-concentraties. Het is daarom belangrijk om grip op influent te houden/krijgen.

3.8 AFWEGING TUSSEN MAATREGELEN

Voor een goede afweging tussen de maatregelen zijn meer aspecten van belang dan alleen de vuilemissie uit de riolering en de rwzi. Zo kunnen andere vuilbronnen als bladval of de uitspoeling van mest ook een grote invloed uitoefenen op de waterkwaliteit van het oppervlaktewatersysteem. Het is daarom wenselijk om vanuit de (waterkwaliteits)doelen te redeneren; om vervolgens de mogelijke maatregelen in beeld te brengen en daarvan de (kosten)effectiviteit (en praktische inpasbaarheid) te bepalen. Op basis van deze inzichten kan zo (met de samenwerkingspartners) tot een maatschappelijk optimaal maatregelenpakket worden gekomen. Dit optimale maatregelenpakket is altijd maatwerk en een samenspel tussen watersysteem en waterketen. Ook dient rekening te worden gehouden met relatief lange doorlooptijden van de maatregelen in het aanvoerstelsel, vanwege de onderlinge afstemming tussen stakeholders en de investeringshorizon van aanvoerstelsels.

4

MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING

In dit hoofdstuk worden onderstaande maatregelen uit de hoofdzuivering beschouwd, ter verbetering van de stikstof-, ammonium- en/of fosforverwijdering. De maatregelen die kwantitatief zijn uitgewerkt in een factsheet zijn aangegeven met 'X'.

TABEL 9 SHORTLIST VAN MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING

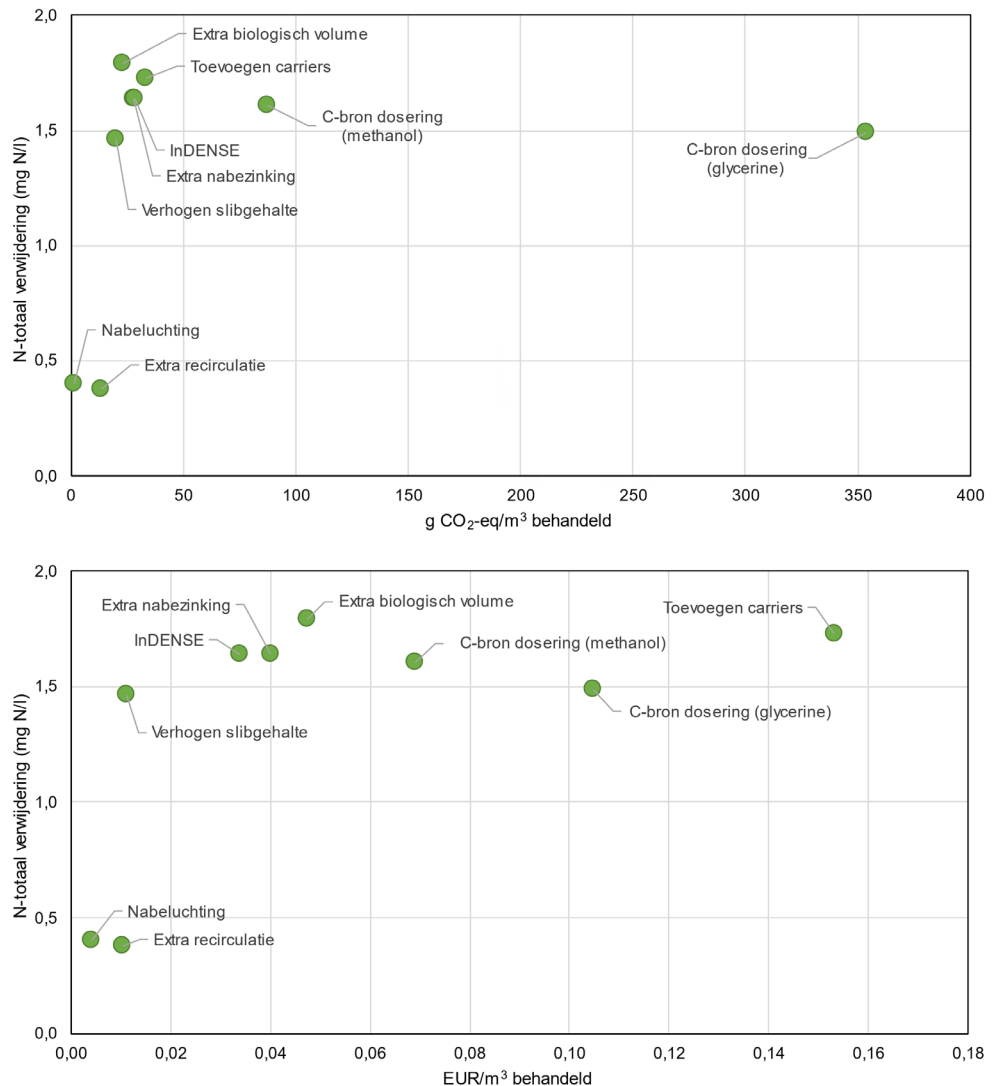
Maatregel	Submaatregel	Factsheet
Verbeteren van processturing	-	
Toepassen van voorbehandeling	Voorprecipitatie	
	Voorbezinking	
	Fijnzeefinstallatie	
	DAF-systeem	
Verhogen van de slibleeftijd	Verhogen van het slibgehalte binnen de bestaande bezinkcapaciteit	X
	Verhogen van het slibgehalte d.m.v. SVI-verlagende technologieën	X
	Verhogen van het slibgehalte door bijbouwen nabezinktanks	X
	Bijbouwen van biologisch volume	X
	Toepassen van dragermaterialen	X
	Toepassen van een nabeluchting	X
Vergroten van de OC	Uitbreiden beluchttingscapaciteit	
	Toepassen pure zuurstof	
Beïnvloeden afvalwatersamenstelling	Doseren van C-bron (glycerine/methanol)	X
	Toepassen anaerobe tank	
	Lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn	X
	Bypassen voorbehandeling (eventueel gedeeltelijk)	
Overige maatregelen	Doseren van metaalzouten	X
	Vergroten van interne recirculatiecapaciteit	X
	Bijbouwen van aanvullende hoofdzuiveringstechniek (naast actief slib)	
	Voorkomen van P-release bij indikking en ontwatering	

N-TOTAALVERWIJDERING

De stikstofverwijdering (mg N/l) die plaatsvindt door toepassing van de maatregelen in de hoofdzuivering is gepresenteerd in Figuur 9. Uit de figuur blijkt dat een maximale N-totaalverwijdering van ca. 1,8 mg N/l kan worden bereikt in de waterlijn van de referentiezuivering. Dit komt overeen met een effluentkwaliteit van ca. 4,9 mg N/l; deze haalbare effluentkwaliteit wordt beïnvloed door de uitgangspunten (DON: 1,5 mg N/l, NH₄-N: 1,0 mg N/l, OB: 7,5 mg/l) en de modelminima (2,0 mg NO_x-N/l).

Daarnaast blijkt dat het type koolstofbron (glycerine of methanol) een grote invloed heeft op de CO₂-footprint, terwijl de kosten (EUR/m³-behandeld) van deze maatregelen vergelijkbaar zijn. De maatregel met de laagste EUR/kg N-verwijderd is 'verhogen slibgehalte binnen de bestaande bezinkcapaciteit'; dit komt doordat er geen investeringen verbonden zijn aan deze maatregel, er zijn enkel wat meer kosten aan de beluchtingsenergie verbonden.

FIGUUR 9 N-TOTAALVERWIJDERING (MG N/L) DOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ BEHANDELD) EN DE KOSTEN (TOTEX³⁶, EUR/M³ BEHANDELD); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E., TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKWALITEIT. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR N-TOTAALVERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN



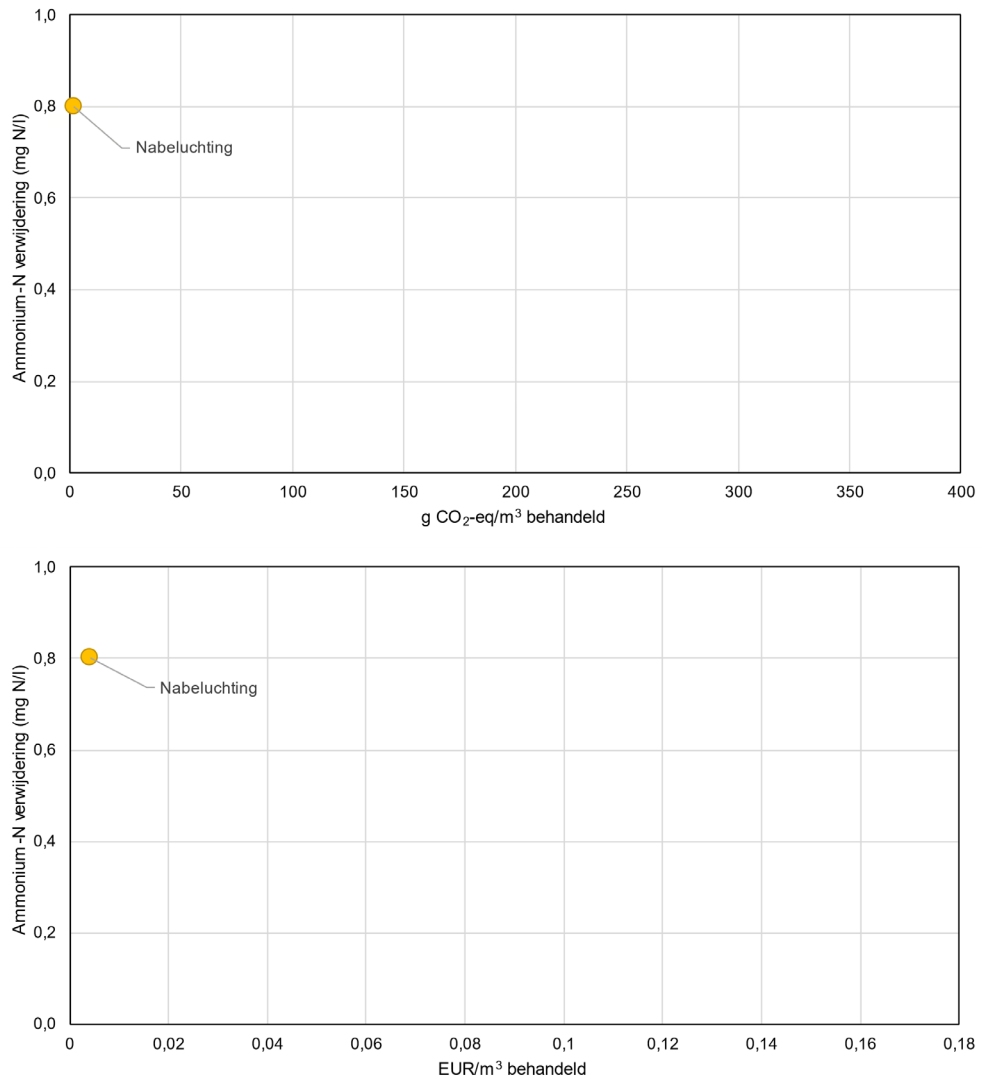
36 TOTEX = CAPEX (kapitaallasten) + OPEX (operationele kosten)

NH₄-N-VERWIJDERING

De ammoniumverwijdering (mg NH₄-N/l) van de verschillende maatregelen in de hoofdzuivering is afgebeeld in Figuur 10. Er is slechts één maatregel met een significante ammoniumverwijdering; dit is de toepassing van een nabeluchttingsruimte. Daarnaast bestaan er maatregelen die kunnen helpen met het afvangen van ammoniumpieken, zoals het toevoegen van dragermateriaal.

FIGUUR 10

AMMONIUMVERWIJDERING (MG NH₄-N/L) DOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ BEHANDELD) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/M³ BEHANDELD); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E., TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR NH₄-N-VERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN

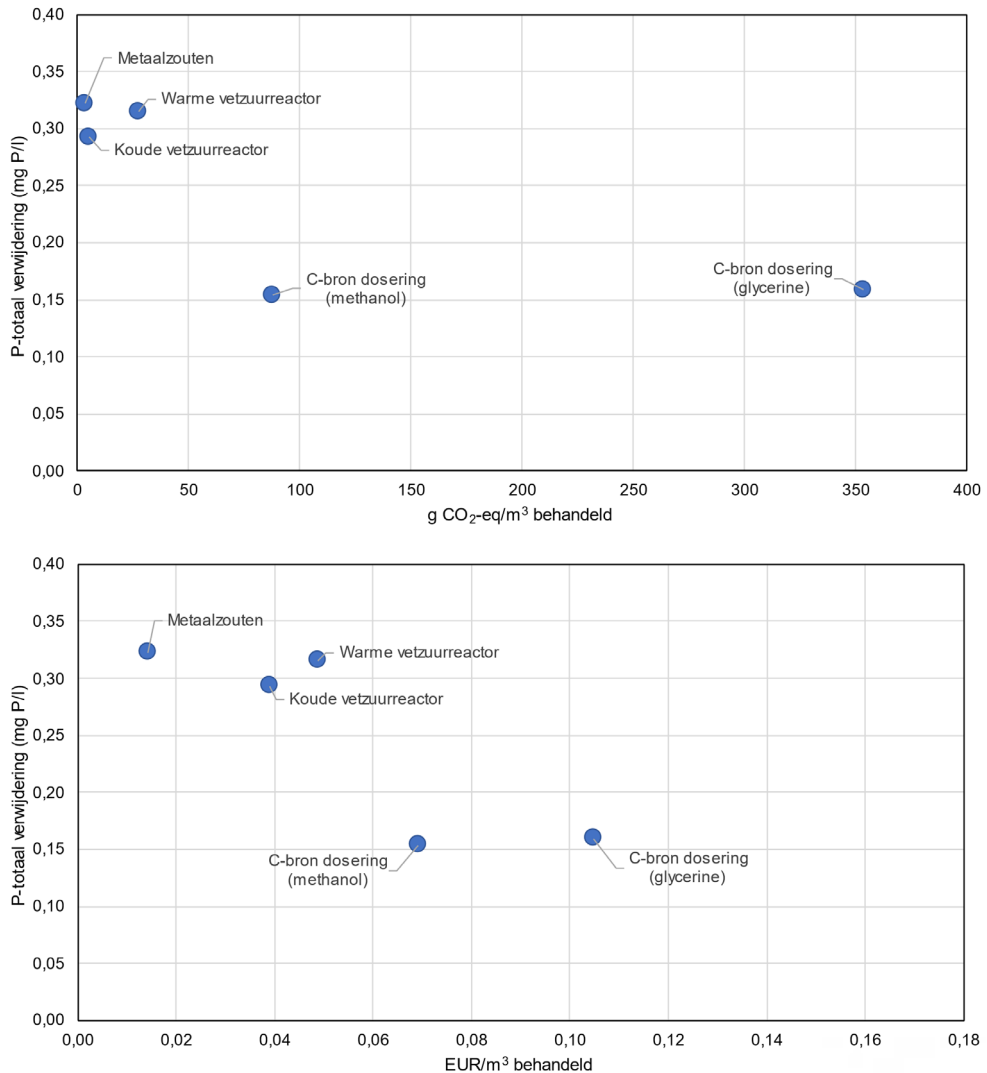


P-TOTAALVERWIJDERING

De invloed van de maatregelen op de effluent totaalfosforconcentratie is weergegeven in Figuur 11. Een maximale P-totaalverwijdering van ca. 0,3 mg P/l kan worden bereikt in de waterlijn van de referentieuivering. Dit komt overeen met een effluentkwaliteit van ca. 0,6 mg P/l; deze haalbare effluentkwaliteit wordt beïnvloed door de uitgangspunten (DOP: 0,14 mg P/l, OB: 7,5 mg/l) en de modelminima (0,20 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$).

De maatregelen met de grootste P-verwijdering zijn de toepassing van metaalzoutdosering en de toepassing van een vetzuurreactor waarbij de geproduceerde vetzuren worden gedoseerd in de anaerobe ruimte. C-brondosering heeft een positief effect op de fosforverwijdering door de hogere slibproductie.

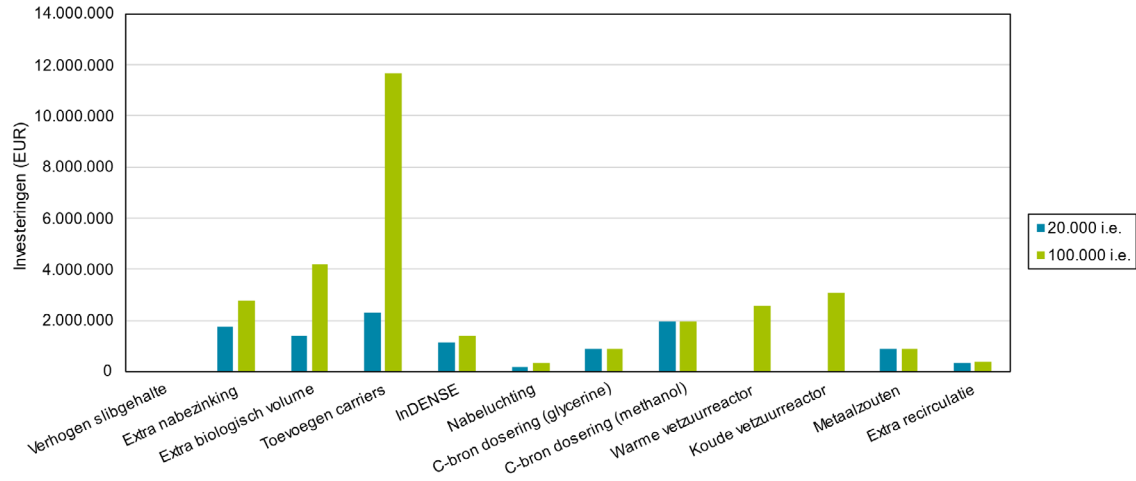
FIGUUR 11 P-TOTAALVERWIJDERING (MG P/L) DOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, ALS FUNCTIE VAN DE CO_2 -FOOTPRINT (G $\text{CO}_2\text{-EQ/M}^3$ BEHANDELD) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/ M^3 BEHANDELD); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E., TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR P-TOTAALVERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN



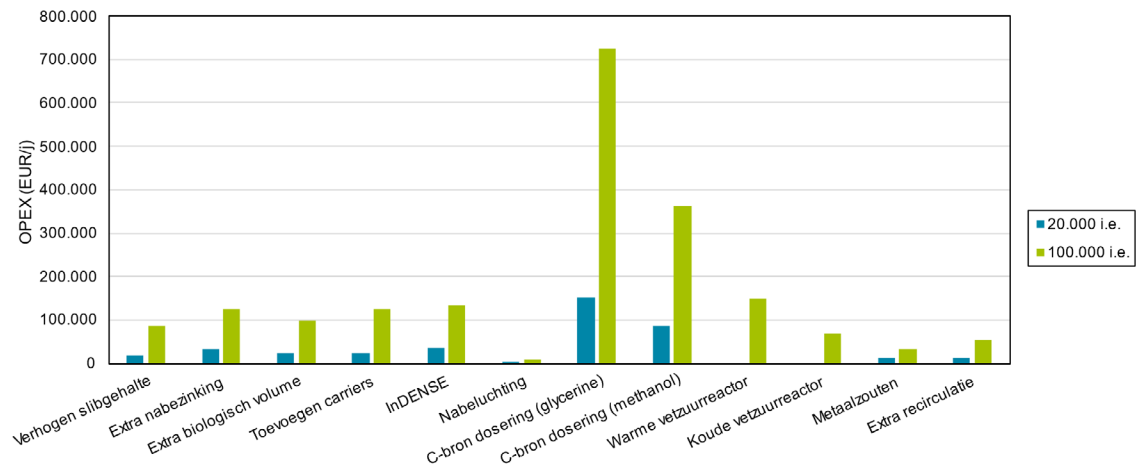
KOSTEN

In Figuur 12 en Figuur 13 zijn de investeringen (EUR) en operationele kosten (EUR/j) van de maatregelen in de hoofdzuivering gepresenteerd. De onzekerheid van de berekening is +/- 40%.

FIGUUR 12 **INVESTERINGEN (EUR) VOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN). NOOT: DE VETZUURREACTOR (WARM EN KOUD) IS NIET BESCHOUWD VOOR 20.000 I.E. (ZIE UITGANGSPUNTEN)**



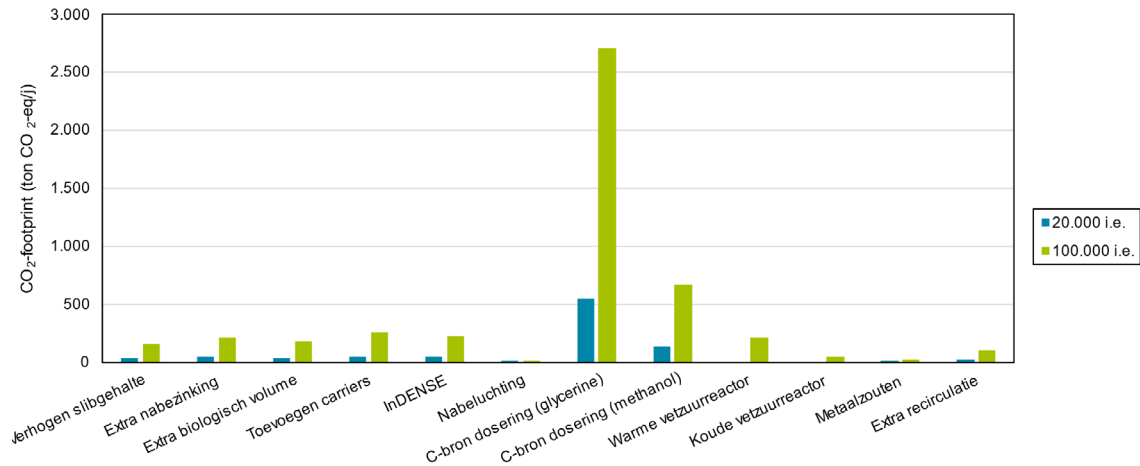
FIGUUR 13 **OPERATIONELE KOSTEN (EUR/J) VOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)**



DUURZAAMHEIDSASPECTEN

In Figuur 14 is de berekende CO₂-footprint van de maatregelen weergegeven. Het blijkt dat de dosering van glycerine het minst duurzaam is; dit wordt veroorzaakt door de relatief hoge emissiefactor (zie Tabel 5).

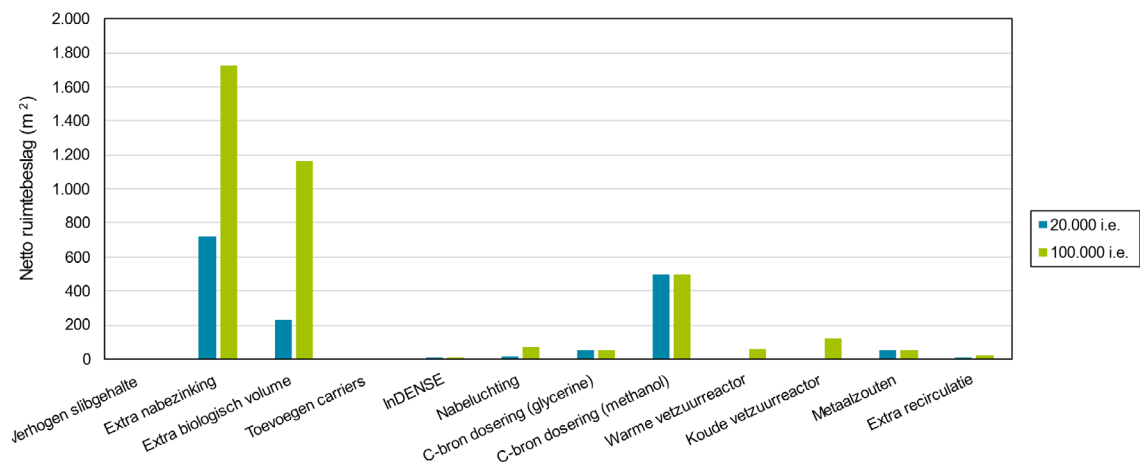
FIGUUR 14 CO₂-FOOTPRINT (TON CO₂-EQ/J) VOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)



RUIMTEBESLAG

Figuur 15 bevat de netto ruimtebeslagen van de maatregelen. De grootste ruimtevraag hoort bij het bijbouwen van een extra nabezinktank, gevolgd door het bijbouwen van biologisch volume. Daarnaast vraagt methanoldosering een relatief grote ruimte vanwege de ingegraven opslag en ATEX-zonering bij het vulpunt.

FIGUUR 15 NETTO RUIMTEBESLAG (M²) VOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)



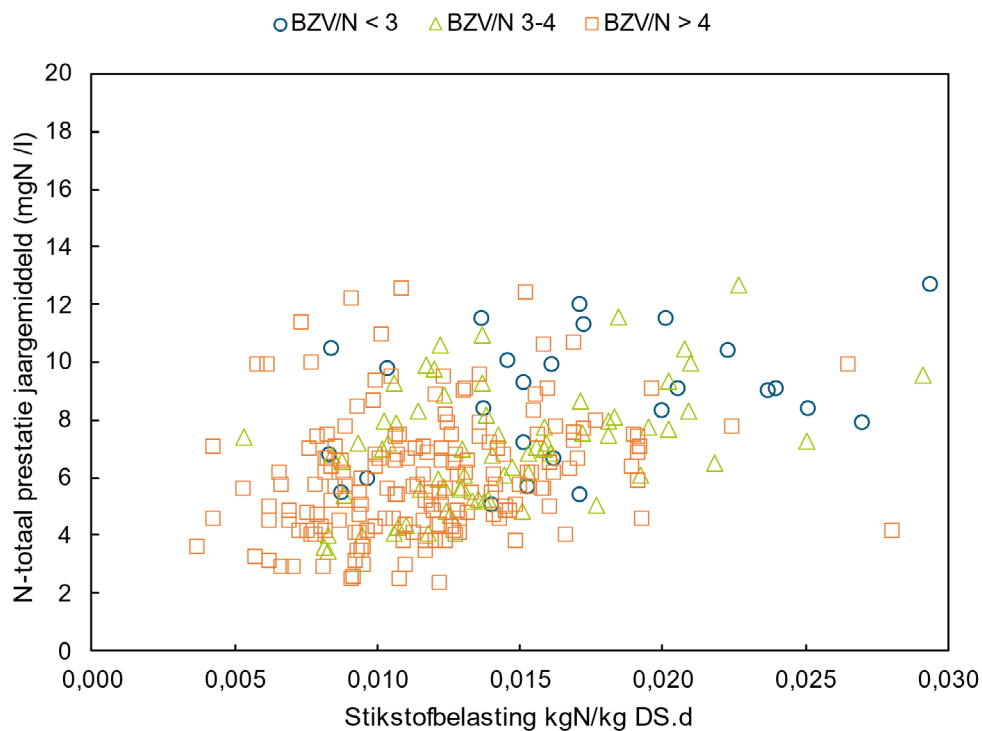
4.1 VERBETEREN VAN PROCESSTURING

In dit hoofdstuk wordt eerst aandacht besteed aan de verschillende typen processturing en de voor- en nadelen van de verschillende typen aansturing op hoofdlijnen. Daarna worden beschouwingen gegeven voor de belangrijkste regelingen: de beluchttingsregeling, recirculatieregeling, metaalzoutendosering en retourlibregeling. De regeling van de primair-slibpompen is voor de effluentkwaliteit ook relevant omdat ze een impact kan maken op verzuring van zwevende delen en het laten vrijkomen van meer vetzuren.

De winst die kan worden verkregen met een goede processturing wordt soms onderbelicht als het gaat om het verkennen van maatregelen voor het verbeteren van de effluentkwaliteit. De investeringen die nodig zijn voor het verbeteren van sturing (al dan niet met aanvullende instrumentatie) zijn relatief beperkt. De aanpassingen kunnen daarnaast in kort tijdsbestek worden gedaan. Bij een aantal processen op de rwzi kan bovendien met het verbeteren van de sturing reductie van lachgasemissie (N_2O) worden bereikt.

De onderstaande grafiek toont de effluentprestatie op stikstof, de stikstofbelasting en de BZV/N-verhouding van de rwzi's in Nederland, op basis van de data uit de bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer (2021). De grafiek laat zien dat bij veel rwzi's de BZV/N-verhouding voldoende of zelfs gunstig te noemen is (BZV/N van 3 tot 4, of > 4), maar dat de behaalde resultaten voor de totaalstikstof ondanks een gelijke stikstofbelasting zeer sterk uiteen kunnen lopen. De stikstofbelasting en BZV/N verhouding corresponderen met het biologisch volume, dus dit zou betekenen dat bij gelijke waarden ongeveer evenveel 'beton' aanwezig is. Dit plaatje laat zien dat de wijze waarop de processen en retourstromen zijn ingericht en hoe het proces wordt gestuurd is minstens zo belangrijk is als het beschikbaar hebben van voldoende biologische capaciteit.

FIGUUR 16 JAARGEMIDDELTE STIKSTOFFPRESTATIE VERSUS STIKSTOFBELASTING PER CATEGORIE BZV/N- VERHOUDING OP BASIS VAN DE GEGEVENS VAN DE BEDRIJFSVERGELIJKING ZUIVERINGSBEHEER (2021)



4.1.1 TYPE AANSTURING

Op hoofdlijnen zijn de volgende typen aansturing bekend die kunnen worden aangewend voor de processen die van belang zijn voor de N- en P-verwijdering.

1. Feed-back regelingen op basis van real-time metingen;
2. Feed-forward regelingen (data gedreven) + feed-back regeling op basis van real-time metingen;
3. Regeling op basis van een neurale netwerk (data gedreven);
4. Regeling op basis van een mechanistisch model.

Voor N- en P-verwijdering is in de hoofdzuivering de beluchttingsregeling één van de belangrijkste regelingen. Ter illustratie worden de bovengenoemde typen regelingen toegelicht aan de hand van de beluchttingsregeling en worden enkele kenmerken, voordelen en nadelen benoemd. De genoemde typen regelingen kunnen eveneens van toepassing zijn voor de recirculatieregeling, retourslibregeling of de regeling voor het doseren van metaalzouten.

Een *feed-back regeling* is een regeling zoals deze klassiek wordt toegepast op rwzi's. Sturing vindt reactief plaats op basis van gemeten waarden in het proces. Bijvoorbeeld: de blower wordt opgetoerd wanneer de meetwaarde van ammonium in het effluent een zekere waarde overschrijdt. De regeling is eenvoudig te implementeren en is voor de bedrijfsvoerder doorgaans goed te doorgronden. Een nadeel van de regeling is dat er alleen gestuurd wordt op het 'nu'. Daarmee is de regeling soms gevoelig voor instabiliteit.

Bij een *feed-forward regeling* leert de regeling patronen in meetdata te voorspellen en stuurt de regeling op deze patronen. Een voorbeeld is het voorspellen van DWA-aanvoer uit meetdata, waarop de beluchting kan worden uitgestuurd. Wanneer de voorspelling van de aanvoer in de praktijk afwijkt met de *real-time* meting, wordt aanvullend bijgestuurd met een feed-back regeling.

- Een voordeel is dat dit type regelingen doorgaans stabiel en nauwkeuriger werken dan alléén feed-back regelingen, mits er patronen aanwezig zijn in de meetdata die het model kan leren.
- De regeling gaat uit van verwachte verbanden in de data: een hoger aanvoerdebiet bij DWA impliceert bijvoorbeeld een hogere zuurstofvraag.
- De regeling is adaptief en gebruikt bij voorkeur een beperkte historie om wijzigingen op te vangen. Indien metingen worden aangepast of de situatie rondom de aanvoer wijzigt zal het model tijdelijk een minder goede voorspelling maken omdat een nieuw patroon moet worden geleerd. In deze periode zal de feed-back regeling dan meer moeten bijsturen.
- Als metingen tijdelijk niet beschikbaar zijn kan de aansturing nog worden gebruikt. Dit is een voordeel ten opzichte van feed-back regelingen.

Bij het regelen op een *neurale netwerk* worden door de procesregeling verbanden gezocht in historische meetdata van de aan de regeling toegevoegde procesmetingen. Door het neurale netwerk wordt steeds een set procesinstellingen gezocht die sterk correleert met een goede effluentkwaliteit. De procesinstellingen kunnen alleen de instellingen van de beluchting zijn, maar kunnen breder worden getrokken door bijvoorbeeld de instellingen voor recirculatie en doseerinstallaties mee te nemen.

- De regeling is potentieel heel krachtig omdat in theorie vergaande optimalisatie mogelijk is en veel meetsignalen en instellingen kunnen worden meegenomen.
- Het model vergt geen kennis van het zuiveringsproces en kan generiek worden toegepast.
- Een neurale netwerk heeft als nadeel dat het is voor de bedrijfsvoerder vaak niet direct

navolgbaar is waarom de regeling bepaalde keuzes maakt, zodoende kan de regeling worden ervaren als een black-box (geen 'explainable AI').

- Een neuraal netwerk vergt een relatief grote historische dataset om met voldoende zekerheid correlaties te vinden en patronen te leren, en eveneens een grote dataset om deze te toetsen.
- Een neuraal netwerk gaat niet uit van vooraf veronderstelde relaties tussen de aansturing en de effluentkwaliteit en is daarom gevoelig voor ruis in de meetsignalen: Als procesmetingen in storing raken, opnieuw worden gekalibreerd of worden verplaatst, zullen de historische correlaties waarop het model de processturing heeft geleerd niet meer representatief zijn voor de praktijk, dit kan leiden tot een onvoorspelbare reactie van de aansturing.
- Het leren van nieuwe relaties door wijzigingen in de praktijk kost bij een neuraal netwerk relatief veel tijd ten opzichte van een feed-forward regeling. Terwijl het model leert zal moeten worden teruggevallen op een ander type regeling.
- Het toepassen van een neuraal netwerk vergt in de praktijk dat bijzondere bedrijfssituaties worden herkend en afgevangen door alternatieve sturing, en dat data voldoende kan worden opgeschoond alvorens het wordt gebruikt voor de sturing in normaal bedrijf.
- Als metingen tijdelijk niet beschikbaar zijn kan de aansturing nog worden gebruikt. Dit is een voordeel ten opzichte van feed-back regelingen.

Bij het regelen op *mechanistische modellen* wordt getracht het proces wat in de praktijk plaatsvindt (bio)chemisch en eventueel hydraulisch te modelleren, daaruit stuurparameters zoals zuurstofvraag of recirculatiebehoefte af te leiden, en vervolgens daarop te sturen.

- Een kracht van deze wijze van aansturen is dat bedrijfsvoerders veel inzichten kunnen opdoen over het systeem waarmee ze werken en hoe dat systeem zou reageren op wijzigingen.
- Een nadeel is dat de regeling relatief complex en arbeidsintensief is om te maken en te onderhouden.
- Soms is een mechanistisch model ondanks kalibratie niet in staat de praktijksituatie te simuleren omdat rwzi's locatiespecifieke condities kennen die niet geheel in een generiek model kunnen worden gevangen.
- Het in real-time³⁷ modelleren van een proces als een beluchtingstank kan rekentech-nisch een uitdaging zijn, met name als (bio)chemische modellen worden gekoppeld aan CFD-modellen in 3D. Dit nadeel zal naar verwachting afnemen in de toekomst naarmate meer rekenkracht beschikbaar is.
- Gelet op de kosten en complexiteit van dit type regelingen kan de meerwaarde ten opzichte van een klassieke feed-back regeling niet altijd worden aangetoond.

4.1.2 BELUCHTINGSREGELING

In de basis heeft de beluchtingsregeling tot doel voldoende zuurstof te leveren voor de (bio)chemische omzettingen in de beluchtingstank. Er is een zekere aerobe sibleeftijd nodig om tot voldoende ammoniumverwijdering te komen en daarbij hoort een benodigd aerob volume. Bij voorkeur is de aerobe zone echter niet groter dan nodig, omdat dan denitrificatiecapaciteit verloren kan gaan. De beluchtingsregeling zorgt bij wisselende belasting in een actief slibsysteem voor de juiste verhouding tussen aerobe en anoxische volumina.

³⁷ Of: bij benadering in real time.

Bij een te lage zuurstoftoevoer daalt de opgeloste zuurstof in de aerobe zone en wordt de aerobe zone eventueel ook kleiner. Dit vertraagt de omzetting van ammonium naar nitriet en nitraat en laat als gevolg hiervan ammonium in het effluent toenemen. Is het zuurstofgehalte bij de afloop van de aeratietanks daarnaast te laag, dan wordt bij bio-P-systemen fosfaatgifte in de nabezinktanks geriskeerd waardoor de totaalfosfor in het effluent snel kan oplopen.

Bij een te hoge zuurstoftoevoer worden meer zones aerob omdat zuurstof in de aerobe zones onvoldoende wordt opgebruikt. Opgelost zuurstof wordt dan doorgegeven aan nageschakelde anoxische zones, of wordt teruggevoerd naar anoxische zones via interne recirculatie. De denitrificatiecapaciteit wordt door het overtollige zuurstof beperkt en nitraat en N-tot in het effluent kan hierdoor toenemen. Bij voorkeur wordt nauwgezet gestuurd op een vlakke (en lage) ammoniumwaarde in het effluent. Dit heeft naar verwachting voordelen in relatie tot lachgasvorming (N_2O)³⁸.

Bij een langdurig te hoge zuurstoftoevoer (overbeluchting) kunnen bio-P bacteriën hun glycogeenreserves uitputten, waardoor ze te weinig energie hebben om vluchtige vetzuren op te kunnen opnemen. Dit leidt tot langzame afname van bio-P activiteit.

MEETAPPARATUUR

Voor een optimale beluchtingsregeling is enige meetapparatuur vereist. Het minimum voor een efficiënte en effectieve beluchtingsregeling is een O_2 -sensor en een betrouwbare NH_4-N meting, waar bijvoorbeeld met een PID-regelaar de uitsturing van de blower of de uitsturing van oppervlaktebeluchting op kan worden gestuurd. Het is mogelijk om alléén met een O_2 -sensor de beluchting aan te sturen, hiermee kan de gemiddelde ammoniumconcentratie in het effluent wel worden beheerst, maar niet nauwgezet worden gestuurd. Daarnaast zal een operator pas na het verkrijgen van monsternameresultaten verbeteringen kunnen doorvoeren ten behoeve van de stikstof en fosforwaarden in het effluent. Dit bemoeilijkt optimalisatie van N en P in het effluent.

Een NH_4-N analyzer nabij de afloop van de aeratietank wordt aanbevolen zodat direct op deze analyzer of indirect³⁹ op de NH_4-N waarde van het effluent worden gestuurd. Een NO_x-N -sensor (o.b.v. uv-licht) geeft inzicht in de balans tussen ammonium en nitraat, en kan worden benut om te sturen op totaalstikstof. Wanneer de slibleeftijd aan de hoge kant is (er is overcapaciteit), dan kan het zijn dat de denitrificatie altijd relatief goed is, en is de NO_x-N -sensor voor wat betreft de beluchtingsregeling niet altijd noodzakelijk om een goede effluentkwaliteit te verkrijgen. NO_x-N metingen worden wél geadviseerd om tot optimale sturing te komen.

Met behulp van PO_4-P analyzer bij de afloop van de beluchtingstank kan P-afgifte worden gesignaleerd en de beluchting kan dan worden opgevoerd om deze P weer biologisch op te nemen. Ook kan door middel van de juiste analyses van de trenddata van deze analyzer en O_2/NO_x-N metingen overbeluchting worden gesignaleerd (wat een verminderde werking van het bio-P-proces tot gevolg kan hebben).

38 Zie STOWA 2023-33 voor meer informatie over de relatie van ammonium effluentwaarden en beluchting met lachgasvorming.

39 Een voorbeeld van een indirecte regeling is dat de beluchting op de O_2 -sensor wordt gestuurd, en dat het O_2 setpoint wordt aangepast naar gelang de NH_4-N meetwaarde en/of de 1^e afgeleide van deze meetwaarde. Hierop zijn diverse variaties mogelijk.

Het combineren van kwaliteits- en debietmetingen voor de beluchtingstanks maakt het mogelijk om de beluchting op inkomende vrachten te sturen. De gemeten ammoniumvracht kan een indicator zijn van de te verwachten beluchtingsvraag.

Er zijn ion-selectieve sensoren op de markt die de meting van $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ combineren. Deze sensoren gebruiken de in afvalwater aanwezige ionen K^+ en Cl^- om NO_3^- en NH_4^+ te meten. Wanneer er verschuivingen in de verhoudingen van de genoemde ionen optreden ten opzichte van de concentraties waarbij de sensor is gekalibreerd zal de meting gaan afwijken. Kalium is een ion wat vrijkomt bij fosfaatafgifte door bio-P-bacteriën, en de concentraties ammonium en nitraat fluctueren doorgaans door de bedrijfsvoering. Daarom wordt het gebruik van ion-selectieve sensoren in de beluchtingsregeling op rwzi's afgeraden. Dit geldt temeer voor batch-systemen waar ionenconcentraties in de reactor zeer sterk kunnen wisselen. Ion-selectieve sensoren zijn meer geschikt als trendvolgers dan als metingen voor de processturing, mits ze voldoende vaak worden gekalibreerd.

Optimalisatiekansen voor de beluchtingsregeling:

- **Verbeteren van een instabiele regeling:** De ammoniumconcentratie bij afloop van de aeratietank is onder DWA-condities niet stabiel in de tijd en schommelt rondom de doelwaarde van de regeling. Mogelijk schommelen nitraatwaarden daarom ook mee. De beluchting reageert in deze gevallen vaak te sterk en/of te langzaam op de meetwaarden waarop wordt gestuurd. De instellingen van de PID-regelaar kunnen worden geoptimaliseerd om dit probleem te verhelpen, of er kan worden gewerkt met een feed-forward regeling voor een verbeterde stabiliteit. De genoemde schommelingen kunnen voor de gemiddelde effluentkwaliteit nadelig zijn, maar soms zijn de prestaties in een 24uursmonster relatief soortgelijk aan die van een stabielere regeling. Schommelingen in ammonium en opgeloste zuurstof zijn niet gunstig in relatie tot lachgasproductie (STOWA 2023-33)⁴⁰, daarnaast wordt er meestal meer energie verbruikt en is er meer kans op slijtage van blowers bij een regeling die instabiliteit vertoont.
- **Verbeteren positie O_2 -sensor:** De zuurstofmeting hangt (in omloopcircuits) te ver van de oppervlaktebeluchters en/of beluchtingsvelden, of juist te dichtbij. Hierdoor is het zuurstofgehalte altijd hoog óf altijd laag en daarom kan niet goed op de O_2 waarde worden gestuurd. In gemengde aeratietanks is het van belang de O_2 -sensor niet in een zone te plaatsen die niet goed doorstroomd wordt (zoals in een hoek van de bak), om te voorkomen dat de O_2 -sensor geen representatief beeld van de tank weergeeft.
- **Voorkomen van overbeluchting:** De zuurstofwaarde in de actiefslibtanks is veelal (ver) boven het gewenste setpoint. De regeling toert onvoldoende terug of de luchttoevoer is gebaseerd op een zekere ondergrens, bijvoorbeeld om slib niet te laten bezinken. Structurele overbeluchting kan negatief zijn voor de bio-P-activiteit. Bio-P-bacteriën putten onder langdurige aerobe condities hun glycogeenreserves uit, waardoor ze daarna niet meer in staat zijn om vetzuren op te nemen en orthofosfaat af te geven. Over tijd loopt de bio-P-activiteit terug en kan eventueel metaalzoutenverbruik toenemen. Hoge zuurstofwaarden in het effluent zijn nadelig voor C-bron verbruik op nageschakelde denitrificerende filters. Daarnaast kan overbeluchting leiden tot een hogere N_2O -emissie.

40 STOWA 2023-33 "Ervaringen vanuit de community of practice over de emissie van lachgas vanuit rioolwaterzuiveringsinstallaties".

- **Sturen op lagere NH₄-N waarden:** In veel systemen is in het verleden gestuurd op relatief hoge ammoniumwaarden met als vertrekpunt het halen van een totaal stikstof eis en/of het besparen van zoveel mogelijk energie. Wanneer de effluentkwaliteit verbeterd moet worden is omzetting van extra ammonium een potentiële *quick win*, mits het gevormde nitraat ook kan worden verwijderd. Hierover kan het volgende worden gezegd:
 - Het continue sturen op relatief hoge ammoniumwaarden maakt een systeem gevoeliger voor ammoniumpieken in het effluent bij piekbelasting omdat de populatie van nitrificeerders zich instelt op een lagere aerobe sibleeftijd.
 - Sturen op een lagere ammoniumwaarde (bijvoorbeeld van 2,0 mg NH₄-N/l naar 1,0 mg NH₄-N/l) veroorzaakt op zichzelf maar een beperkte aanvullende zuurstofvraag, maar het toepassen van een hoger zuurstofsetpoint bij DWA om de omzetting van ammonium te versnellen kan wel energie kosten. Dit is omdat de drijvende kracht voor zuurstofinbreng dan afneemt, en zodoende het benodigde luchtdebiet toeneemt.
 - Sturen op (zeer) lage ammoniumwaarden (0,5 mgNH₄-N/l of lager) is bij laag belaste systemen vaak mogelijk zonder het nitraatgehalte in het effluent significant te beïnvloeden omdat al voldoende sibleeftijd aanwezig is. Dit geldt met name voor omloop-systemen omdat de aerobe ruimte hier variabel is naar gelang de ingebrachte hoeveelheid zuurstof.
 - Het compartimenteren van de beluchttingszones kan bijdragen aan het bereiken van zeer lage ammoniumwaarden in de biologie (zie STOWA 2017-46). Propstroomsystemen hebben in deze een natuurlijk voordeel.
 - Nitraat kan relatief eenvoudig in nageschakelde processen (een filtratiestap) worden verwijderd. Het verwijderen van ammonium én het daaruit gevormde nitraat in nageschakelde processen is relatief kostbaar. Daarom is het zinvol om bij scherpe eisen voor ammonium en stikstof in de hoofdzuivering de ammoniumverwijdering te maximaliseren, zodat in de nageschakelde processen de aandacht op nitraatverwijdering kan liggen.

4.1.3 RECIRCULATIEREGELING

In de basis heeft de recirculatieregeling tot doel om de verwijdering van nitraat die is gevormd in de beluchte zone te maximaliseren door nitraat terug te brengen naar een (voor)denitrificatiezone.

MEETAPPARATUUR

De recirculatieregeling kan het beste worden gestuurd op NO₃-N metingen. Het is eventueel mogelijk om met redoxmetingen te werken, maar dit zijn afgeleide metingen waarbij minder inzichtelijk is welke prestatie de (voor)denitrificatie levert.

STUREN OP OPTIMAAL GEBRUIK VAN DE (VOOR)DENITRIFICATIE

Bij voorkeur is een meting beschikbaar bij de afloop van de voordenenitrificatie die kan aangeven of de voordenenitrificatie in staat is betere waarden voor nitraat te behalen dan de huidige effluentwaarde in het biologisch effluent. Als dit het geval is heeft meer recirculeren nog toegevoegde waarde. Als de waarden relatief gelijk zijn is de denitrificatiecapaciteit volledig benut.

4.1.4 REGELING VOOR DOSERING VAN METAALZOUTEN

Op veel rwzi's worden op de waterlijn metaalzouten gedoseerd om te kunnen voldoen aan de geldende normen voor totaalfosfor in het effluent. Dit kan in combinatie met bio-P óf als volledig chemische P-verwijdering.

MEETAPPARATUUR

Voor metaalzoutdosering is het nuttig om continu $\text{PO}_4\text{-P}$ te meten in het biologisch effluent. Een aanvullende $\text{PO}_4\text{-P}$ meting in de anaerobe tank en een debietmeting op het influent/effluent kan ook in de regeling worden benut.

STUREN OP OPTIMALE DOSERING VAN METAALZOUTEN

Bij het doseren van metaalzouten als continue dosering wordt afgeraden om in de anaerobe zones te doseren. Hoewel de efficiëntie van de fosforverwijdering gelet op het metaalzoutenverbruik hier hoger kan zijn, is het risico op een verminderde werking van het bio-P-proces groter dan bij het doseren op de afloop van de biologie.

Bij hoge vrachten van inkomende vetzuren onder first-flush condities is het mogelijk om (gedurende de piekbelasting) metaalzouten op de anaerobe tank te doseren om zo fosfaatpieken af te vlakken. Om de fosfaatpiek als gevolg van P-release tijdig te herkennen is een $\text{PO}_4\text{-P}$ analyzer bij de anaerobe tank en een debietmeting van de aanvoer nodig. De locatie van de analyzer vraagt wel extra aandacht van de beheerder: omdat monsters uit influent worden getrokken zullen de membranen van de analyzer sneller vervuilen. Deze toepassing loont naar verwachting meer bij rwzi's met relatief lange persleidingen als aanvoerstelsel.

Omdat doseren van metaalzouten op nageschakelde technieken doorgaans een hogere Me/P-verhouding vraagt voor fosfaatverwijdering wordt aangeraden eerst op de biologie te doseren en in een filtratiestap een aanvullende dosering toe te passen. In de biologie kan efficiënt tot een $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte van ongeveer 0,2 - 0,4 mg $\text{PO}_4\text{P/l}$ worden gedoseerd. In de nabehandeling kunnen gehalten van < 0,05 mg $\text{PO}_4\text{P/l}$ worden bereikt.

4.1.5 REGELING VOOR PRIMAIR-SLIBPOMPEN

Indien voorbezinking aanwezig is en een tekort aan vetzuren voor het bio-P-proces en/of denitrificatieproces wordt vermoed, dan is het mogelijk om primair slib enige tijd in de voorbezinktank te laten verzuren en zo vetzuren los te weken uit het primair slib die kunnen worden benut in de hoofdzuivering.

Dit kan worden bewerkstelligd door intermitterend primair slib af te pompen en steeds een laag primair slib in de tank te laten staan. Er moet daarbij wel rekening worden gehouden met de volgende zaken:

- Het aanpassen van de regeling voor primair-slibafvoer en de indikking van primair slib in de voorbezinktank kan soms leiden tot verstoppingen in de afvoerleiding.
- De verzuring is niet effectief bij een lage watertemperatuur (< 10 °C)
- Verzuring in voorbezinking kan aanvullende emissie van geur tot gevolg hebben, met name als de voorbezinktank niet is afgedekt/afgezogen. Doorgaans zijn voorbezinktanks afgezogen en wordt de lucht behandeld. Bij een structureel verhoogde belasting stellen lavafilters zich in op een hogere vracht aan H_2S en kan de geurverwijdering goed zijn⁴¹. Met name variatie in H_2S vracht dient te worden voorkomen.

4.1.6 RETOURLIBREGELING

De retourslibpompen óf vizels vormen een deel van de recirculatiecapaciteit van de rwzi. Soms is het mogelijk om aanvullende nitraatverwijdering te bewerkstelligen door de slibretourvizels bij DWA-condities hoger uit te sturen dan noodzakelijk is voor het terugvoeren van het slib naar de biologie. De optimalisatie kan proefondervindelijk plaatsvinden waarbij het nitraat in het effluent wordt gemonitord.

41 STOWA 2000-03 "Biologische luchtzuiveringssystemen op rwzi's"

De retourslibregeling wordt meestal geoptimaliseerd in relatie tot het voorkomen van slibuitspoeling, het energieverbruik⁴² en het voorkomen van te dun retourslib (in relatie tot onttrekking van surplusslib). Het is van belang deze doelen niet uit het oog te verliezen bij het aanpassen van de regeling.

4.2 TOEPASSEN VAN VOORBEHANDELING

Door de toepassing of aanpassing van een voorbehandelingsinstallatie kunnen bestaande zuiveringen worden ontlast; hiermee zal de zuiveringscapaciteit toenemen. Vier soorten voorbehandelingsmaatregelen zijn beschouwd:

1. Voorprecipitatie op bestaande voorbezinktanks
2. (Bij)bouwen van voorbezinktanks
3. (Bij)bouwen van een fijnzeefinstallatie
4. (Bij)bouwen van een *Dissolved Air Flotation* (DAF)-systeem

De aangenomen rendementen van de voorbehandelingstechnieken zijn gepresenteerd in Tabel 10.

TABEL 10 AANGENOMEN RENDEMENTEN VAN VOORBEHANDELINGSTECHNIKEN (RENDEMENTEN VOOR FIJNZEEF EN DAF UIT STOWA 2014-47⁴³)

Parameter	Eenheid	Voorbezinktank excl. voorprecipitatie	Voorbezinktank incl. voorprecipitatie	Fijnzeefinstallatie	DAF unit
CZV	%	35	55	33	41
BZV ₅	%	35	50	46	39
NKj-N	%	5	23	10	14
NO _x -N	%	0	0	0	0
P-totaal	%	10	25	8	11
OB	%	55	73	55	55

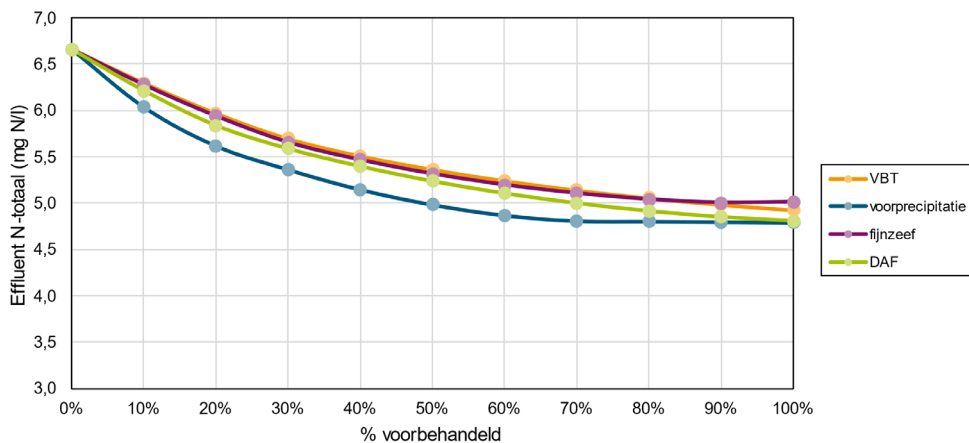
Bovenstaande rendementen zijn gebruikt in modelberekeningen; de invloed van de verschillende voorbehandelingen op de effluent N-totaal- en P-totaalconcentraties van de referentiezuivering (20.000 i.e.) is weergegeven in respectievelijk Figuur 17 en Figuur 18. Het blijkt dat een voorbehandeling een positief effect heeft op de N-verwijdering, terwijl de P-verwijdering in de modelberekeningen negatief wordt beïnvloed. Dit wordt veroorzaakt door een hogere slibleef tijd (gelijkblijvend volume van de aeratietanks).

42 STOWA 2011-14 "Inventarisatie praktijkcases energiezuinig retourslib"

43 STOWA 2014-47 "DAF als voorbehandeling van communaal afvalwater"

FIGUUR 17

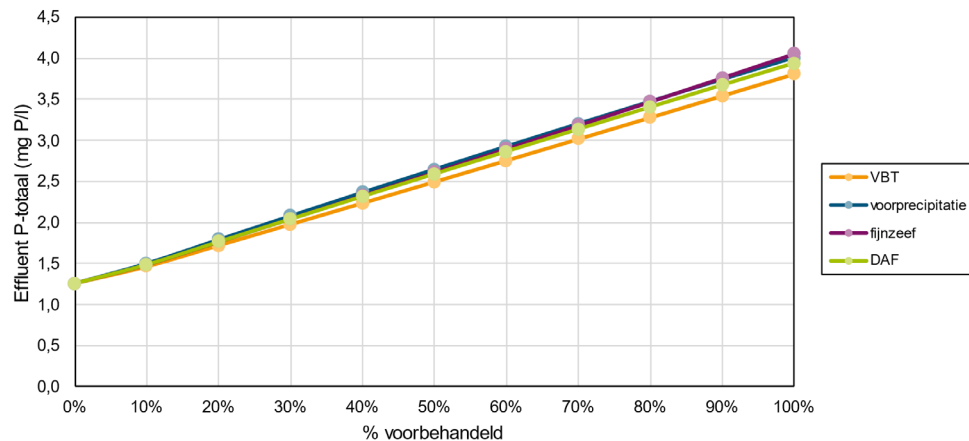
INVLOED VAN VOORBEHANDELING EN HET PERCENTAGE VOORBEHANDELD INFLUENT OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE (MG N/L). VOOR DEZE ANALYSE ZIJN DE VOORBEHANDELINGSRENDERMENTEN UIT TABEL 10 GEBRUIKT



Daarnaast bestaan er kleine verschillen tussen de verschillende voorbehandelingen; zo zorgt voorprecipitatie voor de laagste N-concentratie. Hierbij moet worden aangegeven dat de voorbehandelingsrendementen kunnen verschillen per zuivering; daarnaast is het effect op de effluentconcentraties sterk afhankelijk van de influentsamenstelling en de mate van belasting van de hoofdzuivering.

FIGUUR 18

INVLOED VAN VOORBEHANDELING EN HET PERCENTAGE VOORBEHANDELD INFLUENT OP DE EFFLUENT P-TOTAALCONCENTRATIE (MG P/L). VOOR DEZE ANALYSE ZIJN DE VOORBEHANDELINGSRENDERMENTEN UIT TABEL 10 GEBRUIKT



Het is belangrijk om op te merken dat het rendement van fijnzeven afhankelijk is van de deeltjesgrootteverdeling van zwevende stof in het influent. De resultaten kunnen per locatie sterk verschillen.

4.2.1 TOEPASSEN VAN VOORPRECIPITATIE OP BESTAANDE VOORBEZINKTANKS

Bij voorprecipitatie worden chemicaliën voor of in de bestaande voorbezinktank(s) gedoseerd om extra fosfaat te verwijderen (STOWA 1993-06).⁴⁴ Hierbij wordt fosfaat gebonden met meerwaardige metaalionen; de metaalionen worden in de vorm van ijzerzouten, aluminiumzouten of kalk gedoseerd. Voor de chemicaliënbreng wordt soms gebruikgemaakt van een apart mengbassin, maar vaker vindt de dosering plaats in de zandvang of de toevoer van de voorbezinktank zelf.

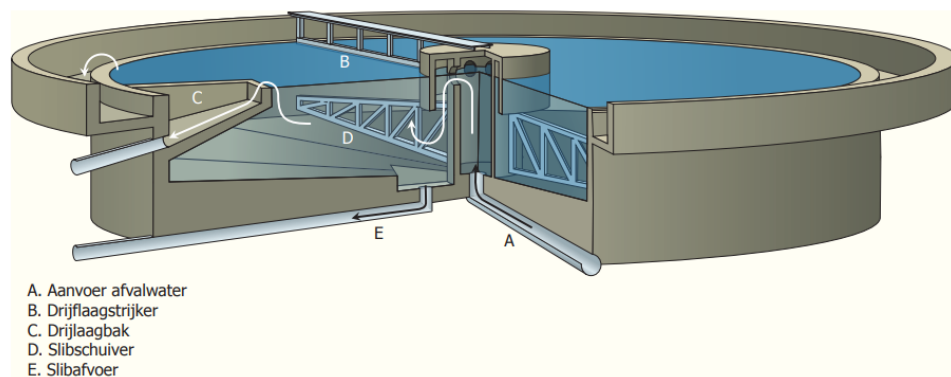
⁴⁴ STOWA 1993-06 "Handboek chemische P-verwijdering"

Bij voorprecipitatie dient niet al het fosfaat te worden verwijderd. Dit is omdat het slib in de biologische trap nog fosfaat nodig heeft voor groei en stofwisseling. Het te bereiken P-gehalte na de voorbezinking is mede afhankelijk van de P-verwijdering in de biologische zuivering. Daarnaast kan het nodig zijn dat er een bypass-stroom plaatsvindt om de voorbezinktank, indien de BZV/N-verhouding onder 3 uitkomt (er wordt ook BZV en CZV verwijderd met voorprecipitatie).

4.2.2 (BIJ)BOUWEN VAN VOORBEZINKTANKS

Voorbezinking is een robuuste techniek om de rwzi te ontlasten. Voorbezinking wordt typisch toegepast op rwzi's groter dan 100.000 i.e. omdat dit kostenefficiënt is in aanleg. Bij kleinere rwzi's is de besparing die wordt gehaald op het biologisch volume te gering om een voorbezinktank te rechtvaardigen. Het plaatsen van voorbezinking resulteert daarnaast in een primair-slibstroom die moet worden verwerkt; dit verse slib rot sneller aan dan secundair slib en dit heeft gevolgen voor geuremissie/luchtbehandeling en veiligheid als het op locatie moet worden opgeslagen alvorens het slibtransport. Dit kan een aanvullende reden zijn om voorbezinking niet toe te passen bij (kleine) installaties zonder slibgisting. In specifieke gevallen kan een voorbezinktank wel rendabel zijn bij kleine rwzi's; bijvoorbeeld als de zuivering relatief veel organisch materiaal ontvangt uit bedrijfsafvalwater (voedingsmiddelenindustrie).

FIGUUR 19 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN RONDE VOORBEZINKTANK (BRON: TU DELFT, 2008)⁴⁵



De technologie verbruikt weinig energie en verbruikt in de basis ook geen hulpstoffen. Daarvoor wordt een relatief efficiënte afscheiding van vuillast verkregen. Afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater en de hydraulische belasting van de voorbezinking zal de efficiëntie in de praktijk variëren. Een nadeel van de technologie is dat het ruimtegebruik relatief groot is.

4.2.3 (BIJ)BOUWEN VAN EEN FIJNZEEFINSTALLATIE

Fijnzeven zijn in Nederland op enkele locaties gerealiseerd en fungeren daar als voorbehandeling. Daarbij zijn in Nederland full-scale uitvoeringen als zeefband (rwzi Aarle-Rixtel, rwzi Beemster, rwzi Blaricum) of trommelzeef (rwzi Leidsche Rijn, zie Figuur 20) bekend.

⁴⁵ TU Delft 2008. "Afvalwaterbehandeling – Civiele Gezondheidstechniek - CT3420"

FIGUUR 20 TROMMELZEEF (LINKS) EN ZEEFBOCHT (RECHTS) OP RWZI LEIDSCHER RIJN (BRON: VAN DE POL ET AL., 2020)⁴⁶

In een fijnzeefinstallatie wordt zeefgoed (cellulose) afgevangen en zo de biologische zuivering ontlast. De fijnzeef zal resulteren in een lagere fractie inerte biomassa en een hogere (actieve) slibleeftijd; dit is vergelijkbaar met het effect van voorbezinktanks volgens metingen op rwzi Blaricum.⁴⁷ In STOWA rapport 2010-19 zijn inzichten op te halen voor de relevante ontwerp- en bedrijfsvoeringaspecten. De efficiëntie van de fijnzeven is afhankelijk van de gekozen maaswijdte van de zeef en de deeltjesgrootteverdeling van de zwevende stof in het influent.⁴⁸ Daarom kunnen de verkregen resultaten per locatie uiteenlopen.

De technologie vergt meer energie dan voorbezinking maar gebruikt geen hulpstoffen. Afgevangen zeefgoed kan met behulp van zeefbochten en/of schroefpersen worden ontwaterd naar een drogestofgehalte van meer dan 30% waardoor het steekvast kan worden afgevoerd. Het zeefgoed kan ook in een dunnere stroom worden (mee)vergist of worden ingezet voor vetzuurproductie (zie hoofdstuk 4.5.3). Daarnaast kan het teruggewonnen cellulose als grondstof worden afgezet.

4.2.4 (BIJ)BOUWEN VAN EEN DAF-SYSTEEM

In Dissolved Air Flotation systemen kunnen zwevende stof, organisch materiaal en vet (FOG, naar het Engelse *fat, oil and grease*) worden verwijderd door middel van flotatie (STOWA 2014-03)⁴⁹. Een deel van het voorbehandelde water (eluaat) wordt onder druk gezet (4-6 bar) en hierin wordt lucht geïnjecteerd. Deze stroom wordt gerecirculeerd en gemengd met influent. Door verlaging van de druk (tot 1 bar) worden luchtbelletjes van 30-50 µm gevormd die zich aan vuildeeltjes hechten. Deze vuildeeltjes drijven vervolgens naar de oppervlakte, waar een drijfslaag vormt die kan worden verwijderd.

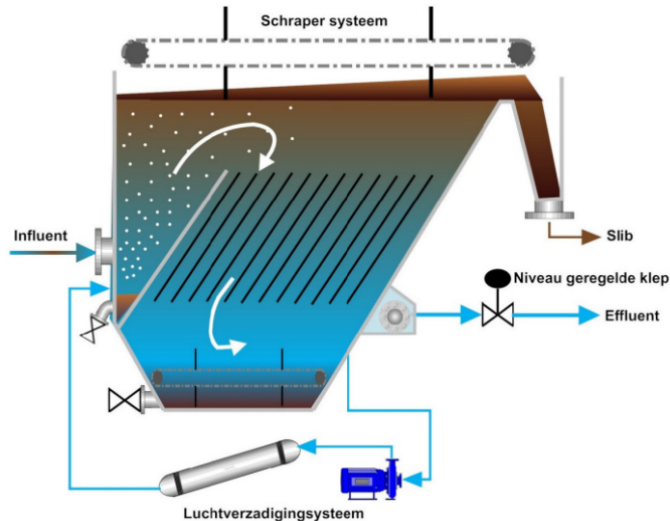
⁴⁶ Van de Pol et al. 2020. "Influent voorbehandeling met trommelzeven op rwzi Leidsche Rijn"

⁴⁷ STOWA 2010-19 "Influent fijnzeven in rwzi's"

⁴⁸ Screenshot 2017. "D4.3 Monitoring report - Fijnzeven op rwzi Aarle-Rixtel - Het effect van fijnzeven op het rwzi proces"

⁴⁹ STOWA 2014-03 "Dissolved Air Flotation (DAF) als voorbehandeling van communale afvalwater"

FIGUUR 21 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN DAF-INSTALLATIE (BRON: STOWA 2014-03)



Door de toepassing van een DAF-systeem zal de biologische zuivering worden ontlast en vindt minder secundair-slibproductie plaats. Het primair slib dat ontstaat uit de DAF-unit kan worden ingezet voor de productie van biogas of grondstoffen (STOWA 2014-03). Vergeleken met een voorbezinktank heeft een DAF-systeem een beperkt ruimtebeslag en hogere rendementen voor CZV, BZV, OB en fosfaat. Door de compactheid, in combinatie met de technisch en hydraulische inpasbaarheid, kan DAF ook eenvoudiger worden toegepast op bestaande (kleinschalige) rwzi's (STOWA 2014-47).

Op het gebied van kosten en duurzaamheid presteren DAF-systemen echter minder goed dan voorbezinktanks; ook hebben de systemen in Nederland nog geen toepassing in de communale rioolwaterzuivering. De systemen worden wel toegepast bij drinkwaterproductie en industriële afvalwaterzuivering. Daarnaast kan de afvalwatersamenstelling ongunstig worden beïnvloed door de toepassing van een DAF-systeem; dit kan negatieve gevolgen hebben voor de biologische N- en P-verwijdering in de hoofdzuivering. Dit laatste risico bestaat voornamelijk wanneer chemicaliën worden gedoseerd op het DAF-systeem (STOWA 2014-03).

4.3 VERHOGEN VAN DE SLIBLEEFTIJD

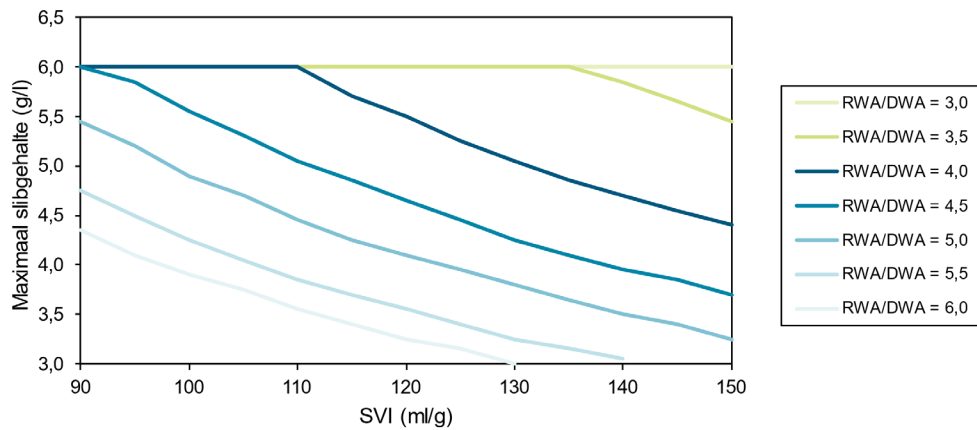
Het verhogen van de sibleeftijd heeft in de regel een gunstig effect op de stikstofverwijdering in de zuivering. Het wordt mogelijk om tot lagere $\text{NH}_4\text{-N}$ waarden te zuiveren (aerobe sibleeftijd) en een betere $\text{NO}_3\text{-N}$ verwijdering te bewerkstelligen (anoxische sibleeftijd). Er zijn diverse maatregelen die ingrijpen op de sibleeftijd die hieronder nader worden toegelicht.

4.3.1 VERHOGEN VAN HET SLIBGEHALTE BIJ EEN LAGERE SVI

Het slibgehalte dat kan worden aangehouden in de biologische ruimte wordt beïnvloed door de nabezinkcapaciteit, de maximale hydraulische aanvoer en de slib volume index (SVI_{30}). Het effect van deze factoren op het maximale slibgehalte is weergegeven in Figuur 22.

FIGUUR 22

MAXIMAAL SLIBGEHALTE (G/L) ALS FUNCTIE VAN DE SLIB VOLUME INDEX (ML/G) EN DE RWA/DWA-VERHOUDING (DE NABEZINKCAPACITEIT VAN DE REFERENTIEZUIVERINGEN IS GEBASEERD OP EEN RWA/DWA-VERHOUDING VAN 4,0)



Uit bovenstaande figuur blijkt dat zowel een lagere SVI als een lagere RWA/DWA-verhouding ruimte biedt voor een hoger slibgehalte. Een lagere SVI dan de ontwerpwaarde kan optreden door o.a. een goed werkende selector met propstroomkarakter (STOWA 2001-02)⁵⁰ of de toepassing van een SVI-verlagende technologie zoals inDENSE® of BioMag®.

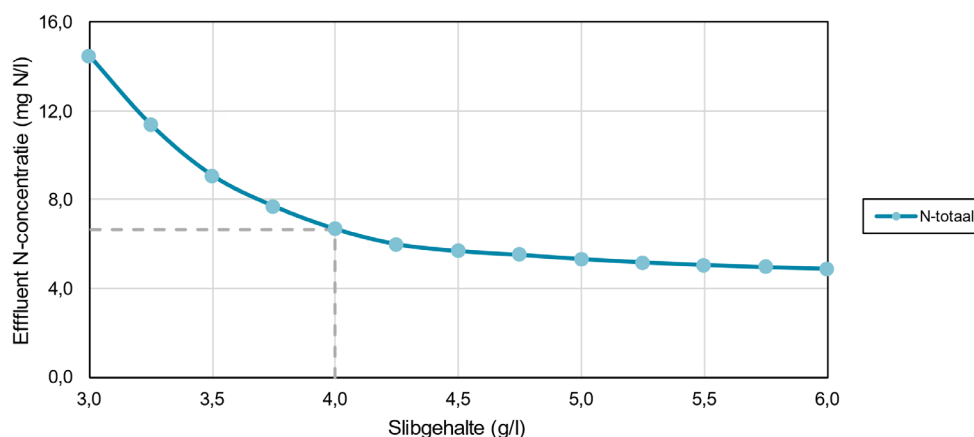
De invloed van een verhoging van het slibgehalte op de effluent stikstof- en fosforconcentraties van de referentiezuiveringen is gepresenteerd in onderstaande figuren. Een hoger slibgehalte zal leiden tot een toename van het aanwezige slib in het systeem, waardoor de slibleeftijd toeneemt. Een hogere slibleeftijd heeft een (beperkte) verlaging van de slibproductie tot gevolg door meer afbraak van slib.

De hogere slibleeftijd zorgt ervoor dat het aandeel denitrificatie in het systeem kan toenemen, waardoor de stikstofverwijdering verbetert (Figuur 23).

Een slibgehalte van meer dan 6,0 g/l wordt niet geadviseerd voor actief slib in verband met de bezinkbaarheid van het slib. Een slibvolume van lager van 200 ml/l (afhankelijk van de SVI₃₀ en het slibgehalte) wordt eveneens niet geadviseerd om het behoud van de filterende werking van het slibbed in de nabezinktank te borgen. Lagere waarden kunnen leiden tot hogere zwevende stof in het effluent, waardoor ook de N-totaal- en P-totaalconcentraties toenemen.

50 STOWA 2001-02 "Beheersing van licht slib bij de behandeling van stedelijk afvalwater met biologische nutriëntenverwijdering"

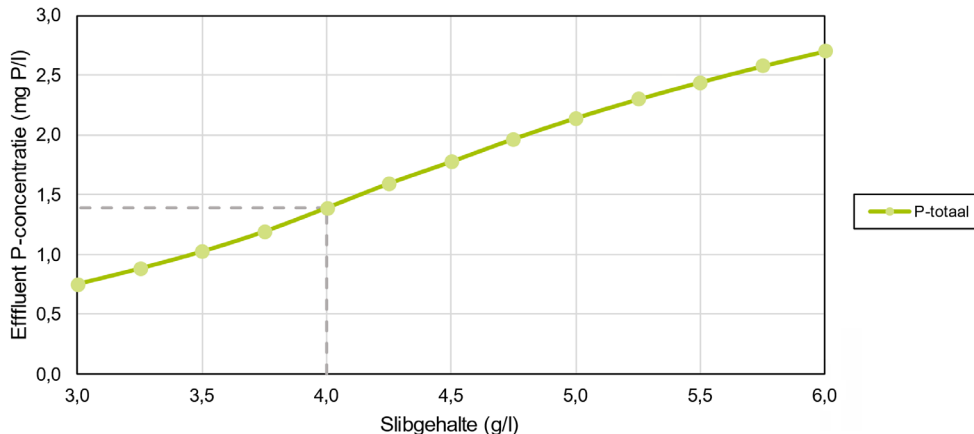
FIGUUR 23 INVLOED VAN HET SLIBGEHALTE (G/L) OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE (MG NL/L). DE STIPPELLIJN GEEFT DE REFERENTIESITUATIE WEER



Modelmatig leidt een lagere slibproductie tot een afname van de hoeveelheid organisch gebonden fosfaat die wordt afgevoerd met het spuislib. Hierdoor neemt modelmatig de fosforconcentratie in het effluent toe bij een gelijke metaalzoutdosering en gelijke werking van het bio-P-proces. Dit is afgebeeld in Figuur 24.

Bij het sturen op een ortho-P waarde in het effluent met metaalzoutdosering kan een hogere sibleeftijd leiden tot meer slibafbraak en een verhoging in het metaalzoutenverbruik.

FIGUUR 24 INVLOED VAN HET SLIBGEHALTE (G/L) OP DE EFFLUENT P-TOTAALCONCENTRATIE (MG P/L), EXCLUSIEF DOSERING VAN METAALZOUTEN. DE STIPPELLIJN GEEFT DE REFERENTIESITUATIE WEER



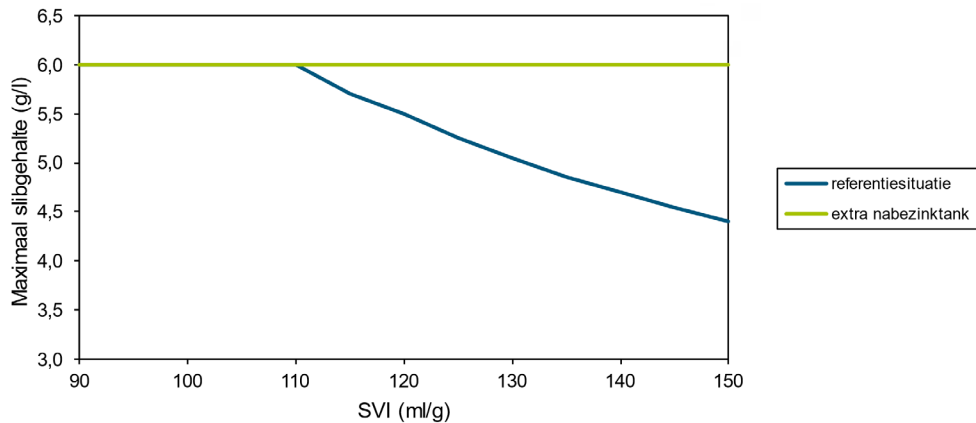
Het verhogen van het slibgehalte heeft tot gevolg dat een grotere slibmassa in het systeem aanwezig is. Daardoor zal de endogene ademhaling toenemen en de zuurstofbehoefte van de biologie stijgen. Een hoog slibgehalte kan daarnaast nadelig zijn voor de alfa factor. Dit heeft tot gevolg dat meer energie moet worden gependend aan de beluchting. Het effect op de alfa factor is bij kleine verschillen in slibgehalte relatief klein.

De maatregel 'verhogen van het slibgehalte bij een lagere SVI' is kwantitatief uitgewerkt in twee factsheets: (1) slibgehalte verhogen binnen de bestaande bezinkcapaciteit en (2) slibgehalte verhogen d.m.v. SVI-verlagende technologieën (inDENSE®). De factsheets staan in Bijlage A1.

4.3.2 VERHOGEN SLIBGEHALTE DOOR BIJBOUWEN NABEZINKTANKS

Een andere manier om het actiefslibgehalte te verhogen is door het vergroten van de nabezinkcapaciteit. Voor de referentiezuieringen is uitgegaan van het bijbouwen van één nabezinktank met dezelfde afmetingen als de huidige tank(s) (zie factsheet 3, Bijlage A1). In Figuur 25 is het effect op het maximale slibgehalte weergegeven bij eenzelfde RWA/DWA-verhouding. De invloed op de stikstof- en fosforconcentraties is vergelijkbaar met de voorgaande maatregel.

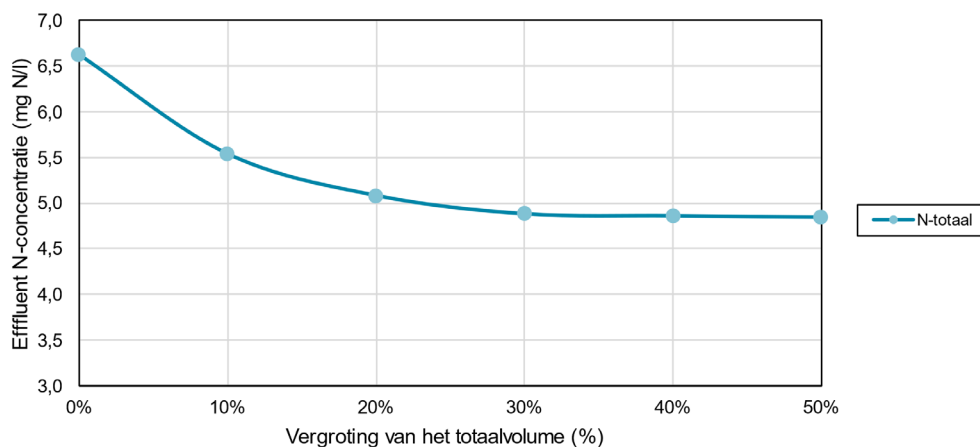
FIGUUR 25 MAXIMAAL SLIBGEHALTE (G/L) ALS FUNCTIE VAN DE SLIB VOLUME INDEX (ML/G), INCLUSIEF OF EXCLUSIEF EEN EXTRA NABEZINKTANK



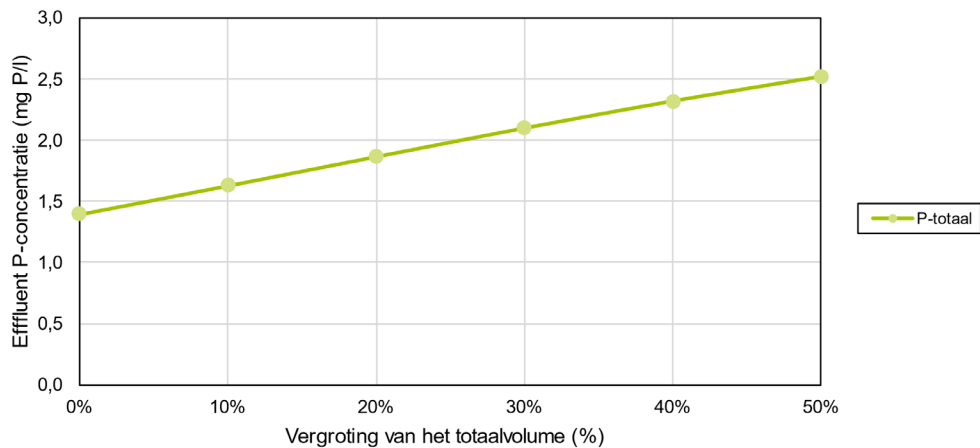
4.3.3 BIJBOUWEN VAN BIOLOGISCH VOLUME

Het uitbreiden van de biologische ruimte heeft ook een grotere slibleeftijd tot gevolg. In de modelberekeningen is gekeken naar het effect van een volumevergroting van 10 tot 50%. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 26 en Figuur 27. De invloed van de volumevergroting op de N- en P-verwijdering is vergelijkbaar met het effect van een hoger slibgehalte; de hogere slibleeftijd zorgt voor een lagere effluent N-concentratie en geeft modelmatig een verhoogd P-gehalte.

FIGUUR 26 INVLOED VAN HET BIJBOUWEN VAN BIOLOGISCH VOLUME OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE (MG NL/L)

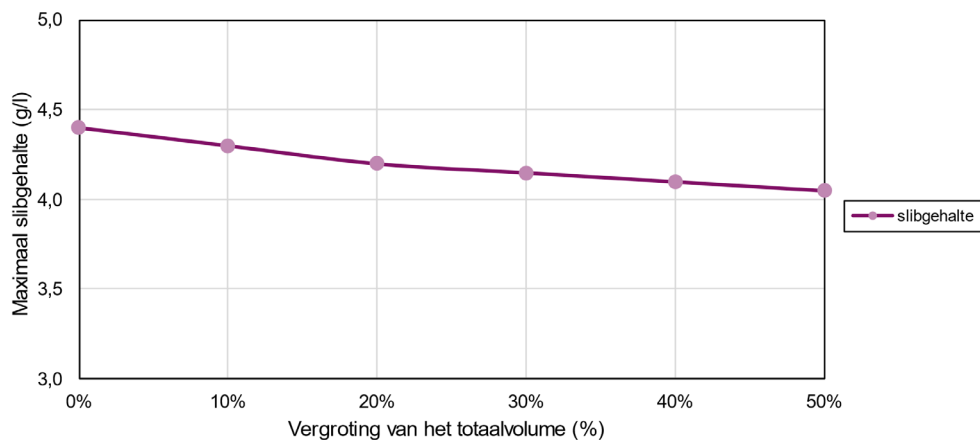


FIGUUR 27 INVLOED VAN HET BIJBOUWEN VAN BIOLOGISCH VOLUME OP DE EFFLUENT P-TOTAALCONCENTRATIE (MG P/L), ZONDER AANVULLENDE DOSERING VAN METAALZOUTEN



Het bijbouwen van biologisch volume heeft daarnaast invloed op het maximale slibgehalte dat kan worden aangehouden in de biologische ruimte; zie Figuur 28. Tijdens de maximale aanvoer zal een deel van het slib uit de aeratietank in de nabezinktank(s) worden gebufferd. Bij een groter aeratietankvolume stijgt de totale hoeveelheid droge stof in de aeratietank terwijl de maximale buffercapaciteit van de nabezinktank(s) constant blijft (STOWA 1983-06)⁵¹. Dit resulteert in een lager maximaal slibgehalte naar mate het aeratietankvolume stijgt.

FIGUUR 28 INVLOED VAN HET BIJBOUWEN VAN BIOLOGISCH VOLUME OP HET MAXIMALE SLIBGEHALTE (G/L), ZONDER UITBREIDING VAN DE NABEZINKCAPACITEIT



De maatregel ‘bijbouwen van biologisch volume’ is kwantitatief uitgewerkt in factsheet 4 (Bijlage A1). In het factsheet is uitgegaan van een volumevergroting van 30% van het totaalvolume van de referentieuiveringen.

4.3.4 TOEPASSEN VAN DRAGERMATERIALEN (IFAS)

Door het toevoegen van dragermaterialen aan bestaande actiefslibsystemen ontstaat een zogenaamd *Integrated Fixed Film Activated Sludge* (IFAS) systeem met twee slibtypen; vlokkelig slib en biofilm-slib. De vlokfractie breekt het grootste deel van de organische vuilvracht af, terwijl de biofilm zorgt voor een nitrificerende populatie. Dit laatste zorgt ervoor dat hogere

⁵¹ STOWA 1983-06 “Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – Rechthoekige nabezinktanks (inventarisatie en praktijkonderzoek)”

slibleeftijden kunnen worden aangehouden. Op rwzi Velsen zijn dragermaterialen van het type BioCurlz toegepast op één straat om de capaciteit uit te breiden.

FIGUUR 29

VOORBEELD VAN DRAGERMATERIAAL: CLEARTEC® BIOCURLZ (BRON: JÄGER UMWELT TECHNIK 2024)⁵²



De dragermaterialen zullen tot een capaciteitsvergroting leiden. Zo kan het slibgehalte worden verhoogd met een factor van ca. 1,6 bij een aandeel biofilm-slib van 40%. Hierbij bestaat wel een risico dat door wrijving (micro)plastics van de carriers afslaan en in het effluent terechtkomen, aangezien de carriers vaak bestaan uit plastic materialen zoals HDPE (hoge dichtheid polyethyleen). Leveranciers van MBBR (*moving bed bioreactor*) en IFAS-systemen ontwikkelen *biobased* plastic carriers om dit probleem te ondervangen (bron: Veolia). Daarbij is de levensduur (en biologische afbreekbaarheid) van de carriers een aandachtspunt. Desalniettemin is er over het algemeen sprake van een verwijdering van microplastics in rwzi's, met gerapporteerde rendementen van 22 tot 99% ten opzichte van het influent (Sheriff *et al.* 2023, Acarer 2023)⁵³ ⁵⁴. Over de eventueel toegevoegde microplastics door carriermaterialen zijn geen onderzoeken gevonden.

Een voorwaarde voor de toepassing voor IFAS is daarnaast dat er voldoende beluchtingscapaciteit is, of dat deze uitgebreid kan worden. In factsheet 5 (Bijlage A1) is een kwantitatieve uitwerking van deze maatregel gepresenteerd.

4.3.5 TOEPASSEN VAN NABELUCHTING

Door de toepassen van een nabeluchting kan aanvullende nitrificatie plaatsvinden waardoor het effluent ammoniumgehalte daalt. Dit is gewenst ten aanzien van de Kaderrichtlijn Water vanwege de toxiciteit van ammonium/ammoniak in oppervlaktewatersystemen (STOWA 2021-43)⁵⁵. In dit geval is uitgegaan van een nabeluchting als laatste compartiment van de AT, om getrapt tot lagere ammoniumconcentraties te komen. Hierdoor zal de totaalstikstofconcentratie van het effluent ook afnemen; een deel van het geproduceerde nitraat zal via het retourslib worden teruggevoerd naar de actiefslibtank. Het is ook mogelijk om een nabeluchting in de effluentgoot te plaatsen. Hierdoor wordt de N-totaalconcentratie

⁵² Jäger Umwelt Technik 2024 "CLEARTEC® Biotextil and Biocurlz"

⁵³ Sheriff *et al.* 2023 "Microplastics in wastewater treatment plants: A review of the occurrence, removal, impact on ecosystem, and abatement measures"

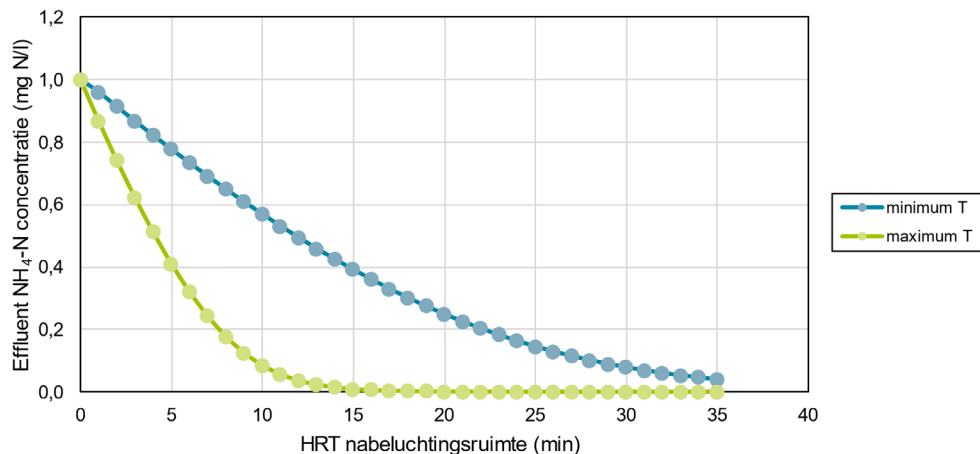
⁵⁴ Acarer 2023 "Microplastics in wastewater treatment plants: Sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants"

⁵⁵ STOWA 2021-43 "Toxiciteit van Nederlands oppervlaktewater in de jaren 2013-2018"

van het effluent niet verlaagd, maar door toevoeging van zuurstof in het effluent kunnen zuurstofdips in het oppervlaktewater worden tegengegaan.

De nabeluchttingsruimte dient buiten de interne recirculatiestromen te worden geplaatst, voordat het actiefslib de nabezinktank ingaat, om de verblijftijd te kunnen controleren. De nabeluchting kan het beste als propstroom worden uitgevoerd voor een betere efficiëntie. De omzetting van ammonium in nitraat vraagt een bepaalde verblijftijd, afhankelijk van de temperatuur, het aandeel nitrificeerders in het slib en het gewenste verwijderingsrendement. Een indicatie van de werking van de nabeluchting is afgebeeld in Figuur 30. Te zien is dat de dalende ammoniumconcentratie de omzettingssnelheid beïnvloedt.

FIGUUR 30 EFFLUENT AMMONIUMCONCENTRATIE (MG NH₄-N/L) ALS FUNCTIE VAN DE VERBLIJFTIJD IN DE NABELUCHTINGSRUIMTE VAN DE REFERENTIE RWZI (MIN) EN TEMPERATUUR (MINIMUMTEMPERATUUR = 11,0°C, MAXIMUMTEMPERATUUR = 21,0°C)



De nitrificatiesnelheid in de hoofdbeluchting is beperkt door de ammoniumwaarde in de tank. Wanneer meerdere nitrificatiezones achter elkaar worden bijgeplaatst die als propstroom fungeren kunnen lagere ammoniumwaarden worden bereikt zonder de aerobe zone in de hoofdbeluchting te vergroten.

Bij een gemengde nitrificatiezone zonder nabeluchting kan naar verwachting in elk geval 1 mgNH₄-N/l bij DWA worden bereikt, mits voldoende sibleeftijd beschikbaar is. Voor lagere waarden (0,3 – 0,5 mgNH₄-N/l bij DWA wordt compartimentering van de nitrificatiezones geadviseerd (zie ook STOWA 2017-46⁵⁶). Een nabeluchting is een vorm hiervan, maar ook een propstroomnitrificatie met enkele aparte nitrificatiezones kan hiervoor worden benut. Als er bijgebouwd moet worden is hydraulisch verval een aandachtspunt.

Factsheet 6 (Bijlage A1) bevat een kwantitatieve uitwerking van deze maatregel. In de berekening is uitgegaan van een verblijftijd van 20 minuten.

56 STOWA 2017-46 “Handboek stikstof en fosfaatverwijdering uit communale afvalwater op rwzi's “

4.4 VERGROTEN VAN DE OXIDATIE CAPACITEIT (OC)

4.4.1 UITBREIDEN BELUCHTINGSCAPACITEIT

Voldoende beluchtingscapaciteit kan worden gezien als een randvoorwaarde voor een goed functionerende rwzi. De beluchtingscapaciteit die benodigd is kan met de ontwerpmodellen gebaseerd op BZV₅ of CZV (ATV, Beuthe, von den Emde) worden berekend.

In relatie tot een verbeterde NH₄-N verwijdering bij piekbelasting kan worden gekozen voor aanvullende beluchtingscapaciteit om doorslag van ammonium naar het effluent te beperken. Afhankelijk van de hoogte van de piekvracht zal op een gegeven moment de biologische capaciteit van de aanwezige nitrificeerders (in plaats van de beschikbaarheid van zuurstof) beperkend zijn. Er zal locatiespecifiek dus een analyse moeten worden gemaakt van in hoeverre aanvullende capaciteit zinvol is.

4.4.2 TOEPASSEN PURE ZUURSTOF

Het continu toepassen van pure zuurstof voor de beluchting is relatief duur wanneer deze zuurstof per as zou moeten worden aangeleverd, maar er zijn wel toepassingen van pure zuurstof op Nederlandse rwzi's bekend als locatiespecifieke oplossing. Bij rwzi Eindhoven is pure zuurstof toegepast om ammoniumpieken bij regenweeraanvoer tegen te gaan. Toen duidelijk werd dat het vergroten van de beluchtingscapaciteit relatief hoge kosten had en moeilijk kon worden ingepast in het bestaande systeem is ervoor gekozen om pure zuurstof te injecteren bij piekbelasting om zo aan de nodige vraag te kunnen voldoen. Het zuurstofverbruik is door de toepassing bij piekbelasting daarbij relatief gering. Dit voorbeeld laat zien dat afhankelijk van de locatiespecifieke situatie pure zuurstof een meerwaarde kan bieden.

Op rwzi Hessenpoort is de toepassing van pure zuurstof afkomstig uit een waterstof electrolyser getest in het zuiveringsproces (zie STOWA 2022-51)⁵⁷. Wanneer pure zuurstof als bijproduct op locatie beschikbaar is, kan energievraag van blowers worden beperkt door de pure zuurstof (die al op druk is) te injecteren in het beluchtingssysteem. De business case voor deze toepassing voor een rwzi van 100.000 i.e. leunt echter op voordelen rondom het kunnen benutten van goedkope(re) stroom voor waterstofgas (H₂) productie met de electrolyser, terwijl de inkoop van dure stroom voor de blowers tegelijkertijd kan worden vermeden. Schaalgrootte heeft een aanzienlijk effect op de business case. Hoe groter de toepassing, hoe beter de business case wordt.

Een mogelijk voordeel van de toepassing van zuivere zuurstof is daarnaast een verminderde lachgasemissie uit de actiefslibtank (STOWA 2022-51). Dit zou komen vanwege een lagere doorzet van gas, waardoor er in theorie minder N₂O naar de gasfase wordt gestript. Aanvullende duurproeven moeten een duidelijker beeld geven van het effect van pure zuurstof op de lachgasemissies.

4.5 BEÏNVLOEDEN AFVALWATERSAMENSTELLING

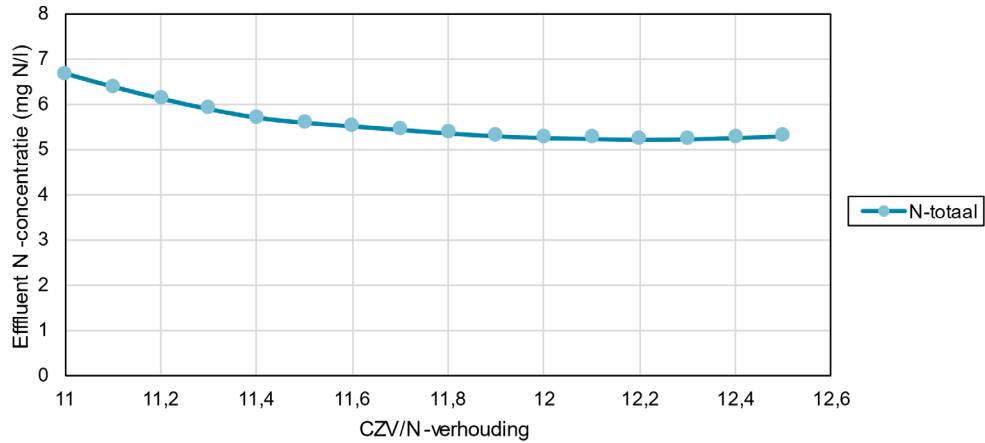
4.5.1 DOSEREN VAN C-BRON

Door de dosering van een externe koolstofbron kunnen de BZV/N- en BZV/P-verhouding worden verbeterd en zo de stikstof- en fosforverwijdering bevorderd. De invloed van deze koolstofbrondosering op het effluentstikstof- en fosforgehalte is gepresenteerd in respectievelijk Figuur 31 en Figuur 32. Uit de modelberekeningen blijkt dat de N-totaalconcentratie afvlakt na een specifieke doseerhoeveelheid. Dit wordt veroorzaakt door de afname in

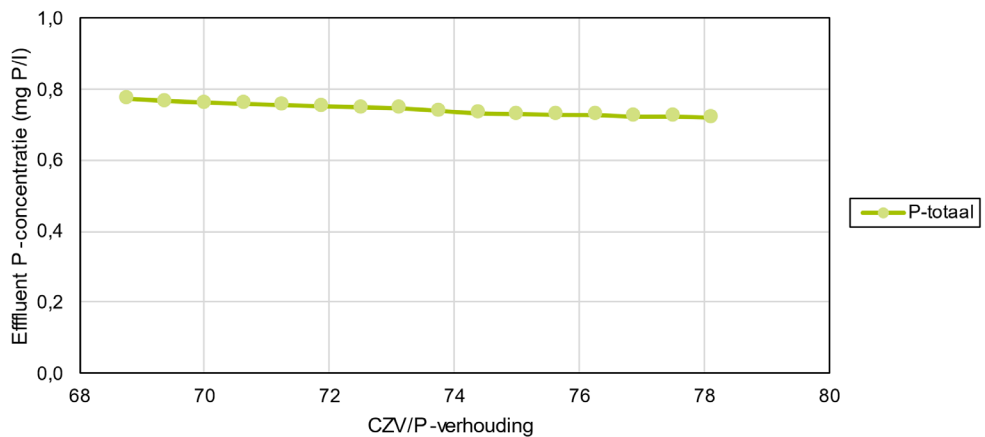
⁵⁷ STOWA 2022-51 "Benutting zuivere zuurstof uit duurzame waterstofproductie in rwzi's met fijne-bellenbeluchtingssystemen"

slibleeftijd als gevolg van meer slibproductie bij hogere C-brondoseringen. Deze hogere slibproductie resulteert daarnaast in meer P-opname waardoor de P-totaalconcentratie afneemt.

FIGUUR 31 INVLOED VAN C-BRONDOSERING (GLYCERINE, CZV/N-VERHOUDING NAAR BIOLOGIE) OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE (MG N/L)



FIGUUR 32 INVLOED VAN C-BRONDOSERING (GLYCERINE, CZV/P-VERHOUDING NAAR BIOLOGIE) OP DE EFFLUENT P-TOTAALCONCENTRATIE (MG P/L)



Er kunnen verschillende soorten koolstofbronnen worden gedoseerd; een overzicht is te vinden in STOWA 2010-23⁵⁸. Niet-explosieve koolstofbronnen als glucose of glycerine hebben typisch de voorkeur in Nederland wanneer ze op de waterlijn worden gedoseerd. Ook kunnen C-bronnen als methanol of (bio)ethanol op de waterlijn worden ingezet indien de juiste veiligheidsmaatregelen worden genomen. Daarnaast kunnen reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie worden ingezet als koolstofbron; dit wordt onder andere toegepast op rwzi Hengelo.

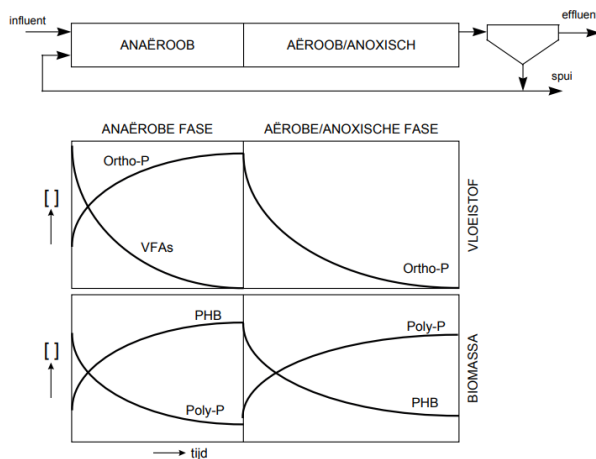
Het toevoegen van een koolstofbron is een relatief simpele en snel inzetbare maatregel om de stikstofverwijdering te verbeteren. Dit gaat (met name in het geval van glycerine) wel gepaard met een relatief hoge CO₂-footprint (zie factsheet 7, Bijlage A1).

58 STOWA 2010-23 "Alternatieve C-bronnen voor nageschakelde denitrificatie"

4.5.2 TOEPASSEN ANAEROBE TANK

Door de toepassing van een anaerobe tank kan de effluent fosforconcentratie worden verlaagd; dit gebeurt door middel van het bio-P-proces. In een anaerobe zone zijn geen zuurstof of andere elektronacceptoren zoals nitraat aanwezig. Hierdoor kunnen vetzuren uit het influent worden gefermenteerd en opgenomen door fosfaat accumulerende bacteriën (PAO's). In de beluchte ruimte zullen de PAO's orthofosfaat ($PO_4\text{-P}$) opnemen, waardoor het P-gehalte van het slib stijgt (zie Figuur 33). Het gevolg is dat er minder metaalzoutdosering nodig is om dezelfde effluent P-concentratie te bereiken. Daarnaast kan een anaerobe tank leiden tot een verlaging van de SVI⁵⁹ en een verbeterde N-verwijdering door de afname van chemisch slib (een hogere slibleeftijd).

FIGUUR 33 PRINCIPE VAN HET BIO-P-PROCES (BRON: STOWA 2017-46)



De voorwaarde van een goed functionerend bio-P-proces is dat er voldoende BZV (c.q. goed afbreekbaar CZV) en voldoende vrije vetzuren in het influent aanwezig zijn.⁶⁰ Daarnaast dient de contacttijd in de anaerobe tank voldoende te zijn om de fermentatie en opname van vetzuren te garanderen. De benodigde contacttijd is afhankelijk van de hoeveelheid snel afbreekbaar CZV die beschikbaar is en kan worden gevormd, de maximale opslagcapaciteit door PAO's en de hoeveelheid fosfaat die biologisch moet worden verwijderd (STOWA 2017-46). Vaak wordt uitgegaan van een contacttijd van 30-60 minuten.

Vanuit het kostenpunt is een anaerobe tank niet in elk geval rendabel; de besparing op metaalzoutdosering weegt niet altijd op tegen de investeringskosten van de anaerobe tank. Het is doorgaans duurzamer om minder metaalzouten te doseren; dit dient echter te worden afgewogen tegen de CO_2 -impact van de bouwmaterialen (beton) van de anaerobe tank. Vooral bij grote rwzi's zal de toepassing van een anaerobe tank rendabel zijn. Een anaerobe tank vergt enige bouwruimte.

4.5.3 LOKALE VETZUURPRODUCTIE VOOR TOEPASSING OP DE WATERLIJN

Bij zuiveringen met voorbezinking, influentzeven of een A-trap⁶¹ kan het primaire slib/zeefgoed worden ingezet om de N- en/of P-verwijdering te verbeteren door middel van een vetzuurreactor. In de reactor wordt het primaire slib/zeefgoed verzuurd om lokaal vluchtige vetzuren (VFA's, bijv. azijnzuur en propionzuur) te produceren. Deze vetzuren kunnen

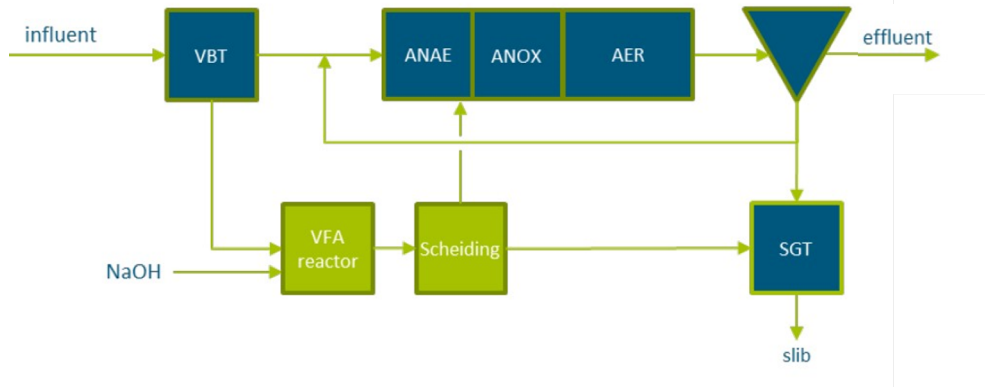
⁵⁹ Zie STOWA 2001-15 "Handboek biologische fosfaatverwijdering". De invloed van een anaerobe tank op de SVI is niet geheel te voorspellen.

⁶⁰ Andere condities voor de toepassing van biologische P-verwijdering zijn opgenomen in STOWA 2001-15.

⁶¹ In dit rapport is een A-trap niet als voorbehandelingsmaatregel beschouwd, omdat dit vaak resulteert in lage BZV/N-verhoudingen en dit in de praktijk niet meer wordt ontworpen.

worden ingezet om de BZV/P- en BZV/N-verhouding te verhogen.⁶² Zo kan het bio-P- en/of denitrificatieproces worden verbeterd, afhankelijk van de doseerlocatie (in de anaerobe of anoxische tank).

FIGUUR 34 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET ZUIVERINGSPROCES MET EEN VETZUURREACTOR VOOR P-VERWIJDERING (BRON: STOWA 2023-34)



De vetzuurreactor kan zowel warm als koud worden toegepast (STOWA 2023-34).⁶³ De koude (onverwarmde) vetzuurreactor heeft een langere verblijftijd (7 dagen) en is voornamelijk op (kleine) rwzi's zonder slibgisting toepasbaar. De warme vetzuurreactor (30°C) heeft een verblijftijd van 3 dagen en produceert meer vrije vetzuren vanwege een hogere CZV-afbraak bij hogere temperaturen. Ook vereist de warme reactor afzuiging en aansluiting op de bestaande biogasleiding van de slibvergisting. Met natronloog kan eventueel de pH worden beheerst, waardoor de vetzuurproductie verder toeneemt. Een mogelijk nadeel bij de toepassing van de warme vetzuurreactor op rwzi's met slibgisting is een verminderde biogasproductie doordat een deel van het primaire slib al is afgebroken tot VFA's (vetzuren). Aan de andere kant ontstaan er kansen voor P-terugwinning uit het rejectiewater als er naar verhouding meer biologische P-verwijdering plaatsvindt. Hier kan een optimum worden gevonden door bijvoorbeeld een deel van het primaire slib/zeefgoed te verzuren.

In twee factsheets (8 en 9, Bijlage A1) is de vetzuurreactor meegenomen; zowel een warme als een koude reactor is uitgewerkt voor de referentiezuiveringen van 100.000 en 400.000 i.e. De 100.000 i.e. zuivering heeft in dit geval voorbezinking, in tegenstelling tot de referentiezuiivering uit Tabel 4.

4.5.4 BYPASSEN VOORBEHANDELING

Ter verbetering van de BZV/N-verhouding kan ook worden overwogen om de voorbehandeling (deels) te bypassen tijdens droogweeraanvoer, mits de slibleeftijd dit toestaat. De bypass kan plaatsvinden door middel van een fysieke leiding of door het toevoegen van primair slib aan de AT.

Bij regenweer (*first flush*) dient de voorbehandeling in gebruik te zijn om de zuivering te ontlasten; het is daarom wenselijk om de procesregeling te automatiseren. Ook kan ervoor worden gekozen om de bypass enkel tijdens de wintermaanden te gebruiken, wanneer de stikstofverwijdering minder goed verloopt. Zo is er geen afname van de primairslibproductie tijdens de zomermaanden.

⁶² Dit is voornamelijk toepasbaar bij rwzi's met een BZV/P-verhouding kleiner dan 30 of een BZV/N-verhouding kleiner dan 3,0.

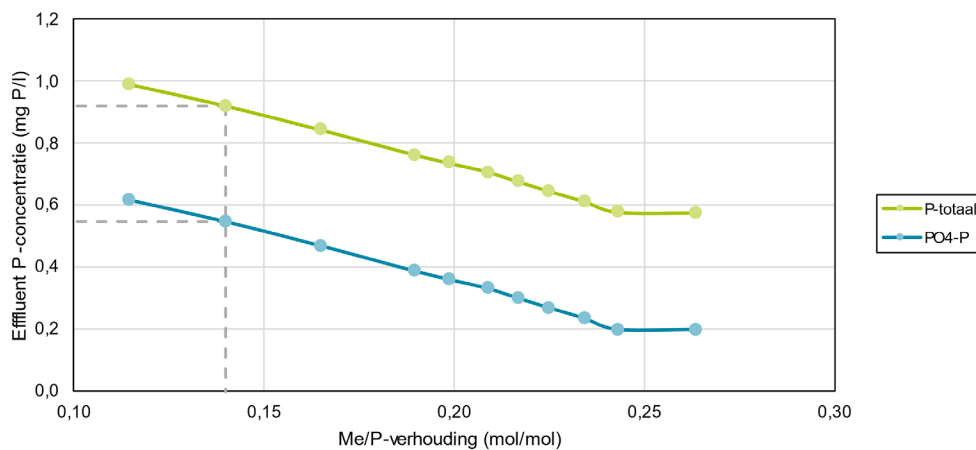
⁶³ STOWA 2023-34 "Vetzuurproductie op rwzi's". Dit rapport betreft lab- en pilotschaal experimenten. Koude fermentatie van primair slib wordt echter al op grote schaal toegepast in onder andere de VS, Canada en Denemarken (TRL 9).

4.6 OVERIGE MAATREGELEN

4.6.1 DOSEREN VAN METAALZOUTEN

Om de fosforconcentratie te verlagen kan worden overwogen om metaalzouten te doseren aan het actiefslibstelsysteem. Deze chemische P-verwijdering vindt vaak plaats met metaalzouten als FeCl_3 , FeSO_4 of AlCl_3 ; de metaalionen (Fe^{3+} , Al^{3+}) vormen een neerslag met orthofosfaat (o-PO_4^{3-}) die door bezinking wordt afgescheiden. Het effect van ijzerchloridedosering op de P-totaalconcentratie is weergegeven in Figuur 35. Het blijkt dat na een bepaalde dosering een minimum van P-totaal wordt bereikt; de hoogte van dit minimum wordt bepaald door de minimale ortho-P-concentratie in het model ($0,20 \text{ mg P/l}$)⁶⁴ en de aannames voor de organische P-fracties (DOP en SOP)⁶⁵.

FIGUUR 35 INVLOED VAN IJZERCHLORIDEDOSERING (MOL FE/MOL P-INFLUENT) OP DE EFFLUENT PO_4 -P- EN P-TOTAALCONCENTRATIE. DE STIPPELLIJN GEEFT DE REFERENTIESITUATIE WEER. DIT BETREFT AANVULLENDE DOSERING, NA AFLOOP VAN HET BIO-P-PROCES. IN DE ANALYSE IS UITGEGAAN VAN EEN $\text{ME/P}_{\text{REST}}$ -VERHOUDING VAN 2,5 BIJ EEN PO_4 -P EFFLUENTCONCENTRATIE VAN 0,20 MG P/L EN EEN $\text{ME/P}_{\text{REST}}$ -VERHOUDING VAN 2,0 BIJ EEN PO_4 -P EFFLUENTCONCENTRATIE VAN 0,50 MG P/L. P_{REST} IS DE RESTERENDE PO_4 -P NA HET BIO-P-PROCES



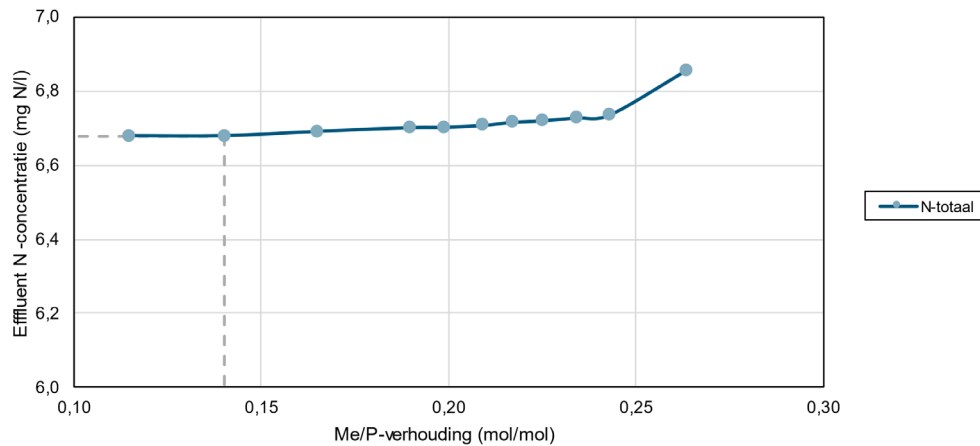
Daarnaast heeft de dosering van metaalzouten invloed op de effluent stikstofconcentratie (Figuur 36). De dosering zorgt voor de productie van chemisch slib (precipitaten); dit resulteert in een hogere slibproductie en lagere (actieve) slibleefijd. Hierdoor zullen hogere stikstofgehalten in het effluent optreden naar mate meer metaalzouten worden gedoseerd.

64 In de praktijk kunnen lagere ortho-P-concentraties worden bereikt met metaalozoutdosering. De concentratie van $0,20 \text{ mg P/l}$ betreft een modelminimum (zie hoofdstuk 2.2).

65 DOP: dissolved organic phosphorus, $\text{P}_{\text{org-opgelost}}$, SOP: suspended organic phosphorus, $\text{P}_{\text{org-particulair}}$

FIGUUR 36

INVLOED VAN IJZERCHLORIDEDOSERING (MOL FE/MOL P-INFLUENT) OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE. DE STIPPELLIJN GEEFT DE REFERENTIESITUATIE WEER. DE INVLOED IS GERING, ZIE DE SCHAAL VAN DE Y-AS. DIT BETREFT AANVULLENDE DOSERING, NA AFLOOP VAN HET BIO-P-PROCES. IN DE ANALYSE IS UITGEGAAN VAN EEN ME/P_{REST}-VERHOUDING VAN 2,5 BIJ EEN PO₄-P EFFLUENTCONCENTRATIE VAN 0,20 MG P/L EN EEN ME/P_{REST}-VERHOUDING VAN 2,0 BIJ EEN PO₄-P EFFLUENTCONCENTRATIE VAN 0,50 MG P/L. P_{REST} IS DE RESTERENDE PO₄-P NA HET BIO-P-PROCES



De dosering van metaalzouten is een relatief simpele en goedkope maatregel die snel kan worden ingezet (*quick win*). Wel moet er worden gelet op duurzaamheidsaspecten; metaalzouten brengen een hogere CO₂-footprint van de rwzi met zich mee (zie factsheet 10, Bijlage A1). Verder hebben metaalzouten invloed op de calorische waarde (verbrandingswaarde) van (ontwaterde) slib.

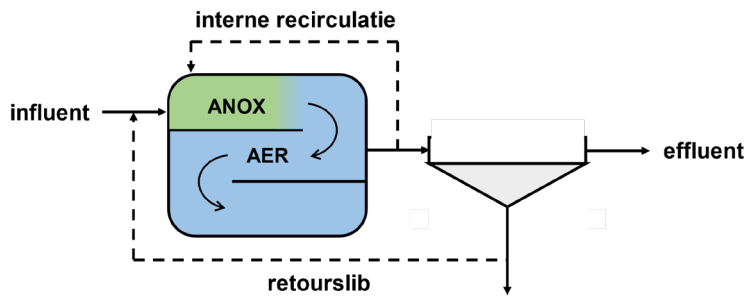
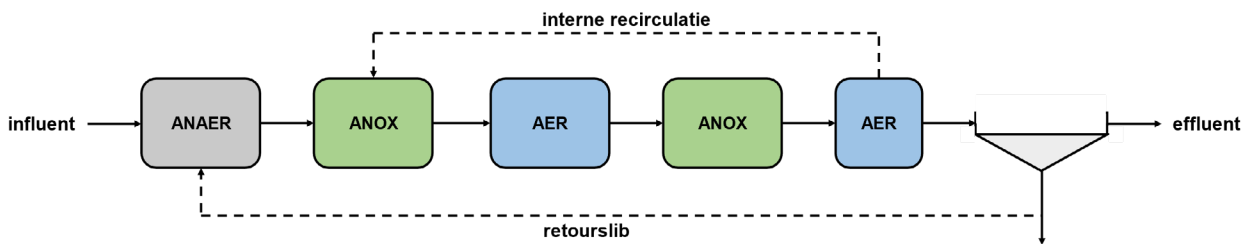
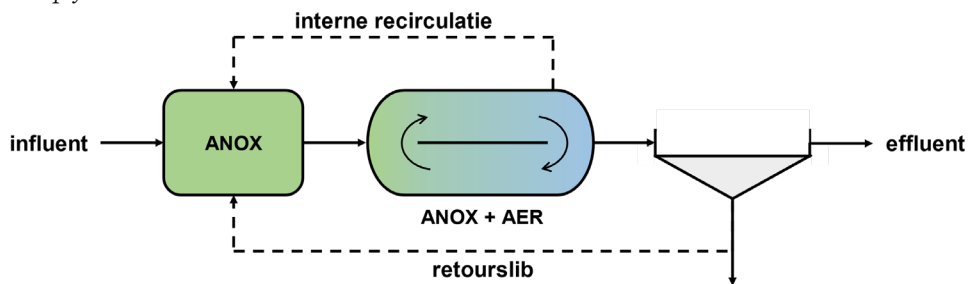
4.6.2 VERGROTEN VAN INTERNE RECIRCULATIECAPACITEIT

In actiefslibsystemen vindt interne recirculatie plaats van de aerobe naar anoxische ruimte om het door nitrificatie geproduceerde nitraat te denitrificeren. Een vergroting van deze recirculatie zal in veel gevallen resulteren in lagere nitraatgehaltes en een verbeterde stikstofverwijdering. Drie verschillende configuraties kunnen worden onderscheiden:

1. Propstroomsysteem – alle nitrificatie vindt plaats aan het einde van de biologie
2. (m)-UCT-, BCFS- of Phoredox-systeem – met tussendenitrificatie
3. Omloopstelsel – simultane denitrificatie met ingebouwde recirculatie

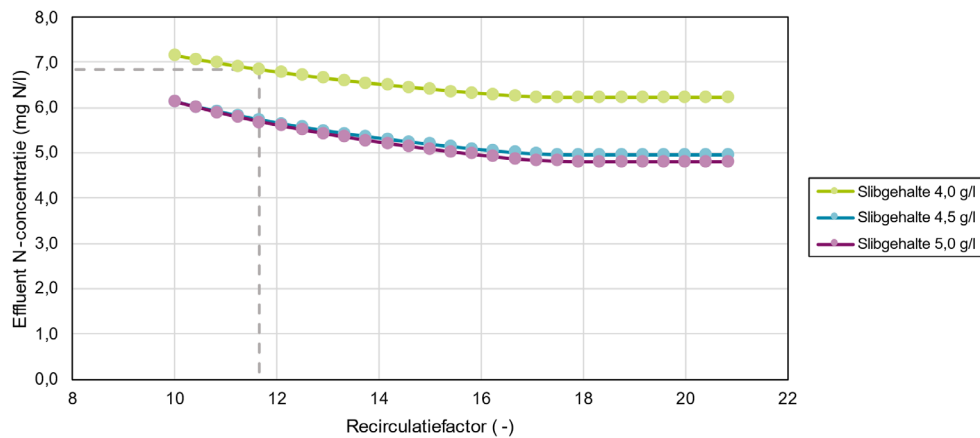
Een schematische weergave van deze configuraties is gepresenteerd in Figuur 37.

FIGUUR 37 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VERSCHILLENDE CONFIGURATIES VAN DE INTERNE RECIRCULATIESTROOM

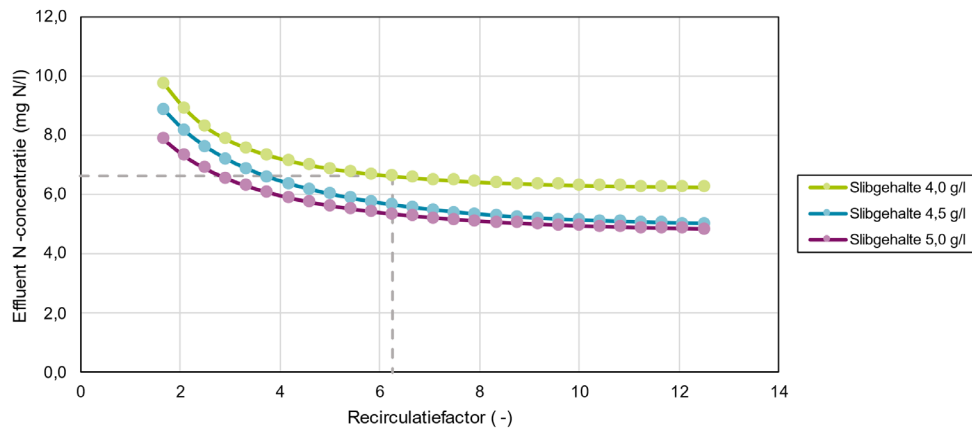
Propstroomsysteem*Phoredox-systeem (als voorbeeld van tussedenitrificatie)**Omloopstelsysteem*

Het effect van de vergroting van de interne recirculatiecapaciteit op de effluent stikstofconcentratie van een propstroom- en omloopstelsysteem is respectievelijk weergegeven in Figuur 38 en Figuur 39. Uit de figuren blijkt dat de benodigde recirculatiefactor van het propstroomstelsysteem significant groter is dan het omloopstelsysteem; dit is vanwege de ingebouwde recirculatie in het omloopstelsysteem. De vergroting van de recirculatiefactor resulteert in een lagere effluent N-concentratie; om hier optimaal gebruik van te maken is daarnaast een vergroting van de biologische capaciteit (slibgehalte) nodig. Dit laatste zorgt voor een vergroting van de denitrificatiecapaciteit waardoor het extra gerecirculeerde nitraat kan worden omgezet in stikstofgas.

FIGUUR 38 INVLOED VAN DE RECIRCULATIEFACTOR (-) VAN EEN PROPSTROOMSYSTEEM OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE (MG N/L) BIJ VERSCHILLENDE SLIBGEHALTEN. DE STIPPELLIJN GEEFT DE REFERENTIESITUATIE WEER



FIGUUR 39 INVLOED VAN DE RECIRCULATIEFACTOR NAAR DE VOORDENITRIFICATIERUIMTE (-) VAN EEN OMLOOPSISTEEM OP DE EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE (MG N/L) BIJ VERSCHILLENDE SLIBGEHALTEN. DE STIPPELLIJN GEEFT DE REFERENTIESITUATIE WEER



In factsheet 11 (Bijlage A1) bevindt zich een kwantitatieve uitwerking van deze maatregel.

4.6.3 AANVULLENDE HOOFDZUIVERINGSTECHNIEK

Als buiten de bestaande (actief slib) installatie wordt gekeken naar het aanvullen van de biologische zuiveringscapaciteit is er de optie om de installatie te ontlasten door een andere techniek voor de hoofdzuivering bij te bouwen. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Aeroob korrelslib (Nereda®)
- SBR-systemen (bijvoorbeeld ICEAS® of BIOCOS®)
- Membraanbioreactor (MBR)

De batch-systemen voor Aeroob korrelslib en diverse vormen van een SBR hebben als nadeel dat ze vaak lastiger kunnen omgaan met piekbelastingen dan continue systemen. Wel kan nauwgezet op effluentkwaliteit worden gestuurd bij DWA. Wanneer een combinatie wordt gemaakt tussen batchsystemen en actiefslibsystemen en de DWA/RWA verdeling over de twee systemen wordt geoptimaliseerd, kan dit nadeel soms worden weggenomen. Voorbeelden van deze hybride systemen in Nederland zijn rwzi Garmerwolde, rwzi Vroomshoop en rwzi Alblaserdam.

Membraanbioreactoren zijn in Nederland gerealiseerd op rwzi Varsseveld (niet meer in bedrijf) en in Terneuzen. De zwevende stof verwijdering is zeer goed en de bouwvolumina zijn geringer dan bij de andere systemen. De MBR heeft als voornaamste nadeel dat het operationele kosten relatief hoog zijn: membranen moeten periodiek moeten worden vervangen en de energievraag is veel hoger dan bij de andere genoemde systemen.

4.6.4 VOORKOMEN VAN P-RELEASE BIJ INDIKKING EN ONTWATERING

Om de retourvracht van fosfor uit de indikking en/of ontwatering te reduceren kunnen een aantal maatregelen worden genomen om P-afgifte in de sliblijn te voorkomen.

- Vervangen van gravitatie-indikking voor secundair slib door mechanische indikking;
- Geen menging van primair en secundair slib in de sliblijn;
- Direct na het spuien secundair slib over bandindikker leiden;
- Directe ontwatering op secundair slib toepassen;

Het effect van de maatregel is locatiespecifiek en sterk afhankelijk van de huidige wijze van bedrijfsvoering. Daarnaast dient rekening te worden gehouden met het feit dat het fosfaat bij de centrale slibontwatering/gisting zal vrijkomen.

5

DEELSTROOMBEHANDELING

Bij zuiveringen met een (centrale) slibvergisting/-verwerking kan het rejectiewater dat vrijkomt bij de slibontwatering een hoge fosfor- en stikstofvracht bevatten. Deze retourstroom wordt teruggebracht naar de waterlijn en wordt daar gezuiverd. Het gevolg van de retourstroom is een hogere N- en P-belasting van de waterlijn, evenals een minder optimale BZV/N- en BZV/P-verhouding.

Het alternatief is een deelstroombehandeling waarin de stikstof- en/of fosforvracht wordt gereduceerd. Vier soorten deelstroombehandelingen zijn beschreven in dit hoofdstuk; de maatregelen die kwantitatief zijn uitgewerkt in een factsheet zijn aangegeven met 'X':

TABEL 11

SHORTLIST VAN MAATREGELEN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING

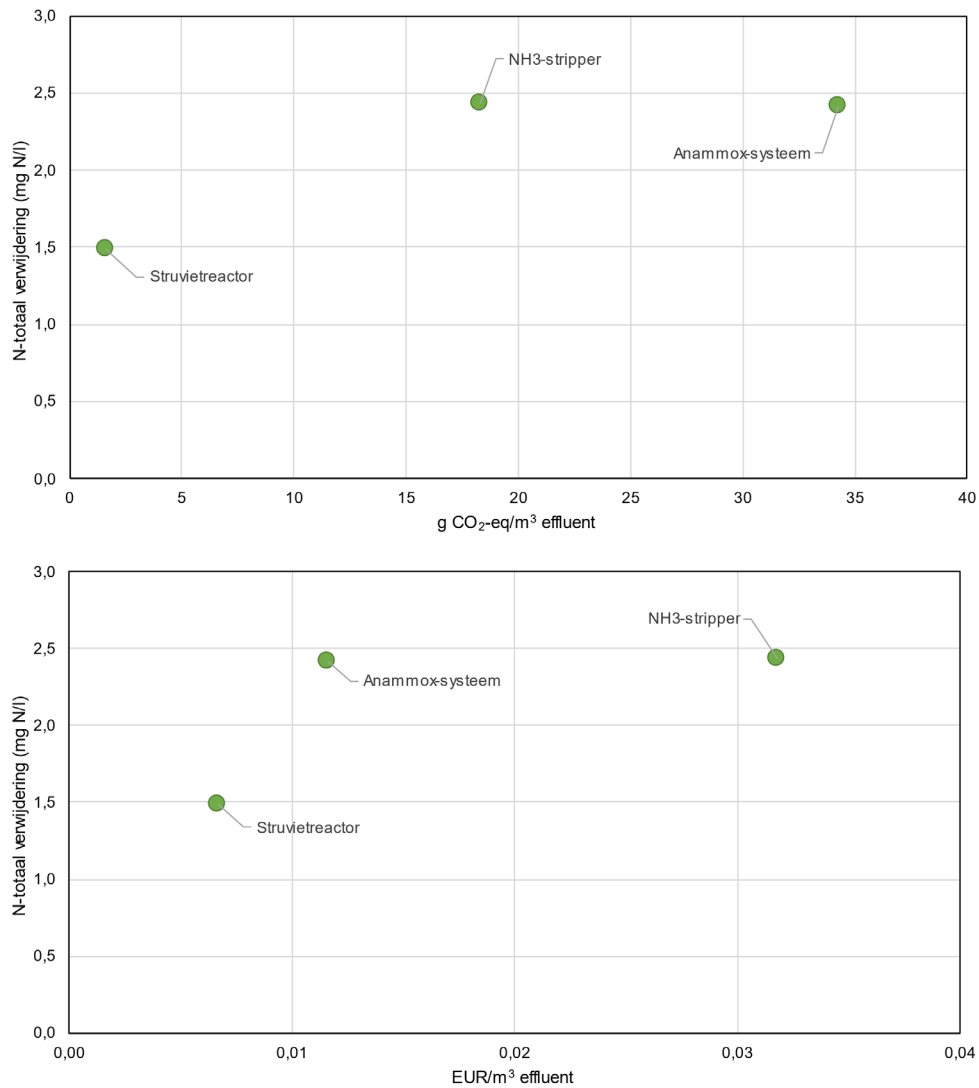
Maatregel	Factsheet
Anammox-systeem (anaerobe ammoniumoxidatie)	X
Ammoniakstripper	X
Struvietreactor	X
Doseren van metaalzouten in de slibgistingstank	

TOTAALVERWIJDERING

De stikstofverwijdering (mg N/l) die plaatsvindt door toepassing van de maatregelen in de deelstroombehandeling is gepresenteerd in Figuur 40. Door de verwijdering van ca. 80% van de $\text{NH}_4\text{-N}$ in het rejectiewater zorgen zowel de NH_3 -stripper als het anammox-systeem voor een significante reductie in het effluent stikstofgehalte van de referentieuivering. De struvietreactor verwijdert voornamelijk fosfor; hierdoor is (veel) minder ijzerdosering nodig op de waterlijn en stijgt de slibleeftijd, wat een positief effect heeft op de N-verwijdering.

FIGUUR 40

N-TOTAALVERWIJDERING (MG N/L) DOOR MAATREGELEN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ EFFLUENT) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/M³ EFFLUENT); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 400.000 I.E. LET OP: DE VERANDERING IN EFFLUENT N-TOTAALCONCENTRATIE IS NIET TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit VAN TABEL 3. DE GRAFIEK BETREFT HET EFFECT VAN HET WEGLATEN VAN DE DEELSTROOMMAATREGELEN, BEGINNEND MET DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit (ZIE HOOFDSTUK 2.2)



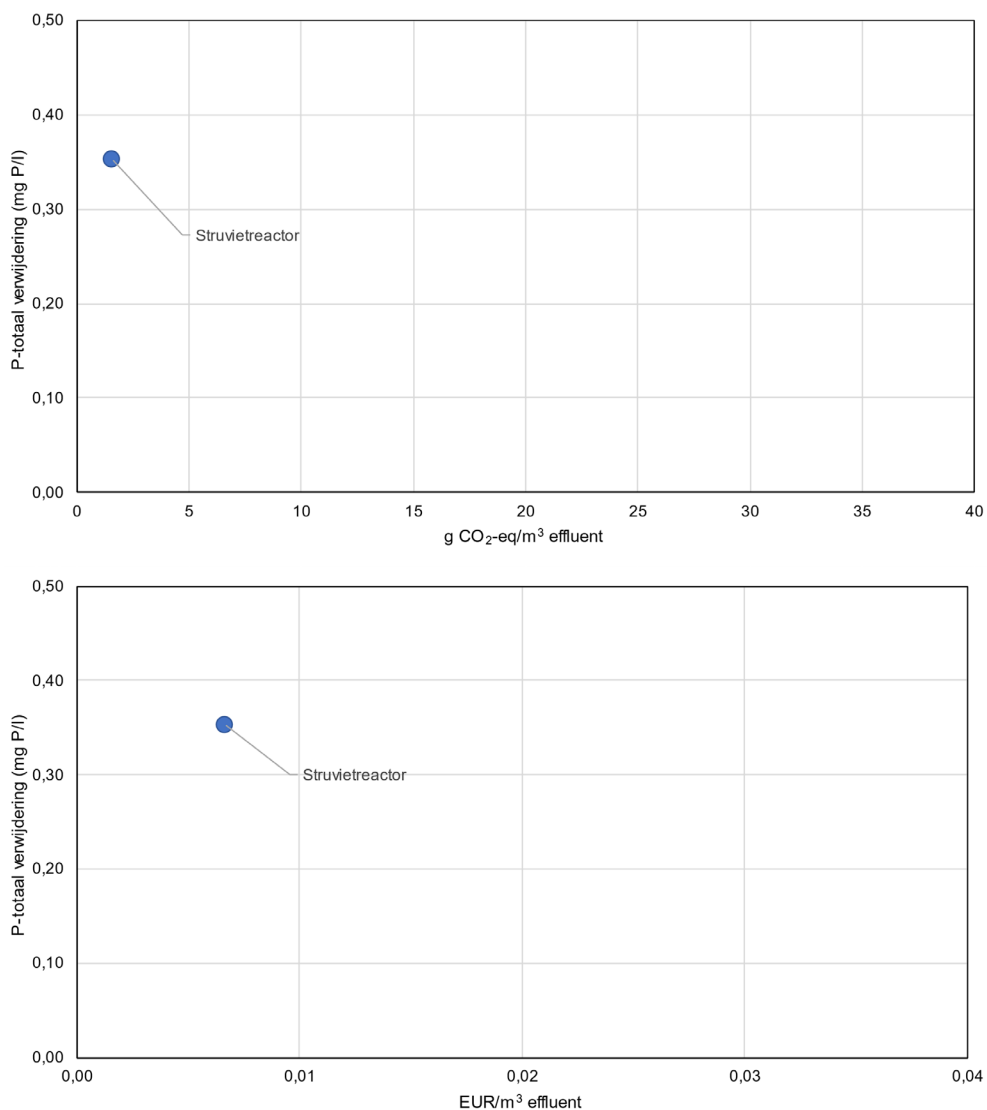
Daarnaast blijkt uit de berekeningen een relatief lage CO₂-footprint voor de struvietreactor. Dit komt door de significante besparing op ijzerdosering in de waterlijn en de lagere slibproductie, in combinatie met de negatieve CO₂-footprint van het geproduceerde struviet.

De CO₂-footprint van het anammox-systeem is hoger dan die van de NH₃-stripper; dit komt met name door de lachgasemissie die plaatsvindt in het anammox-systeem. In de berekeningen is uitgegaan van een emissiefactor van 0,023 kg N₂O-N/kg N-verwijderd (STOWA 2013-39).

P-TOTAALVERWIJDERING

De invloed van de maatregelen op de effluent totaalfosforconcentratie is weergegeven in Figuur 41. Het blijkt dat een significante reductie van het P-totaalgehalte plaatsvindt door de struvietreactor waar 85% van de P-vracht in het rejectiewater wordt verwijderd.

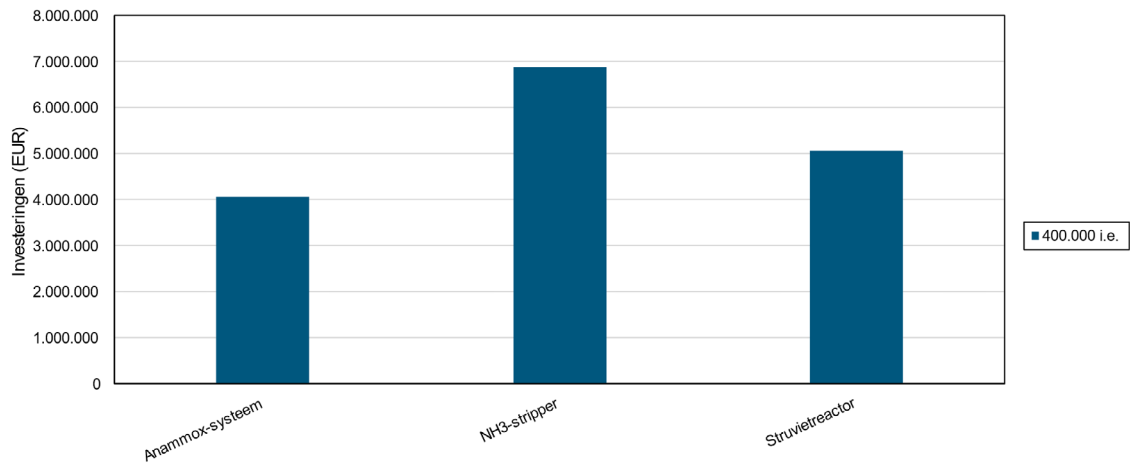
FIGUUR 41 P-TOTAALVERWIJDERING (MG P/L) DOOR MAATREGELEN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ EFFLUENT) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/M³ EFFLUENT); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 400.000 I.E. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR P-TOTAALVERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN. LET OP: DE VERANDERING IN EFFLUENT P-TOTAALCONCENTRATIE IS NIET TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit VAN TABEL 3. DE GRAFIEK BETREFT HET EFFECT VAN HET WEGLATEN VAN DE DEELSTROOMMAATREGELEN, BEGINNEND MET DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit (ZIE HOOFDSTUK 2.2)



KOSTEN

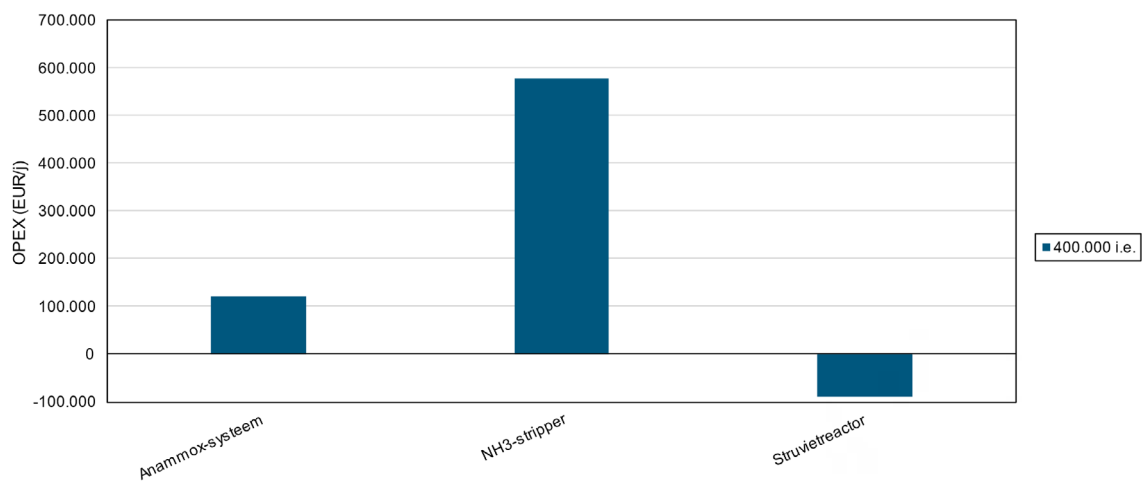
Figuur 42 bevat een inschatting van de investeringen van de verschillende deelstroombehandelingen voor de referentiezuiivering van 400.000 i.e. De uitgangspunten voor deze investeringskosten zijn opgenomen in Bijlage A3.

FIGUUR 42 **INVESTERINGEN (EUR) VOOR MAATREGELN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIIVERING VAN 400.000 I.E.**



De operationele kosten van de deelstroombehandelingen zijn gepresenteerd in Figuur 43. De negatieve exploitatielasten van de struvietreactor worden met name veroorzaakt door de significante afname van ijzerdosering en slibproductie op de waterlijn.

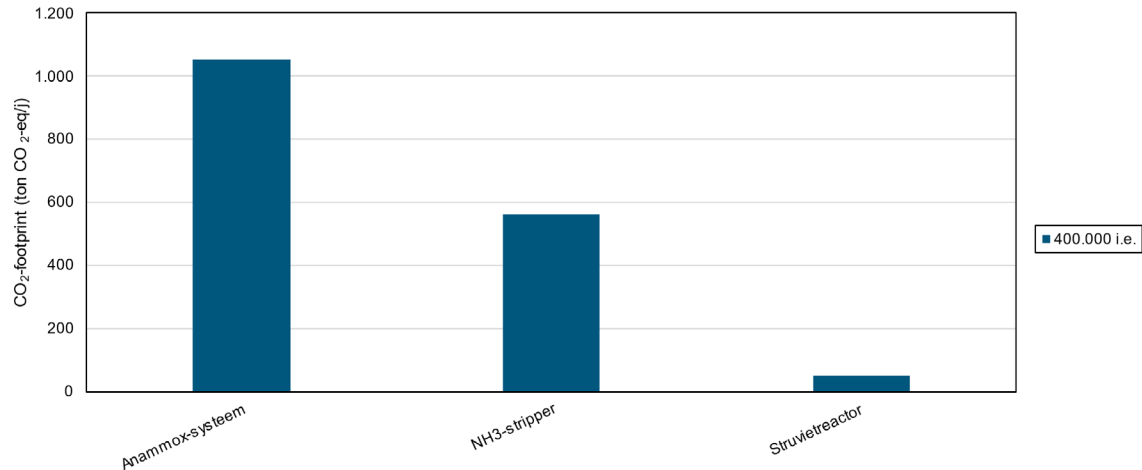
FIGUUR 43 **OPERATIONELE KOSTEN (EUR/J) VOOR MAATREGELN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIIVERING VAN 400.000 I.E.**



DUURZAAMHEIDSASPECTEN

De CO₂-footprint (ton CO₂-eq/j) van de verschillende maatregelen is weergegeven in Figuur 44. Er blijkt een significant verschil tussen het anammox-systeem en de NH₃-stripper; de voornaamste oorzaken zijn de N₂O-emissie en de grondstofterugwinning.

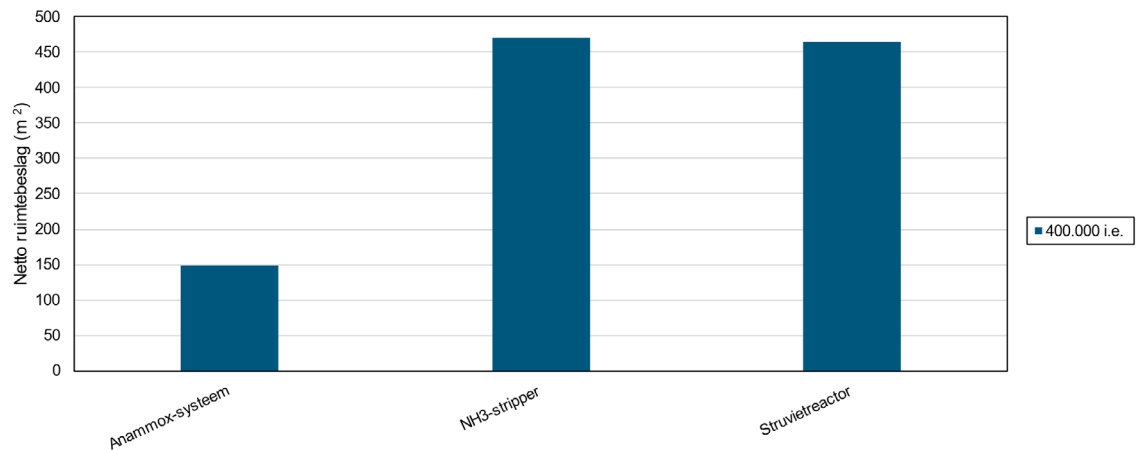
FIGUUR 44 CO₂-FOOTPRINT (TON CO₂-EQ/J) VOOR MAATREGELEN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 400.000 I.E.



RUIMTEBESLAG

Het netto ruimtebeslag van de deelstroommaatregelen is afgebeeld in Figuur 45.

FIGUUR 45 NETTO RUIMTEBESLAG (M²) VOOR MAATREGELEN IN DE DEELSTROOMBEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 400.000 I.E.



5.1 ANAMMOX-SYSTEEM

Het rejectiewater dat vrijkomt bij de slibontwatering kan worden behandeld in een anammox deelstroombehandeling. In het anammox-systeem (**anaerobe ammoniumoxidatie**) zetten bacteriën ammonium met nitriet om in stikstofgas. Hierdoor wordt de stikstofvracht die retourneert naar de waterlijn gereduceerd; dit heeft een positief effect op de effluent stikstofconcentratie. De anammox-systemen worden al grootschalig toegepast in Nederland, een aantal referenties zijn gegeven in STOWA 2018-70⁶⁶. Voorbeelden van uitvoeringsvormen zijn ANAMMOX[®], DEMON[®], Anita[™]Mox en NAS[®]-ONE.

⁶⁶ STOWA 2018-70 "Gebruikerservaringen met DEMON[®] en ANAMMOX[®] in deelstroombehandelingen"

FIGUUR 46 DEMON® INSTALLATIES OP RWZI NIEUWEGEIN (LINKS, BRON: STOWA 2018-70) EN OP RWZI AMERSFOORT (RECHTS, BRON: BUUNEN-VAN BERGEN ET AL., 2014)⁶⁷



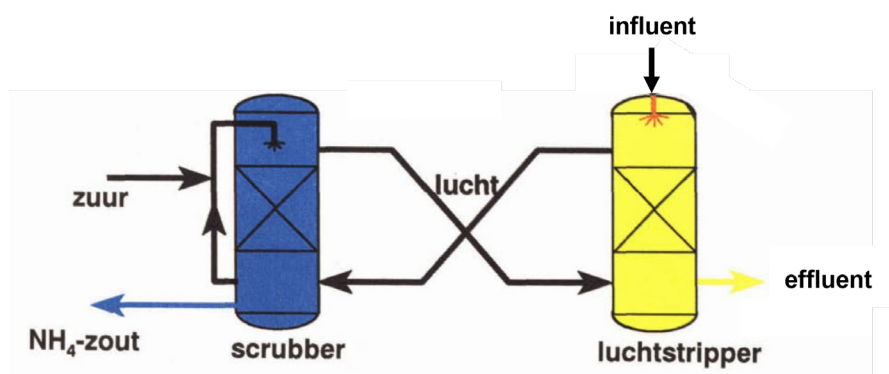
Anammox-systemen hebben relatief lage operationele kosten door een lage zuurstofbehoefte en geen noodzaak voor koolstofbrondosering. Het systeem heeft wel aanzienlijke lachgasemissie (en daardoor een hoge CO₂-footprint) en er bestaat een risico op de groei en verspreiding van legionellabacteriën. Dit laatste leidt tot de noodzaak voor veiligheidsmaatregelen zoals desinfectie van het behandelde centraat en/of het afdekken het beluchtingsbassin.

Het anammox-systeem is kwantitatief uitgewerkt voor de referentiezuiivering van 400.000 i.e. in factsheet 12 (zie Bijlage A1).

5.2 AMMONIAKSTRIPPER

Ammonium kan uit het rejectiewater worden verwijderd en teruggewonnen door de toepassing van een NH₃stripper. Het strippen kan plaatsvinden d.m.v. luchtstrippen, chemisorptie (membraanstrippen), stoomstrippen of membraandistillatie. In deze studie wordt uitgegaan van een luchtstripper als fysisch-chemische deelstroombehandeling.

FIGUUR 47 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN LUCHTSTRIPPER EN SCRUBBER VOOR NH₃-TERUGWINNING (BRON: STOWA 1995-12)⁶⁸



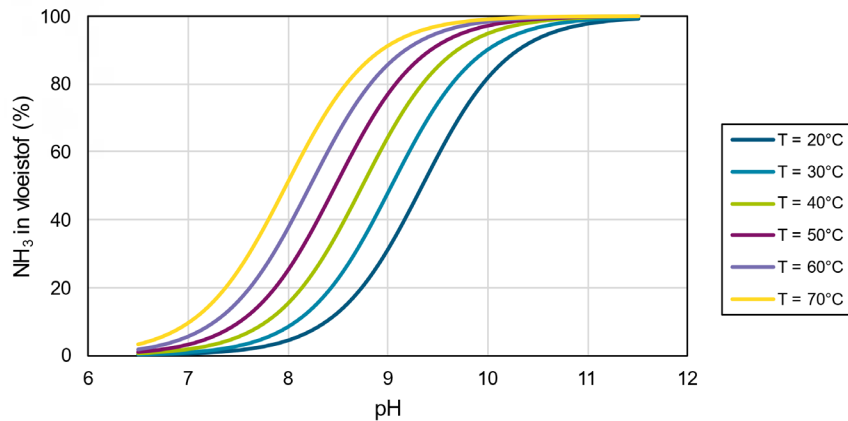
In een luchtstripper vindt intensief contact plaats tussen afvalwater en lucht, waardoor vluchtige componenten uit afvalwater worden gestript naar de gasfase. Dit proces kan plaatsvinden in een strippertoren, -kolom of plaatstripper.⁶⁹ Om het contact tussen vloeistof en gas te verhogen zit er vaak pakkingsmateriaal in de stripp kolom.

⁶⁷ Buunen-van Bergen et al. (2014). "DEMON® - in 10 jaar van innovatie naar bewezen technologie"

⁶⁸ STOWA 1995-12 "Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen"

⁶⁹ Voorbeelden van luchtstrippers zijn ByoFlex® van Byosis, Ammonia Mining Unit van DetriCon, AMFER® van Colsen, Quadro van Circular Values en de ammoniakstripper van RVT Process Equipment.

FIGUUR 48

PERCENTAGE AMMONIAK (NH₃) IN DE VLOEISTOFFASE ALS FUNCTIE VAN PH EN TEMPERATUUR

Voorafgaand aan het strippen worden maatregelen genomen om het ammonium/ammoniak-evenwicht te verschuiven. Dit kan bijvoorbeeld door het verhogen van de temperatuur en/of de pH (door loogdosering of CO₂-strippen) van het rejectiewater (zie Figuur 48). Na het strippen van ammoniak naar de gasfase wordt het vastgelegd in een scrubber of gaswasser. Hierin wordt het ammoniakrijke gas in contact gebracht met een zuur (zoals zwavelzuur of salpeterzuur) om een ammoniumzout te vormen. Het stikstofproduct dat gewoonlijk gemaakt wordt is ammoniumsulfaat ((NH₄)₂SO₄) of -nitraat (NH₄NO₃), in vloeibare vorm. Deze ammoniumzouten kunnen als kunstmest worden ingezet (STOWA 2021-35)⁷⁰. Voor het vrij verhandelen van ammoniumsulfaat binnen de EU is een einde-afvalstatus nodig; dit kan worden verkregen door certificering volgens de EU Fertilising Products Regulation 2019/1009 (categorie PFC 1 en CMC 15).^{71 72} De certificering moet door het waterschap zelf worden geregeld.

Het grootste voordeel van fysisch-chemische deelstroombehandelingen ten opzichte van biologische deelstroombehandelingen als anammox-systemen is dat er geen lachgasemissies plaatsvinden. Daarnaast wordt er gewerkt naar een circulaire economie door het terugwinnen van een stikstofproduct. Daarentegen zijn de operationele kosten hoger dan bij een biologische deelstroombehandeling. Het verschil in operationele kosten zal afnemen als er restwarmte beschikbaar is voor het opwarmen van het rejectiewater, en de stripper zal kostenefficiënter zijn als de stikstofconcentraties in de rejectiestroom hoger zijn. Het effect op de totaalstikstofconcentratie in het effluent is vergelijkbaar met anammox-systemen door de soortgelijke stikstofrendementen (8085%).

De ammoniakstripper is kwantitatief uitgewerkt voor de referentieuivering van 400.000 i.e. in factsheet 13 (zie Bijlage A1).

70 STOWA 2021-35 "Stikstofterugwinning uit rioolwater; van marktambitie naar praktijk"

71 Regulation 2019/1009

72 European Sustainable Phosphorus Platform 2024. "Veas Norway CE-mark for recovered ammonium salt"

5.3 STRUVIETREACTOR

Door de toepassing van een struvietreactor in de deelstroom kan de fosforvracht naar de waterlijn worden gereduceerd. Dit resulteert in minder metaalzoutdosering op de waterlijn, waardoor de slibproductie afneemt, de slibleeftijd toeneemt en de stikstofverwijdering verbetert. Daarbij wordt er ook enige stikstof afgevangen in het struviet.

In een struvietreactor wordt struviet ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) gevormd in een basische omgeving; hiervoor is (meng)energie en een magnesiumzout (MgCl_2 , MgO of $\text{Mg}(\text{OH})_2$) nodig. Tevens kan natronloog worden toegevoegd voor de verhoging van de pH. Het teruggewonnen struviet kan worden afgezet als kunstmestvervanger in de landbouw en draagt zo bij aan het sluiten van de fosforkringloop (STOWA 201622)⁷³.

FIGUUR 49 STRUVIETKRISTALLEN (BRON: STOWA 2012-27)⁷⁴



Een struvietreactor kan zowel op rejectiewater als op uitgegist slib worden toegepast. Voorbeelden van struvietreactoren zijn Airprex[®], ANPHOS[®], NuReSys[®] en Pearl[®] (STOWA 2023-08)⁷⁵. In de kosten- en duurzaamheidsberekeningen is uitgegaan van een Pearl[®]-reactor (zie factsheet 14, Bijlage A1).

In 2021 waren er in totaal twaalf struvietreactoren, waarvan er acht daadwerkelijk in staat waren om struviet af te vangen. Daarnaast is de struvietproductie in de struvietreactoren vaak lager dan de ontwerpcapaciteit. De voornaamste reden hiervoor is het feit dat het doorgronden van struvietproductie complex is, waarbij de regeling van magnesiumdosering en pH zeer nauw komen (Mirabella Mulder, 2023)⁷⁶. Ook kan de lagere struvietproductie worden veroorzaakt door ongewenste struvietvorming in de slibgistingstank, de uitgegist slibbuffer, slibontwatering of in leidingen. Ten eerste kan struviet spontaan ontstaan bij hoge fosfaat- en ammoniumconcentraties in de slibgisting; dit zijn vaak kleine kristallen door intensieve menging waardoor het struviet in het slib terechtkomt. Daarnaast is er bij overstorten, scherpe bochten en in (centrifugaal)pompen sprake van turbulentie en vindt CO_2 -stripping plaats waardoor de pH stijgt en struviet kan neerslaan.

Naast struviet zijn er andere fosfaatvormen die kunnen worden teruggewonnen. Een voorbeeld is vivianiet; de terugwinning hiervan is momenteel in ontwikkeling (Vivimag[®] technologie, TRL 5-6).

73 STOWA 2016-22 "Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater"

74 STOWA 2012-27 "Struvietproductie door middel van het Airprex proces"

75 STOWA 2023-08 "LCA van acht grondstoffen uit rioolwater"

76 Mirabella Mulder 2023 "Optimalisatie struviet terugwinning in de praktijk"

5.4 DOSEREN VAN METAALZOUTEN IN DE SLIBGISTINGSTANK

Het reduceren van de fosfaatvrucht in de retourstroom naar de waterlijn kan ook worden gedaan door het doseren van metaalzouten in de slibgistingstank.⁷⁷ Dit kan met zowel ijzer- als magnesiumzouten of met drinkwaterslib. Het nadeel van ijzerdosering is dat er relatief veel chemisch slib (incl. ijzerhydroxide slib) wordt gevormd en dat fosforterugwinning in de slibeindverwerking moeilijk terug te winnen is bij ijzerrijk slib (STOWA 2011-24)⁷⁸. Momenteel wordt bij Waterschapsbedrijf Limburg pilotonderzoek gedaan naar een terugwinroute voor vivianiet op de rwzi.

Bij gecontroleerde magnesiumdosering op de gisting, waar NH_4 en PO_4 vrijkomen en veel menging plaatsvindt, worden kleine struvietkristallen gevormd die in het slib terechtkomen. Dit zorgt ervoor dat het anorganische stofgehalte van het slib toeneemt en de ontwaterbaarheid verbetert. Bovendien zorgt struvietvorming in de gisting ervoor dat struviet later niet meer neerslaat, waardoor scaling en verstoppingen kunnen worden voorkomen. Ook is het doseren van magnesium in de gisting een relatief simpel proces in vergelijking met een struvietreactor na de gisting. Het gevormde struviet kan ook worden teruggewonnen; door periodieke verwijdering uit de ontwateringsinstallatie (o.a. rwzi Beverwijk en rwzi Den Helder).

⁷⁷ Naast het doseren van metaalzouten in de slibgistingstank kan de dosering ook plaatsvinden in de uitgestig slibbuffer.

⁷⁸ STOWA 2011-24 "Fosfaatterugwinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties"

6

NABEHANDELING

Als laatste zijn er diverse nabehandelingstechnieken om de effluentkwaliteit te verbeteren. Een overzicht van de beschouwde technieken is hieronder weergegeven. De maatregelen met 'X' zijn verder uitgewerkt in een factsheet.

TABEL 12 SHORTLIST VAN MAATREGELN IN DE NABEHANDELING

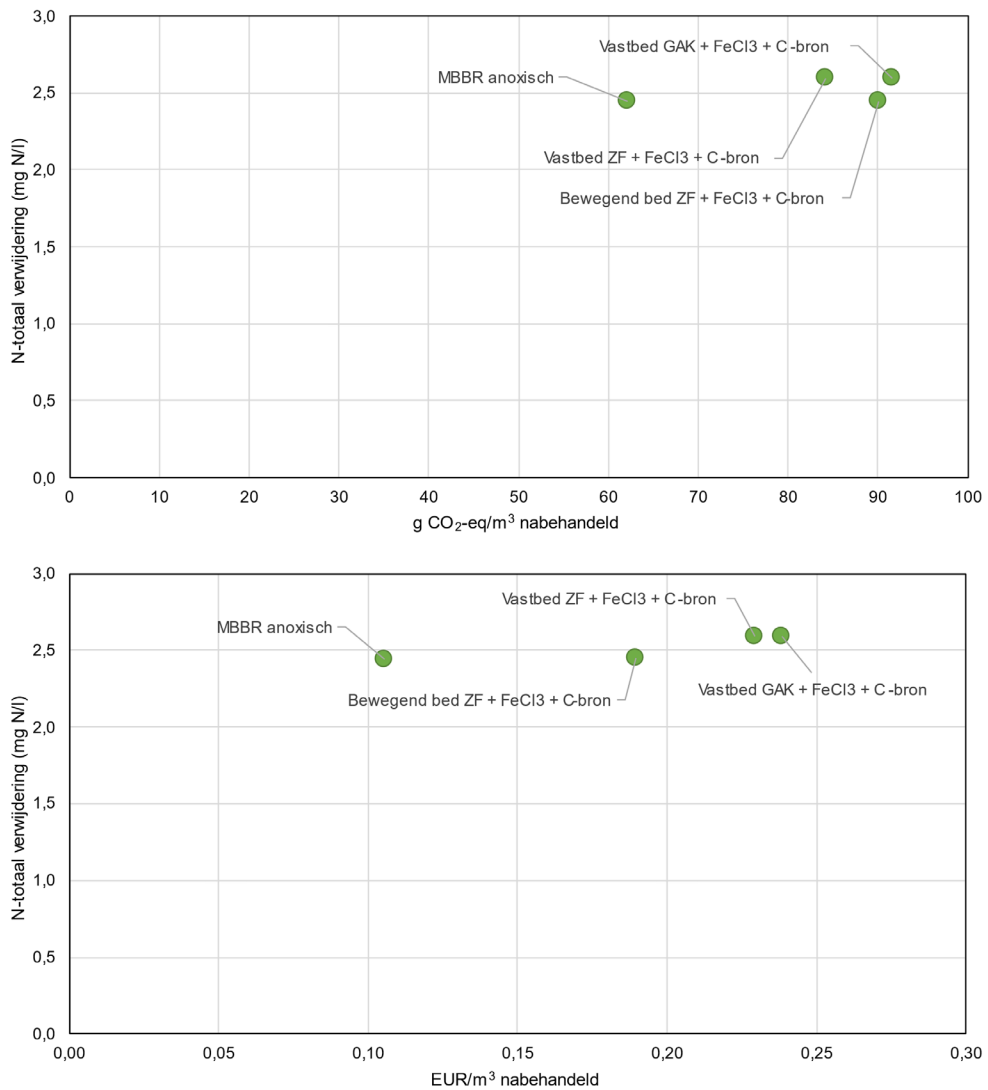
Maatregel	Submaatregel	Factsheet
Vastbed mediafiltratie	Zandfilter	
	NO ₃ -N en PO ₄ -P verwijdering	X
	PO ₄ -P verwijdering	X
	NH ₄ -N verwijdering	X
	GAK-filter	
	NO ₃ -N en PO ₄ -P verwijdering	X
	PO ₄ -P verwijdering	X
Bewegend bed mediafiltratie*	NH ₄ -N verwijdering	X
	Zandfilter	
	NO ₃ -N en PO ₄ -P verwijdering	X
	PO ₄ -P verwijdering	X
Doekfiltratie	NH ₄ -N verwijdering	X
<i>Moving bed bioreactor</i> (MBBR)	NH ₄ -N verwijdering	X
	NO ₃ -N verwijdering	X
Natuurlijke systemen		
Ultrafiltratie		
Ionenwisseling		

* Voor bewegend bed mediafiltratie is enkel uitgegaan van zand als medium, aangezien bewegend bed GAK-filters nog niet op relevante schaal zijn getest (TRL < 7).

N-TOTAALVERWIJDERING

De stikstofverwijdering (mg N/l) die plaatsvindt door toepassing van de maatregelen in de nabehandeling is gepresenteerd in Figuur 50. In de referentiezuiivering kan een verwijdering van ca. 2,6 mg N/l worden bereikt door de toepassing van een vastbed mediafilter met FeCl₃- en C-brondosering. Dit komt overeen met een effluentkwaliteit van ca. 4,1 mg N/l.⁷⁹ Ook blijkt uit het onderstaande figuur dat het medium (GAK of zand) een significante invloed heeft op zowel de CO₂-footprint als de kosten per m³ behandeld afvalwater.

FIGUUR 50 N-TOTAALVERWIJDERING (MG N/L) DOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ NABEHANDELD) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/M³ NABEHANDELD); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E., TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR N-TOTAALVERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN



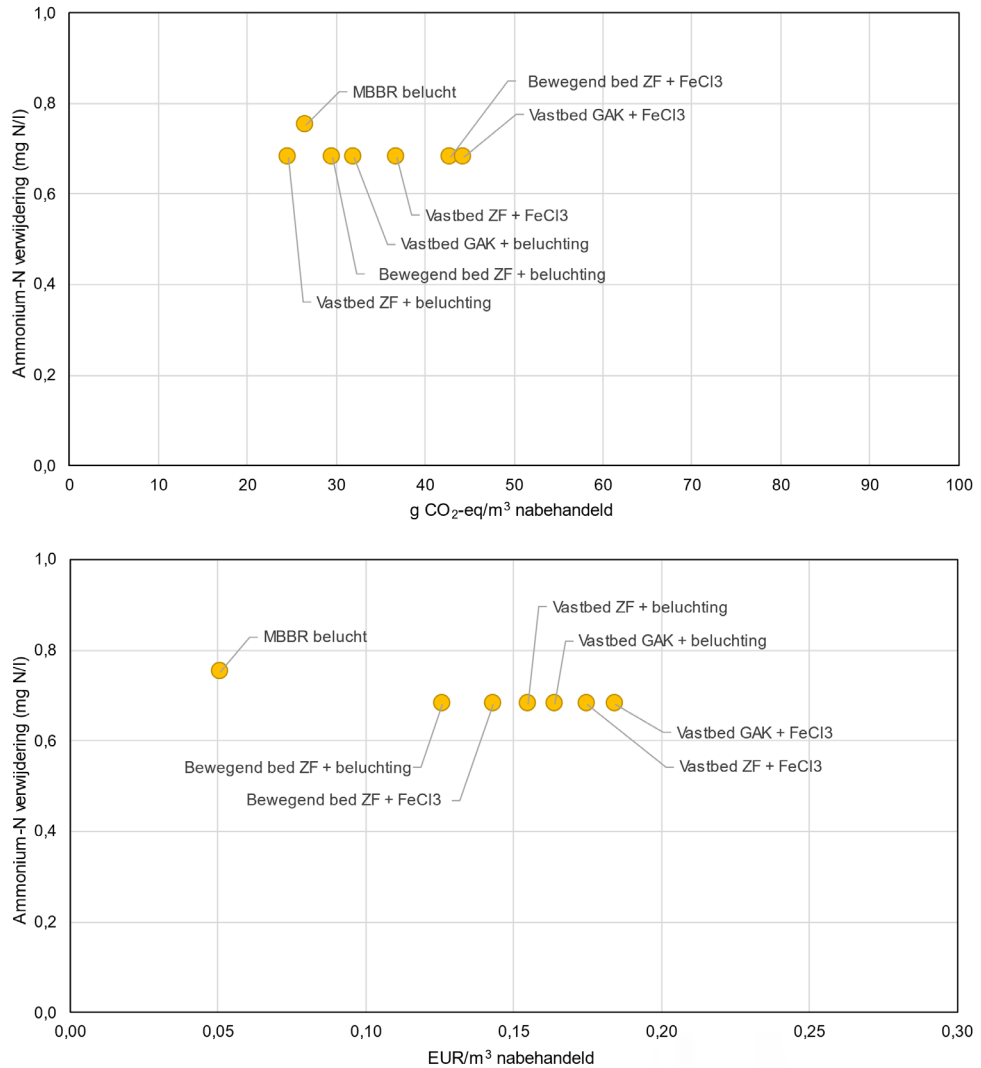
⁷⁹ Opmerking: in alle nabehandelingsinstallaties is uitgegaan van een behandeling van 80% van het jaardebiet (zie Tabel 2). Bij een grotere ontwerpcapaciteit zullen lagere effluentgehalten worden bereikt.

NH₄-N-VERWIJDERING

De ammoniumverwijdering (mg NH₄-N/l) van de verschillende maatregelen in de nabehandeling is afgebeeld in Figuur 51. Er vindt ammoniumverwijdering plaats in de nabehandelingstechnieken met beluchting en FeCl₃-dosering⁸⁰; hierbij hoort een relatief grote range in CO₂-footprint en kosten, afhankelijk van het type medium (zand of GAK) en de filtratietechniek (bewegend bed of vastbed).

FIGUUR 51

AMMONIUMVERWIJDERING (MG NH₄-N/L) DOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ NABEHANDELD) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/M³ NABEHANDELD); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E., TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKWALITEIT. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR NH₄-N-VERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN

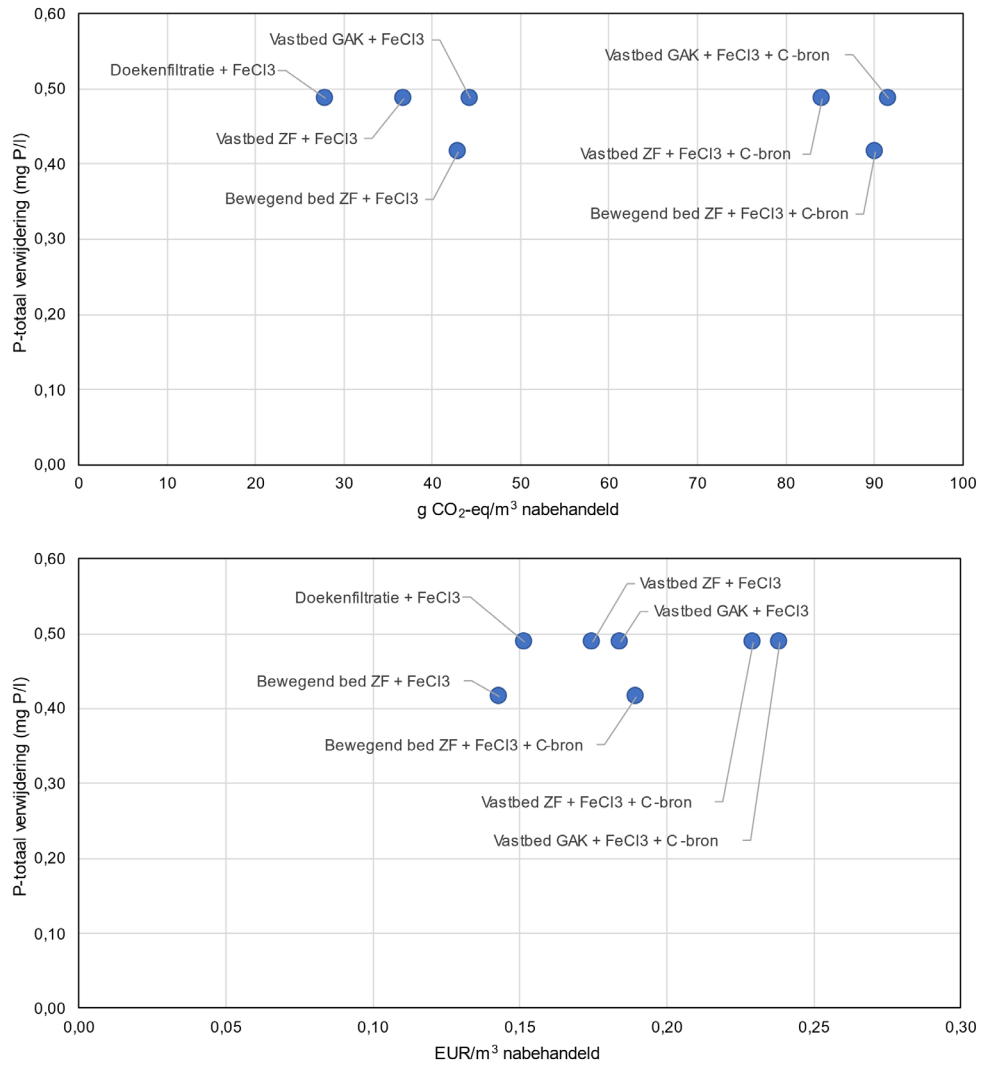


⁸⁰ Er vindt ammoniumverwijdering plaats in alle niet-denitrificerende mediafilters, door de aangenomen NH₄-N (1,0 mg/l) en DO (5,0 mg/l) concentraties in het effluent (zie Tabel 3). In de praktijk zullen ammoniumpieken alleen kunnen worden afgevangen door technieken met beluchting.

P-TOTAALVERWIJDERING

De invloed van de maatregelen op de effluent totaalfosforconcentratie is weergegeven in Figuur 52. Door de toepassing van een doekfilter of vastbedfilter kan een P-verwijdering van ca. 0,5 mg P/l worden bewerkstelligd in de referentiezuiwing. Dit komt overeen met een effluentkwaliteit van ca. 0,4 mg P/l bij een behandeling van 80% van het jaardebiet.

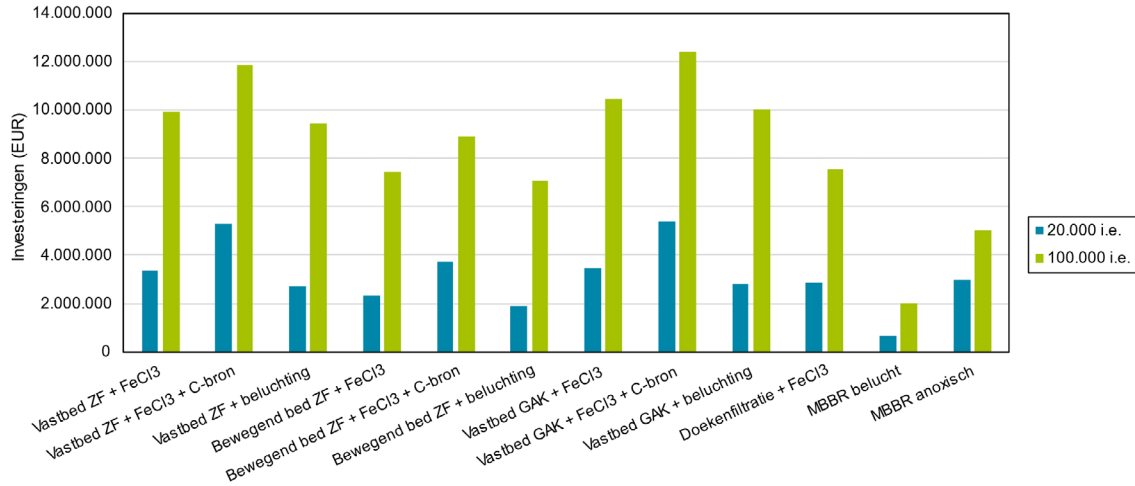
FIGUUR 52 P-TOTAALVERWIJDERING (MG P/L) DOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, ALS FUNCTIE VAN DE CO₂-FOOTPRINT (G CO₂-EQ/M³ NABEHANDELD) EN DE KOSTEN (TOTEX, EUR/M³ NABEHANDELD); DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E., TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIE EFFLUENTKwaliteit. ENKEL DE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR P-TOTAALVERWIJDERING ZIJN WEERGEGEVEN



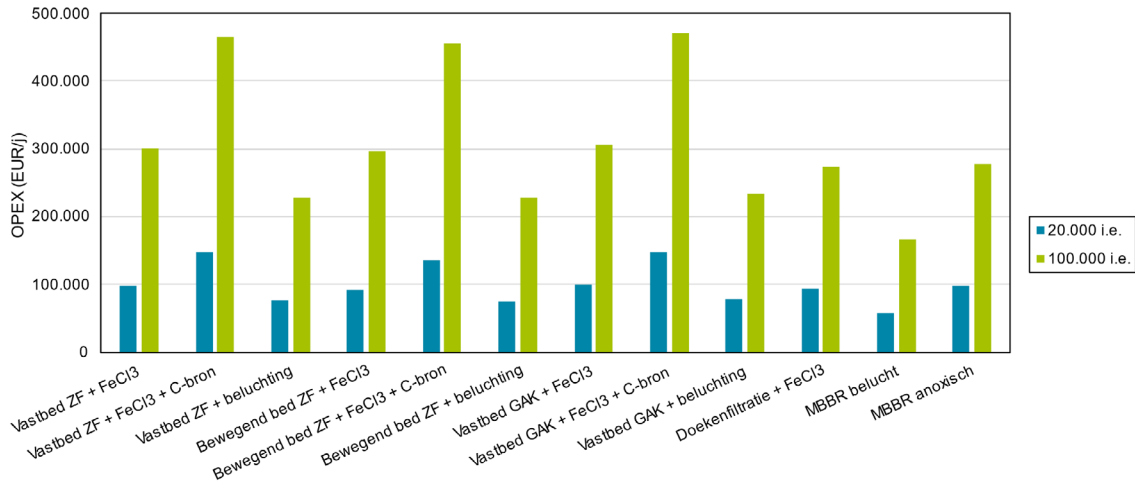
KOSTEN

In onderstaande figuren staan inschattingen voor de investeringen (Figuur 53) en operationele kosten (Figuur 54) van de verschillende nabehandelingstechnieken voor de referentiezuiveringen van 20.000 en 100.000 i.e.

FIGUUR 53 **INVESTERINGEN (EUR) VOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)**



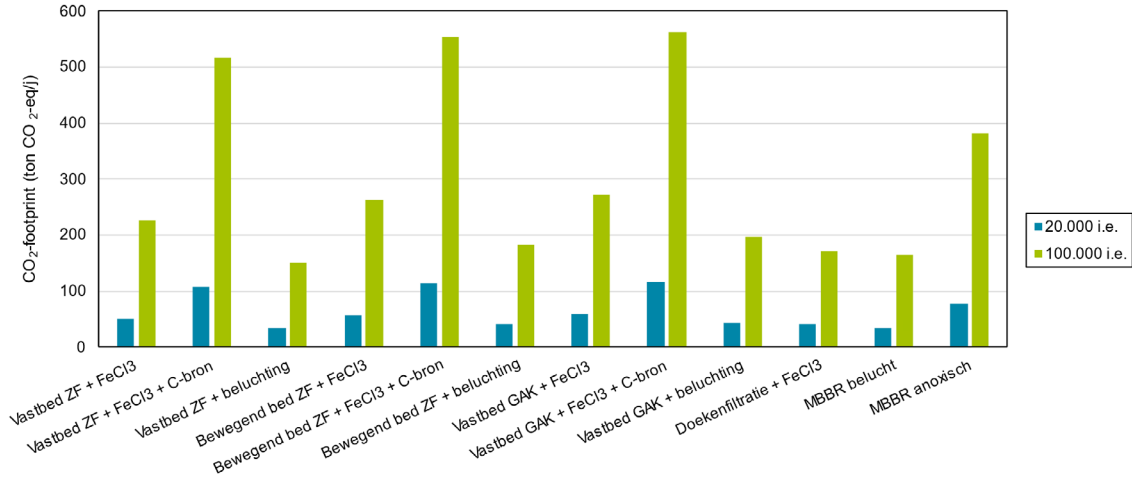
FIGUUR 54 **OPERATIONELE KOSTEN (EUR/J) VOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)**



DUURZAAMHEIDSASPECTEN

In Figuur 55 is de jaarlijkse CO₂-footprint van de verschillende nabehandelingstechnieken gepresenteerd.

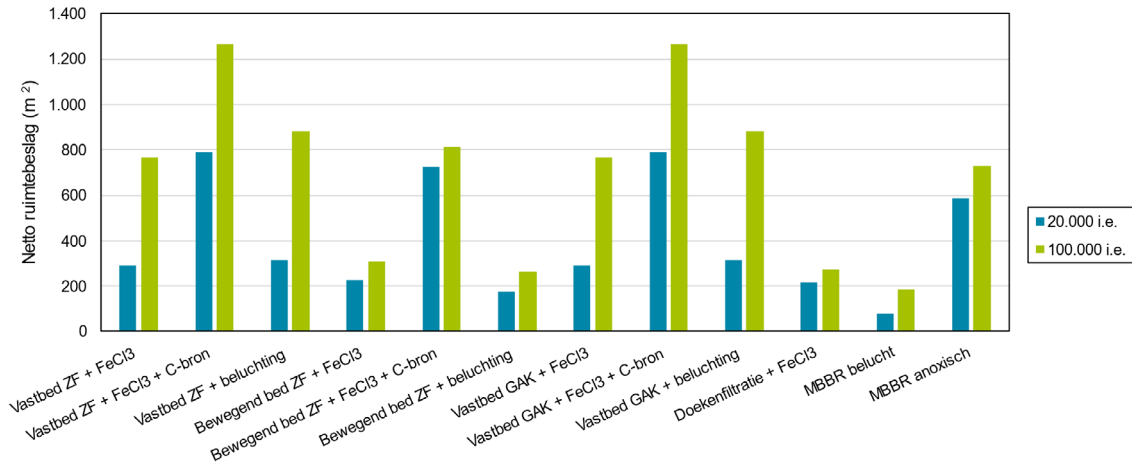
FIGUUR 55 CO₂-FOOTPRINT (TON CO₂-EQ/J) VOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)



RUIMTEBESLAG

Het netto ruimtebeslag van de verschillende maatregelen is weergegeven in Figuur 56.

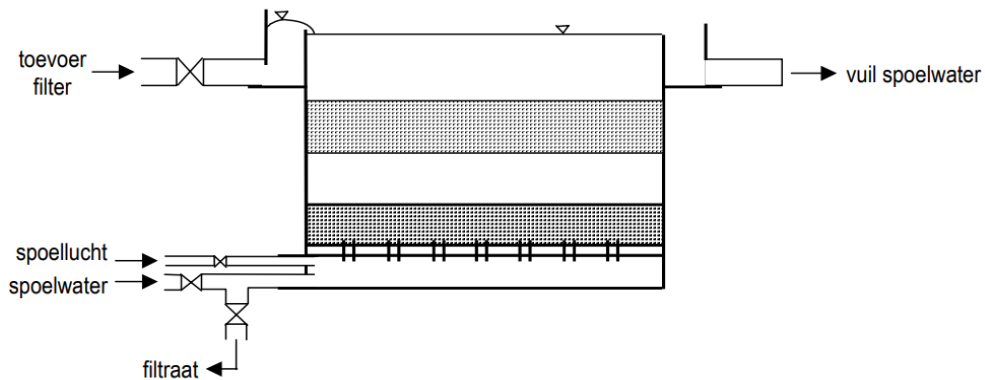
FIGUUR 56 NETTO RUIMTEBESLAG (M²) VOOR MAATREGELEN IN DE NABEHANDELING, WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (BLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)



6.1 VASTBED MEDIAFILTRATIE

In een vastbedfilter vindt gravitatiefiltratie plaats met zand of granulair actiefkool als filtermedium. Het filter zorgt ervoor dat zwevende stof wordt afgevangen, waardoor onopgeloste N en P (SON en SOP)⁸¹ worden verwijderd en de effluent N- en P-concentratie verbetert. Er bestaan zowel denitrificerende als nitrificerende vastbedfilters. Daarnaast is het mogelijk om metaalzouten te doseren om orthofosfaat te verwijderen, al dan niet in combinatie met stikstofverwijdering.

FIGUUR 57 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN NEERWAARTS DOORSTROOMD VASTBEDFILTER (BRON: STOWA 2008-W02)⁸²



Er vindt regelmatig terugspoeling plaats als het drukverschil in het filterbed een bepaalde grenswaarde bereikt; tijdens deze reiniging worden de filters één voor één kortdurend (10-20 minuten) gespoeld en wordt geen filtraat geproduceerd door het filter in spoeling. De installatie is voorzien van een filtraattank en een tank voor vuil spoelwater. Het vuile spoelwater kan worden teruggebracht naar de voorbehandeling, hoofdzuivering of nabezinking, afhankelijk van de vuilgraad. Dit resulteert in een verhoogde hydraulische belasting van de hoofdzuivering/nabezinktanks.

PO₄-P VERWIJDERING

Om orthofosfaat te verwijderen kan coagulant (bijvoorbeeld ijzer- of aluminiumchloride) worden gedoseerd in de aanvoerleiding naar het vastbedfilter. Hierdoor wordt orthofosfaat gecoaguleerd, waarna het in vlokken terecht komt. Dit vlokvormingsproces (floculatie) vindt in de waterlaag boven het filtermedium plaats. Vanwege de coagulatie in de aanvoerleiding en floculatie boven het filtermedium is er geen behoefte aan een losse coagulatietank. De gevormde vlokken worden vervolgens, net als onopgeloste bestanddelen, op en in het filterbed afgevangen. Zo zal de effluent P-totaalconcentratie afnemen. Een mogelijke bijvangst bij coagulatie/precipitatie is de (gedeeltelijke) verwijdering van zware metalen. In factsheet 16 (Bijlage A1) is het vastbedfilter voor PO₄-P verwijdering uitgewerkt voor de referentiezoueringen.

NO_x-N VERWIJDERING

In een denitrificerend vastbedfilter wordt een externe koolstofbron gedoseerd om nitraat biologisch om te zetten in stikstofgas. Hierdoor zal de effluent stikstofconcentratie afnemen. Als koolstofbron kan alléén methanol worden gebruikt, omdat andere koolstofbronnen tot nu toe altijd voor schimmeligroei zorgen, waardoor het filterbed verkleeft en verstopt raakt. In de berekeningen is uitgegaan van een denitrificerend filter met coagulantdosering (zie factsheet 15, Bijlage A1).

81 SON: suspended organic nitrogen, N_{org-particulair}, SOP: suspended organic phosphorus, P_{org-particulair}

82 STOWA 2008-W02 "Demonstratieonderzoek vergaande zuiveringstechnieken op de rwzi Leiden Zuidwest"

NH₄-N VERWIJDERING

Nitrificatie vindt plaats bij voldoende opgelost zuurstof (4,57 kg O₂/kg NH₄-N). In de berekeningen (factsheet 17, Bijlage A1) is uitgegaan van een beluchtingstank om aerobe omstandigheden te garanderen. Afhankelijk van de O₂- en NH₄-concentraties kan de beluchting uit of aan worden gezet. Als gevolg van het nitrificerende filter zal het effluent-ammonium worden omgezet in nitraat. Dit vermindert de toxiciteit van het effluent ten aanzien van ammonium/ammoniak (STOWA 2021-43), maar het totaalstikstofgehalte zal niet afnemen afgezien van de reductie van het SON-gehalte.

VERWIJDERING VAN MEDICIJNRESTEN

Indien het filtermedium granulair actief kool is, vindt (een zeker mate van) medicijnrestenverwijdering plaats. Om 80% verwijderingsrendement voor medicijnresten te behalen is echter een (veel) grotere contacttijd nodig dan voor nutriëntenverwijdering. Voor nutriëntenverwijdering volstaat een contacttijd van 8-10 minuten; de verwijdering van medicijnresten vereist een contacttijd van 15-20 minuten. De functies zijn evenwel te combineren als het filter voldoende verblijftijd heeft en het filter door middel van sorptie medicijnresten verwijdert. Het koolbed dient daarvoor periodiek te worden vervangen.

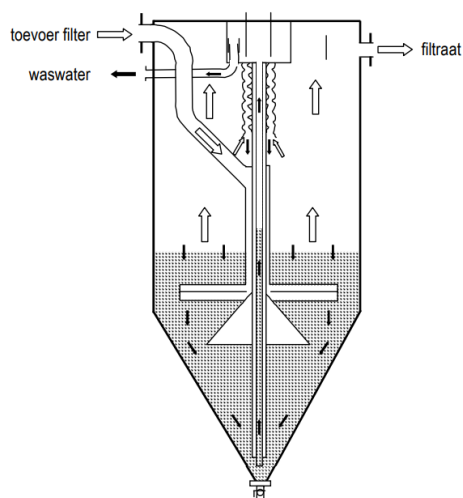
De combinatie van metaalzoutdosering en medicijnrestenverwijdering door sorptie en afbraak in aerobe condities (zoals bij een BODAC, *Biological Oxygen Dosed Activated Carbon*) is nog onvoldoende onderzocht. Er kan niet met zekerheid worden gezegd of de metaalzoutdosering (en de resulterende hogere spoelfrequentie) invloed heeft op de mate van medicijnrestenverwijdering.

6.2 BEWEGEND BED MEDIAFILTRATIE

In een bewegend bed filter vindt opstroomse filtratie plaats door een gefluïdiseerd medium (zand of granulair actiefkool). Door de afvang van zwevende stof worden de onopgeloste N- en P-fractionen (deels) verwijderd, waardoor de totaalstikstof- en totaalfosforgehaltes afnemen. Bewegend bed filters worden ook wel continufilters genoemd; dit is omdat de filters niet buiten bedrijf worden genomen tijdens de terugspoeling. Door deze continue spoeling is er geen behoefte aan (buffer)tanks voor het filtraat en vuile spoelwater.

FIGUUR 58

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN OPWAARTS DOORSTROOMD CONTINUFILTER (BRON: STOWA 2008-W02)



Vergeleken met vastbedfilters hebben continufilters een hoger energieverbruik; dit is vanwege het continu in suspensie houden van het filterbed. Daarnaast is de totale productie van vuil spoelwater groter bij continufilters doordat continu wordt gespoeld. De samenstelling van het vuile spoelwater is afhankelijk van de effluentvrachten van zwevende stof, nitraat en orthofosfaat, evenals het type koolstofbron en metaalzout dat wordt gebruikt in het filter.

In de berekeningen is uitgegaan van drie soorten bewegend bed mediafilters. Dit betreft nitrificerende filters, denitrificerende filters met coagulantdosering en bewegend bed filters voor $\text{PO}_4\text{-P}$ verwijdering. Er is enkel uitgegaan van zand als medium, aangezien de TRL van bewegend bed GAK-filters momenteel te laag is. De resultaten zijn weergegeven in factsheets 18, 19 en 20 (Bijlage A1).

6.3 DOEFILTRATIE

Doekfilters bestaan uit textielweefsel; dit materiaal vormt een dichte barrière tegen onopgeloste bestanddelen en heeft daarnaast enige bergingscapaciteit voor zwevende stof in de dikte van het doek. Het effluent stroomt in de filtertank en passeert het filterdoek van buiten naar binnen; hierdoor blijven de vaste delen op het doek achter. Het filtraat stroomt vervolgens vanuit de binnenkant van de trommel/schijf naar de uitlaat. De filters worden niet geroteerd tijdens de filtratie. Vanwege de ophoping van zwevende stof neemt de hydraulische weerstand over het filter toe; wanneer deze drukval een bepaalde grenswaarde bereikt vindt een automatische reinigingscyclus plaats, zonder dat het filtratieproces wordt onderbroken. Tijdens het terugspoelen wordt het filter langzaam geroteerd om de zwevende stof van het filtermedium te verwijderen; dit gebeurt met een terugspoelpomp en aanzuigleiding.

FIGUUR 59

DOEFILTER



Naast de verwijdering van onopgeloste bestanddelen, inclusief de daaraan gebonden N- en P-fracties (SON en SOP), kunnen doekfilters worden gebruikt voor de verwijdering van orthofosfaat ($\text{PO}_4\text{-P}$) door middel van coagulatie. Hiervoor is een contacttank voor coagulatie-flocculatie nodig voorafgaand aan de filterstap waar de coagulant wordt gedoseerd. Een mogelijke bijvangst van coagulatie/precipitatie is de (gedeeltelijke) verwijdering van zware metalen.

Doekfiltratie wordt in het buitenland al op grote schaal toegepast; vooral in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk (STOWA 2020-21)⁸³. In Nederland staat een *full-scale* installatie op rwzi Gieten. Volgens de leverancier (Eliquo) is er geen risico op de emissie van micro-

83 STOWA 2020-21 "Haalbaarheidsstudie PAK + doekfiltratie voor verwijdering van microverontreinigingen op rwzi's"

plastics naar het effluent bij toepassing van doekfiltratie. Er zijn momenteel geen onafhankelijke onderzoeksgegevens beschikbaar.

Het doekfilter is kwantitatief uitgewerkt voor de referentieuiveringen van 20.000 i.e. en 100.000 i.e.; de resultaten zijn gepresenteerd in factsheet 21 (zie Bijlage A1).

6.4 MOVING BED BIOREACTOR (MBBR)

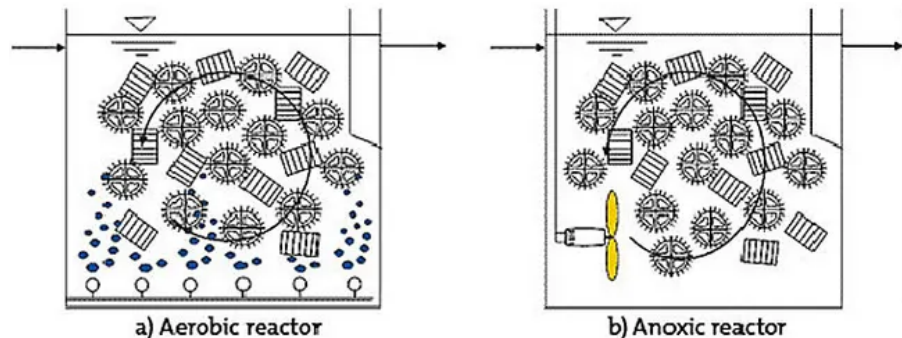
Een *moving bed bioreactor* bestaat uit één of meerdere tanks gevuld met dragermateriaal en scheidingseenheden. Op het dragermateriaal vindt biofilm-groei van biomassa plaats; de scheidingseenheden worden gebruikt om het effluent van het dragermateriaal te separeren. Een MBBR kan zowel voor aerobe als anoxische condities worden ontworpen, afhankelijk van de toevoeging van beluchtingselementen of mengers. Een combinatie van aerobe en anoxische condities is ook mogelijk. De systemen kunnen op verschillende plekken van de zuivering worden ingezet; zowel in de hoofdstroom van communale en industriële waterzuiveringen als in de deelstroom en als nabehandeling.

FIGUUR 60 A) VOORBEELDEN VAN MBBR-DRAGERMATERIAAL EN B) SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN AEROBE EN ANOXISCHE MBBR (BRON: ENVIROPRO 2024)⁸⁴

A)



B)



Door de biofilm-groei heeft een MBBR-systeem een stabiele verwijdering van stikstof en organisch materiaal. Daarnaast is het een compact systeem doordat er geen slibbezinking hoeft plaats te vinden, echter zal de geproduceerde biofilm dan zorgen voor een verhoging van zwevende stof in het effluent. Daarnaast bestaat er een risico dat door wrijving (micro) plastics van de carriers afslaan en in het effluent terechtkomen, aangezien de carriers vaak bestaan uit plastic materialen zoals HDPE. Leveranciers van MBBR- en IFAS-systemen *biobased* plastic carriers om dit probleem te ondervangen (bron: Veolia). Daarbij is de levensduur (en biologische afbreekbaarheid) van de carriers een aandachtspunt. Desalniettemin is er over het algemeen sprake van een verwijdering van microplastics in rwzi's, met gerapporteerde rendementen van 22 tot 99% ten opzichte van het influent (Sheriff *et al.* 2023, Acarer 2023).

84 EnviroPro 2024 "AnoxKaldnes™ MBBR technology for wastewater treatment"

De tertiaire MBBR is uitgewerkt voor de referentiezuiveringen van 20.000 i.e. en 100.000 i.e.; zie factsheet 22 (anoxische MBBR) en factsheet 23 (aerobe MBBR) in Bijlage A1.

6.5 NATUURLIJKE SYSTEMEN

In natuurlijke zuiveringssystemen kunnen stikstof, fosfor en pathogenen vergaand worden verwijderd. Daarnaast vindt een afname van de ecotoxiciteit van het effluent plaats (STOWA 2022-42)⁸⁵.

FIGUUR 61 VOORBEELD VAN EEN NATUURLIJK SYSTEEM: WATERHARMONICA KRISTALBAD (BRON: STOWA 2022-42)



Desalniettemin kan het natuurlijke systeem worden aangemerkt als oppervlaktewater, niet als onderdeel van het zuiveringstechnisch werk; hier is jurisprudentie van omtrent de waterharmonica bij rwzi Land van Cuijk. De uitspraak van de Hoge Raad (2006)⁸⁶ was als volgt:

“Gelet op het hiervoor in 3.3 overwogene en hetgeen in de onderdelen 6.3 tot en met 6.11 van de conclusie van de Advocaat-Generaal is uiteengezet, geeft ‘s Hofs hiervoor in 3.2 vermelde oordeel geen blijk van een onjuiste rechtsopvatting. Het kan, als verweven met waarderingen van feitelijke aard, voor het overige in cassatie niet op zijn juistheid worden getoetst. Het Hof heeft kennelijk de kenmerken van de afvoersloot, de afvoervijver en de buffervijvers die wijzen in de richting dat zij (onderdeel van) een zuiveringstechnisch werk zijn, van minder gewicht geacht dan de kenmerken die wijzen in de richting dat zij oppervlaktewater zijn. Die afweging en het daarop gebaseerde oordeel behoeft geen nadere motivering en zijn niet onbegrijpelijk.”

Wanneer er sprake is van oppervlaktewater zijn de bepalingen uit onder meer de Waterwet van toepassing. Daarnaast kan een natuurlijk systeem in dit geval niet dienen als KRW-maatregel ter verbetering voor de oppervlaktewaterkwaliteit.

6.6 ULTRAFILTRATIE

Ultrafiltratie (UF) kan worden gebruikt voor de verwijdering van gesuspendeerde en colloïdale deeltjes uit het effluent; dit zorgt ervoor dat onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) worden verwijderd. Hierdoor zullen de effluentconcentraties van N-totaal en P-totaal afnemen. In UF vindt scheiding op basis van deeltjesgrootte plaats door middel van membranen; deze kunnen zowel *dead-end* als *cross-flow* worden bedreven. De poriëgrootte van de membranen is in de

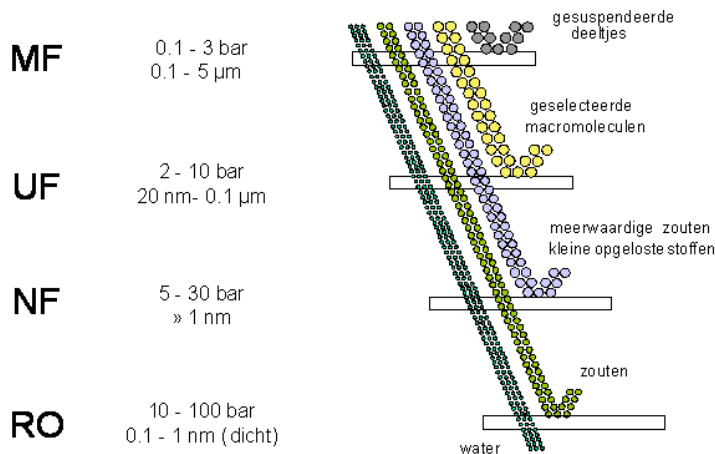
⁸⁵ STOWA 2022-42 “Verkenning natuurlijke zuiveringssystemen voor verwijdering van organische microverontreinigingen”

⁸⁶ HR 17 maart 2006, ECLI:NL:HR:2006:AU2717, par 3.5.

ordegrootte van 0,1 – 0,01 μm ; hierdoor worden ook (legionella)bacteriën en virussen tegengehouden. Vanwege deze desinfectie eigenschappen wordt ultrafiltratie veelal toegepast in landen waar effluenteisen bestaan voor pathogenen, zoals Israël; in Nederland bestaat deze eis niet. UF wordt doorgaans toegepast als voorbehandeling voor omgekeerde osmose (RO).

Het concentraat dat ontstaat uit de UF-installatie kan naar de zuivering worden teruggevoerd. Hierbij is geen probleem met de terugvoer van ionen, zoals bij nanofiltratie, omdat ionen het UF-membraan passeren (zie Figuur 62).

FIGUUR 62 OVERZICHT VAN FILTRATIETECHNIKEN MET DEELTJESGROOTTE EN VERWIJDERDE COMPONENTEN (BRON: EMIS VITO 2010)⁸⁷



Ten opzichte van zandfiltratie heeft ultrafiltratie een beperkte meerwaarde met betrekking tot N- en P-verwijdering. Daarnaast zijn de kosten en CO₂-footprint van ultrafiltratie significant hoger dan zandfiltratie door de membraanopstelling, vervanging van de membranen, reinigingschemicaliën en energievraag.

6.7 IONENWISSELING

In een ionenwisselaar kunnen opgeloste ionen en verontreinigingen uit afvalwater worden gehaald. De technologie maakt gebruik van een hars (resin) dat ongewenste kationen (NH₄, Zn, Mg) of anionen (NO₃, Cl) kan uitwisselen met meer gewenste ionen. Vervolgens worden de verwijderde ionen in een geconcentreerde stroom (brijn) verzameld door regeneratie; de ionenwisselingscapaciteit van de hars wordt hierbij hersteld. Uit het brijn kunnen de verwijderde ionen worden teruggewonnen; zo kan NH₄⁺ door middel van een stripper-scrubber-systeem worden omgezet in ammoniumsulfaat (STOWA 2001-19)⁸⁸.

De specifieke ionen en de hoeveelheid die hiervan kan worden verwijderd is afhankelijk van het type hars dat wordt gebruikt. Zeolieten hebben een hoge selectiviteit voor ammonium; ze kunnen worden ingezet voor vergaande ammoniumverwijdering uit influent bij lage BZV/N-verhoudingen (STOWA 2001-19). Ook zijn er ervaringen met ionenwisseling voor ammoniumverwijdering bij Waterfabriek Wilp (STOWA 2023-47)⁸⁹. Desalniettemin is er weinig bekend over ammoniumverwijdering uit effluent met relatief lage ingaande concentraties (in deze studie is 1,0 mg NH₄N aangenomen als startwaarde). Hetzelfde geldt voor de verwijdering van nitraat en orthofosfaat. Vanwege dit gebrek van praktijkkennis/toepassingen is ionenwisseling als nabehandeling verder niet kwantitatief uitgewerkt.

⁸⁷ Emis Vito 2010 "Ultrafiltratie"

⁸⁸ STOWA 2001-19 "Ionenwisseling voor stikstofverwijdering uit afvalwater"

⁸⁹ STOWA 2023-47 "Ontwikkeling en opschaling Waterfabriek2.0 – pilot proof of concept, ontwerp en referentie-installatie 100.000 i.e.-schaal en vergelijking op kosten en duurzaamheid "

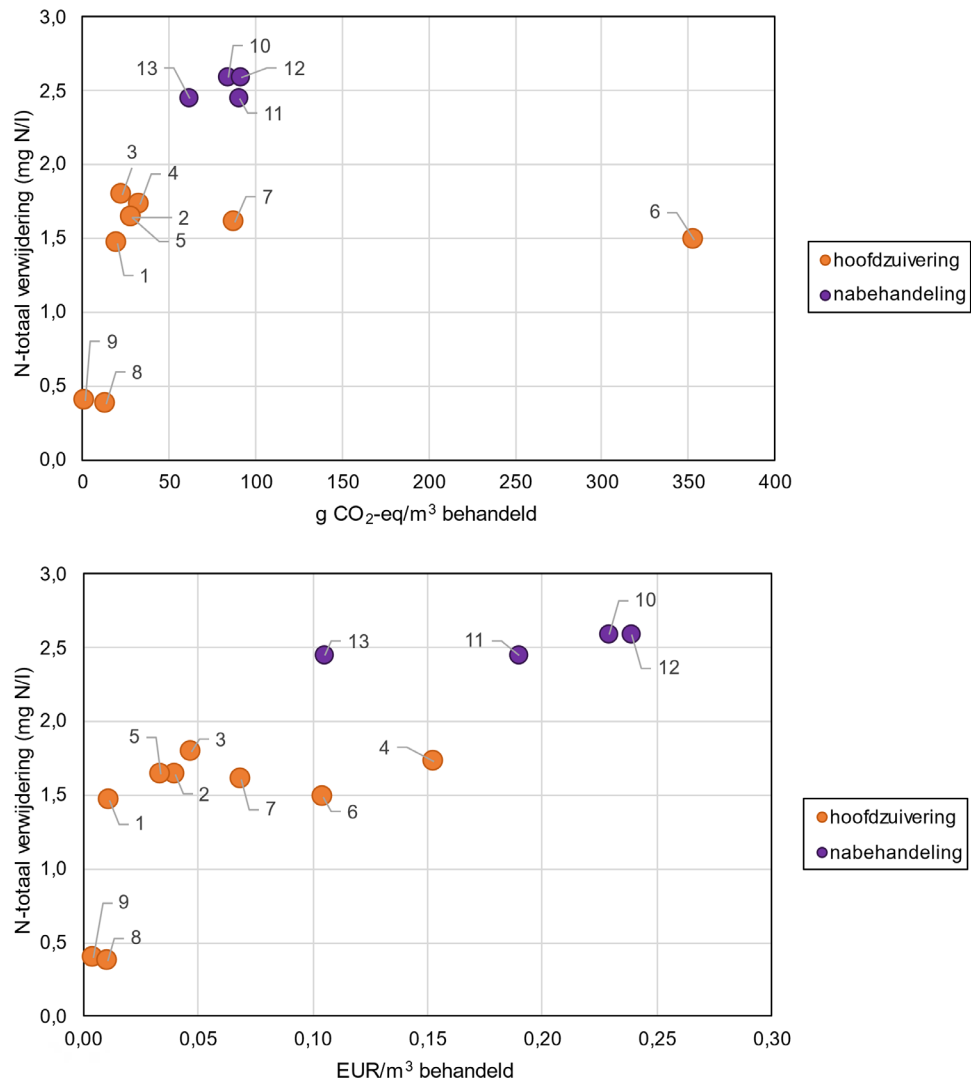
7

VERGELIJKING VAN MAATREGELLEN

7.1 VERWIJDERING VAN N-TOTAAL, NH₄-N EN P-TOTAAL

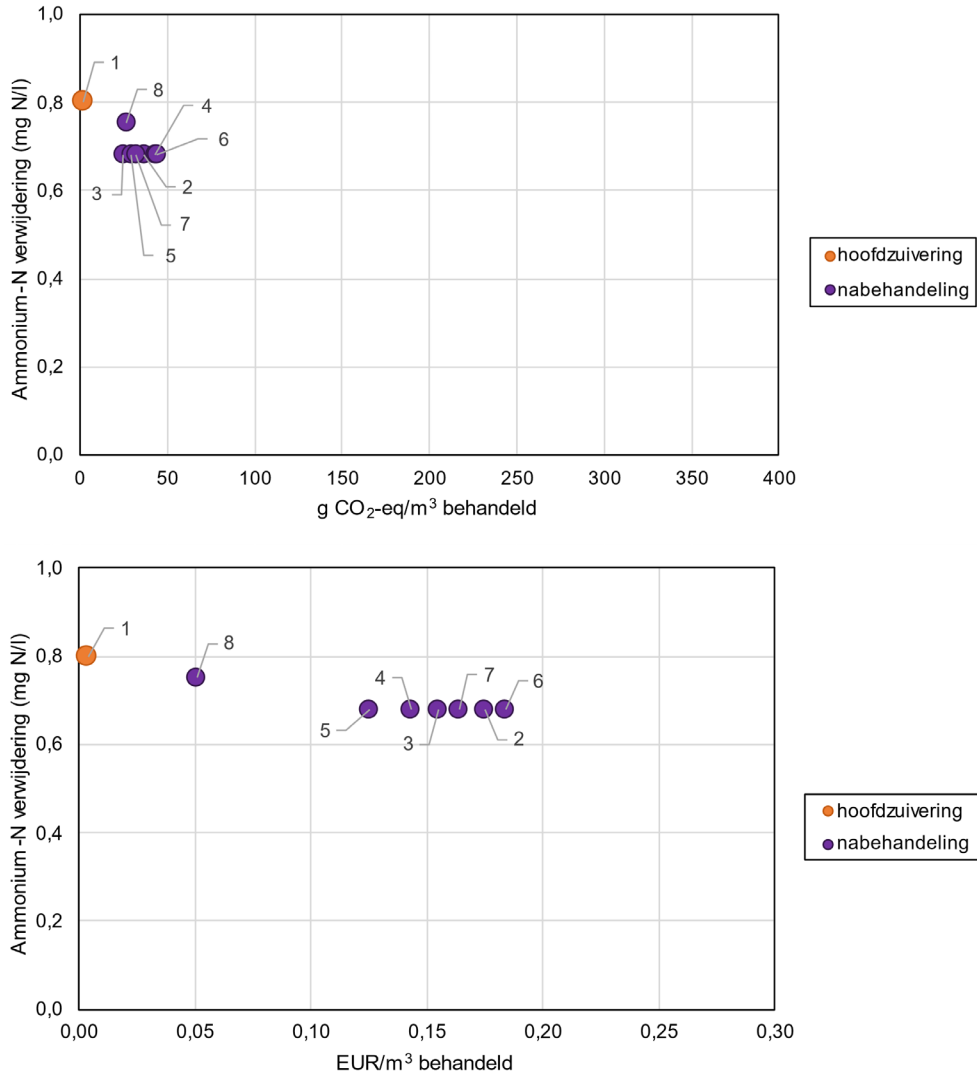
Een overzicht van de N-totaalverwijdering van de verschillende maatregelen voor de referentiezuiivering van 100.000 i.e. is afgebeeld in Figuur 57. Het blijkt dat de maatregelen in de hoofdzuivering over het algemeen goedkoper (EUR/m³, TOTEX) en duurzamer (g CO₂-eq/m³) zijn, terwijl de maatregelen in de nabehandeling een grotere stikstofverwijdering bewerkstelligen. Een uitzondering is C-bron dosering op de waterlijn. Deze komt niet duurzaam uit het vergelijk, maar dit komt deels omdat hiervoor commercieel verkrijgbare glycerine (als niet explosieve koolstofbron) is aangehouden.

FIGUUR 63 N-TOTAALVERWIJDERING DOOR MAATREGELLEN IN DE HOOFDZUIVERING (ORANJE) EN NABEHANDELING (PAARS). DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E. DE GETALLEN CORRESPONDEREN MET DE VOLGENDE MAATREGELLEN: 1) VERHOGEN SLIBGEHALTE, 2) EXTRA NABEZINKING, 3) EXTRA BIOLOGISCH VOLUME, 4) TOEVOEGEN CARRIERS, 5) INDENSE, 6) C-BRON DOSERING (GLYCERINE), 7) CBRON DOSERING (METHANOL), 8) EXTRA RECIRCULATIE, 9) NABELUCHTING, 10) VASTBED ZF + FECL₃ + C-BRON, 11) BEWEGEND BED ZF + FECL₃ + CBRON, 12) VASTBED GAK + FECL₃ + CBRON, 13) MBBR ANOXISCH



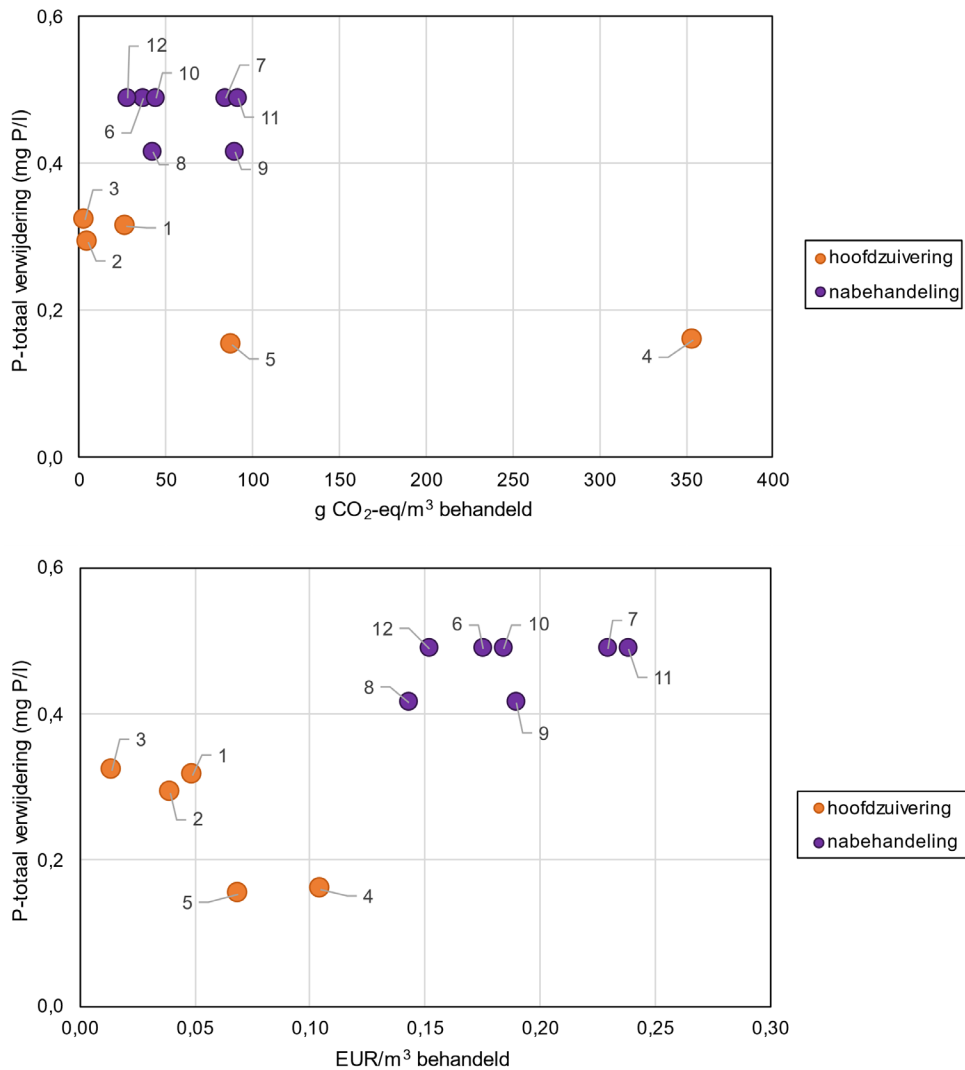
Een overzicht van de ammoniumverwijdering van de verschillende maatregelen is weergegeven in Figuur 64. De technologieën hebben een vergelijkbare $\text{NH}_4\text{-N}$ verwijdering; de kosten zijn geringer als eerst de opties op de waterlijn worden uitgenut.

FIGUUR 64 AMMONIUMVERWIJDERING DOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING (ORANJE) EN NABEHANDELING (PAARS). DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E. DE GETALLEN CORRESPONDEREN MET DE VOLGENDE MAATREGELEN: 1) NABELUCHTING, 2) VASTBED ZF + FeCl_3 , 3) VASTBED ZF + BELUCHTING, 4) BEWEGEND BED ZF + FeCl_3 , 5) BEWEGEND BED ZF + BELUCHTING, 6) VASTBED GAK + FeCl_3 , 7) VASTBED GAK + BELUCHTING, 8) MBBR BELUCHT



In Figuur 65 is een overzicht gegeven van de P-totaalverwijdering van de verschillende maatregelen voor de referentiezuiivering van 100.000 i.e. Ook hieruit blijkt een hoger verwijderingsrendement in de nabehandelingstechnieken, gekoppeld aan een hogere EUR/m³-behandeld.

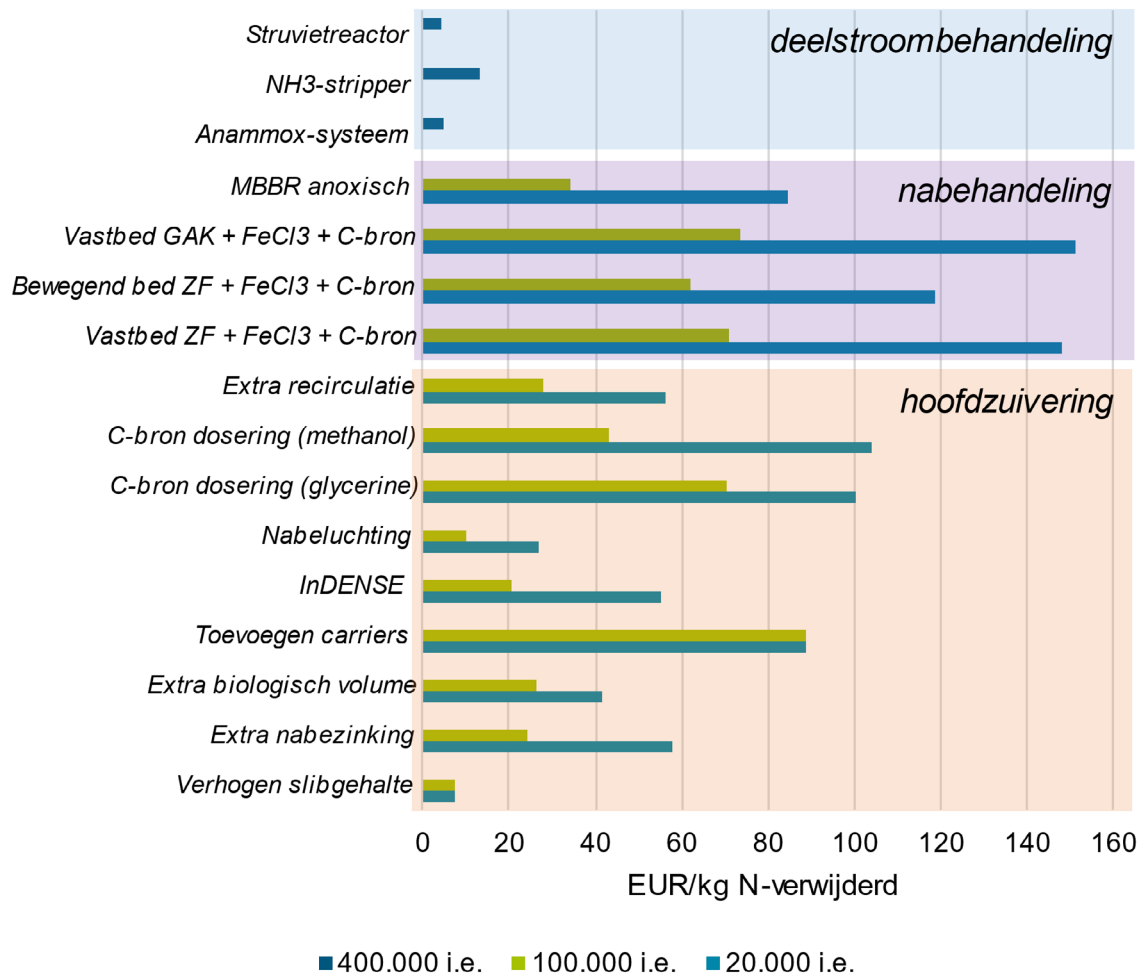
FIGUUR 65 P-TOTAALVERWIJDERING DOOR MAATREGELEN IN DE HOOFDZUIVERING (ORANJE) EN NABEHANDELING (PAARS). DE GETALLEN ZIJN WEERGEGEVEN VOOR DE REFERENTIEZUIVERING VAN 100.000 I.E. DE GETALLEN CORRESPONDEREN MET DE VOLGENDE MAATREGELEN: 1) WARMEVETZUURREACTOR, 2) KOUDEVETZUURREACTOR, 3) METAALZOUTEN, 4) C-BRON DOSERING (GLYCERINE), 5) C-BRON DOSERING (METHANOL), 6) VASTBED ZF + FECL₃, 7) VASTBED ZF + FECL₃ + C-BRON, 8) BEWEGEND BED ZF + FECL₃, 9) BEWEGEND BED ZF + FECL₃ + C-BRON, 10) VASTBED GAK + FECL₃, 11) VASTBED GAK + FECL₃ + C-BRON, 12) DOEKENFILTRATIE + FECL₃



7.2 KOSTEN EN CO₂-FOOTPRINT PER KG N-TOTAAL VERWIJDERD

Een overzicht van de kosten per N-totaal verwijderd is weergegeven in Figuur 66. Over het algemeen bestaat er een negatief verband tussen de grootte van de referentiezuiivering en de EUR/kg N-verwijderd. Dat wil zeggen: grotere rwzi's leiden tot lagere specifieke kosten per kilogram stikstof verwijderd. Ook zijn de maatregelen in de hoofdzuivering over het algemeen kosteneffectiever dan de maatregelen in de nabehandeling. De kosteneffectiviteit van de deelstroomtechnieken is het hoogst.

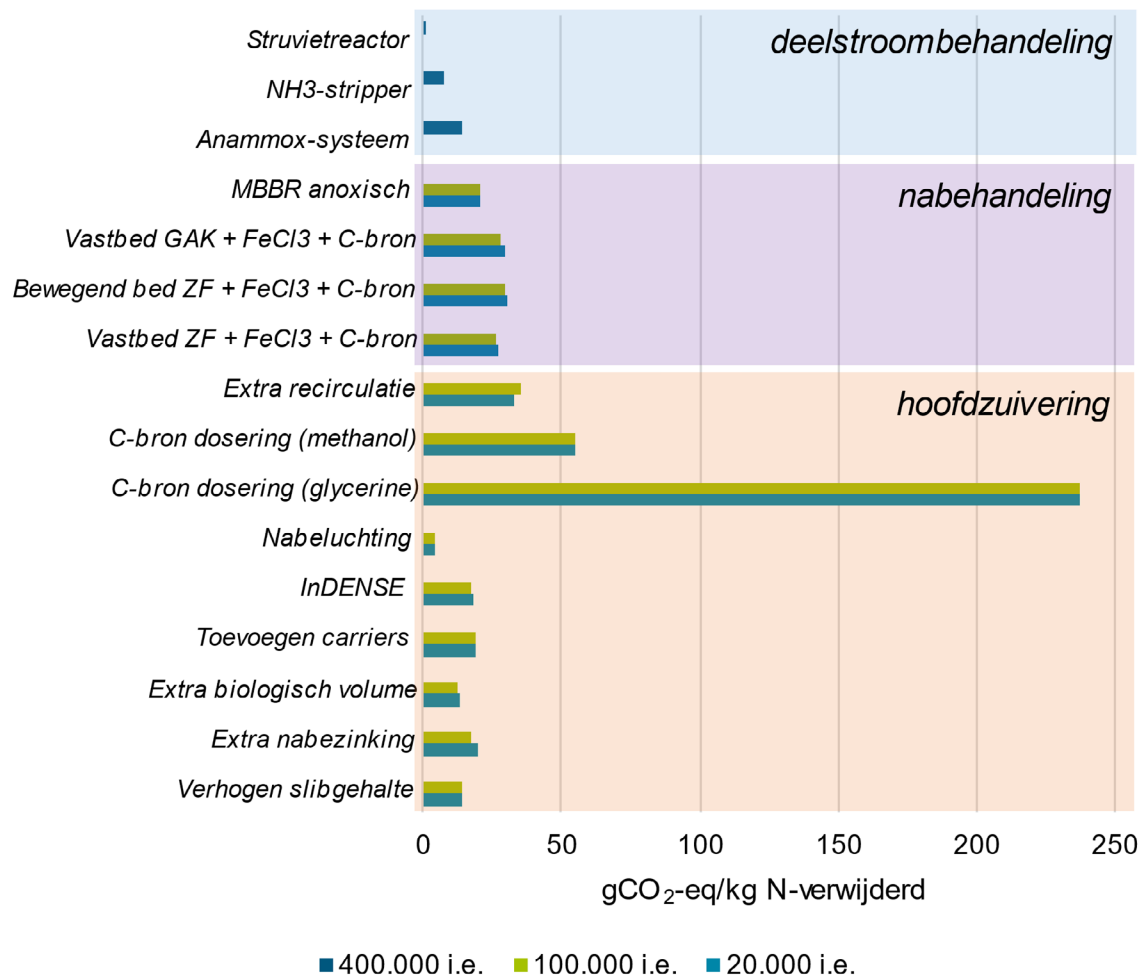
FIGUUR 66 KOSTEN (TOTEX) PER KG N-TOTAAL VERWIJDERD VOOR ALLE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR N-TOTAALVERWIJDERING, VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (LICHTBLAUW), 100.000 I.E. (GROEN) EN 400.000 I.E. (DONKERBLAUW)



De CO₂-footprint per kg N-verwijderd van de verschillende maatregelen is afgebeeld in Figuur 67. Het blijkt dat er een grote range aan 'duurzaamheidseffectiviteit' is in de waterlijn; de sibleeftijd-verhogende maatregelen komen het beste naar voren, terwijl C-brondosering het minst duurzaam is. In de regel is te zien dat het hulpstoffenverbruik en energieverbruik sterk bepalend zijn voor de CO₂-footprint, en dat de CO₂-footprint van het realiseren van bouwwerken een minder grote invloed heeft. Dit komt omdat de CO₂-footprint van bouwmaterialen wordt afgeschreven over de levensduur.

De CO₂-footprint van glycerine is aanzienlijk en geeft worst case aan voor de C-brondosering op de waterlijn. Er zijn duurzamere C-bronnen op de markt, en soms kan voldoende leveringszekerheid worden verkregen met het toepassen van restproducten uit de (voedings)industrie.

FIGUUR 67 CO₂-FOOTPRINT (CO₂-EQ) PER KG N-TOTAAL VERWIJDERD VOOR ALLE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR N-TOTAALVERWIJDERING, VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (LICHTBLAUW), 100.000 I.E. (GROEN) EN 400.000 I.E. (DONKERBLAUW)

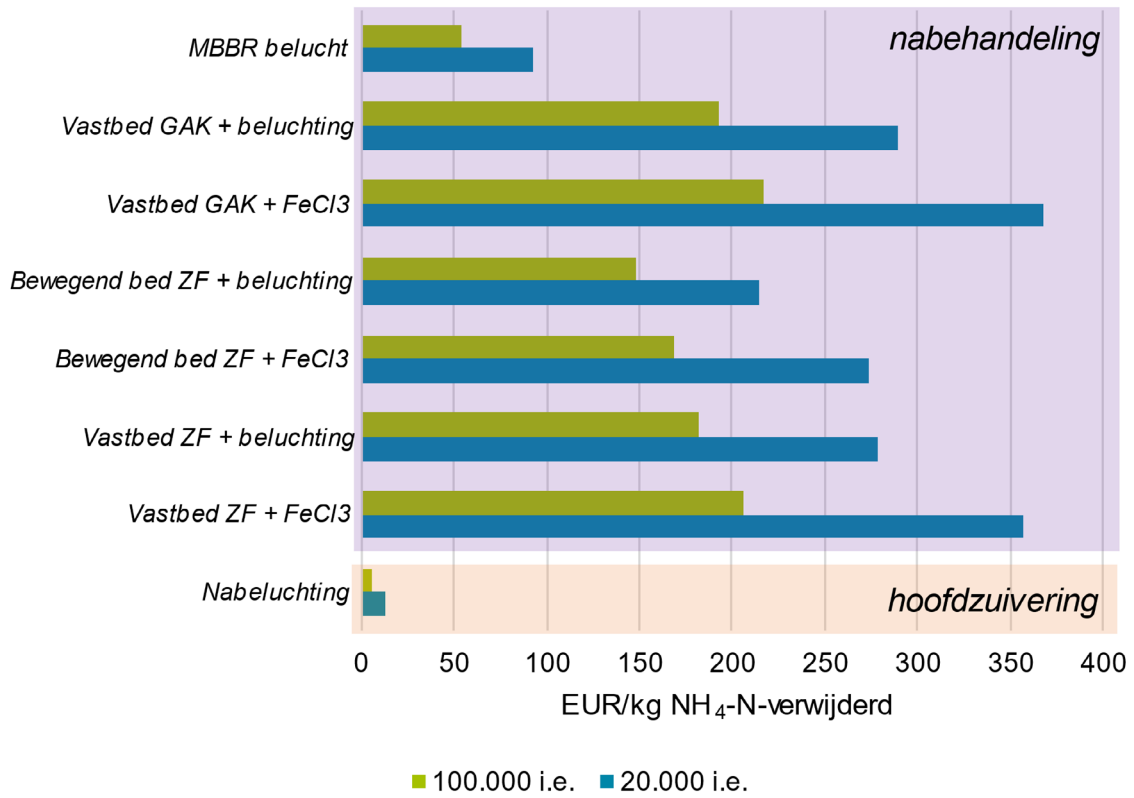


7.3 KOSTEN EN CO₂-FOOTPRINT PER KG NH₄-N VERWIJDERD

De kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen voor ammoniumverwijdering is weergegeven in Figuur 68. De nabehandelingstechnologieën hebben hogere kosten per kg NH₄-N verwijderd; dit wordt deels verklaard door de personeelskosten, dragermaterialen (MBBR) en het hogere energieverbruik gerelateerd aan de opvoer van effluent (mediafiltratie).

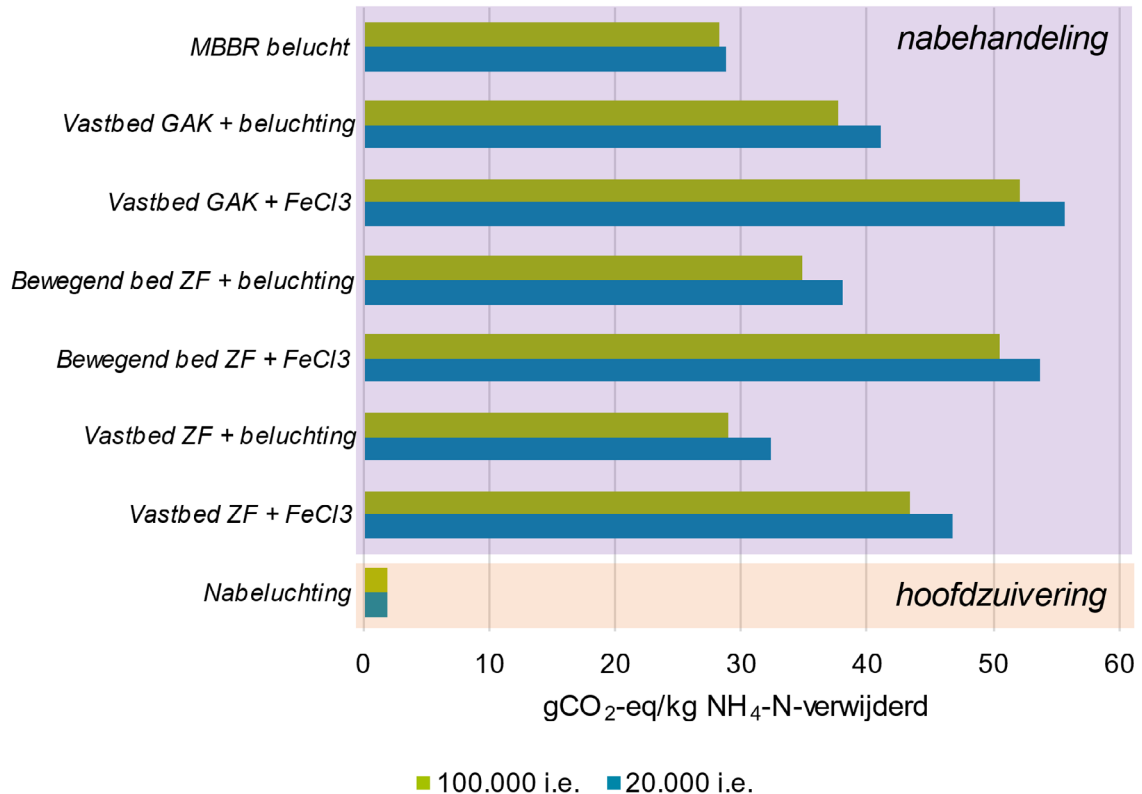
De relatief geringe kosten voor de nabeluchting vallen op in dit vergelijk. Deze veronderstellen een eenvoudige inpassing in de waterlijn (géén extra pompstappen of aanzienlijke faseringskosten).

FIGUUR 68 KOSTEN (TOTEX) PER KG NH₄-N VERWIJDERD VOOR ALLE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR AMMONIUMVERWIJDERING, VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (LICHTBLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)



De CO₂-footprint per kg NH₄-N verwijderd is afgebeeld in Figuur 69.

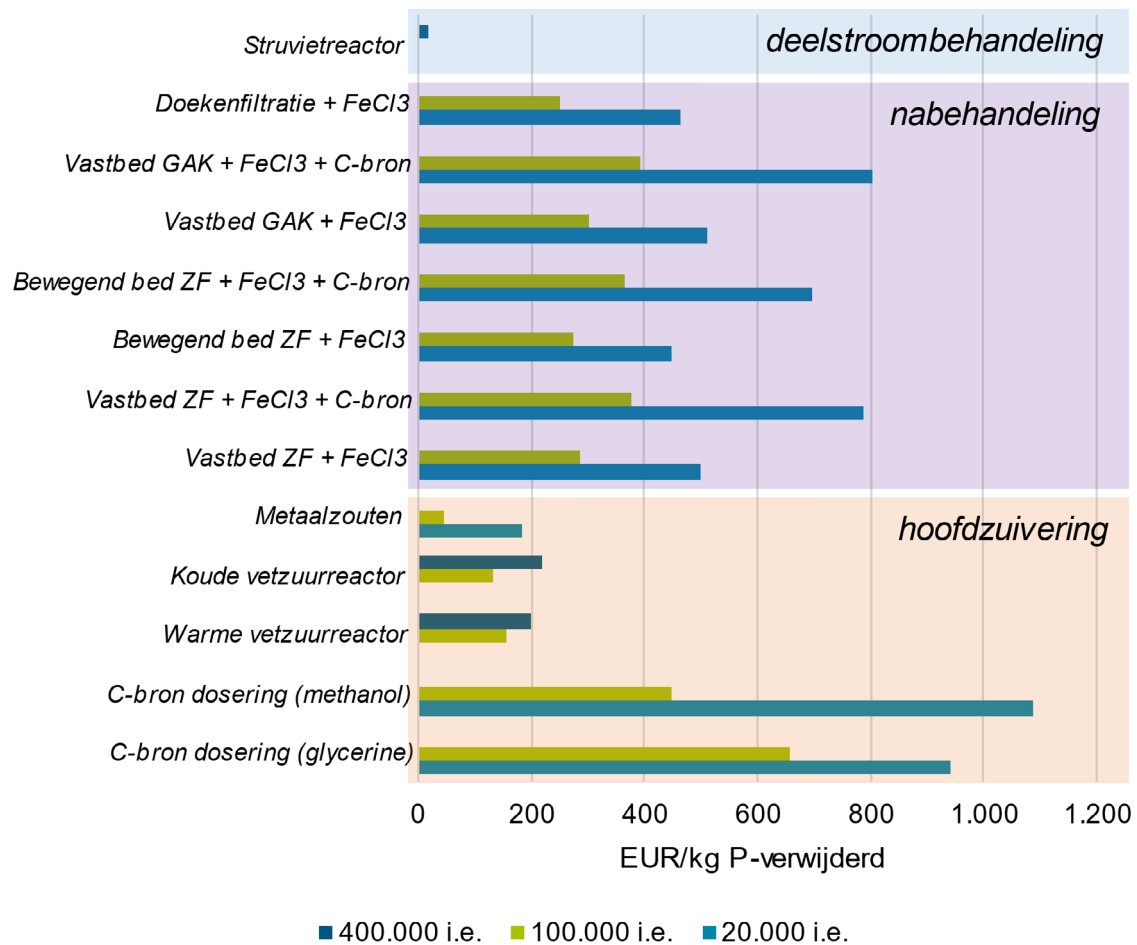
FIGUUR 69 CO₂-FOOTPRINT (CO₂-EQ) PER KG NH₄-N VERWIJDERD VOOR ALLE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR AMMONIUMVERWIJDERING, VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (LICHTBLAUW) EN 100.000 I.E. (GROEN)



7.4 KOSTEN EN CO₂-FOOTPRINT PER KG P-TOTAAL VERWIJDERD

De kosten per kg P-totaal verwijderd zijn afgebeeld in Figuur 70. De meest kosteneffectieve maatregelen voor P-totaalverwijdering zijn de struvietreactor, metaalzoutdosering en vetzuurreactor. De hogere Me/P-verhouding voor dosering op nageschakelde technieken alsook de extra investeringen maken de nabehandelingstechnieken minder kostenefficiënt. De C-brondosering leidt tot extra slibproductie en aanvullende P-opname, maar dit dient vooral als bijvangst bij toepassing van C-bron voor N-verwijdering worden beschouwd en niet als een serieus te overwegen maatregel voor P-verwijdering.

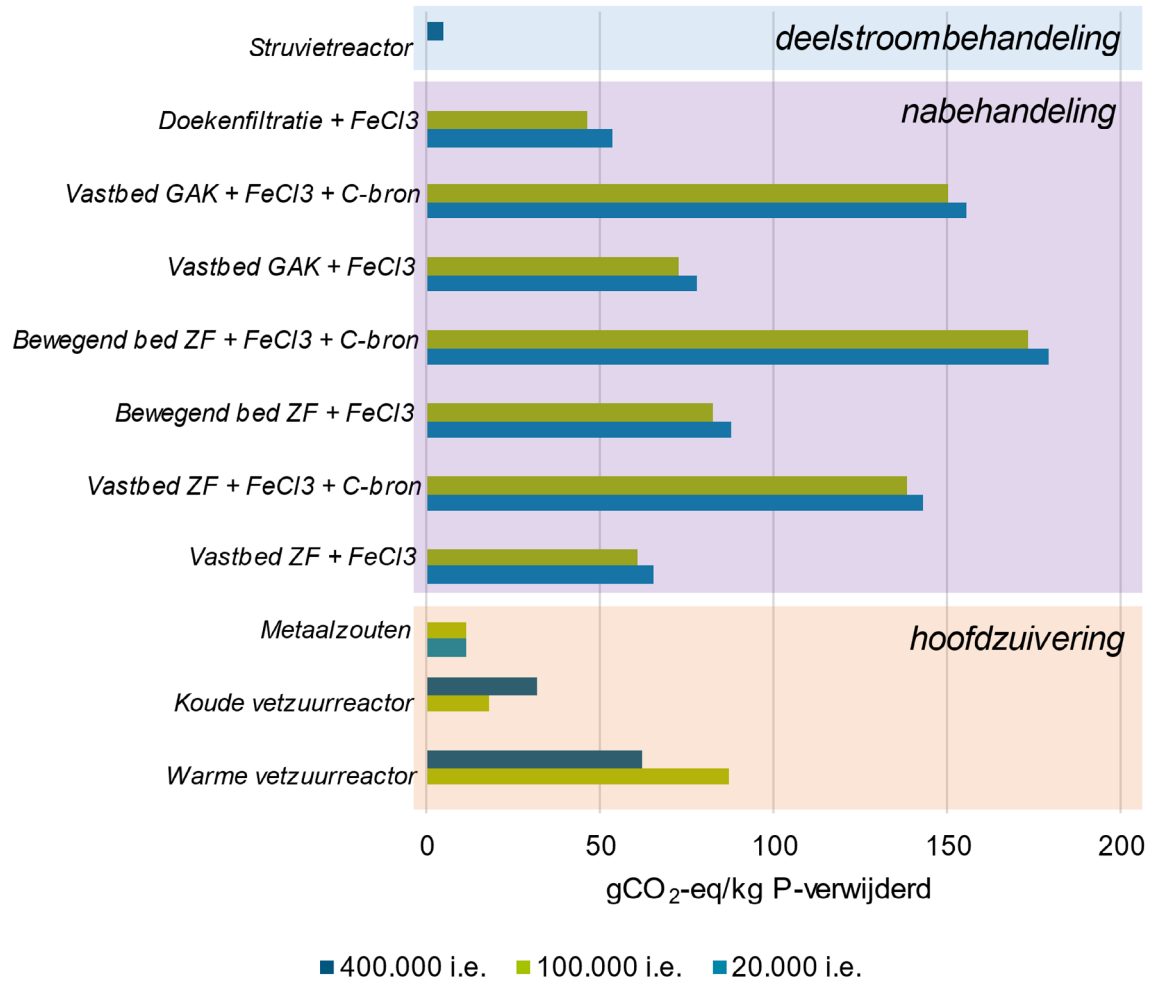
FIGUUR 70 KOSTEN (TOTEX) PER KG P-TOTAAL VERWIJDERD VOOR ALLE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR P-TOTAALVERWIJDERING, VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (LICHTBLAUW), 100.000 I.E. (GROEN) EN 400.000 I.E. (DONKERBLAUW)



De CO₂-footprint per kg P-verwijderd is gepresenteerd in Figuur 71. Uit de figuur blijkt de hoogste duurzaamheidseffectiviteit voor een struvietreactor, gevolgd door maatregelen in de hoofdzuivering en nabehandeling.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de maatregel C-bron dosering uit onderstaande figuur is weggelaten i.v.m. de leesbaarheid. Koolstofbrondosering met glycerine en methanol gaan gepaard met respectievelijk 2.220 g CO₂-eq/kg P-verwijderd en 570 g CO₂-eq/kg P-verwijderd (zeer hoog in vergelijking met de getoonde andere maatregelen).

FIGUUR 71 CO₂-FOOTPRINT (CO₂-EQ) PER KG P-TOTAAL VERWIJDERD VOOR ALLE MAATREGELEN DIE DIENEN VOOR P-TOTAALVERWIJDERING, VOOR DE REFERENTIEZUIVERINGEN VAN 20.000 I.E. (LICHTBLAUW), 100.000 I.E. (GROEN) EN 400.000 I.E. (DONKERBLAUW). DE MAATREGELEN 'C-BRON DOSERING (GLYCERINE)' EN 'C-BRON DOSERING (METHANOL)' ZIJN WEGGELATEN I.V.M. DE LEESBAARHEID VAN DE GRAFIEK



8

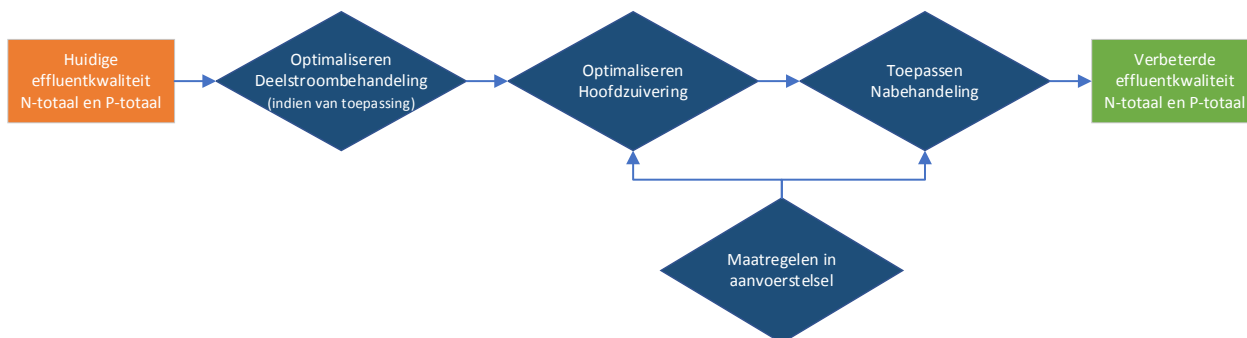
WELKE MAATREGELEN TE KIEZEN

Welke maatregelen het beste kunnen worden gekozen voor het verbeteren van de effluentkwaliteit verschilt per rwzi. In dit hoofdstuk is een methodiek, bestaande uit beslisbomen, voorgesteld waarin het keuzeproces van maatregelen kan worden doorlopen. Dit begint bij de beslisboom op hoofdlijnen en gaat vervolgens over in de specifieke beslisbomen per categorie van maatregelen. Er is een beknopte en generieke onderbouwing gegeven van de argumentatie. Voor een specifieke rwzi kan het keuzeproces er anders uitzien.

8.1 BESLISBOOM OP HOOFDLIJNEN

Voor het maken van de keuze waar te beginnen met het verbeteren van de effluentkwaliteit op N-totaal en P-totaal geldt op hoofdlijnen de beslisboom zoals weergegeven in Figuur 72. Deze beslisboom is generiek en daarmee toepasbaar voor alle rwzi's.

FIGUUR 72 BESLISBOOM VERBETEREN EFFLUENTKwaliteit OP HOOFDLIJNEN



Stap 1: Voor rwzi's met een slibgisting en in het bijzonder rwzi's waar ook extern slib wordt verwerkt is een **deelstroombehandeling** in de meeste gevallen het effectiefst om de effluentkwaliteit te verbeteren. Maatregelen in de deelstroombehandeling scoren doorgaans beter op kosteneffectiviteit en inpasbaarheid t.o.v. maatregelen in de hoofdzuivering om de vracht aan stikstof en fosfor die vrijkomt bij slibverwerking te verwijderen. In enkele gevallen scoren ze ook beter op duurzaamheid.

Stap 2: Het optimaliseren van de **hoofdzuivering** is voor vrijwel alle rwzi's (zonder slibgisting of met een geoptimaliseerde deelstroombehandeling) de meest kosteneffectieve en duurzame manier om de effluentkwaliteit te verbeteren. Voor veel rwzi's geldt dat met relatief eenvoudige maatregelen de effluentkwaliteit aanzienlijk verbeterd kan worden. 'De hoofdzuivering op orde' is een toepasselijk motto voor een goede effluentkwaliteit van de gehele installatie. Bijkomend voordeel is dat het optimaliseren van de hoofdzuivering vaak hand in hand gaat met het minimaliseren van lachgasemissies (zie STOWA 202333).

Stap 3: Wanneer de hoofdzuivering en eventuele deelstroombehandeling op orde zijn en optimaal presteren maar de effluentkwaliteit nog onvoldoende is om aan de KRW-eisen te voldoen is het aanbevolen om een **nabehandeling** te overwegen. De meeste nabehandelmingsmaatregelen zijn minder kosteneffectief en duurzaam dan maatregelen in de deelstroom-

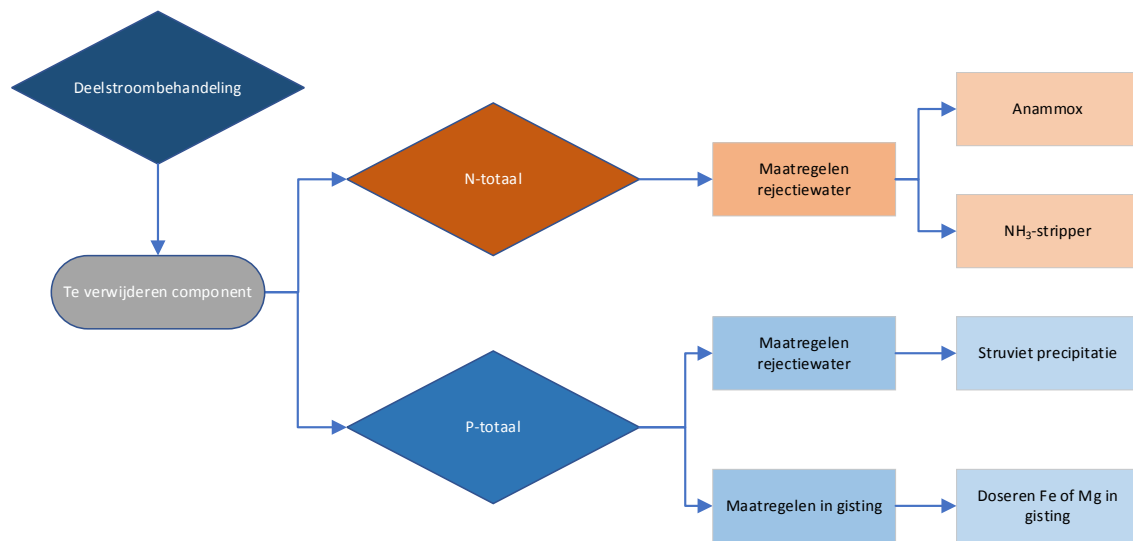
behandeling en hoofdzuivering doordat ze veelal de input van energie en/of chemicaliën vereisen, maar de inzet van nabehandeling maakt het wel mogelijk om tot lagere N-totaal en P-totaal waarden in het effluent te bereiken.

In parallel aan de maatregelen voor de hoofdzuivering en nabehandeling kunnen maatregelen in het **aanvoerstelsel** overwogen worden. Met name voor het voorkomen van pieklozingen, bijvoorbeeld van ammonium tijdens RWA, maar ook voor het efficiënter bedrijven van de rwzi door stabiele aanvoer kunnen maatregelen in het aanvoerstelsel een bijdrage leveren. Hierdoor kunnen de hoofdzuivering en nabehandeling effectiever worden of kleiner worden ontworpen. Maatregelen in het aanvoerstelsel worden doorgaans gekenmerkt door lange doorlooptijden omdat er meer stakeholders betrokken kunnen zijn. Er is geen duidelijke relatie tussen maatregelen in het aanvoerstelsel en de deelstroombehandeling, deze zijn nauwelijks van invloed op elkaar.

8.2 BESLISBOOM DEELSTROOMBEHANDELING

Voor het kiezen van de juiste maatregelen voor verwijdering van stikstof en/of fosfor in de deelstroombehandeling kan onderstaande beslisboom worden gehanteerd. De afweging tussen de maatregelen kan gemaakt worden met behulp van de specifieke eigenschappen van desbetreffende maatregelen zoals vermeld in voorgaande hoofdstukken en de factsheets.

FIGUUR 73 BESLISBOOM VERWIJDERING STIKSTOF EN FOSFOR IN DEELSTROOMBEHANDELING



In de getoonde beslisboom voor deelstroombehandeling zijn geen expliciete afwegingen met ja/nee besluiten opgenomen omdat de inpasbaarheid en keuze zeer wordt bepaald door locatiespecifieke omstandigheden.

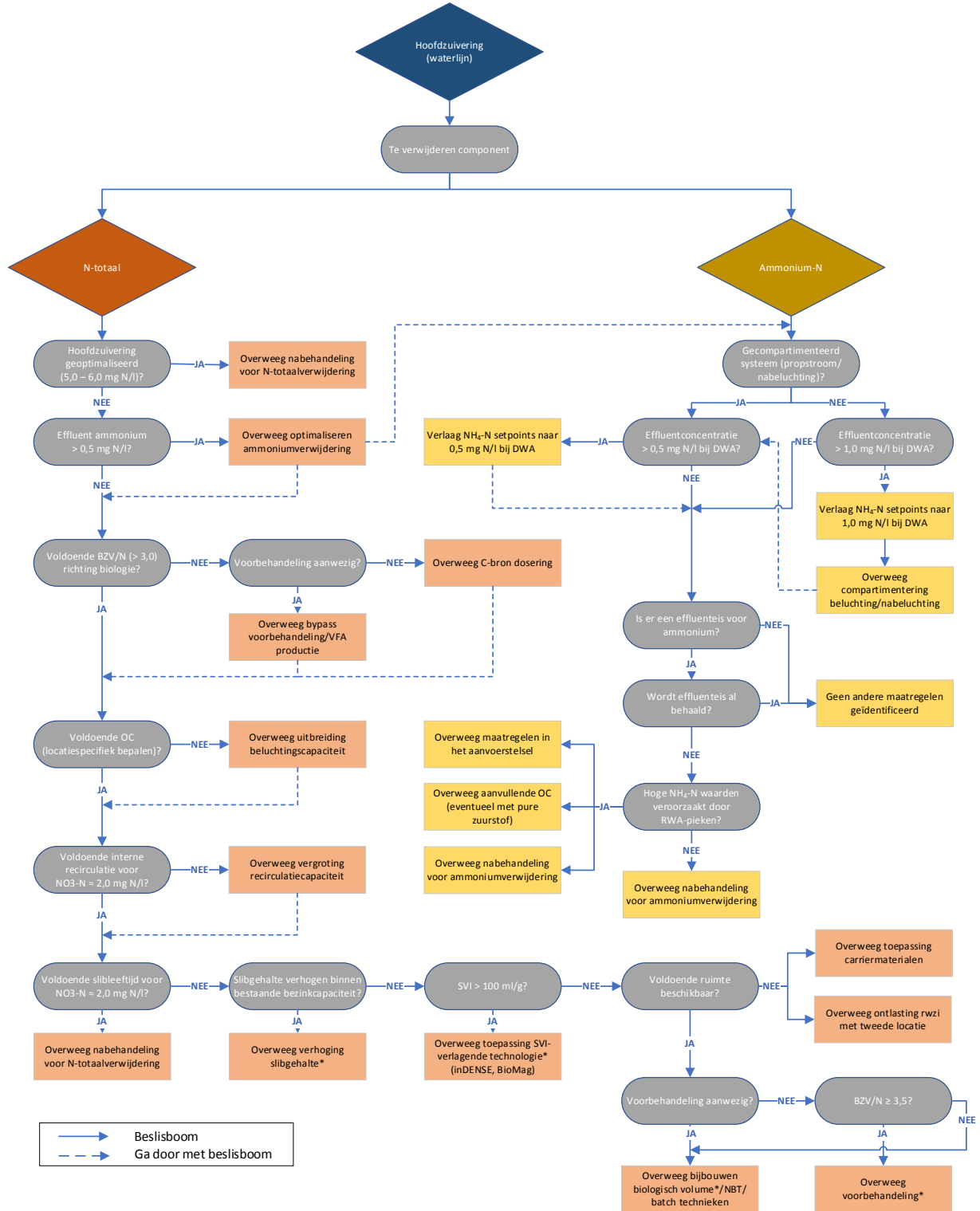
In grote lijnen kan wel worden gezegd dat:

- Struvietwinning baat heeft bij bio-P slib door de grotere hoeveelheid P die kan worden afgevangen;
- NH₃-strippen baat heeft bij hoge concentraties van stikstof in het centraat en de beschikbaarheid van restwarmte. Daarmee is de techniek bijvoorbeeld aantrekkelijker bij een thermofiel gistingsproces dan bij een mesofiel gistingsproces.
- Een anammox proces zal onderhevig zijn aan een zekere N₂O emissie en risico op legionella vorming.

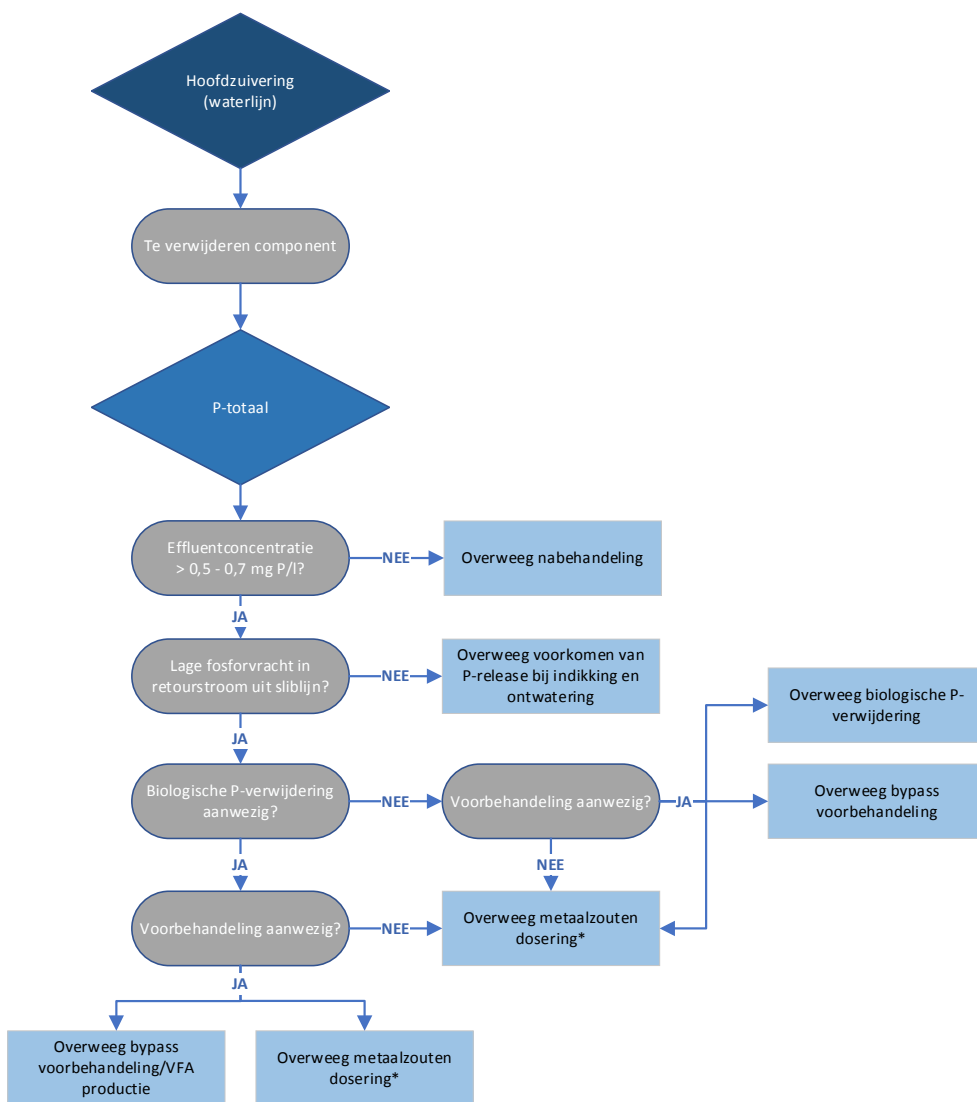
8.3 BESLISSBOOM HOOFDZUIVERING

Voor het kiezen van de juiste maatregelen voor verwijdering van stikstof en/of fosfor in de hoofdzuivering kunnen de twee onderstaande beslissbomen worden gehanteerd. De afweging tussen de maatregelen kan gemaakt worden met behulp van de specifieke eigenschappen van desbetreffende maatregelen zoals vermeld in voorgaande hoofdstukken en de factsheets.

FIGUUR 74 **BESLISSBOOM VERWIJDERING STIKSTOF IN WATERLIJN. LET OP, MAATREGELEN AANGEDUID MET EEN * KUNNEN EEN NEGATIEF EFFECT HEBBEN OP DE FOSFORVERWIJDERING**



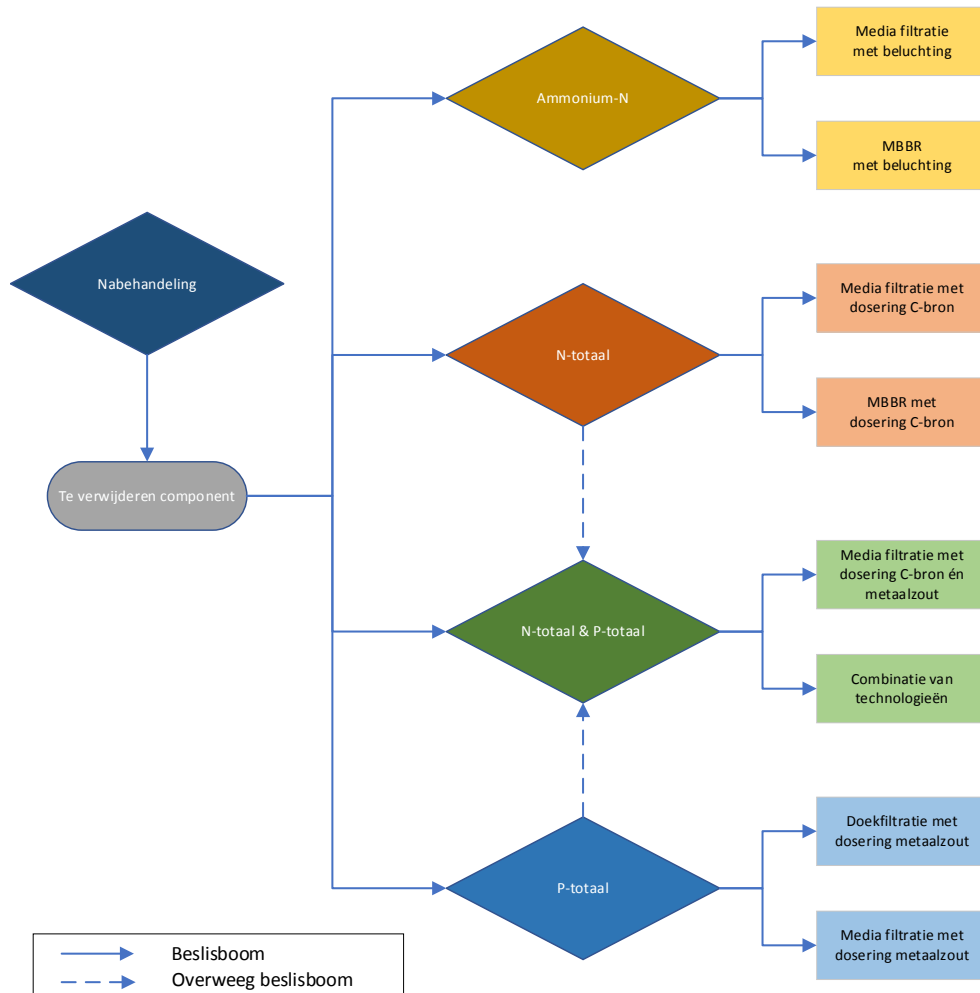
FIGUUR 75 **BESLISBOOM VERWIJDERING FOSFOR IN WATERLIJN. LET OP, MAATREGELEN AANGEDUID MET EEN * KUNNEN EEN NEGATIEF EFFECT HEBBEN OP DE STIKSTOFVERWIJDERING**



8.4 BESLISBOOM NABEHANDELING

Voor het kiezen van de juiste maatregelen voor verwijdering van stikstof en/of fosfor in de nabehandeling kan onderstaande beslisboom worden gehanteerd. De afweging tussen de maatregelen kan gemaakt worden met behulp van de specifieke eigenschappen van desbetreffende maatregelen zoals vermeld in voorgaande hoofdstukken en de factsheets.

FIGUUR 76 BESLISBOOM VERWIJDERING STIKSTOF EN FOSFOR IN NABEHANDELING



In de getoonde beslisboom voor nabehandeling zijn geen expliciete afwegingen met ja/nee besluiten opgenomen omdat de inpasbaarheid en keuze zeer wordt bepaald door locatie-specifieke omstandigheden.

In grote lijnen kan wel worden gezegd dat:

- Doekfiltratie vaak goedkoper is dan mediafiltratie en een beperktere spoelwaterstroom heeft.
- Mediafiltratie of een MBBR nodig is voor nitraatverwijdering, dit is niet mogelijk met doekfiltratie.
- De zwevende stof in het MBBR-effluent hoger is dan die van het biologisch effluent, en dat de techniek voor zeer lage N-totaal en P-totaal waarden daardoor minder geschikt is.
- Voor nageschakelde ammoniumverwijdering eventueel een combinatie kan worden gezocht met medicijnrestenverwijdering in een biologisch actief koolfilter (BAKF).

8.5 GRENZEN AAN TE BEREIKEN EFFLUENTKWALITEIT

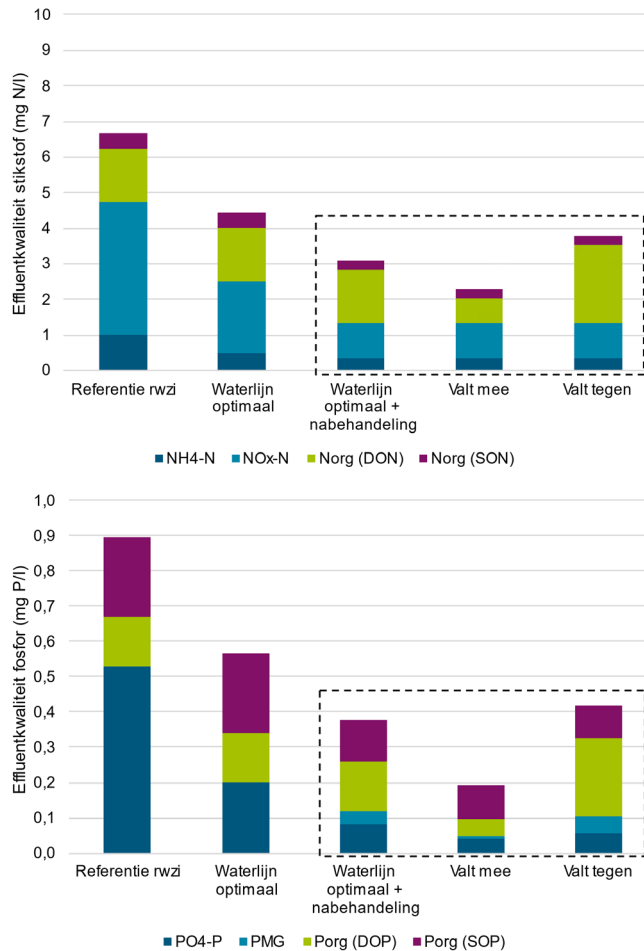
Met de maatregelen zoals in voorliggende rapportage benoemd kunnen stikstof en fosfor verregaand verwijderd worden. Er zijn echter grenzen aan de effluentkwaliteit die behaald kan worden met de nu beproefde technologie op rwzi's in Nederland en daarbuiten. De vraag is welke zaken technisch nog mogelijk zijn, en daarnaast wat dit redelijkerwijs mag kosten in termen van geld en CO₂ footprint.

8.5.1 WAT IS NU TECHNISCH MOGELIJK?

De bekende technieken die in dit rapport zijn gepresenteerd hebben een TRL van 7 of hoger en zijn technisch mogelijk. Er zijn veel technologieën die buiten de toepassing van een rwzi worden benut om zeer 'schoon' water te maken, denk daarbij aan drinkwater, koelwater en proceswater voor in de industrie. De technologieën die in dit rapport zijn besproken betreffen technologieën die zich op minimaal demo-schaal (TRL 7) bewezen hebben voor toepassing op rwzi's. Niet alle technieken die nu bekend zijn en/of in andere context worden toegepast behoren hier reeds toe.

In onderstaande figuur zijn de grenzen aangegeven van de te bereiken effluentkwaliteit met deze technieken. Dit zijn indicatieve en generieke waarden op basis van ontwerp-kennis conform gangbare ontwerpmodellen en huidige praktijkervaring in de Nederlandse watersector. Voor een individuele casus kunnen de te bereiken waarden afwijken.

FIGUUR 77 GRENZEN VAN TE BEREIKEN EFFLUENTKWALITEIT VOOR STIKSTOF (BOVEN) EN FOSFOR (ONDER). DE WAARDEN VOOR 'REFERENTIE RWZI' BETREFFEND DE GEMIDDELTE EFFLUENTKWALITEIT VAN ALLE NEDERLANDSE RWZI'S ZOALS GERAPPORTEERD IN DE WAVES DATABANK VOOR PEILJAAR 2021



Voor de gemiddelde rwzi is te stellen dat met geoptimaliseerde waterlijn en nabehandeling een concentratie N-totaal van ca. 3 mg/l en een P-totaal van ca. 0,4 mg/l te behalen is. Elke individuele situatie is echter anders. Voor sommige rwzi's zullen vanwege bijvoorbeeld ongunstige afvalwatersamenstelling deze concentraties niet haalbaar zijn (zie Figuur 77, kolom 'Valt tegen'). Voor andere rwzi's kan een lagere kwaliteit worden behaald (zie Figuur 77, kolom 'Valt mee'). Dit hangt zeer af van de locatiespecifieke omstandigheden. De balken in de grafieken die met een stippellijn zijn omgeven, geven een goed beeld van het technisch mogelijke met beproefde technieken op rwzi's.

8.5.2 WELKE VERBETERINGEN WORDEN NOG VERWACHT?

VERWIJDERING VAN DOP EN DON

Momenteel wordt de verwijdering van orthofosfaat met de adsorptietechniek BiOPhree[®] getest op rwzi Dronten. Er zijn aanwijzingen dat de DOP fractie in de pilot ook (deels) wordt verwijderd. Het pilotonderzoek loopt nog tot in elk geval september 2024. Als de aanvullende verwijdering van DOP op praktijkschaal wordt aangetoond betekent dat de totaalfosforverwijdering die nu technisch haalbaar is zou kunnen worden verbeterd.

Ervaringen op rwzi Horstermeer laten zien dat adsorptie van DOP en DON op actief kool in een filtratiestap niet of nauwelijks kon worden bewerkstelligd. Mogelijk is een ander adsorbens nodig om dit te realiseren (BiOPhree[®] is hier een voorbeeld van).

MEMBRAANFILTRATIE

De behandeling van het volledige effluent met membraanfiltratie (nanofiltratie of omgekeerde osmose) kunnen in theorie worden benut om het rwzi effluent nog veel schoner te maken en de DON en DOP fracties (zie Figuur 77) volledig af te scheiden. Echter: de afgescheiden vervuiling belandt in een kleinere (concentraat)stroom die we nog onvoldoende kunnen behandelen en gelet op de samenstelling niet als separate stroom mogen lozen. Hierdoor kan de technologie niet op de gehele DWA-stroom van rwzi's worden toegepast: Als de concentraatstroom teruggaat naar de zuivering worden opgeloste ionen geconcentreerd in de biologische ruimten. Het is niet duidelijk in hoeverre dit toelaatbaar is. Het lijkt in elk geval bij de huidige stand der techniek niet realistisch dat de gehele DWA aanvoer kan worden behandeld.

Hooguit kan nu dus een beperkt deel van de DWA aanvoer worden behandeld wanneer de concentraatstroom wordt teruggevoerd naar de biologische zuivering: dit moet nog op praktijkschaal worden getest om na te gaan of een rwzi hiervan geen hinder ondervindt. De huidige TRL is 5 á 6: de pilot die op rwzi Asten is uitgevoerd met directe (holle vezel) nanofiltratie had met name betrekking op verwijdering van medicijnresten, niet op nutriëntenverwijdering⁹⁰.

Wanneer een dergelijke praktijktest succesvol is, kan voor een deel van de DWA aanvoer een zeer goede kwaliteit worden behaald die aan de KRW-normen kan voldoen. Dit lijkt echter alleen zinvol als een resterend (aanzienlijk) deel van het rwzi effluent bij DWA naar een waterlichaam met veel minder stringente eisen mag worden geleid, waarin hogere waarden van DON en DOP in het effluent op te vangen zijn. De membranen scheiden dan vuillast af van één stroom en verplaatsen die naar een andere stroom. In een beperkt aantal gevallen kan dit zinvol zijn, bijvoorbeeld bij water hergebruik of bij lozing van een deel van het effluent van rwzi's op boezemwateren om verzilting te bestrijden wanneer geen goedkopere bronnen beschikbaar zijn.

⁹⁰ Zie STOWA 2023-53 "Pilot directe nanofiltratie en UV/peroxide op rwzi Asten"

8.6 RAAKVLAKKEN MET DE HERZIENE RICHTLIJN STEDELIJK AFVALWATER

STIKSTOF EN FOSFOR

In de definitieve versie⁹¹ van de herziening van de Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater van maart 2024 worden aan rwzi-effluenten de volgende eisen gesteld met betrekking tot stikstof en fosfor:

- RWZI >150.000 i.e.
 - Stikstof 8 mg/L
 - Fosfor 0,5 mg/L
- RWZI 10.000 – 150.000 i.e.
 - Stikstof 10 mg/L
 - Fosfor 0,7 mg/L

De eisen voor stikstof en fosfor vanuit de herziene Richtlijn Stedelijk Afvalwater liggen vermoedelijk voor vrijwel alle rwzi's boven de effluentkwaliteitswaarden die vanuit de KRW afgeleid zijn⁹². Het verbeteren van de effluentkwaliteit ten behoeve van KRW-doelstellingen zal daardoor in vrijwel alle gevallen resulteren in het ook voldoen aan de eisen van de herziende Richtlijn Stedelijk Afvalwater.

MICROVERONTREINIGINGEN

Aanvullend op de eisen voor stikstof en fosfor schrijft de herziene Richtlijn Stedelijk Afvalwater ook voor dat de rwzi een selectie organische microverontreinigingen (12 EU-gidsstoffen), bestaande uit voornamelijk medicijnresten, voor 80% moet verwijderen. Dit geldt voor alle rwzi's groter dan 150.000 i.e. en voor rwzi's tussen de 10.000 en 150.000 i.e. op basis van lokale risicobeoordeling.

De KRW-maatregelen voor verbetering van effluentkwaliteit zoals in deze rapportage benoemd gaan niet over microverontreinigingen. In geen van de KRW-maatregelen is sprake van een significante verwijdering van microverontreinigingen, laat staan een verwijdering waarmee aan de 80% eis kan worden voldaan.

Voor alle rwzi's die microverontreinigingen moeten gaan verwijderen zal er dus ofwel een uitbreiding van de KRW-nabehandeling nodig zijn, ofwel een extra stap aangewend moeten worden voor de verwijdering van microverontreinigingen. Wel geldt dat de meeste technologieën voor verwijdering van microverontreinigingen gebaat zijn bij een goede effluentkwaliteit. Een schone watermatrix heeft een positief effect op de kosten en duurzaamheid van de verwijdering van microverontreinigingen. Geen van de KRW-maatregelen zorgt voor een lock-in voor de technologiekeuze voor verwijdering microverontreinigingen. Wel geldt dat kosten bespaard kunnen worden door de KRW-maatregelen en maatregelen voor verwijdering van microverontreinigingen integraal te beschouwen. In het ontwerp en realisatie van de maatregelen zijn optimalisaties mogelijk door beide doelstellingen gezamenlijk te beschouwen.

⁹¹ <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7108-2024-INIT/en/pdf>

⁹² Nuance: Strikt genomen dient een KRW-doelstelling eerst te worden afgeleid, daar waar de lozingsis ten aanzien van de KRW minder relevant is omdat de impact op het oppervlaktewater zeer beperkt is, zijn vaak nog geen normen vastgesteld. De verwachting is dat de Richtlijn Stedelijk afvalwater in veel van deze gevallen maatgevend zal zijn.

9

CONCLUSIES

Dit rapport geeft een geactualiseerd overzicht van maatregelen voor de verwijdering van nutriënten in de afvalwaterketen, hetgeen de waterschappen kunnen gebruiken om de doelstellingen van de KRW te bereiken.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Er zijn veel (>25) verschillende maatregelen beschikbaar om de N-totaal, NH₄-N en P-totaal te verbeteren en zo een betere oppervlaktewaterkwaliteit te bereiken. Dit rapport heeft alleen de maatregelen die kunnen worden genomen op rwzi's en in het aanvoerstelsel naar rwzi's in kaart gebracht.
- Er zijn beslisbomen voorhanden om te bepalen welke maatregelen het meest effectief zijn voor een specifieke locatie. Deze beslisbomen zijn in dit rapport opgenomen.
- Met de in dit rapport beschouwde maatregelen is op rwzi's een effluentkwaliteit te bereiken van ca. 2 – 4 mg N/l en 0,2 – 0,4 mg P/l. De bandbreedte die hier wordt genoemd heeft verband met de afvalwatersamenstelling, het aanvoerpatroon en de invloed van regenweercondities op de rwzi. Deze kunnen gunstig of ongunstig zijn en invloed hebben op de prestaties.
- Het verbeteren van de effluentkwaliteit ten behoeve van KRW-doelstellingen op N- en P-totaal zal in vrijwel alle gevallen resulteren in het ook voldoen aan de eisen voor N- en P-totaal van de Richtlijn Stedelijk Afvalwater.
- Veel zuiveringen beschikken reeds over voldoende slijbleeftijd voor betere zuiveringsprestaties op met name stikstofverwijdering, maar missen nog aanvullende aandacht voor processturing (beluchting, recirculatie, etc.). Een bijvangst van een verbeterde processturing is een verminderde lachgasemissie.
- Enkele maatregelen in de hoofdzuivering waarmee de verwijdering van N-totaal verbeterd kunnen een (beperkt) negatief effect hebben op de verwijdering van P-totaal en vice versa. Dit geldt bijvoorbeeld voor de slijbleeftijd-verhogende maatregelen en voor metaalzoutendosering. Bij rwzi's met een (centrale) slijbgisting zijn maatregelen in de deelstroombehandeling soms onontbeerlijk ten behoeve van de N-totaal- en/of P-totaalverwijdering.
- Maatregelen in het aanvoerstelsel kunnen een aanvullende bijdrage leveren, bijvoorbeeld door pieklozingen (hydraulische en/of vuilvracht) te voorkomen en meer grip te krijgen op het influent. Maatregelen in het aanvoerstelsel kunnen veelal enkel in gezamenlijkheid met andere stakeholders zoals gemeenten en/of industrieën uitgevoerd worden. De doorlooptijd van deze maatregelen is relatief lang omdat de onderlinge afstemming tussen stakeholders doorgaans de nodige tijd vereist en de investeringshorizon van aanvoerstelsels tientallen jaren betreft.
- Maatregelen voor stikstof- en fosforverwijdering hebben slechts een beperkt effect op medicijnrestenverwijdering. Ook filtratietechnieken met actiefkool die voor stikstof- en fosforverwijdering worden ingezet als nabehandelingsstap zijn niet direct geschikt om medicijnrestenverwijdering mee te bewerkstelligen. Voor medicijnrestenverwijdering zijn langere verblijftijden nodig dan voor nutriëntenverwijdering.
- Er is een beperkt uitzicht op (technologische)verbeteringen door innovaties tot 2027.
- Maatregelen in dit rapport zijn beschouwd in relatie tot inpassing op referentie rwzi's.

Daarbij zijn kosten genoemd per kg N of kg P verwijderd. Als in de praktijk op een rwzi de effluentkwaliteit slechter is dan die van de referentie rwzi's die in dit rapport zijn gehanteerd, dan zullen de specifieke kosten per kg N of kg P verwijderd naar verwachting lager zijn.

- De gemiddelde kosten (EUR/kg-verwijderd) per type maatregel zijn als volgt, deze dienen met name aangewend te worden voor de onderlinge vergelijking van kosten per type maatregel, niet zozeer voor de absolute bedragen ervan:

TABEL 13 GEMIDDELDE KOSTEN (EUR/KG-VERWIJDERD, TOTEX) PER TYPE MAATREGEL PER REFERENTIEZUIVERING

Component	Referentiezuivering	Hoofduivering	Nabehandeling	Deelstroombehandeling
N-totaal	20.000 i.e.	60 (10 – 100)	130 (80 – 150)	-
(EUR/kg N-verwijderd)	100.000 i.e.	40 (10 – 90)	60 (30 – 70)	-
	400.000 i.e.	-	-	10 (5 – 10)
Ammonium-N* (EUR/kg NH ₄ -N-verwijderd)	20.000 i.e.	10 (10 – 20)	220 (90 – 290)	-
	100.000 i.e.	10 (0 – 10)	140 (50 – 190)	-
	400.000 i.e.	-	-	-
P-totaal**	20.000 i.e.	180 (130 – 240)	480 (450 – 510)	-
(EUR/kg P-verwijderd)	100.000 i.e.	110 (40 – 160)	280 (250 – 300)	-
	400.000 i.e.	-	-	20 (10 – 20)

* enkel maatregelen voor NH₄-N-verwijdering (met beluchting)

** enkel maatregelen voor P-totaalverwijdering (dus zonder C-brondosering)

- Het blijkt dat maatregelen in de deelstroombehandeling relatief goedkoop zijn ten opzichte van de hoofduivering- en nabehandlingsmaatregelen. Ook is de optimalisatie van de hoofduivering relatief goedkoop ten opzichte van maatregelen in de nabehandeling.
- De gemiddelde CO₂-footprint (gCO₂-eq/kg-verwijderd) per type maatregel is als volgt, deze dienen met name aangewend te worden voor de onderlinge vergelijking van de CO₂-footprint per type maatregel, niet zozeer voor de absolute waarden ervan:

TABEL 14 GEMIDDELDE CO₂-FOOTPRINT (GCO₂-EQ/KG-VERWIJDERD) PER TYPE MAATREGEL PER REFERENTIEZUIVERING

Component	Referentiezuivering	Hoofduivering	Nabehandeling	Deelstroombehandeling
N-totaal (gCO ₂ eq/kg N-verwijderd)	20.000 i.e.	20* (0 – 50)	30 (20 – 30)	-
	100.000 i.e.	20* (0 – 50)	30 (20 – 30)	-
	400.000 i.e.	-	-	10 (5 – 10)
Ammonium-N** (gCO ₂ eq/kg NH ₄ -N-verwijderd)	20.000 i.e.	5 (0 – 10)	40 (30 – 40)	-
	100.000 i.e.	5 (0 – 10)	30 (30 – 40)	-
	400.000 i.e.	-	-	-
P-totaal*** (gCO ₂ eq/kg P-verwijderd)	20.000 i.e.	10 (5 – 10)	70 (50 – 90)	-
	100.000 i.e.	40 (10 – 90)	70 (50 – 80)	-
	400.000 i.e.	-	-	5 (5 – 10)

* exclusief C-brondosering (glycerine, het hier meenemen van deze maatregel kleurt de uitkomst heel sterk)

** enkel maatregelen voor NH₄-N-verwijdering (met beluchting)

*** enkel maatregelen voor P-totaalverwijdering (dus zonder C-brondosering)

- Het blijkt dat de optimalisatie van de hoofduivering relatief duurzaam is ten opzichte van maatregelen in de nabehandeling, ook als er capaciteit moet worden bijgebouwd. In sommige gevallen zijn deelstroommaatregelen minder duurzaam, bijvoorbeeld vanwege hoge lachgasemissies. Opvallend is verder dat (anders dan bij kosten) de schaalgrootte geen grote impact heeft op de uitkomsten. Dat komt omdat maar een klein deel van de CO₂ footprint is besloten in bouwmaterialen en aanleg van installaties, en het meest significante deel wordt veroorzaakt door energie en hulpstoffen, die vaak recht evenredig schalen met de capaciteit.

10

AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden gedaan.

1. Ten behoeve van het bereiken van een verbeterde effluentkwaliteit voor nutriënten wordt aanbevolen om de volgende optimalisatievolgorde aan te houden: (i) deelstroom (waar van toepassing), (ii) hoofdzuivering en (iii) nabehandeling. Op basis van dit rapport kan een voorselectie van maatregelen plaatsvinden die locatie specifiek nader kan worden onderzocht.
2. De beslisbomen zoals opgenomen in dit rapport geven richting welke maatregelen voor een specifieke locatie het meest effectief zijn. De beslisbomen en de daaruit volgende maatregelen zijn generiek toepasbaar. Elke locatie heeft echter haar eigen specifieke kenmerken. Deze kunnen van invloed zijn op de keuze wat voor desbetreffende locatie de meest effectieve maatregelen zijn. Daarom wordt aanbevolen om voor elke locatie een individuele beschouwing uit te voeren.
3. Bij het optimaliseren van de hoofdzuivering dient er in het bijzonder aandacht te zijn voor de optimalisatie van de processturing en beperkte werktuigbouwkundige ingrepen, zoals het inpassen van meer recirculatiecapaciteit of het realiseren van aanvullende beluchtingscapaciteit. Deze maatregelen zijn relatief goedkoop en duurzaam. Daarnaast draagt het nauwgezet sturen op stabiele effluentkwaliteit (met name ammonium) bij aan het verminderen van lachgasproductie (N₂O).
4. Maatregelen in het aanvoerstelsel zoals afkoppelen van hemelwater en het voorkomen van pieklozingen kunnen zeer effectief zijn voor het behalen van een betere effluentkwaliteit. Deze maatregelen vereisen een goede samenwerking met stakeholders zoals gemeenten en soms ook met industrieën. Gezien het behalen van een goede effluentkwaliteit en daarmee een goede (KRW) oppervlaktewaterkwaliteit het primaire belang is van de waterschappen en minder tot niet van de overige stakeholders is het aanbevolen om vanuit de waterschappen actief de samenwerking met stakeholders in het aanvoerstel op te zoeken.
5. Daar waar de KRW-doelen met de nu bewezen maatregelen niet kunnen worden behaald door toedoen van rwzi effluent, is landelijk duiding nodig rondom wat redelijkerwijs aan maatregelen op rwzi's moet worden genomen om KRW-doelen te kunnen halen. Er wordt daarom aanbevolen beleid te ontwikkelen waarbij de best beschikbare technieken (BBT/BBT+) voor municipale rioolwaterzuiveringen worden vastgelegd zodat waterschappen een betere richtlijn hebben bij welke inspanning redelijk wordt geacht.
6. Op korte termijn (tot 2027) worden geen significante verbeteringen verwacht van innovaties die in de praktijk kunnen worden toegepast. Het wordt daarom aanbevolen om met de nu bewezen technieken een inspanning te gaan leveren om de KRW-doelen te halen, en waar nodig duiding te geven aan wat de juiste inspanning is als deze doelen buiten het bereik van de nu bewezen technieken liggen binnen de context van municipale afvalwaterzuivering (zie aanbeveling 5).

7. De huidige rwzi-ontwerpmodellen voor verwijdering van N- en P-totaal (STOWA 2017-46) zijn niet gemaakt om nauwkeurige predicties te maken voor de lage N- en P-totaal concentraties die nodig zijn voor het behalen van de KRW-doelen. Bestaande modellen hebben een verminderde betrouwbaarheid bij lage N-totaal waarden en houden onvoldoende rekening met piekbelasting. Modellen dienen dus verbeterd te worden en/of nieuwe modellen en richtlijnen dienen te worden ontwikkeld. Het is aan te bevelen om hierover landelijke afspraken te maken om zo ontwerprichtlijnen voor waterschappen en ingenieursbureaus eenduidig en navolgbaar te maken.

8. Wanneer op een rwzi maatregelen voor het behalen van KRW-doelen nader worden onderzocht wordt geadviseerd om ook een doorkijk te maken naar de eisen die in de herziene Richtlijn Stedelijk Afvalwater worden gesteld, zoals medicijnrestenverwijdering. Door deze (toekomstige) eisen vroegtijdig scherp in beeld te hebben en er rekening mee te houden bij de uitvoering van de KRW-maatregelen is efficiëntie te behalen bij het later voldoen aan de herziene Richtlijn Stedelijk Afvalwater. Naast de eisen die aan medicijnrestenverwijdering worden gesteld, wordt er in de richtlijn ook gesproken over o.a. water hergebruik, grondstofwinning en energieneutraliteit. Hierbij kunnen kansen voor synergie ontstaan.

11

LITERATUUR

1. Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (2023, 11 mei). Advies 'Goed water goed geregeld'. Den Haag.
2. Harbers, M.G.J. (2023, 5 juni). Vormgeving KRW-impulsprogramma [Kamerbrief]. Den Haag.
3. STOWA 2019. Afkoppelen – kansen en risico's van anders omgaan met hemelwater in de stad. STOWA, Amersfoort, rapport 2019-22.
4. STOWA 2005. Verkennen zuiveringstechnieken en KRW. STOWA, Utrecht, rapport 2005-28.
5. STOWA 2006. Quick scan kostenscenario's vergaande zuivering rwzi en KRW. STOWA, Utrecht, rapport 2006-08.
6. Unie van Waterschappen 2021. WAVES databank. Geraadpleegd op 7 juni 2024 van waves.databank.nl.
7. STOWA 2020. Bijlage 4 – Standaard IPMV "Uitgangspunten berekeningen kosten en CO₂-footprint rwzi 100.000 i.e. 150 g TZV". Uit STOWA *Proceduredocument IPMV 2020*. STOWA.
8. STOWA 2017. Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit communaal afvalwater op rwzi's. STOWA, Amersfoort, rapport 2017-46.
9. Unie van Waterschappen 2024. Versnellingsprogramma Lachgasreductie officieel van start. Unie van Waterschappen. Geraadpleegd op 10 juni 2024 van unievandwaterschappen.nl/versnellingsprogramma-lachgasreductie-officieel-van-start.
10. STOWA 2023. Ervaringen vanuit de community of practice over de emissie van lachgas vanuit rioolwaterzuiveringsinstallaties. STOWA, Amersfoort, rapport 2023-33.
11. STOWA 2013. Toepassing van anammox in de hoofdstroom van een rioolwaterzuivering. STOWA, Amersfoort, rapport 2013-39.
12. STOWA 2024. Evaluatie Innovatieprogramma Microverontreinigingen uit rioolwater (IPMV). STOWA, Amersfoort, rapport 2024-28.
13. CE Delft 2021. Klimaatimpact van afvalverwerkroutes in Nederland – CO₂-kentallen voor recylen en verbranden voor 13 afvalstromen. CE Delft, Delft, publicatienummer 20.190400.163.
14. Luong, V., Amal, R., Scott, J.A., Ehrenberger, S., Tran, T. 2018. A comparison of carbon footprints of magnesium oxide and magnesium hydroxide produced from conventional processes. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1034-1044. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.225
15. STOWA 2007. Het actief-slibproces – de mogelijkheden en grenzen. STOWA, Utrecht, rapport 2007-24.
16. STOWA 2015. Reductie hydraulische belasting RWZI. Stichting RIONED/STOWA, Ede, rapport 2015-05.

17. STOWA 2008. Het effect van afkoppelen van hemelwater op de rwzi. STOWA, Utrecht, rapport 2008-14.
18. STOWA 2019. Rek in afvalwatersystemen: hulpmiddel voor verkennen ruimte voor optimalisatie. STOWA, Amersfoort, rapport 2019-03.
19. STOWA 2019. Afkoppelen – kansen en risico's van anders omgaan met hemelwater in de stad. STOWA, Amersfoort, rapport 2019-22.
20. RIONED 2021. Kosten per vierkante meter en volledig afkoppelen in Nederland. RIONED. Geraadpleegd op 25 april 2024 van riool.net.
21. STOWA 2011. Inventarisatie praktijkcases energiezuinig retourslib. STOWA, Amersfoort, rapport 2011-14.
22. STOWA 2014. DAF als voorbehandeling van communaal afvalwater. STOWA, Amersfoort, rapport 2014-47.
23. STOWA 1993. Handboek chemische P-verwijdering. STOWA, Utrecht, rapport 1993-06.
24. TU Delft 2008. Afvalwaterbehandeling - Civiele Gezondheidstechniek - CT3420. TU Delft. Geraadpleegd op 8 augustus 2024 van ocw.tudelft.nl.
25. Van de Pol, T., Geraats, B., Rekswinkel, E. 2020. Influent voorbehandeling met trommelzeven op rwzi Leidsche Rijn. H₂O-online. Geraadpleegd op 7 juni 2024 van h2owaternetwerk.nl/vakartikelen.
26. STOWA 2010. Influent fijnzeven in rwzi's. STOWA, Amersfoort, rapport 2010-19.
27. Screenshot 2017. D4.3 Monitoring report - Fijnzeven op rwzi Aarle-Rixtel - Het effect van fijnzeven op het rwzi proces. Waterschap Aa en Maas.
28. STOWA 2014. Dissolved Air Flotation (DAF) als voorbehandeling van communaal afvalwater. STOWA, Amersfoort, rapport 2014-03.
29. STOWA 2001. Beheersing van licht slib bij de behandeling van stedelijk afvalwater met biologische nutriëntenverwijdering. STOWA, Utrecht, rapport 2001-02.
30. STOWA 1983. Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – Rechthoekige nabezinktanks (inventarisatie en praktijkonderzoek). STOWA, Utrecht, rapport 1983-06.
31. Jäger Umwelt Technik 2024. CLEARTEC® Biotextil and Biocurlz. Geraadpleegd op 8 augustus 2024 van jaeger-envirotech.com/en/products/cleartec-biotextil-and-biocurlz/.
32. Sheriff, I., Yusoff, M.S., Halim, H.B. 2023. Microplastics in wastewater treatment plants: A review of the occurrence, removal, impact on ecosystem, and abatement measures. *Journal of Water Process Engineering*, 54. doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104039.
33. Acarer 2023. Microplastics in wastewater treatment plants: Sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interaction with pollutants. *Water Science & Technology*, 87(3), 685-710. doi.org/10.2166/wst.2023.022.
34. STOWA 2021. Toxiciteit van Nederlands oppervlaktewater in de jaren 2013-2018. STOWA, Amersfoort, rapport 2021-43.
35. STOWA 2022. Benutting zuivere zuurstof uit duurzame waterstofproductie in rwzi's met fijne-bellenbeluchtingssystemen. STOWA, Amersfoort, rapport 2022-51.

36. STOWA 2010. Alternatieve C-bronnen voor nageschakelde denitrificatie. STOWA, Amersfoort, rapport 2010-23.
37. STOWA 2001. Handboek biologische fosfaatverwijdering. STOWA, Utrecht, rapport 2001-15.
38. STOWA 2023. Vetzuurproductie op rwzi's. STOWA, Amersfoort, rapport 2023-34.
39. STOWA 2018. Gebruikerservaringen met DEMON[®] en ANAMMOX[®] in deelstroombehandelingen. STOWA, Amersfoort, rapport 2018-70.
40. Buunen-van Bergen, A., De Mooij, H.W., Morgenschweis, C. 2014. DEMON[®] - in 10 jaar van innovatie naar bewezen technologie. H₂O-online. Geraadpleegd op 10 juni 2024 van h2owaternetwerk.nl/vakartikelen.
41. STOWA 1995. Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen – Afzetmogelijkheden voor de reststoffen van stripper- en MAP-proces. STOWA, Utrecht, rapport 1995-14.
42. STOWA 2021. Stikstofterugwinning uit rioolwater; van marktambitie naar praktijk. STOWA, Amersfoort, rapport 2021-35.
43. Regulation 2019/1009. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilizing products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003. data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj.
44. European Sustainable Phosphorus Platform 2024. Veas Norway CE-mark for recovered ammonium salt. *ESPP eNews no. 88 – July 2024*. Geraadpleegd op 5 augustus 2024 van phosphorusplatform.eu/scope-in-print/news.
45. STOWA 2016. Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater. STOWA, Amersfoort, rapport 2016-22.
46. STOWA 2012. Struviet productie door middel van het Airprex proces. STOWA, Amersfoort, rapport 2012-27.
47. STOWA 2023. LCA van acht grondstoffen uit rioolwater. STOWA, Amersfoort, rapport 2023-08.
48. Mirabella Mulder 2023. Optimalisatie struviet terugwinning in de praktijk [Powerpoint-slides]. Symposium 'fosfaat in perspectief'. Leusden, Nederland. Geraadpleegd op 25 juni 2024 van stowa.nl.
49. STOWA 2011. Fosfaatterugwinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties. STOWA, Amersfoort, rapport 2011-24.
50. STOWA 2008. Demonstratieonderzoek vergaande zuiveringstechnieken op de rwzi Leiden Zuid-West. STOWA, Utrecht, rapport 2008-W02.
51. STOWA 2020. Haalbaarheidsstudie PAK + doekfiltratie voor verwijdering van microverontreinigingen op rwzi's. STOWA, Amersfoort, rapport 2020-21.
52. Enviropro 2024. AnoxKaldnes™ MBBR technology for wastewater treatment. Geraadpleegd op 8 augustus 2024 van enviropro.co.uk/entry/34038/Veolia-Water-Technologies-UK/AnoxKaldnes-MBBR-technology-for-wastewater-treatment/

53. STOWA 2022. Verkenning natuurlijke zuiveringssystemen voor verwijdering van organische microverontreinigingen. STOWA, Amersfoort, rapport 2022-42.
54. Hoge Raad (Belastingrecht) 17 maart 2006, ECLI:NL:HR:2006:AU2717, par 3.5.
55. Emis Vito 2010. Ultrafiltratie. Geraadpleegd op 8 augustus 2024 van emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/techniekfiches/ultrafiltratie.
56. STOWA 2001. Ionenwisseling voor stikstofverwijdering uit afvalwater. STOWA, Utrecht, rapport 2001-19.
57. STOWA 2023. Ontwikkeling en opschaling Waterfabriek 2.0 – pilot proof of concept, ontwerp en referentie-installatie 100.000 i.e.-schaal en vergelijking op kosten en duurzaamheid. STOWA, Amersfoort, rapport 2023-47.
58. STOWA 2023. Pilot directe nanofiltratie en UV/peroxide op rwzi Asten. STOWA, Amersfoort, rapport 2023-53.
59. Roche, C., Donnaz, S., Murthy, S., Wett, B. 2021. Biological process architecture in continuous-flow activated sludge by gravimetry: Controlling densified biomass form and function in a hybrid granule-floc process at Dijon WRRF, France. *Water Environment Research*, 94(1), e1664. doi.org/10.1002/wer.1664.
60. STOWA 2011. Evaluatie slib op drager systemen. STOWA, Amersfoort, rapport 2011-03.
61. Chan, A.A., Johansson, N., Christensson, M. 2014. Increased nitrogen removal in existing volumes at Sundet wastewater treatment plant, Växjö. *Water Practice & Technology*, 9(2), 215-224. doi.org/10.2166/wpt.2014.025.
62. Odegaard, H. 2014. Compact wastewater treatment with MBBR.
63. STOWA 1993. Handboek stikstofverwijdering. STOWA, Utrecht, rapport 1993-07.
64. Yang, Y., Zhao, G., Zhang, X., Du, J., Dong, L., Li, W. 2022. Application of primary sludge fermentation for the production of carbon source for full-scale biological nutrients removal. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(5), 4935-4942. doi.org/10.15244/pjoes/150069
65. WRF (The Water Research Foundation) 2019. Fermenters for Biological Phosphorus Removal Carbon Augmentation. WRF.
66. STOWA 2015. Verkenning van de kwaliteit van struviet uit de communale afvalwaterketen. STOWA, Amersfoort, rapport 2015-34.
67. Huisman, L. 2004. Rapid filtration. Sanitary Engineering Department, TU Delft.
68. STOWA 2006. Filtratietechnieken rwzi's. STOWA, Utrecht, rapport 2006-21.
69. STOWA 2009. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West. STOWA, Utrecht, rapport 2009-32.
70. STOWA 2009. 1-STEP® filter als effluentpolishingstechniek. STOWA, Utrecht, rapport 2009-34.
71. STOWA 2013. Monitoring 1-STEP® filter Horstermeer. STOWA, Amersfoort, rapport 2013-35.
72. STOWA 2022. Pilot PAK + doekfiltratie. STOWA, Amersfoort, rapport 2022-45.
73. Leonhard, S., Schreff, D., Thoma, K., Gander, W., Wichern, M., Hilliges, R. 2022. Single-stage MBBR as post-treatment step for upgrading large WWTPs – Experiences of one-year pilot plant operation. *Journal of Water Process Engineering*, 46. doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102570.

74. Mases, M., Dimitrova, I., Nyberg, U., Grubberger, C., Andersson, B. 2010. Experiences from MBBR Post-Denitrification Process in Long-term Operation at two WWTPs. Water Environment Federation, 2010(7), 458-471.
75. STOWA 2000-03. Biologische luchtzuiveringssystemen op rwzi's. STOWA, Utrecht, rapport 2000-03.

BIJLAGE I

FACTSHEETS MAATREGELEN

De volgende factsheets zijn in deze bijlage opgenomen:


1. Verhogen van het slibgehalte binnen de bestaande bezinkcapaciteit	102
2. Verhogen van het slibgehalte d.m.v. SVI-verhogende technologieën (inDENSE®)	104
3. Verhogen van het slibgehalte door bijbouwen nabezinktank	106
4. Bijbouwen van biologisch volume	108
5. Toepassen van dragermaterialen (IFAS)	110
6. Toepassen van een nabeluchting	112
7. Doseren van C-bron (glycerine/methanol)	114
8. Lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn (warme vetzuurreactor)	116
9. Lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn (koude vetzuurreactor)	118
10. Doseren van metaalzouten	120
11. Vergroten van interne recirculatiecapaciteit	122
12. Anammox-systeem	124
13. Ammoniakstripper	126
14. Struvietreactor	128
15. Vastbed mediafiltratie voor $\text{NO}_x\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P}$ verwijdering (medium: zand/GAK)	130
16. Vastbed mediafiltratie voor $\text{PO}_4\text{-P}$ verwijdering (medium: zand/GAK)	132
17. Vastbed mediafiltratie voor $\text{NH}_4\text{-N}$ verwijdering (medium: zand/GAK)	134
18. Bewegend bed mediafiltratie voor $\text{NO}_x\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P}$ verwijdering (medium: zand)	136
19. Bewegend bed mediafiltratie voor $\text{PO}_4\text{-P}$ verwijdering (medium: zand)	138
20. Bewegend bed mediafiltratie voor $\text{NH}_4\text{-N}$ verwijdering (medium: zand)	140
21. Doekfiltratie	142
22. MBBR voor $\text{NO}_x\text{-N}$ verwijdering	144
23. MBBR voor $\text{NH}_4\text{-N}$ verwijdering	146

1. SLIBGEHALTE VERHOGEN BINNEN BESTAANDE BEZINKCAPACITEIT

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED Actief slibsystemen																																																																
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen																																																																
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE Een lagere slib volume index en/of een lagere RWA/DWA-verhouding in de praktijk ten opzichte van een ontwerpwaarde kan ruimte bieden voor een hoger slibgehalte. Hierdoor neemt de biologische capaciteit van de zuivering toe.	AFBEELDING(EN)																																																																
		<table border="1"> <caption>Data for Figure: Maximum sludge concentration (g/l) vs SVI (ml/g)</caption> <thead> <tr> <th>SVI (ml/g)</th> <th>RWA/DWA = 3.0</th> <th>RWA/DWA = 3.5</th> <th>RWA/DWA = 4.0</th> <th>RWA/DWA = 4.5</th> <th>RWA/DWA = 5.0</th> <th>RWA/DWA = 5.5</th> <th>RWA/DWA = 6.0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>90</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>5.5</td> <td>5.0</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>5.5</td> <td>5.0</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>110</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>5.5</td> <td>5.0</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>5.5</td> <td>5.0</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>130</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>5.0</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> <td>3.5</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>140</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>4.5</td> <td>4.0</td> <td>3.5</td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>6.0</td> <td>6.0</td> <td>4.0</td> <td>3.5</td> <td>3.0</td> <td>2.5</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>	SVI (ml/g)	RWA/DWA = 3.0	RWA/DWA = 3.5	RWA/DWA = 4.0	RWA/DWA = 4.5	RWA/DWA = 5.0	RWA/DWA = 5.5	RWA/DWA = 6.0	90	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	100	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	110	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	120	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	130	6.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	140	6.0	6.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	150	6.0	6.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
SVI (ml/g)	RWA/DWA = 3.0	RWA/DWA = 3.5	RWA/DWA = 4.0	RWA/DWA = 4.5	RWA/DWA = 5.0	RWA/DWA = 5.5	RWA/DWA = 6.0																																																											
90	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0																																																											
100	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0																																																											
110	6.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0																																																											
120	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5																																																											
130	6.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0																																																											
140	6.0	6.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5																																																											
150	6.0	6.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0																																																											
LITERAATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERAATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK	FULL SCALE REFERENTIES																																																																
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.	-																																																																
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.																																																																	
NETTO RUIMTEBESLAG	n.v.t.																																																																	
OPGESTELD VERMOGEN	n.v.t.																																																																	
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezoueringen: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nutriënt</th> <th>Concentratie (mg N/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>2,4</td> </tr> <tr> <td>Norg-particulair</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>Norg-opgelost</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>5,2</td> </tr> </tbody> </table> De N-totaalconcentratie van de referentiezoueringen daalt met ca. 1,5 mg N/l door toepassing van deze maatregel.	Nutriënt	Concentratie (mg N/l)	NH ₄ -N	1,0	NO ₃ -N / NO _x -N	2,4	Norg-particulair	0,3	Norg-opgelost	1,5	N-totaal	5,2	EFFLUENT FOSFOR De P-totaalconcentratie kan toenemen door toepassing van deze maatregel bij een gelijkblijvende dosering omdat het actiefslib door de hogere slibleeftijd verder afbreekt.																																																				
Nutriënt	Concentratie (mg N/l)																																																																	
NH ₄ -N	1,0																																																																	
NO ₃ -N / NO _x -N	2,4																																																																	
Norg-particulair	0,3																																																																	
Norg-opgelost	1,5																																																																	
N-totaal	5,2																																																																	


KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	20.000 i.e.		100.000 i.e.	
		20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	-	-		
	OPEX (EUR/j)	17.000	85.000		
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,01	0,01		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	0,9	0,9		
				Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	20
				Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	1.546
				(6% slibeindverwerking, 69% hulpstoffen, 25% energie)	
				* uitgangspunt is een SVI van 120 ml/g i.p.v. 150 ml/g (slibgehalte van 4,0 g/l naar 5,0 g/l)	
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Meer slijbleeftijd is mogelijk contraproductief voor P-verwijdering/metaalzoutendosering.				
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Door het hogere slibgehalte zal de zuurstofbehoefte van de biologie stijgen door de grotere endogene ademhaling. Ook kan een hoog slibgehalte in beperkte mate nadelig zijn voor de alfa factor. Hierdoor zal er meer energie aan de beluchting moeten worden gespendeerd.				

2. TOEPASSEN SVI-VERLAGENDE TECHNOLOGIE (INDENSE®)


	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED Actief slibsystemen															
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Reductie retourlibdebiet (minder energieverbruik)															
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - In het inDENSE® systeem vindt selectie plaats op de zwaardere slibfractie door middel van hydrocyclonen. - De hydrocyclonen worden gevoed met retourlib uit de nabezinktanks. Het spuislib wordt onttrokken uit de bovenloop van de cyclonen. - Het gevolg is een verbeterde bezinkbaarheid (slibvolume-index) van het slib; SVI₃₀ ≤ 100 ml/g. Hierdoor kan het slibgehalte van het actiefslibstelsel worden verhoogd, waardoor de biologische capaciteit toeneemt. 	AFBEELDING(EN) 															
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK Roche <i>et al.</i> 2021. Biological process architecture in continuous-flow activated sludge by gravimetry: Controlling densified biomass form and function in a hybrid granule-floc process at Dijon WRRF, France.	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Terneuzen, 93.000 i.e. (150 g TZV/d)															
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.																
NETTO RUIMTEBESLAG	< 10 m ² voor beide referentiezuiveringen.																
OPGESTELD VERMOGEN	2,5 kW (20.000 i.e.) en 9,5 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: voedingspomp.																
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen: <table border="1" data-bbox="488 1150 1209 1324"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>5,1</td> </tr> </table> <p>De N-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 1,6 mg N/l door toepassing van deze maatregel.</p>	NH ₄ -N	mg N/l	1,0	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,3	N _{org-particulair}	mg N/l	0,3	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	5,1	EFFLUENT FOSFOR De P-totaalconcentratie kan toenemen door het verhogen van het slibgehalte omdat het actiefslib door de hogere slibleeftijd verder afbreekt. De claim van de technologie is dat de bio-P activiteit verbetert door selectie van bio-P bacteriën middels de cyclonen. Dit is momenteel niet aangetoond.
NH ₄ -N	mg N/l	1,0															
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,3															
N _{org-particulair}	mg N/l	0,3															
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5															
N-totaal	mg N/l	5,1															

KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	700.000 – 1.600.000	800.000 – 2.000.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	30 29
OPEX (EUR/j)	37.000	133.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	2.312 2.197
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,06 – 0,12	0,03 – 0,04	(1% materialen, 4-5% slibeindverwerking, 58-61% hulpstoffen, 33-37% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	4,9 – 8,9	2,1 – 3,1	* uitgangspunt is een verhoging van het slibgehalte van 4,0 g/l naar 6,0 g/l	
* uitgangspunt is een verhoging van het slibgehalte van 4,0 g/l naar 6,0 g/l				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Volautomatisch bedrijf, geen aandacht van operator benodigd. - Onderhoud van voedingspomp. - Meer slibleeftijd is mogelijk contraproductief voor P-verwijdering/metaalzoutdosering. 			
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Door het hogere slibgehalte zal de zuurstofbehoefte van de biologie stijgen door de grotere endogene ademhaling. Ook kan een hoog slibgehalte in beperkte mate nadelig zijn voor de alfa factor. Hierdoor zal er meer energie aan de beluchting moeten worden gependend. Een te lage slibindex heeft gevolgen voor de zonebezinking in nabezinktanks. - Een slibvolume van tenminste 200 ml/L wordt aanbevolen voor het bezinkproces. - Het is afhankelijk van de rwzi waar de technologie wordt ingepast wat de invloed op de slibindex wordt. Daarmee is niet geheel te voorspellen wat de impact is van de technologie. De resultaten bij rwzi Terneuzen na een jaar bedrijf laten zien dat een slibindex van 100 ml/L wordt bereikt (piekwaarde), dit is voor deze factsheet aangehouden. 			

3. SLIBGEHALTE VERHOGEN DOOR BIJBOUWEN NBT

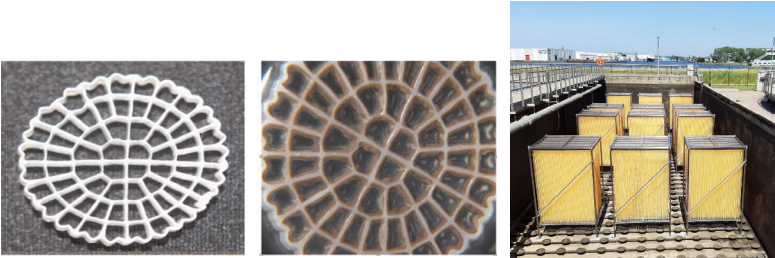
	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED Actief slibsystemen															
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen															
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE Door het bijbouwen van een nabezinktank kan het actiefslibgehalte worden verhoogd en daarmee wordt de biologische capaciteit van de zuivering uitgebreid.	AFBEELDING(EN) 															
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK -	FULL SCALE REFERENTIES -															
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.																
NETTO RUIMTEBESLAG	720 m ² (20.000 i.e.) en 1.730 m ² (100.000 i.e.)																
OPGESTELD VERMOGEN	11,9 kW (20.000 i.e.) en 14,1 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: aandrijving, gootborstel, verwarming t.b.v. sneeuw/ijs.																
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezoueringen: <table border="1" data-bbox="488 1129 1211 1305"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>5,1</td> </tr> </table> De N-totaalconcentratie van de referentiezoueringen daalt met ca. 1,6 mg N/l door toepassing van deze maatregel.	NH ₄ -N	mg N/l	1,0	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,3	N _{org-particulair}	mg N/l	0,3	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	5,1	EFFLUENT FOSFOR De P-totaalconcentratie kan toenemen door toepassing van deze maatregel bij een gelijkblijvende dosering omdat het actiefslib door de hogere slibleeftijd verder afbreekt.
NH ₄ -N	mg N/l	1,0															
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,3															
N _{org-particulair}	mg N/l	0,3															
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5															
N-totaal	mg N/l	5,1															

KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	1.100.000 – 2.500.000	1.700.000 – 3.900.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	32
OPEX (EUR/j)	31.000	125.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	2.430
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,07 – 0,12	0,03 – 0,05	(3-6% materialen, 4-5% slibeindverwerking, 55-62% hulpstoffen, 30-35% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	5,0 – 9,5	2,3 – 3,8	* uitgangspunt is een extra NBT met dezelfde afmetingen als de bestaande tank(s); slibgehalte van 4,0 g/l naar 6,0 g/l	
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Meer slibleeftijd is mogelijk contraproductief voor P-verwijdering/metaalzoutdosering.			
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Door het hogere slibgehalte zal de zuurstofbehoefte van de biologie stijgen door de grotere endogene ademhaling. Ook kan een hoog slibgehalte in beperkte mate nadelig zijn voor de alfa factor. Hierdoor zal er meer energie aan de beluchting moeten worden gependend.			

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGBIED Diverse systemen (actief slib is voor dit fact-sheet gebruikt)															
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen															
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE Door het bijbouwen van biologisch volume kan de slibleeftijd worden verhoogd en zo de stikstofverwijdering worden verbeterd. Het extra volume wordt meestal ingericht als extra denitrificatievolume als een tekort aan denitrificatiecapaciteit aanwezig is.	AFBEELDING(EN) 															
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK -	FULL SCALE REFERENTIES -															
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																
RSA PROOF?	Geen raakvlakken.																
NETTO RUIMTEBESLAG	230 m ² (20.000 i.e.) en 1.160 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.																
OPGESTELD VERMOGEN	6 kW (20.000 i.e.) en 12 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: mengers																
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen: <table border="1" data-bbox="488 1098 1209 1273"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>4,9</td> </tr> </table> De N-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 1,8 mg N/l door toepassing van deze maatregel.	NH ₄ -N	mg N/l	1,1	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,0	N _{org-particulair}	mg N/l	0,3	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	4,9	EFFLUENT FOSFOR De P-totaalconcentratie kan toenemen door toepassing van deze maatregel bij een gelijkblijvende dosering omdat het actiefslib door de hogere slibleeftijd verder afbreekt.
NH ₄ -N	mg N/l	1,1															
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,0															
N _{org-particulair}	mg N/l	0,3															
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5															
N-totaal	mg N/l	4,9															


KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	20.000 i.e.		100.000 i.e.		CO _{2eq} FOOTPRINT*	20.000 i.e.		100.000 i.e.	
	Investeringskosten (EUR)	800.000 – 1.900.000		2.500.000 – 5.900.000		Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	23		23	
	OPEX (EUR/j)	23.000		97.000		Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	1.785		1.752	
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,05 – 0,10		0,03 – 0,06		(4-6% materialen, 39-40% hulpstoffen, 55-56% energie)				
	Per v.e. (EUR/v.e.)	3,9 – 7,6		2,6 – 4,7		* uitgangspunt is een volumevergroting van 30% het totaalvolume.				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Meer slijleeftijd is mogelijk contraproductief voor P-verwijdering/metaalzoutdosering.									
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Door het bijbouwen van biologisch volume daalt het maximale slibgehalte dat kan worden aangehouden in de biologische ruimte bij dezelfde capaciteit van de nabezinking. De toename in capaciteit door biologisch volume heeft een groter effect op de capaciteit dan het dalen van het maximum slibgehalte.									

5. TOEPASSEN DRAGERMATERIALEN (IFAS)

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGBIED Actief slibsystemen. Er dient voldoende beluchtingscapaciteit te zijn, of deze moet uitgebreid kunnen worden.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Verbeterde nitrificatie (afvangen ammoniumpieken), verbeterde en stabielere SVI (STOWA 201103)
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE Door het toevoegen van dragermaterialen aan bestaande actiefslibsystemen ontstaan twee slibtypen; vlokkelig slib en biofilm-slib. De vlokfractie breekt het grootste deel van de organische vuilvracht af, terwijl de biofilm zorgt voor een nitrificerende populatie. Dit laatste zorgt ervoor dat hogere slibleeftijden kunnen worden aangehouden. De carriermaterialen zijn relatief gemakkelijk toe te voegen aan het actiefslibstelsysteem en zullen tot een capaciteitsvergroting leiden. Schermen houden de dragers in het actiefslibstelsysteem. Er is onderscheid in dragermaterialen die met het actief slib meebewegen in de tank (IFAS), en dragermaterialen die in de actief slibtank worden bevestigd. De functie is soortgelijk.	AFBEELDING(EN) 
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2011-03. Evaluatie slib op drager systemen Chan <i>et al.</i> , 2014. Increased nitrogen removal in existing volumes at Sundet wastewater treatment plant, Växjö. Odegaard, 2014. Compact wastewater treatment with MBBR.	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Broni, 52.000 i.e. (Italië, Hybas™) rwzi Broomfield, 48.000 i.e. (Verenigde Staten, Hybas™) rwzi Geiselbullach, 250.000 i.e. (Duitsland, BioCurlz) rwzi Komarno, 55.000 i.e. (Slowakije., BioCurlz) rwzi Marquette-lez-Lille, 620.000 i.e., (Frankrijk, Hybas™) rwzi Miedes del Aragon (Spanje, OxyMem) rwzi Terrassa, 450.000 i.e. (Spanje, BioCurlz) rwzi Velsen, 120.587 i.e. (BioCurlz) rwzi Worcestershire (Verenigd Koninkrijk, OxyMem) zie STOWA 2011-03 voor meer referenties
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.	
RAAKVLAKKEN EUWWD	Geen raakvlakken.	
NETTO RUIMTEBESLAG	n.v.t.	
OPGESTELD VERMOGEN	n.v.t.	


VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF	EFFLUENT FOSFOR				
	Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentieuiveringen:	De P-totaalconcentratie kan toenemen door toepassing van deze maatregel bij een gelijkblijvende dosering omdat het actiefslib door de hogere slijbleeftijd verder afbreekt.				
	NH ₄ -N	mg N/l	1,0			
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,2			
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,3			
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5			
	N-totaal	mg N/l	5,0			
	De N-totaalconcentratie van de referentieuiveringen daalt met ca. 1,7 mg N/l door toepassing van deze maatregel.					
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	CO _{2eq} FOOTPRINT*				
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.		
	Investeringskosten (EUR)	1.400.000 – 3.300.000	7.000.000 – 16.300.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	33	33
	OPEX (EUR/j)	25.000	124.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	2.534	2.537
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,10 – 0,21	0,10 – 0,21	(14% materialen, 4% slijbeindverwerking, 59% hulpstoffen, 22% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	7,5 – 15,9	7,5 – 15,9	* uitgangspunt is HDPE-dragermateriaal met een vulgraad van 40%.		
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Elke 15-25 jaar moet het dragermateriaal worden vervangen. - Meer slijbleeftijd is mogelijk contraproductief voor P-verwijdering/metaalzoutendosering. 					
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - IFAS is alleen mogelijk in combinatie met bellenbeluchting. - IFAS-technologie kan worden geleverd door diverse leveranciers als 'technology package'. Onderdelen hiervan kunnen gepatenteerd zijn. - Risico op (micro)plastics in het effluent. Biobased carriermaterialen zijn in ontwikkeling. 					

6. NABELUCHTING REALISEREN

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED Actief slibsystemen															
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering NH_4	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen															
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Door de implementatie van een nabeluchting kan aanvullende nitrificatie plaatsvinden waardoor het effluent ammoniumgehalte daalt. - Dit is gewenst ten aanzien van de Kaderrichtlijn Water vanwege de toxiciteit van ammonium/ ammoniak in oppervlaktewatersystemen (STOWA 2021-43). - De totaalstikstofconcentratie van het effluent zal ook afnemen doordat de nabeluchttingsruimte zich voor de nabezinking bevindt. Een deel van het geproduceerde nitraat zal via het retourslib worden teruggevoerd naar de AT. 	AFBEELDING(EN) 															
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK -	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Enschede, 275.000 i.e. (54 g TZV/d)															
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.																
NETTO RUIMTEBESLAG	15 m ² (20.000 i.e.) en 70 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.																
OPGESTELD VERMOGEN	0,4 kW (20.000 i.e.) en 1,9 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: extra beluchting.																
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen: <table border="1" data-bbox="495 1187 1211 1358"> <tr> <td>$\text{NH}_4\text{-N}$</td> <td>mg N/l</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>$\text{NO}_3\text{-N} / \text{NO}_x\text{-N}$</td> <td>mg N/l</td> <td>4,1</td> </tr> <tr> <td>$\text{N}_{\text{org-particulair}}$</td> <td>mg N/l</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>$\text{N}_{\text{org-opgelost}}$</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>6,3</td> </tr> </table> <p>De N-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 0,4 mg N/l door toepassing van deze maatregel. De $\text{NH}_4\text{-N}$ concentratie daalt met ca. 0,8 mg N/l.</p>	$\text{NH}_4\text{-N}$	mg N/l	0,2	$\text{NO}_3\text{-N} / \text{NO}_x\text{-N}$	mg N/l	4,1	$\text{N}_{\text{org-particulair}}$	mg N/l	0,5	$\text{N}_{\text{org-opgelost}}$	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	6,3	EFFLUENT FOSFOR n.v.t.
$\text{NH}_4\text{-N}$	mg N/l	0,2															
$\text{NO}_3\text{-N} / \text{NO}_x\text{-N}$	mg N/l	4,1															
$\text{N}_{\text{org-particulair}}$	mg N/l	0,5															
$\text{N}_{\text{org-opgelost}}$	mg N/l	1,5															
N-totaal	mg N/l	6,3															

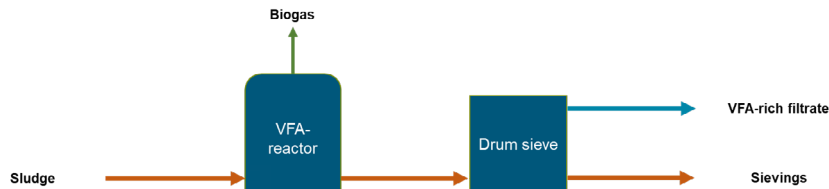
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	100.000 – 300.000	200.000 – 500.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	2
OPEX (EUR/j)	2.000	8.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	123
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,01	0,01	(6-10% materialen, 3% slibeindverwerking, 87-91% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	0,5 – 1,1	0,2 – 0,4	* uitgangspunt is een nabeluchttingsruimte met een HRT van 20 min.	
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	-			
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - De nabeluchting kan voor een optimale/gecontroleerde verblijftijd het beste buiten interne recirculatiestromen worden ingepast. Een nadeel is dat het gevormde nitraat in de nabeluchting alleen via het retourslib kan worden gerecirculeerd. De nabeluchting dient daarom te worden ingezet als polishing stap. Een combinatie met denitrificatie in een nabehandelingsstap is hier goed te maken. - De nabeluchting kan het beste als propstroom worden ingericht. - Aandachtspunt bij het ontwerp is het risico op hydraulische doorslag. De nabeluchting is doorgaans klein in volume waardoor het risico hierop groter is. 			

7. C-BRON DOSERING OP DE WATERLIJN

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED Diverse systemen. Bij voorkeur in voordennitrificatie doseren.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO_x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Enig positief effect op verwijdering P-totaal (PO_4)
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Door de dosering van een externe koolstofbron kunnen de BZV/N- en BZV/P-verhouding worden verbeterd en zo de stikstof- en fosforverwijdering bevorderd. - De koolstofbron zal de denitrificatie bevorderen en dient te worden gedoseerd in een anoxische zone. Ook zal de C-bron resulteren in een hogere slibproductie waardoor meer P-opname in het slib plaatsvindt. - Er kunnen verschillende C-bronnen worden gedoseerd. Niet-explosieve C-bronnen als glucose of glycerine hebben typisch de voorkeur in Nederland. Ook kunnen methanol of (bio)ethanol worden ingezet als de juiste veiligheidsmaatregelen worden getroffen. Daarnaast kunnen restproducten van de voedingsmiddelenindustrie worden ingezet. - In dit factsheet zijn zowel glycerine (Carbo BWB-60) als methanol als C-bron meegenomen. 	AFBEELDING(EN) 
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2017-46. Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit communaal afvalwater op rwzi's. STOWA 1993-07. Handboek stikstofverwijdering. STOWA 2010-23. Alternatieve C-bronnen voor nageschakelde denitrificatie.	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Hengelo, 183.400 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Garmerwolde (B-trap), 340.146 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Den Bosch, 310.080 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Venray, 60.203 i.e. (150 g TZV/d)
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.	
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.	
NETTO RUIMTEBESLAG	C-bron dosering met glycerine: 50 m ² voor beide scenario's (20.000 i.e. en 100.000 i.e.) C-bron dosering met methanol: 500 m ² voor beide scenario's (20.000 i.e. en 100.000 i.e.) Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.	
OPGESTELD VERMOGEN	0,75 kW voor beide scenario's (20.000 i.e. en 100.000 i.e.), onafhankelijk van het type C-bron. Hoofdverbruikers: doseerpomp.	

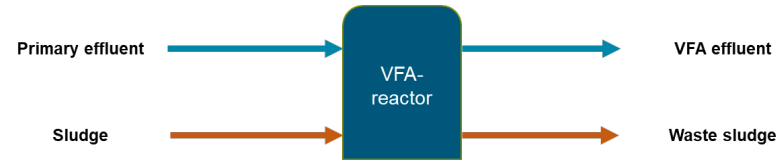
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF			EFFLUENT FOSFOR				
	Na implementatie van de maatregelen wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:							
		glycerine	methanol		glycerine	methanol		
	NH ₄ -N	mg N/l	1,2	1,2	PO ₄ -P	mg P/l	0,38	0,38
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	2,1	2,0	P _{org} -particulair	mg P/l	0,23	0,23
	N _{org} -particulair	mg N/l	0,4	0,4	P _{org} -opgelost	mg P/l	0,14	0,14
	N _{org} -opgelost	mg N/l	1,5	1,5	P-totaal	mg P/l	0,75	0,75
	N-totaal	mg N/l	5,2	5,1				
	De N-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 1,5-1,6 mg N/l door toepassing van deze maatregel.							
	De P-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 0,15 mg P/l door toepassing van deze maatregel.							
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*			CO _{2eq} FOOTPRINT*				
	C-bron dosering met glycerine:							
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.		
	Investeringskosten (EUR)	500.000 – 1.200.000	500.000 – 1.200.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	354	354		
	OPEX (EUR/j)	152.000	726.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	27.109	27.108		
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,13 – 0,17	0,10 – 0,11	(1% slibeindverwerking, 97% hulpstoffen, 2% energie)				
	Per v.e. (EUR/v.e.)	9,9 – 13,0	7,7 – 8,3	C-bron dosering met methanol:				
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.		
	Investeringskosten (EUR)	1.200.000 – 2.700.000	1.200.000 – 2.700.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	88	88		
	OPEX (EUR/j)	88.000	361.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	6.731	6.723		
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,12 – 0,21	0,06 – 0,08	(0-1% materialen, 4% slibeindverwerking, 91% hulpstoffen, 5% energie)				
	Per v.e. (EUR/v.e.)	9,5 – 16,2	4,6 – 6,0	* uitgangspunt is een dosering van 200 kg CZV/d (20.000 i.e.) en 1.000 kg CZV/d (100.000 i.e.)				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Bij methanoldosering: ATEX-zone rondom het vulpunt van de methanol opslag. De opslag zelf kan in een terp worden voorzien, hiervoor geldt géén zonering.							
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- De C-bron dient te worden gedoseerd waar geen zuurstof aanwezig is. Bij resterende zuurstof zal een hogere dosering nodig zijn voor hetzelfde resultaat.							
	- Koolstofbrondosering gaat gepaard met een relatief hoge CO ₂ -footprint. Dit kan worden gereduceerd door de inzet van reststromen uit de voedingsmiddelenindustrie als koolstofbron.							
	- De CO ₂ footprint per C-bron kan sterk verschillen. Bij de selectie van de C-bron kan hieraan aandacht worden besteed.							

8. LOKALE VETZUURPRODUCTIE (WARME VETZUURREACTOR)

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED rwzi's met voorbezinking, influentzeven of een A-trap. De vetzuurreactor is voornamelijk toepasbaar bij een limiterende BZV/N (< 3) of BZV/P (< 30) verhouding.																				
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal en/of P-totaal (voor deze factsheet is P-totaal gebruikt, dus de VFA's worden gedoseerd in de anaerobe tank t.b.v. het bio-P-proces en niet in de denitrificatiezone)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen																				
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE - Het primaire slib/zeefgoed of A-trap slib wordt verzuurd om lokaal vluchtige vetzuren (VFA's) te produceren. - Deze vetzuren kunnen worden ingezet om de BZV/P- en BZV/N-verhouding te verhogen. Zo kan het bio-P en/of denitrificatieproces worden verbeterd, afhankelijk van de doseerlocatie (in de anaerobe tank of anoxische tank). - De warme vetzuurreactor wordt bedreven bij een temperatuur van 30°C. Vergelijken met de koude vetzuurreactor is er meer VFA-productie vanwege een hogere CZV-afbraak bij hogere temperaturen.	AFBEELDING(EN) 																				
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2023-34. Vetzuurproductie op rwzi's. Yang <i>et al.</i> 2022. Application of primary sludge fermentation for the production of carbon source for full-scale biological nutrients removal.	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Changqiao (China), (40.000 m ³ /d)																				
TRL	TRL in 2024: 7-8, doorkijk naar 2027: 8. In feite is de vetzuurreactor een gisting met een korte verblijftijd; de TRL zou daarom ook hoger ingeschat kunnen worden.																					
RAAKVLAKKEN EUWWTD	VFA-reactoren dragen bij aan een circulaire economie omdat C-bron intern kan worden geproduceerd. en zo op inkoop van externe hulpstoffen (metaalzouten, C-bron) kan worden bespaard.																					
NETTO RUIMTEBESLAG	60 m ² (100.000 i.e.) en 250 m ² (400.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.																					
OPGESTELD VERMOGEN	6,3 kW (100.000 i.e.) en 26,1 kW (400.000 i.e.). Hoofdverbruikers: mengers, pomp, trommelzeef.																					
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Het toevoegen van vetzuren aan de biologie leidt tot meer slibproductie en daarmee wordt de slibleeftijd lager. Daarentegen kan de verbeterde bio-P-prestatie ook zorgen voor een lagere metaal-zoutdoserings en zo kan de slibleeftijd dalen en de N-verwijdering verbeteren.	EFFLUENT FOSFOR Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentieuiveringen: <table border="1" data-bbox="1272 1034 2027 1209"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>100.000 i.e.</th> <th>400.000 i.e.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PO₄-P</td> <td>mg P/l</td> <td>0,20</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>P_{org-particulair}*</td> <td>mg P/l</td> <td>0,32</td> <td>0,30</td> </tr> <tr> <td>P_{org-opgelost}</td> <td>mg P/l</td> <td>0,14</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>P-totaal</td> <td>mg P/l</td> <td>0,66</td> <td>0,73</td> </tr> </tbody> </table> De P-totaalconcentratie van de referentieuiveringen daalt met ca. 0,25-0,30 mg P/l door toepassing van deze maatregel. Opmerking: de haalbare P-effluentkwaliteit wordt beïnvloed door o.a. de OB-effluentconcentratie, het DOP-gehalte en de BZV/P-verhouding na de voorbehandeling. Per locatie kan de P-verwijdering daarom verschillen. * Let op: hoger dan andere factsheets vanwege verschil in referentieuivering van 100.000 i.e.: hier is uitgegaan van voorbezinktanks, waardoor het P-gehalte van het slib ca. 4,2% wordt.			100.000 i.e.	400.000 i.e.	PO ₄ -P	mg P/l	0,20	0,29	P _{org-particulair} *	mg P/l	0,32	0,30	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	0,14	P-totaal	mg P/l	0,66	0,73
		100.000 i.e.	400.000 i.e.																			
PO ₄ -P	mg P/l	0,20	0,29																			
P _{org-particulair} *	mg P/l	0,32	0,30																			
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	0,14																			
P-totaal	mg P/l	0,66	0,73																			


KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	100.000 i.e.	400.000 i.e.	100.000 i.e.	400.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	1.600.000 – 3.600.000	4.200.000 – 9.700.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	27 14
OPEX (EUR/j)	150.000	813.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	2.095 1.109
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,04 – 0,06	0,04 – 0,05	(1% materialen, 4-9% slibeindverwerking, (-3)-(2)% hulpstoffen, 99-88% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	2,8 – 4,6	2,9 – 4,1	* uitgangspunt is een verwarmde vetzuurreactor (30°C) met een HRT van 3 dagen.	
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- De warme VFA-reactor vereist afzuiging en bij voorkeur een aansluiting op de bestaande biogasleiding van de slibvergisting. Dit is wenselijk omdat enige methaanvorming plaats zal vinden bij 30°C.			
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Verminderde biogasproductie uit het behandelde slib doordat een deel van het primaire slib al wordt afgebroken tot VFA's.			
	- Kansen voor P-terugwinning uit het rejectiewater doordat er meer biologische P-verwijdering plaatsvindt.			

9. LOKALE VETZUURPRODUCTIE (KOUDE VETZUURREACTOR)

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGEBIED rwzi's met voorbezinking, influentzeven of een A-trap. De vetzuurreactor is voornamelijk toepasbaar bij een limiterende BZV/N (< 3) of BZV/P (< 30) verhouding.																				
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal en/of P-totaal (voor deze factsheet is P-totaal gebruikt, dus de VFA's worden in dit fact-sheet gedoseerd in de anaerobe tank t.b.v. het bio-P-proces, en niet in de denitrificatiezone)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen																				
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE - Het primaire slib/zeefgoed wordt verzuurd om lokaal vluchtige vetzuren (VFA's) te produceren. - Deze vetzuren kunnen worden ingezet om de BZV/P- en BZV/N-verhouding te verhogen. Zo kan het bio-P en/of denitrificatieproces worden verbeterd, afhankelijk van de doseerlocatie (in de anaerobe of anoxische tank).	AFBEELDING(EN) 																				
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2023-34. Vetzuurproductie op rwzi's. WRF, 2019. Fermenters for Biological Phosphorus Removal Carbon Augmentation.	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Kalispell (Verenigde Staten) rwzi Kelowna (Canada)																				
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																					
RAAKVLAKKEN EUWWTD	VFA-reactoren dragen bij aan een circulaire economie omdat C-bron intern kan worden geproduceerd en zo op inkoop van externe hulpstoffen (metaalzout en C-bron) kan worden bespaard.																					
NETTO RUIMTEBESLAG	120 m ² (100.000 i.e.) en 500 m ² (400.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.																					
OPGESTELD VERMOGEN	5,3 kW (100.000 i.e.) en 21,7 kW (400.000 i.e.). Hoofdverbruikers: mengers, pomp.																					
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Het toevoegen van vetzuren aan de biologie leidt tot meer slibproductie en daarmee wordt de slibleeftijd lager. Daarentegen kan de verbeterde bio-P-prestatie ook zorgen voor een lagere metaal-zoutdosering en zo kan de slibleeftijd dalen en de N-verwijdering verbeteren.	EFFLUENT FOSFOR Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentieuiveringen: <table border="1" data-bbox="1276 965 2027 1141"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>100.000 i.e.</th> <th>400.000 i.e.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PO₄-P</td> <td>mg P/l</td> <td>0,23</td> <td>0,35</td> </tr> <tr> <td>P_{org-particulair}*</td> <td>mg P/l</td> <td>0,31</td> <td>0,30</td> </tr> <tr> <td>P_{org-opgelost}</td> <td>mg P/l</td> <td>0,14</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>P-totaal</td> <td>mg P/l</td> <td>0,68</td> <td>0,79</td> </tr> </tbody> </table> De P-totaalconcentratie van de referentieuiveringen daalt met ca. 0,20-0,30 mg P/l door toepassing van deze maatregel. Opmerking: de haalbare P-effluentkwaliteit wordt beïnvloed door o.a. de OB-effluentconcentratie, het DOP-gehalte en de BZV/P-verhouding na de voorbehandeling. Per locatie kan de Pverwijdering daarom verschillen. * Let op: hoger dan andere factsheets vanwege verschil in referentieuivering van 100.000 i.e.: hier is uitgegaan van voorbezinktanks, waardoor het P-gehalte van het slib ca. 4,1% wordt.			100.000 i.e.	400.000 i.e.	PO ₄ -P	mg P/l	0,23	0,35	P _{org-particulair} *	mg P/l	0,31	0,30	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	0,14	P-totaal	mg P/l	0,68	0,79
		100.000 i.e.	400.000 i.e.																			
PO ₄ -P	mg P/l	0,23	0,35																			
P _{org-particulair} *	mg P/l	0,31	0,30																			
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	0,14																			
P-totaal	mg P/l	0,68	0,79																			

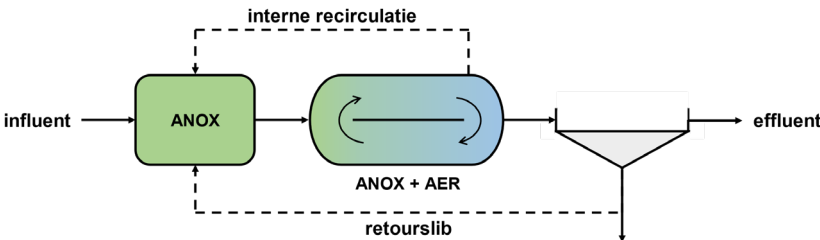
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	100.000 i.e.		400.000 i.e.		CO _{2eq} FOOTPRINT*	100.000 i.e.		400.000 i.e.	
		Investeringskosten (EUR)	1.800.000 – 4.300.000	5.000.000 – 11.600.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)		5	6		
OPEX (EUR/j)	70.000	538.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	405	422					
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,03 – 0,05	0,03 – 0,05	(4-6% materialen, 18-20% slibeindverwerking, -1% hulpstoffen, 74-78% energie)							
Per v.e. (EUR/v.e.)	2,1 – 3,9	2,3 – 3,5	* uitgangspunt is een onverwarmde vetzuurreactor met een HRT van 7 dagen.							
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD		- De koude VFA-reactor vereist afzuiging. Door de lagere temperatuur is methaanvorming gering en is aansluiten op het biogassysteem niet noodzakelijk.								
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN		- Verminderde biogasproductie uit het behandelde slib doordat een deel van het primaire slib al wordt afgebroken tot VFA's. - De koude VFA-reactor dient te worden afgezogen, de afgezogen lucht dient in geurfilters te worden behandeld zoals bij een slibbuffer met vers slib.								

10. METAALZOUTEN DOSEREN OP WATERLIJN

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGBIED Diverse systemen.												
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering P-totaal (PO_4)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen												
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Om de fosforconcentratie te verlagen kan worden overwogen om metaalzouten te doseren aan het actiefslibstelsysteem. - De chemische P-verwijdering vindt plaats met metaalzouten als $FeCl_3$, $FeSO_4$ of $AlCl_3$; de metaalionen (Fe^{3+}, Al^{3+}) vormen een neerslag met orthofosfaat (PO_4^{3-}) die door bezinking wordt afgescheiden. - In dit factsheet is uitgegaan van $FeCl_3$-dosering 	AFBEELDING(EN) 												
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2017-46. Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit communaal afvalwater op rwzi's STOWA 1993-06. Handboek chemische P-verwijdering	FULL SCALE REFERENTIES Breed gebruik bij rwzi's in Nederland en buitenland.												
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.													
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.													
NETTO RUIMTEBESLAG	50 m ² voor beide referentiezuiveringen (20.000 i.e. en 100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.													
OPGESTELD VERMOGEN	0,75 kW voor beide referentiezuiveringen (20.000 i.e. en 100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: doseerpomp.													
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Het doseren van metaalzouten verhoogt de slibproductie. De prestatie op N-totaal in het effluent kan door de kortere slibleeftijd verslechteren.	EFFLUENT FOSFOR Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen: <table border="1" data-bbox="1274 1173 2022 1310"> <tr> <td>PO_4-P</td> <td>mg P/l</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>P_{org-particulair}</td> <td>mg P/l</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>P_{org-opgelost}</td> <td>mg P/l</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>P-totaal</td> <td>mg P/l</td> <td>0,58</td> </tr> </table> De P-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 0,32 mg P/l door toepassing van deze maatregel.	PO_4 -P	mg P/l	0,20	P _{org-particulair}	mg P/l	0,24	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	P-totaal	mg P/l	0,58
PO_4 -P	mg P/l	0,20												
P _{org-particulair}	mg P/l	0,24												
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14												
P-totaal	mg P/l	0,58												


KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	500.000 – 1.200.000	500.000 – 1.200.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	4
OPEX (EUR/j)	14.000	32.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	281
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,04 – 0,08	0,01 – 0,02	(1-2% materialen, 27% slibeindverwerking, 77% hulpstoffen, -6% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	3,0 – 6,1	0,8 – 1,4	* uitgangspunt is FeCl ₃ -dosering tot het modelminimum van PO ₄ -P (0,20 mg P/L).	
* uitgangspunt is FeCl ₃ -dosering tot het modelminimum van PO ₄ -P (0,20 mg P/L).				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD				
- Metaalzouten hebben potentieel gevolgen voor de slibeindverwerking, gezien de verbrandingswaarden veranderen.				

11. VERGROTEN INTERNE RECIRCULATIECAPACITEIT

	TYPE MAATREGEL Waterlijn	TOEPASSINGSGBIED Actief slibsystemen															
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen															
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - In actiefslibsystemen vindt interne recirculatie plaats van de aerobe naar anoxische ruimte om het door nitrificatie geproduceerde nitraat te denitrificeren. - Een vergroting van deze recirculatie zal in veel gevallen resulteren in lagere nitraatgehalten en een verbeterde stikstofverwijdering. - In dit factsheet is uitgegaan van een omloopsysteem met voordennitrificatie. 	AFBEELDING(EN) 															
LITERATUUR EN REFERENTIES	BSTOWA 2017-46. Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit communaal afvalwater op rwzi's. STOWA 1993-07. Handboek stikstofverwijdering.	FULL SCALE REFERENTIES Breed gebruik wereldwijd.															
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.																
NETTO RUIMTEBESLAG	10 m ² (20.000 i.e.) en 20 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.																
OPGESTELD VERMOGEN	4 kW (20.000 i.e.) en 22 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: recirculatiepomp.																
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na implementatie van deze maatregel wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen: <table border="1" data-bbox="488 981 1243 1157"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>6,3</td> </tr> </table> <p>De N-totaalconcentratie van de referentiezuiveringen daalt met ca. 0,4 mg N/l door toepassing van deze maatregel.</p>	NH ₄ -N	mg N/l	1,1	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	3,4	N _{org-particulair}	mg N/l	0,3	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	6,3	EFFLUENT FOSFOR n.v.t.
NH ₄ -N	mg N/l	1,1															
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	3,4															
N _{org-particulair}	mg N/l	0,3															
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5															
N-totaal	mg N/l	6,3															

KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	20.000 i.e.		100.000 i.e.		CO _{2eq} FOOTPRINT*	20.000 i.e.		100.000 i.e.	
		Investeringskosten (EUR)	200.000 – 400.000				200.000 – 500.000		Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	12
OPEX (EUR/j)	11.000			54.000		Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	938		1.028	
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,02 – 0,03			0,01		(0-1% materialen, 99-100% energie)				
Per v.e. (EUR/v.e.)	1,2 – 2,1			0,7 – 0,9		* uitgangspunt is een vergroting van de recirculatiefactor van 6,0 naar 12,0 t.o.v. DWA ₂₄ .				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Er is aandacht nodig voor het beperken van het terugbrengen van zuurstof van beluchte naar anoxische zones middels recirculatie. Het terugbrengen van teveel zuurstof naar anoxische zones is niet gunstig voor denitrificatie, bovendien kan dit de vorming van lachgas in de hand werken.									
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- De benodigde recirculatiefactor van een propstroomsysteem is significant hoger dan een systeem met tussendenitrificatie of een omloopsysteem met voordenenitrificatie. - Om optimaal gebruik te maken van een hogere recirculatiefactor is soms een verhoging van de biologische capaciteit (slibgehalte) nodig. Daar waar de recirculatie beperkend is kan met alléén deze maatregel worden volstaan.									

12. ANAMMOX-SYSTEEM

	TYPE MAATREGEL Deelstroom	TOEPASSINGSGBIED Temperatuur van > 30°C is nodig voor de processtabiliteit. De alkaliniteit van het rejectiewater moet voldoende hoog zijn; een minimale $\text{HCO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio van 1,0 is vereist, anders is loogdosering nodig.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Geen
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - In een Anammox-systeem vindt partiële nitrificatie en anaerobe ammoniumoxidatie plaats, waarbij ammonium en nitriet biologisch worden omgezet in stikstofgas. - Voor de partiële nitrificatie is zuurstofinbreng nodig. De deammonificatie vraagt geen externe koolstofbron. Ook is er relatief weinig slibgroei omdat de stikstofverwijdering volledig autotroof verloopt. - Het proces wordt bedreven bij een temperatuur van 30-40°C. - Er zijn verschillende uitvoeringsvormen van Anammox-systemen, zoals ANAMMOX®, DEMON®, Anita™Mox en NAS®-ONE. De systemen kunnen verschillen in ruimtebeslag, vermogen, kosten en CO₂-footprint. 	AFBEELDING(EN) 
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2018-70 Gebruikerservaringen met Demon® en Anammox® in deelstroombehandelingen Buunen-van Bergen, A., De Mooij, H.W., Morgenschweis, C, 2014. DEMON® - in 10 jaar van innovatie naar bewezen technologie	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Amersfoort, 303.773 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Apeldoorn, 317.000 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Den Bosch, 310.080 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Echten, 168.821 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Hengelo, 183.400 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Land van Cuijk, 158.667 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Nieuwegein, 144.160 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Nieuweveer, 439.733 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Olburgen, 137.510 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Sleenwijk, 64.373 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Tiel, 119.680 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Tilburg, 340.000 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Velsen, 120.587 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Zwolle, 180.000 i.e. (150 g TZV/d)
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9. Mogelijk volgen nog ontwikkelingen rondom reductie van lachgasemissie.	


RAAKVLAKKEN EUWWTD	- Positief effect op effluent stikstofconcentratie - Hoge CO ₂ -footprint wegens lachgasemissie	
NETTO RUIMTEBESLAG	150 m ² (400.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.	
OPGESTELD VERMOGEN	56 kW. Hoofdverbruikers: menger, beluchting, recirculatiepomp	
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	STIKSTOF 68-95% verwijderingsrendement NH ₄ vracht in deelstroom (uitgangspunt fact-sheet: 80%) 38% lagere NO _x -concentratie in effluent van de referentiezuivering	FOSFOR n.v.t.
KOSTEN EN CO_{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN 400.000 i.e. Investeringskosten (EUR) 2.430.000 – 5.670.000 OPEX (EUR/j) 122.000 Per m ³ behandeld (EUR/m ³ effluent) 0,01 Per v.e. (EUR/v.e.) 0,7 – 1,1	CO_{2eq} FOOTPRINT 400.000 i.e. Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³ effluent) 34 Per v.e. (gCO _{2eq} /v.e.-j) 2.624 (-3% slibeindverwerking, -2% hulpstoffen, 6% energie, 99% lachgasemissie)
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Risico op groei en verspreiding van legionellabacteriën; dit kan worden gereduceerd door veiligheidsmaatregelen als desinfectie en/of het afdekken van het beluchtingsbassin. - Schuimvorming in de reactor; om dit tegen te gaan kunnen antischuimmiddelen worden gedoseerd. - Andere aandachtspunten zijn gepresenteerd in STOWA 2018-70. - De temperatuur van het proces wordt verkregen door de warmte die het rejectiewater meekrijgt vanuit het gistingsproces. Het te sterk afkoelen van centraat kan invloed hebben op het proces. Een temperatuur van minimaal 30°C wordt aanbevolen. - Een te hoge CZV-concentratie en/of zwevende stof concentratie in de voeding kan het anammox-proces negatief beïnvloeden. 	
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Relatief hoge lachgasemissies ten opzichte van biologische behandeling in de waterlijn (en daardoor een hoge CO ₂ -footprint).	

13. AMMONIAKSTRIPPER

	TYPE MAATREGEL Deelstroom	TOEPASSINGSGEBIED Het rejectiewater mag een drogestofgehalte tot 12% hebben. Ook moet de alkaliniteit voldoende hoog zijn als wordt gestript zonder loogdosering; een minimale $\text{HCO}_3^-/\text{NH}_4^-$ -ratio van 1,0 is dan vereist.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Stikstof terugwinning
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - In een luchtstripper vindt intensief contact tussen afvalwater en lucht plaats; hierdoor worden vluchtige componenten zoals NH_3 uit het afvalwater gestript naar de gasfase. - Om het ammonium/ammoniak-evenwicht te verschuiven worden de temperatuur en/of pH van het rejectiewater verhoogd. - Voor een verwijderingsrendement van 80-85% $\text{NH}_4\text{-N}$ is een temperatuur van 75-80°C in de stripper vereist, wanneer geen loogdosering wordt toegepast. - Gestript ammoniak in de gasfase wordt vastgelegd in een scrubber of gaswasser. Hierin wordt het ammoniakrijke gas in contact gebracht met een zuur (zoals zwavelzuur of salpeterzuur) om een ammoniumzout (ammoniumsulfaat of -nitraat) te vormen. 	AFBEELDING (EN)
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2021-35. Stikstof terugwinning uit rioolwater; van marktambitie naar praktijk STOWA 1995-14. Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen – Afzetmogelijkheden voor de reststoffen van stripper- en MAP-proces	FULL SCALE REFERENTIES Bergen auf Rügen (Duitsland, 5-7 m ³ /h)
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9. Lopende ontwikkelingen: combinatie met bipolaire elektrolyse (pilot rwzi Nieuwgraaf), wassen met organische zuren of water/ CO_2 -oplossing.	
RAAKVLAKKEN EUWTD	<ul style="list-style-type: none"> - Geen lachgasemissies (voordeel t.o.v. anammox-systeem) - Stikstof terugwinning 	
NETTO RUIMTEBESLAG	450 - 500 m ² (400.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 - 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag	
OPGESTELD VERMOGEN	155 - 190 kW. Hoofdverbruikers: ventilator	
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	STIKSTOF 80% verwijderingsrendement NH_4 -vracht in deelstroom 38% lagere NO_x -concentratie in effluent van de referentiezuivering	FOSFOR n.v.t.

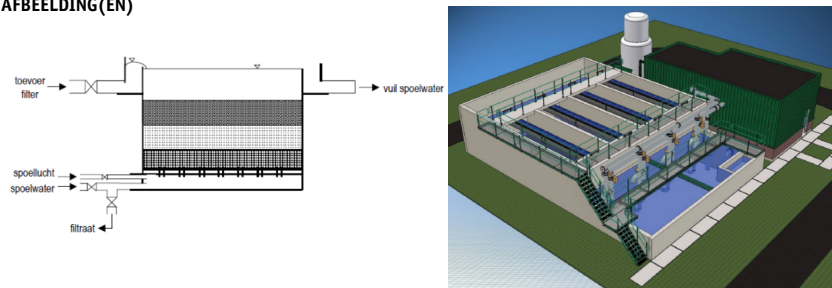
KOSTEN EN CO_{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	CO_{2eq} FOOTPRINT*
	400.000 i.e.	400.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³ effluent)
	4.100.000 – 9.600.000	18
	OPEX (EUR/j)	Per v.e. (gCO _{2eq} /v.e.)
	576.000	1.403
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³ effluent)	
	0,03 – 0,04	
	Per v.e. (EUR/v.e.)	
	2,0 – 2,8	
	* uitgegaan van een stripper-scrubbersysteem met een ingaande ammoniumconcentratie van ca. 1,4 g/l, een striptemperatuur van 75°C en 80% warmteterugwinning. Ook is uitgegaan van 3°C warmteverlies in de strippertoren. Kosten zijn inclusief warmtewisselaar en gebouw (incl. fundatie, gebouw is nodig i.v.m. weersinvloeden en afkoeling).	
	* uitgegaan van een stripper-scrubbersysteem met een ingaande ammoniumconcentratie van ca. 1,4 g/l, een striptemperatuur van 75°C en 80% warmteterugwinning. Ook is uitgegaan van 3°C warmteverlies in de strippertoren.	
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - De NH₃-stripper heeft een automatische shutdown/start-up. - De stripper biedt flexibiliteit bij een fluctuerende belasting van de ingaande waterstroom. - In de stripper heerst een temperatuur van 75-80°C, dit is een aandachtspunt voor de veiligheid. - Voor het produceren van ammoniumsulfaat is zwavelzuur (96%) nodig; deze stof is sterk corrosief. Er is een opslagvoorziening nodig op het terrein van de rwzi. 	
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Bij beschikbaarheid van restwarmte wordt de stripper economisch aantrekkelijker. - Bij hogere ingaande ammoniumconcentraties wordt de stripper economisch aantrekkelijker (het ontwerp is hydraulisch bepaald). - Productie van een pH-neutraal ammoniumzout. Bij certificering volgens de EU Fertilising Products Regulation 2019/1009, in categorie PFC 1 en CMC 15, kan het stikstofproduct een einde afvalstatus krijgen en daarmee vrij worden verhandeld binnen de EU en worden toegepast als kunstmestvervanger (zie www.phosphorusplatform.eu). - Geen veiligheidsrisico's i.v.m. Legionella (voordeel t.o.v. anammox-systeem). 	

14. STRUVIETREACTOR

	TYPE MAATREGEL Deelstroom	TOEPASSINGSGEBIED Zuivering met gisting, het rejectiewater moet zowel fosfaat als ammonium bevatten. Na gisting en ontwatering van bio-P slib is meer fosfaat beschikbaar voor struvietproductie.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering P-totaal (PO_4)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Beperkte stikstofverwijdering (NH_4), P-terugwinning
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE - Struviet ($MgNH_4PO_4 \cdot 6 H_2O$) wordt gevormd in een basische omgeving; hiervoor is (meng)energie en een magnesiumzout ($MgCl_2$, MgO of $Mg(OH)_2$) nodig. Natronloog kan worden toegevoegd om de pH te verhogen. - De struvietreactor kan zowel op rejectiewater als op uitgestist slib worden toegepast.	AFBEELDING(EN) 
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK Mirabella Mulder 2023. Optimalisatie struviet terugwinning in de praktijk. STOWA 2023-08 LCA van acht grondstoffen uit rioolwater STOWA 2016-22 Levenscyclusanalyse van grondstoffen uit rioolwater STOWA 2015-34 Verkenning van de kwaliteit van struviet uit de communale afvalwaterketen STOWA 2012-27 Struviet productie door middel van het Airprex proces STOWA 2011-24 Fosfaat terugwinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Amersfoort, 303.773 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Amsterdam-West, 919.360 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Apeldoorn, 317.000 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Den Bosch, 310.080 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Land van Cuijk, 158.667 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Tiel, 119.680 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Tilburg, 340.000 i.e. (150 g TZV/d)
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.	
RAAKVLAKKEN EUWWTD	P-terugwinning	
NETTO RUIMTEBESLAG	470 m ² (400.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. netto ruimtebeslag	
OPGESTELD VERMOGEN	150 kW. Hoofdverbruikers: mengers, ontwatering, droging.	
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	STIKSTOF 25% lagere NO_x -concentratie in effluent van de referentiezivering (door reductie metaalzoutendosering en slibproductie op de waterlijn)	FOSFOR 85-95% verwijderingsrendement PO_4 vracht in deelstroom (STOWA 2011-24, uitgangspunt 85%) 35-95% afscheidingsrendement struviet (STOWA 2011-24, uitgangspunt 95%) 62% lagere PO_4 -concentratie in effluent van de referentiezivering

KOSTEN EN CO_{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*	CO_{2eq} FOOTPRINT*
	400.000 i.e.	400.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³ effluent)
	3.000.000 – 7.100.000	2
	OPEX (EUR/j)	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e. j))
	-88.000**	123
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³ effluent)	
	0,01	
	Per v.e. (EUR/v.e.)	(62 ton CO ₂ /j materialen, -328 ton CO ₂ /j slibeindverwerking, 309 ton CO ₂ /j hulpstoffen, 528 ton CO ₂ /j energie, -521 ton CO ₂ /j grondstofproductie)
	0,2 – 0,8	
	* uitgegaan van een Pearl [®] -reactor met gebouw (incl. fundatie). Eventuele patentkosten zijn niet meegenomen.	* uitgegaan van een Pearl [®] -reactor met gebouw (incl. fundatie).
	** Negatieve OPEX door reductie metaalzoutendosering en slibproductie op de waterlijn.	
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Struvietterugwinning blijkt in de praktijk lastig, o.a. de magnesiumdosering, pH-controle en struvietafscheiding. De struvietwinning kan worden geoptimaliseerd.	
	- De struvietreactor vraagt tijd en aandacht voor procescontrole en dagelijks onderhoud (0,5 fte operator, 0,3 fte technoloog).	
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Teruggewonnen struviet kan worden afgezet als kunstmestvervanger in de landbouw en draagt zo bij aan het sluiten van de fosforkringloop.	
	- De benodigde struvietkwaliteit moet worden afgestemd met de partij die de grondstof afneemt (korrelgrootte, vochtgehalte, pH, etc.)	

15. VASTBED MEDIAFILTRATIE VOOR NO_xN EN PO₄P VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGBIED Na diverse systemen. Effluent zwevende stof mag niet te hoog zijn: gemiddeld ≤ 15 mg/l en ≤ 35 mg/l bij pieken. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op filters te voorkomen.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x) en P-totaal (PO ₄)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Door coagulatie/precipitatie op de filtratiestap worden zware metalen mogelijk deels verwijderd. Beperkte P-totaal en N-totaal reductie (onopgeloste organische fracties) door afvangst van OB.
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Gravitaire filtratie door middel van zand of granulaire actiefkool resulteert in zwevende stof afvang. Hierdoor worden de onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) verwijderd. - Dosering van een externe koolstofbron resulteert in denitrificatie, dus een afname van de N-totaalconcentratie. - Door dosering van metaalzouten wordt orthofosfaat verwijderd (afname van P-totaal-concentratie). Coagulatie vindt plaats boven het filtermedium; hierdoor is geen behoefte aan een separate coagulatievat. - Voor periodieke terugspoeling is de installatie voorzien van een filtraattank en een tank voor vuil spoelwater. Het vuile spoelwater kan worden teruggebracht naar de voorbehandeling, hoofdzuivering of nabezinking, afhankelijk van de vuilgraad. Het spoelwater wordt gebufferd en geleidelijk op de zuivering teruggebracht om hydraulische schokbelasting te voorkomen. 	AFBEELDING(EN) 
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK Huisman, 2004. Rapid Filtration. Sanitary engineering department, TU Delft STOWA 2006-21. Filtratietechnieken rwzi's STOWA 2009-32. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West STOWA 2009-34 1-Step® filter als effluent polishingstechniek STOWA 2013-35 Monitoring 1-STEP® filter Horstermeer	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Horstermeer, 181.333 i.e. (150 g TZV/d)
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9. Er zijn momenteel meerdere installaties in ontwerp in relatie tot de KRW.	
RAAKVLAKKEN EUWWTD	De Richtlijn Stedelijk Afvalwater stuurt aan op tertiaire behandeling voor rwzi's in de toekomst. Deze techniek sluit hier goed bij aan. Indien het filtermedium granulaire actief kool is vindt (een zeker mate van) verwijdering van microverontreinigingen plaats. Let op, voor een 80% verwijderingsrendement voor microverontreinigingen is een ca. 2 maal langere contacttijd nodig t.o.v. nutriëntenverwijdering. Voor nutriëntenverwijdering volstaat een contacttijd van 8-10 minuten, voor verwijdering van microverontreinigingen is een contacttijd van 15-20 minuten vereist). Denitrificatie is een anoxisch proces (zuurstofloos). Alle aanwezige zuurstof verbruikt koolstofbron (methanol) en heeft daarmee een negatief effect op kosten en duurzaamheid. Wanneer denitrificerende filters gevoed worden met een zuurstofrijk effluent, zoals de afloop van een ozoninstallatie, kunnen er extra maatregelen worden genomen om de concentratie opgeloste zuurstof in de aanvoer naar het filter te minimaliseren. Voorbeelden van maatregelen zijn een alternatief ontwerp voor de ozoninstallatie gericht op minimalisatie van zuurstofoverdracht, de productie van ozon uit buitenlucht, of het voorzien van een extra ontluuchtingsstap. Dergelijke maatregelen kunnen een aanzienlijke reductie van het verbruik van koolstofbron opleveren.	
NETTO RUIMTEBESLAG	Voor zowel zandfilter als GAK-filter: 790 m ² (20.000 i.e.) en 1.270 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.	
OPGESTELD VERMOGEN	Hoofdverbruikers: opvoer en terugspoeling.	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Min (kW)	12	45
Max (kW)	20	76

VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN**EFFLUENT STIKSTOF**

Na zowel het zandfilter als het GAK-filter zijn de volgende concentraties haalbaar:

NH ₄ -N	mg N/l	1,0
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	0,75
N _{org-particulair}	mg N/l	0,18
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5
N-totaal	mg N/l	3,4

Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:

NH ₄ -N	mg N/l	1,0
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	1,34
N _{org-particulair}	mg N/l	0,23
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5
N-totaal	mg N/l	4,1

Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de N-totaalconcentratie met ca. 2,6 mg N/l.

EFFLUENT FOSFOR

Na zowel het zandfilter als het GAK-filter zijn de volgende concentraties haalbaar:

PO ₄ -P	mg P/l	0,05
P _{org-particulair}	mg P/l	0,09
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
P _{MG}	mg P/l	<0,05
P-totaal	mg P/l	0,28

Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:

PO ₄ -P	mg P/l	0,15
P _{org-particulair}	mg P/l	0,12
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
P-totaal	mg P/l	0,40

Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de P-totaalconcentratie met ca. 0,5 mg P/l.

KOSTEN EN CO_{2eq} FOOTPRINT**KOSTEN**Zandfilter

	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	3.200.000 – 7.400.000	7.100.000 – 16.560.000
OPEX (EUR/j)	147.000	465.000
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,27 – 0,50	0,13 – 0,23
Per v.e. (EUR/v.e.)	20,6 – 38,3	10,3 – 17,8

GAK-filter

	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	3.200.000 – 7.560.000	7.400.000 – 17.350.000
OPEX (EUR/j)	148.000	471.000
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,27 – 0,51	0,14 – 0,24
Per v.e. (EUR/v.e.)	21,0 – 39,1	10,7 – 18,6

CO_{2eq} FOOTPRINTZandfilter

	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	87	84
Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	5.351	5.163

(5-8% materialen, 8% slibeindverwerking, 66-68% hulpstoffen, 18-19% energie)

GAK-filter

	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	95	92
Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.-j))	5.810	5.621

(13-16% materialen, 7% slibeindverwerking, 61-63% hulpstoffen, 17% energie)

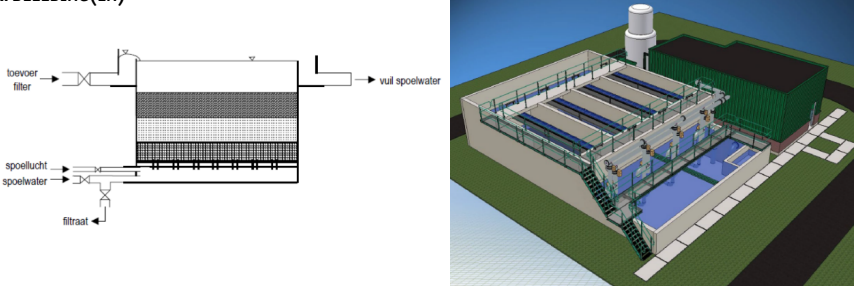
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD

- Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (8 – 15%).
- Terugspoelingsregeling kan uitgevoerd worden op basis van vervuiling van het filterbed, op basis van tijd, of allebei.
- Nitraatverwijdering vraagt dat filterbedden periodiek worden ontdaan van stikstofgasbellen d.m.v. een korte spoeling.
- ATEX-zone rondom het vulpunt van de methanol opslag. De opslag zelf kan in een terp worden voorzien, hiervoor geldt géén zonering.
- Bij grote verwijderde nitraatvrachten moet aandacht worden besteed aan het bestrijden van ophopende stikstofgasbellen in de filters.

OVERIGE AANDACHTSPUNTEN

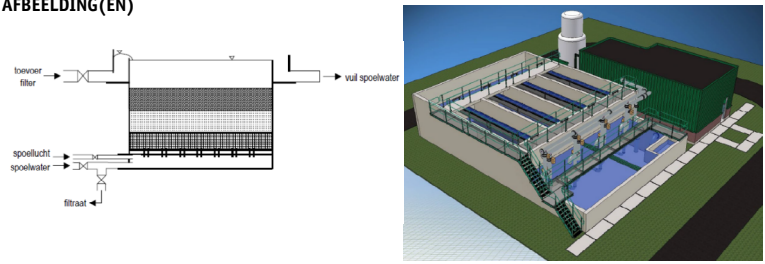
- Risico op P-limitatie voor denitrificerende biomassa bij zeer lage ingaande PO₄-P concentraties (< 0,05 mgPO₄-P/mg NO_x-N).
- Hoge terugspoelfrequentie bij hoge waarden voor PO₄-P, NO₃-N en/of zwevende stof.
- Methanol wordt als C-bron geadviseerd. Alternatieven C-bronnen (bv. azijnzuur) kunnen leiden tot schimmelgroei en onomkeerbare verstopping van filterbed.
- Methanolverbruik kan worden bespaard als de concentratie opgeloste zuurstof in de toevoer naar het filter wordt beperkt (valhoogte beperken bij verdeelwerken, beperken overstort nabezinktank e.d.)
- De inpassing van een vastbedfilter zorgt voor een aanvullende belasting op de hoofdzuivering door de terugvoer van de spoelwaterstroom. Het maximum slibgehalte neemt afhankelijk van de RWA/DWA factor daardoor iets af.
- Typisch wordt FeCl₃ toegepast voor het binden van fosfor. Andere metaalzouten zijn ook mogelijk.
- Er zijn aanwijzingen dat P-verwijdering beter verloopt bij de toepassing van GAK in plaats van zand, maar deze zijn nog niet op breed op praktisch schaal geverifieerd.

16. VASTBED MEDIAFILTRATIE VOOR PO₄-P VERWIJDERING

Vastbed mediafiltratie voor PO ₄ -P verwijdering	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen. Effluent zwevende stof mag niet te hoog zijn: gemiddeld ≤ 15 mg/l en ≤ 35 mg/l bij pieken. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op filters te voorkomen.									
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering P-totaal (PO ₄)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Door coagulatie/precipitatie op de filtratiestap worden zware metalen mogelijk deels verwijderd. Beperkte P-totaal en N-totaal reductie (onopgeloste organische fracties) door afgangst van OB.									
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Gravitaire filtratie door middel van zand of granulaire actiefkool resulteert in zwevende stof afgang. Hierdoor worden de onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) verwijderd. - Door dosering van metaalzouten wordt orthofosfaat verwijderd (afname van P-totaal-concentratie). Coagulatie vindt plaats boven het filtermedium; hierdoor is geen behoefte aan een separate coagulatietank. - Voor periodieke terugspoeling is de installatie voorzien van een filtraattank en een tank voor vuil spoelwater. Het vuile spoelwater kan worden teruggebracht naar de voorbehandeling, hoofdzuivering of nabezinking, afhankelijk van de vuilgraad. Het spoelwater wordt gebufferd en geleidelijk op de zuivering teruggebracht om hydraulische schokbelasting te voorkomen. 	AFBEELDING(EN) 									
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK Huisman, 2004. Rapid Filtration. Sanitary engineering department, TU Delft STOWA 2006-21. Filtratietechnieken rwzi's STOWA 2009-32. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Amersfoort, 303.773 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Land van Cuijk, 158.667 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Harderwijk, 209.000 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Horstermeer, 181.333 i.e. (150 g TZV/d) rwzi Utrecht, 430.000 i.e. (150 g TZV/d)									
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9. Er zijn momenteel meerdere installaties in ontwerp in relatie tot de KRW.										
RAAKVLAKKEN EUWWTD	De Richtlijn Stedelijk Afvalwater stuurt aan op tertiaire behandeling voor rwzi's in de toekomst. Deze techniek past goed in dit beeld. Indien het filtermedium granulaire actief kool is vindt (een zeker mate van) verwijdering van microverontreinigingen plaats. Let op, voor een 80% verwijderingsrendement voor microverontreinigingen is een ca. 2 maal langere contacttijd nodig t.o.v. nutriëntenverwijdering. Voor nutriëntenverwijdering volstaat een contacttijd van 8-10 minuten, voor verwijdering van microverontreinigingen is een contacttijd van 15-20 minuten vereist).										
NETTO RUIMTEBESLAG	Voor zowel zandfilter als GAK-filter: 290 m ² (20.000 i.e.) en 770 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.										
OPGESTELD VERMOGEN	Hoofdverbruikers: opvoer en terugspoeling. <table border="1" data-bbox="488 1241 1249 1337"> <thead> <tr> <th></th> <th>20.000 i.e.</th> <th>100.000 i.e.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Min (kW)</td> <td>12</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Max (kW)</td> <td>20</td> <td>76</td> </tr> </tbody> </table>			20.000 i.e.	100.000 i.e.	Min (kW)	12	45	Max (kW)	20	76
	20.000 i.e.	100.000 i.e.									
Min (kW)	12	45									
Max (kW)	20	76									

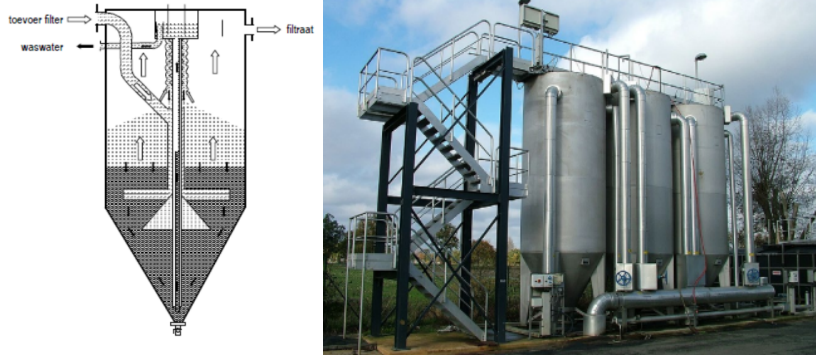
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF	EFFLUENT FOSFOR																														
	Na zowel het zandfilter als het GAK-filter is de volgende concentratie haalbaar:	Na zowel het zandfilter als het GAK-filter zijn de volgende concentraties haalbaar:																														
	<table border="1"> <tr><td>NH₄-N</td><td>mg N/l</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>NO₃-N / NO_x-N</td><td>mg N/l</td><td>4,6</td></tr> <tr><td>N_{org-particulair}</td><td>mg N/l</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>N_{org-opgelost}</td><td>mg N/l</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>N-totaal</td><td>mg N/l</td><td>6,4</td></tr> </table>	NH ₄ -N	mg N/l	0,15	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,6	N _{org-particulair}	mg N/l	0,18	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	6,4	<table border="1"> <tr><td>PO₄-P</td><td>mg P/l</td><td>0,05</td></tr> <tr><td>P_{org-particulair}</td><td>mg P/l</td><td>0,09</td></tr> <tr><td>P_{org-opgelost}</td><td>mg P/l</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>P_{MG}</td><td>mg P/l</td><td><0,05</td></tr> <tr><td>P-totaal</td><td>mg P/l</td><td>0,28</td></tr> </table>	PO ₄ -P	mg P/l	0,05	P _{org-particulair}	mg P/l	0,09	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	P _{MG}	mg P/l	<0,05	P-totaal	mg P/l	0,28
NH ₄ -N	mg N/l	0,15																														
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,6																														
N _{org-particulair}	mg N/l	0,18																														
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5																														
N-totaal	mg N/l	6,4																														
PO ₄ -P	mg P/l	0,05																														
P _{org-particulair}	mg P/l	0,09																														
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14																														
P _{MG}	mg P/l	<0,05																														
P-totaal	mg P/l	0,28																														
	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:																														
	<table border="1"> <tr><td>NH₄-N</td><td>mg N/l</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>NO₃-N / NO_x-N</td><td>mg N/l</td><td>4,4</td></tr> <tr><td>N_{org-particulair}</td><td>mg N/l</td><td>0,23</td></tr> <tr><td>N_{org-opgelost}</td><td>mg N/l</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>N-totaal</td><td>mg N/l</td><td>6,5</td></tr> </table>	NH ₄ -N	mg N/l	0,32	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,4	N _{org-particulair}	mg N/l	0,23	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	6,5	<table border="1"> <tr><td>PO₄-P</td><td>mg P/l</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>P_{org-particulair}</td><td>mg P/l</td><td>0,12</td></tr> <tr><td>P_{org-opgelost}</td><td>mg P/l</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>P-totaal</td><td>mg P/l</td><td>0,40</td></tr> </table>	PO ₄ -P	mg P/l	0,15	P _{org-particulair}	mg P/l	0,12	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14	P-totaal	mg P/l	0,40			
NH ₄ -N	mg N/l	0,32																														
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,4																														
N _{org-particulair}	mg N/l	0,23																														
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5																														
N-totaal	mg N/l	6,5																														
PO ₄ -P	mg P/l	0,15																														
P _{org-particulair}	mg P/l	0,12																														
P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14																														
P-totaal	mg P/l	0,40																														
	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ntotaalconcentratie met ca. 0,2 mg N/l.	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de P-totaalconcentratie met ca. 0,5 mg P/l.																														
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN	CO _{2eq} FOOTPRINT																														
	<u>Zandfilter</u>	<u>Zandfilter</u>																														
	20.000 i.e.	100.000 i.e.																														
	Investeringskosten (EUR)	2.000.000 – 4.690.000																														
	OPEX (EUR/j)	98.000																														
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,17 – 0,31																														
	Per v.e. (EUR/v.e.)	13,1 – 24,1																														
	20.000 i.e.	100.000 i.e.																														
	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	40																														
	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e. j))	2.442																														
		(11-18% materialen, 13-14% slibeindverwerking, 30-33% hulpstoffen, 39-43% energie)																														
	<u>GAK-filter</u>	<u>GAK-filter</u>																														
	20.000 i.e.	100.000 i.e.																														
	Investeringskosten (EUR)	2.100.000 – 4.850.000																														
	OPEX (EUR/j)	99.000																														
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,18 – 0,32																														
	Per v.e. (EUR/v.e.)	13,5 – 24,9																														
	20.000 i.e.	100.000 i.e.																														
	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	47																														
	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e. j))	2.901																														
		(26-31% materialen, 11-12% slibeindverwerking, 25-27% hulpstoffen, 33-35% energie)																														
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (8 – 12%). - Terugspoelingsregeling kan uitgevoerd worden op basis van vervuiling van het filterbed, op basis van tijd, of allebei. 																															
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge terugspoelfrequentie bij hoge waarden voor PO₄-P en/of zwevende stof. - De inpassing van een vastbedfilter zorgt voor een aanvullende belasting op de hoofdzuivering door de terugvoer van de spoelwaterstroom. Het maximum slibgehalte neemt afhankelijk van de RWA/DWA factor daardoor iets af. - Typisch wordt FeCl₃ toegepast voor het binden van fosfor. Andere metaalzouten zijn ook mogelijk. - Er zijn aanwijzingen dat P-verwijdering beter verloopt bij de toepassing van GAK in plaats van zand, maar deze zijn nog niet op breed op praktijkschaal geverifieerd. 																															

17. VASTBED MEDIAFILTRATIE VOOR NH₄-N VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen. Effluent zwevende stof mag niet te hoog zijn: gemiddeld ≤ 15 mg/l en ≤ 35 mg/l bij pieken. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op filters te voorkomen.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDOEL Verwijdering NH ₄ (beperkte N-totaal verwijdering)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Beperkte P-totaal en N-totaal reductie (onopgeloste organische fracties) door afvangst van OB.
WERKINGSPRINCIPE	<p>WERKINGSPRINCIPE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravitaire filtratie door middel van zand of granulaire actiefkool resulteert in zwevende stof afvang. Hierdoor worden de onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) verwijderd. - Bij voldoende opgelost zuurstof (4,57 kg O₂/kg NH₄-N) vindt nitrificatie plaats, waardoor ammonium wordt omgezet naar nitraat. - In de berekeningen is uitgegaan van een beluchtingstank om oxidische omstandigheden te garanderen. Afhankelijk van de O₂- en NH₄-concentraties kan de beluchting wel of niet nodig zijn. - Voor het verwijderen/afvangen van hoge concentraties ammonium of ammoniumpieken (> 2 mg N/l) dient de concentratie opgeloste zuurstof in de toevoer van de filters verhoogd te worden tot > 10 mg O₂/l. Dit kan niet met buitenlucht worden bereikt; derhalve dient pure zuurstof aangewend te worden. - Voor periodieke terugspoeling is de installatie voorzien van een filtraattank en een tank voor vuil spoelwater. Het vuile spoelwater kan worden teruggebracht naar de voorbehandeling, hoofdzuivering of nabezinking, afhankelijk van de vuilgraad. Het spoelwater wordt gebufferd en geleidelijk op de zuivering teruggebracht om hydraulische schokbelasting te voorkomen. 	AFBEELDING(EN)
		
LITERATUUR EN REFERENTIES	<p>RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK</p> <p>Huisman, 2004. Rapid Filtration. Sanitary engineering department, TU Delft</p> <p>STOWA 2006-21. Filtratietechnieken rwzi's</p> <p>STOWA 2009-32. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West</p>	FULL SCALE REFERENTIES UltraPuurWater Fabriek Nieuw-Amsterdam, rwzi Emmen, capaciteit 8.000 m ³ /dag
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9. Er zijn diverse aerobe mediafilters in ontwerp in relatie tot medicijnrestenverwijdering.	
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Verwijdering van microverontreinigingen als granulaire actief kool is gebruikt als filtermedium. Let op, daarvoor is een 2x zo groot volume filtermedium nodig. Als nitrificerende filters gevoed worden met zuurstofrijk water, bijv. de afloop van een ozonisatie, kunnen beluchtingskosten gereduceerd worden.	
NETTO RUIMTEBESLAG	Voor zowel zandfilter als GAK-filter: 310 m ² (20.000 i.e.) en 880 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.	
OPGESTELD VERMOGEN	Hoofdverbruikers: opvoer, beluchting en terugspoeling.	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Min (kW)	45
	Max (kW)	76

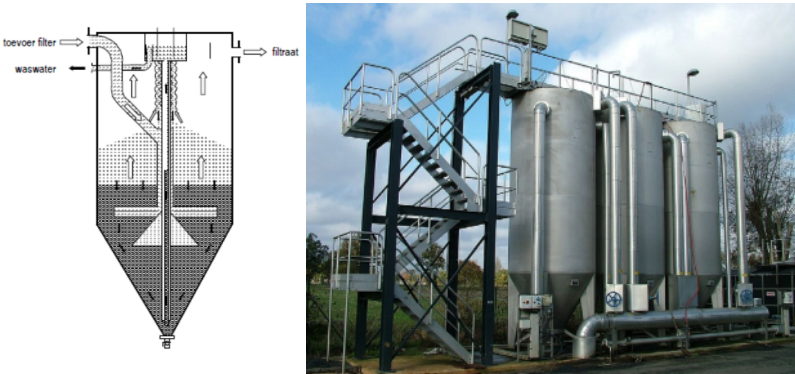
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF		EFFLUENT FOSFOR			
	Na zowel het zandfilter als het GAK-filter zijn de volgende concentraties haalbaar:		Na zowel het zandfilter als het GAK-filter is de volgende concentratie haalbaar:			
	NH ₄ -N	mg N/l	0,15	P _{org, partculair}	mg P/l	0,09
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,6	PO ₄ -P	mg P/l	0,53
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,18	P _{org-particulair}	mg P/l	0,09
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N-totaal	mg N/l	6,4	P-totaal	mg P/l	0,76
	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:		Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:			
	NH ₄ -N	mg N/l	0,32	PO ₄ -P	mg P/l	0,53
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,4	P _{org-particulair}	mg P/l	0,12
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,23	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,79
	N-totaal	mg N/l	6,5	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ptotaalconcentratie met ca. 0,1 mg P/l.		
	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ntotaalconcentratie met ca. 0,2 mg N/l. De NH ₄ -N concentratie daalt met ca. 0,7 mg N/l.					
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN		CO _{2eq} FOOTPRINT			
	Zandfilter		Zandfilter			
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	1.600.000 – 3.800.000	5.700.000 – 13.210.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	28	25
	OPEX (EUR/j)	77.000	227.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	1.685	1.506
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,13 – 0,25	0,09 – 0,16	(22-30% materialen, 6-7% slibeindverwerking, 63-71% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	10,3 – 18,8	6,6 – 12,4	GAK-filter		
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	1.700.000 – 3.960.000	6.000.000 – 14.000.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	35	32
	OPEX (EUR/j)	78.000	233.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	2.144	1.965
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,14 – 0,26	0,09 – 0,17	(40-45% materialen, 5% slibeindverwerking, 50-54% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	10,6 – 19,6	7,0 – 13,2			
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (8 – 12%).					
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- Terugspoelingsregeling kan uitgevoerd worden op basis van vervuiling van het filterbed, op basis van tijd, of allebei.					
	- De inpassing van een vastbedfilter zorgt voor een aanvullende belasting op de hoofdzuivering door de terugvoer van de spoelwaterstroom. Het maximum slibgehalte neemt afhankelijk van de RWA/DWA factor daardoor iets af.					
	- Er zijn aanwijzingen dat P-verwijdering beter verloopt bij de toepassing van GAK in plaats van zand, maar deze zijn nog niet op breed op praktischschaal geverifieerd.					
	- De combinatie van P-verwijdering en een nitrificerend mediumfilter waarin ook medicijnresten moeten worden verwijderd (BODAC / BAKF) zijn nog onvoldoende onderzocht.					

18. BEWEGEND BED MEDIAFILTRATIE VOOR NO_x EN PO₄-P VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op filters te voorkomen.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x) en P-totaal (PO ₄)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Door coagulatie/precipitatie op de filtratiestap worden zware metalen mogelijk deels verwijderd. Beperkte P-totaal en N-totaal reductie (onopgeloste organische fracties) door afvangst van OB.
WERKINGSPRINCIPE	<p>WERKINGSPRINCIPE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Filtratie vindt plaats doordat water opwaarts stroomt en daarbij het neerwaarts bewegende medium (zand of granulaire actiefkool) doorstroomt. Zwevende stof wordt afgevangen; hierdoor worden de onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) verwijderd. - Dosering van een externe koolstofbron resulteert in denitrificatie, dus een afname van de N-totaal-concentratie. - Door dosering van metaalzouten wordt orthofosfaat verwijderd (afname van P-totaal-concentratie). Coagulatie vindt plaats in het filter; hierdoor is geen separate coagulatietank nodig. - Terugspoeling vindt continu plaats waarbij de filtercapaciteit continu behouden blijft. Hierdoor is geen noodzaak voor de opvang van filtraat en vuil spoelwater in buffertanks. - In dit factsheet is enkel uitgegaan van zand als medium, aangezien bewegend bed GAK-filters nog niet op relevante schaal zijn getest (TRL < 7). 	<p>AFBEELDING(EN)</p> 
LITERATUUR EN REFERENTIES	<p>RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK</p> <p>Huisman, 2004. Rapid Filtration. Sanitary engineering department, TU Delft</p> <p>STOWA 2006-21. Filtratietechnieken rwzi's</p> <p>STOWA 2009-32. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West</p>	<p>FULL SCALE REFERENTIES</p> <p>rwzi Leiden Noord, 137.573 i.e. (150 g TZV/d)</p> <p>rwzi Wjilre, 57.845 i.e. (150 g TZV)</p> <p>rwzi de Groote Lucht, 258.400 i.e. (150 g TZV/d) (uit bedrijf)</p>
TRL	<p>Zand als filtermedium: TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.</p> <p>GAK als filtermedium: TRL in 2024: 6, doorkijk naar 2027: 7.</p>	
RAAKVLAKKEN EUWWD	<p>Denitrificatie is een anoxisch proces (zuurstofloos). Alle aanwezige zuurstof verbruikt koolstofbron (methanol) en heeft daarmee een negatief effect op kosten en duurzaamheid. Wanneer denitrificerende filters gevoed worden met een zuurstofrijk effluent, zoals de afloop van een ozoninstallatie, zijn er extra maatregelen nodig om de concentratie opgeloste zuurstof in de aanvoer naar het filter te minimaliseren. Voorbeelden van maatregelen zijn een alternatief ontwerp voor de ozoninstallatie gericht op minimalisatie van zuurstofoverdracht, de productie van ozon uit buitenlucht, of het voorzien van een extra ontluchtingsstap. Dergelijke maatregelen kunnen een aanzienlijke reductie van het verbruik van koolstofbron opleveren.</p>	
NETTO RUIMTEBESLAG	730 m ² (20.000 i.e.) en 810 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag	
OPGESTELD VERMOGEN	Hoofdverbruikers: opvoer en terugspoeling.	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Min (kW)	10	46
Max (kW)	16	77

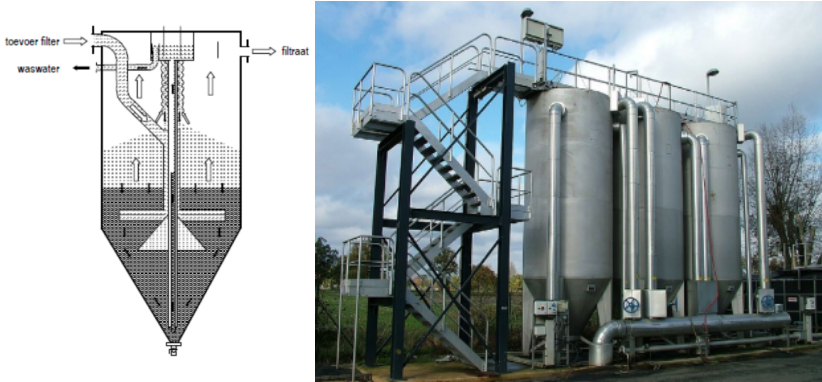
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF			EFFLUENT FOSFOR		
		Na het zandfilter zijn de volgende concentraties haalbaar:			Na het zandfilter zijn de volgende concentraties haalbaar:	
	NH ₄ -N	mg N/l	1,0	PO ₄ -P	mg P/l	0,05
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	0,75	P _{org-particulair}	mg P/l	0,18
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,36	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P _{MG}	mg P/l	<0,05
	N-totaal	mg N/l	3,6	P-totaal	mg P/l	0,37
	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:			Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:		
	NH ₄ -N	mg N/l	1,0	PO ₄ -P	mg P/l	0,15
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	1,34	P _{org-particulair}	mg P/l	0,19
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,38	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,47
	N-totaal	mg N/l	4,2	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ptotaalconcentratie met ca. 0,4 mg P/l.		
	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ntotaalconcentratie met ca. 2,5 mg N/l.					
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN			CO _{2eq} FOOTPRINT		
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	2.200.000 – 5.190.000	5.300.000 – 12.440.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	93	90
	OPEX (EUR/j)	135.000	456.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	5.702	5.528
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,21 – 0,37	0,11 – 0,19	(4-7% materialen, 6% slibeindverwerking, 62-64% hulpstoffen, 26% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	16,1 – 28,5	8,8 – 14,5			
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (10 – 20%). - ATEX-zone rondom het vulpunt van de methanol opslag. De opslag zelf kan in een terp worden voorzien, hiervoor geldt géén zonering. - Bij grote verwijderde nitraatvrachten moet aandacht worden besteed aan het bestrijden van ophopende stikstofgasbellen in de filters. 					
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Risico op P-limitatie voor denitrificerende biomassa bij zeer lage ingaande PO₄-P concentraties (< 0,05 mgPO₄-P/g NO_x-N) - Methanol wordt bij toepassing op grote schaal als C-bron geadviseerd gelet op de relatief lage kosten van methanol en de lage bijbehorende slibproductie. Daarentegen dient rekening te worden gehouden met meer kosten in de aanleg en ATEX-zonering van het vulpunt. Voor toepassing op beperkte schaal zijn andere C-bronnen mogelijk aantrekkelijker. - Alternatieve (commercieel verkrijgbare) C-bronnen (bv. azijnzuur) zijn mogelijk, dit geeft meer slibproductie, operationele kosten en CO₂ footprint. - De inpassing van een bewegend bed filter zorgt voor een aanvullende belasting op de hoofdzuivering door de terugvoer van de spoelwaterstroom. Het maximum slibgehalte neemt afhankelijk van de RWA/DWA factor daardoor iets af. - Bewegend bed mediafiltratie wordt meestal in stalen tanks uitgevoerd en kan modulair worden opgebouwd. 					

19. BEWEGEND BED MEDIAFILTRATIE VOOR PO_4 P VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op filters te voorkomen.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering P-totaal (PO_4)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Door coagulatie/precipitatie op de filtratiestap worden zware metalen mogelijk deels verwijderd. Beperkte P-totaal en N-totaal reductie (onopgeloste organische fracties) door afvangst van OB.
WERKINGSPRINCIPE	<p>WERKINGSPRINCIPE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Filtratie vindt plaats doordat water opwaarts stroomt en daarbij het neerwaarts bewegende medium (zand of granulaire actiefkool) doorstroomt. Zwevende stof wordt afgevangen; hierdoor worden de onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) verwijderd. - Door dosering van metaalzouten wordt orthofosfaat verwijderd (afname van P-totaal-concentratie). Coagulatie vindt plaats in het filter; hierdoor is geen separate coagulatietank nodig. - Terugspoeling vindt continu plaats waarbij de filtercapaciteit continu behouden blijft. Hierdoor is geen noodzaak voor de opvang van filtraat en vuil spoelwater in buffertanks. - In dit factsheet is enkel uitgegaan van zand als medium, aangezien bewegend bed GAK-filters nog niet op relevante schaal zijn getest (TRL < 7). 	<p>AFBEELDING(EN)</p> 
LITERATUUR EN REFERENTIES	<p>RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK</p> <p>Huisman, 2004. Rapid Filtration. Sanitary engineering department, TU Delft</p> <p>STOWA 2006-21. Filtratietechnieken rwzi's.</p> <p>STOWA 2009-32. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-west</p>	<p>FULL SCALE REFERENTIES</p> <p>rwzi Leiden Noord, 137.573 i.e. (150 g TZV/d)</p> <p>rwzi Wijlre, 57.845 i.e. (150 g TZV)</p> <p>rwzi de Groote Lucht, 258.400 i.e. (150 g TZV/d) (uit bedrijf)</p>
TRL	<p>Zand als filtermedium: TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.</p> <p>GAK als filtermedium: TRL in 2024: 6, doorkijk naar 2027: 7</p>	
RAAKVLAKKEN EUWWTD	De Richtlijn Stedelijk Afvalwater stuurt aan op tertiaire behandeling voor rwzi's in de toekomst. Deze techniek past goed in dit beeld.	
NETTO RUIMTEBESLAG	230 m ² (20.000 i.e.) en 310 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag	
OPGESTELD VERMOGEN	Hoofdverbruikers: opvoer en terugspoeling.	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Min (kW)	10	46
Max (kW)	16	77

VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF			EFFLUENT FOSFOR		
		Na het zandfilter is de volgende concentratie haalbaar:			Na het zandfilter zijn de volgende concentraties haalbaar:	
	NH ₄ -N	mg N/l	0,15	PO ₄ -P	mg P/l	0,05
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,6	P _{org-particulair}	mg P/l	0,18
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,36	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P _{MG}	mg P/l	<0,05
	N-totaal	mg N/l	6,6	P-totaal	mg P/l	0,37
	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:			Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:		
	NH ₄ -N	mg N/l	0,32	PO ₄ -P	mg P/l	0,15
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,4	P _{org-particulair}	mg P/l	0,19
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,38	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,47
	N-totaal	mg N/l	6,6	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ptotaalconcentratie met ca. 0,4 mg P/l.		
	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ntotaalconcentratie met ca. 0,1 mg N/l.					
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN			CO _{2eq} FOOTPRINT		
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	1.400.000 – 3.290.000	4.500.000 – 10.410.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	46	43
	OPEX (EUR/j)	93.000	297.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	2.803	2.630
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,14 – 0,24	0,08 – 0,14	(8-14% materialen, 9% slibeindverwerking, 26-28% hulpstoffen, 51-55% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	10,4 – 18,1	6,5 – 11,1			
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (10 – 20%).					
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- De inpassing van een bewegend bed filter zorgt voor een aanvullende belasting op de hoofdzuivering door de terugvoer van de spoelwaterstroom. Het maximum slibgehalte neemt afhankelijk van de RWA/DWA factor daardoor iets af.					
	- Bewegend bed mediafiltratie wordt meestal in stalen tanks uitgevoerd en kan modulair worden opgebouwd.					

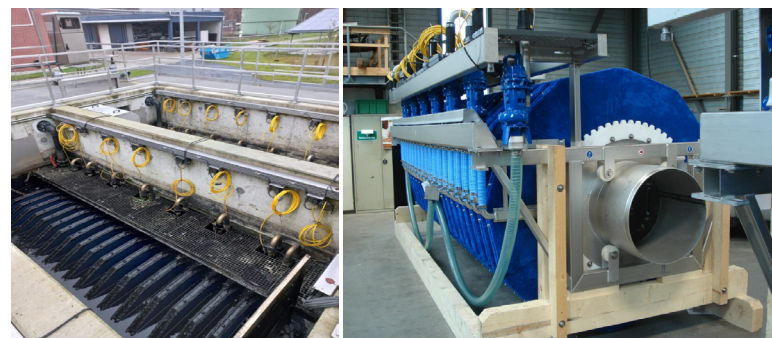
20. BEWEGEND BED MEDIAFILTRATIE VOOR NH₄-N VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op filters te voorkomen.									
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDOEL Verwijdering NH ₄ (beperkte N-totaal verwijdering)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Beperkte P-totaal en N-totaal reductie (onopgeloste organische fracties) door afvangst van OB.									
WERKINGSPRINCIPE	<p>WERKINGSPRINCIPE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Filtratie vindt plaats doordat water opwaarts stroomt en daarbij het neerwaarts bewegende medium (zand of granulaire actiefkool) doorstroomt. Zwevende stof wordt afgevangen; hierdoor worden de onopgeloste N- en P-fracties (SON en SOP) verwijderd. - Bij voldoende opgelost zuurstof (4,57 kg O₂/kg NH₄-N) vindt nitrificatie plaats, waardoor ammonium wordt omgezet naar nitraat. - In de berekeningen is uitgegaan van een beluchtingstank om oxidische omstandigheden te garanderen. Afhankelijk van de O₂- en NH₄-concentraties kan de beluchting wel of niet nodig zijn. Zuurstof kan ook door verdeelwerken en overlopen worden ingebracht. - Terugspoeling vindt continu plaats waarbij de filtercapaciteit continu behouden blijft. Hierdoor is geen noodzaak voor de opvang van filtraat en vuil spoelwater in buffertanks. - In dit factsheet is enkel uitgegaan van zand als medium, aangezien bewegend bed GAK-filters nog niet op relevante schaal zijn getest (TRL < 7). 	<p>AFBEELDING(EN)</p> 									
LITERATUUR EN REFERENTIES	<p>RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK</p> <p>Huisman, 2004. Rapid Filtration. Sanitary engineering department, TU Delft</p> <p>STOWA 2006-21. Filtratietechnieken rwzi's</p> <p>STOWA 2009-32. Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West</p>	FULL SCALE REFERENTIES Niet bekend.									
TRL	<p>Zand als filtermedium: TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.</p> <p>GAK als filtermedium: TRL in 2024: 6, doorkijk naar 2027: 7.</p>										
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Als nitrificerende filters gevoed worden met zuurstofrijk water, bijv. de afloop van een ozonisatie, kunnen beluchtingskosten gereduceerd worden.										
NETTO RUIMTEBESLAG	180 m ² (20.000 i.e.) en 260 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.										
OPGESTELD VERMOGEN	<p>Hoofdverbruikers: opvoer, beluchting en terugspoeling.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>20.000 i.e.</th> <th>100.000 i.e.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Min (kW)</td> <td>10</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>Max (kW)</td> <td>16</td> <td>77</td> </tr> </tbody> </table>		20.000 i.e.	100.000 i.e.	Min (kW)	10	46	Max (kW)	16	77	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.									
Min (kW)	10	46									
Max (kW)	16	77									

VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF		EFFLUENT FOSFOR			
	Na het zandfilter zijn de volgende concentraties haalbaar:		Na het zandfilter is de volgende concentratie haalbaar:			
	NH ₄ -N	mg N/l	0,15	PO ₄ -P	mg P/l	0,53
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,6	P _{org-particulair}	mg P/l	0,18
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,36	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,85
	N-totaal	mg N/l	6,6			
	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:			Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:		
	NH ₄ -N	mg N/l	0,32	PO ₄ -P	mg P/l	0,53
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,4	P _{org-particulair}	mg P/l	0,19
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,38	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,86
	N-totaal	mg N/l	6,6			
	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de N _{totaal} concentratie met ca. 0,1 mg N/l. De NH ₄ -N concentratie daalt met ca. 0,7 mg N/l.			Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de P _{totaal} concentratie met ca. 0,04 mg P/l.		
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN		CO _{2eq} FOOTPRINT			
		20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.	
	Investeringskosten (EUR)	1.100.000 – 2.670.000	4.300.000 – 9.930.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	32	30
	OPEX (EUR/j)	74.000	228.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	1.987	1.817
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,11 – 0,19	0,07 – 0,13	(11-18% materialen, 1% slibeindverwerking, 81-88% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	8,2 – 14,2	5,5 – 9,9			
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (10 – 20%).					
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- De inpassing van een bewegend bed filter zorgt voor een aanvullende belasting op de hoofdzuivering door de terugvoer van de spoelwaterstroom. Het maximum slibgehalte neemt afhankelijk van de RWA/DWA factor daardoor iets af.					
	- Bewegend bed mediafiltratie wordt meestal in stalen tanks uitgevoerd en kan modulair worden opgebouwd.					

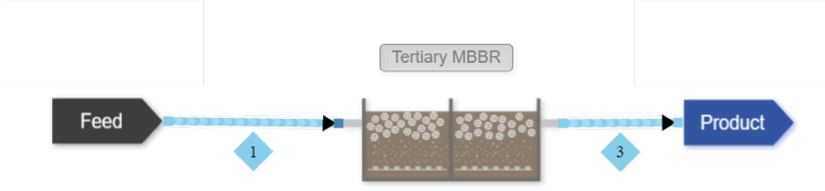
21. DOEFILTER

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen. Zwevende stof mag niet te hoog zijn: gemiddeld ≤ 15 mg/l en ≤ 35 mg/l bij pieken. Voor batch-systemen is mogelijk een effluentbuffer nodig om schokbelasting op de filters te voorkomen.
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering P-totaal (PO_4)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST Door coagulatie/precipitatie worden zware metalen mogelijk deels verwijderd.
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Filtratie vindt plaats op de filterdoeken. Water doorstroomt het filterdoek van buiten naar binnen. Zwevende stof blijft achter op het filterdoek en vormt een extra filtratielaag. - Filtraat stroomt vanuit de binnenkant van de schijven naar de uitlaat. - Als de drukval een grenswaarde bereikt vindt een automatische reinigingscyclus plaats, zonder dat het filtratieproces wordt onderbroken. - Tijdens het terugspoelen wordt het filter langzaam geroteerd. Zwevende stof wordt van het doek gezogen door een terugspoelpomp. - Door het doseren van metaalzouten wordt orthofosfaat verwijderd (afname van P-totaal-concentratie). Flocculatie vindt plaats in een aparte tank voorafgaand aan de filtratie. 	AFBEELDING(EN)
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2022-45. Pilot PAK + doekfiltratie	FULL SCALE REFERENTIES rwzi Gieten, 50.000 i.e. (150 g TZV/d), leverancier: Eliquo/Mecana
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.	
RSA PROOF?	Doekenfilters kunnen worden toegepast in combinatie met nageschakelde poederkooldosering, als afscheidingstap, voor de verwijdering van microverontreinigingen. Let op: kosten, CO_2 -footprint en ruimtebeslag van de poederkoolinstallatie, mengtank en reactietank zijn niet meegenomen in dit factsheet.	
NETTO RUIMTEBESLAG	220 m ² (20.000 i.e.) en 270 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. netto ruimtebeslag.	
OPGESTELD VERMOGEN	Hoofdverbruikers: opvoer en terugspoeling.	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Min	10
	Max	17



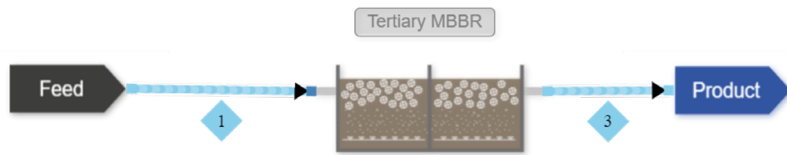
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF			EFFLUENT FOSFOR		
		Na het doekfilter is de volgende concentratie haalbaar:			Na het doekfilter zijn de volgende concentraties haalbaar:	
	NH ₄ -N	mg N/l	1,0	PO ₄ -P	mg P/l	0,05
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	3,7	P _{org-particulair}	mg P/l	0,09
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,18	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,28
	N-totaal	mg N/l	6,4			
	Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:			Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:		
	NH ₄ -N	mg N/l	1,0	PO ₄ -P	mg P/l	0,15
	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	3,7	P _{org-particulair}	mg P/l	0,12
	N _{org-particulair}	mg N/l	0,23	P _{org-opgelost}	mg P/l	0,14
	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	P-totaal	mg P/l	0,40
	N-totaal	mg N/l	6,5			
	Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ntotaalconcentratie met ca. 0,2 mg N/l.			Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de Ptotaalconcentratie met ca. 0,5 mg P/l.		
KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN			CO _{2eq} FOOTPRINT		
		20.000 i.e.	100.000 i.e.		20.000 i.e.	100.000 i.e.
	Investeringskosten (EUR)	1.700.000 – 4.020.000	4.500.000 – 10.580.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	33	28
	OPEX (EUR/j)	93.000	273.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	1.990	1.715
	Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,16 – 0,29	0,09 – 0,16	(15-26% materialen, 16-18% slibeindverwerking, 37-43% hulpstoffen, 21-24% energie)		
	Per v.e. (EUR/v.e.)	12,3 – 22,3	6,7 – 12,0			
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Extra hydraulische belasting op rwzi wegens terugvoer van spoelwater (5 – 10%). - Elke 5-10 jaar moeten de filterdoeken (niet de filterschijven) worden vervangen. - Ca. 1x per jaar dienen de filterdoeken grondig te worden gereinigd. 					
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Het hydraulisch verval over het doekenfilter is beperkt (0,5 – 1 m) waardoor mogelijk een pompfase uitgespaard kan worden. - Volgens een leverancier (Eliquo) is er geen risico op microplastics in het effluent. 					

22. MBBR VOOR NO_x-N VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen.																														
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering N-totaal (NO _x)	NEVENDOELEN/ BIJVANGST -																														
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Een moving bed bioreactor (MBBR) bestaat uit een tank gevuld met dragermateriaal en scheidings-eenheden. Op het dragermateriaal vindt biofilm-groei van biomassa plaats; de scheidings-eenheden worden gebruikt om het effluent van het dragermateriaal te separeren. - Een MBBR-systeem is compact doordat er geen slibbezinking plaatsvindt. Dit zorgt wel voor een verhoging van het ZS-gehalte in het effluent. - Inpassing in de hydraulische lijn kan zonder pompstap mogelijk zijn, door het geringe hydraulische verlies over de reactor. - In een denitrificerende MBBR is dosering van een externe koolstofbron nodig. In dit geval is uitgegaan van methanol. 	AFBEELDING(EN) 																														
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK <p>STOWA 2011-03. Evaluatie slib op drager systemen.</p> <p>Leonhard <i>et al.</i>, 2022. Single-stage MBBR as post-treatment step for upgrading large WWTPs – Experiences of one-year pilot plant operation.</p> <p>Mases <i>et al.</i>, 2010. Experiences from MBBR Post-Denitrification Process in Long-term Operation at two WWTPs.</p>	FULL SCALE REFERENTIES <p>rwzi Sjölanda, 820.000 i.e. (Zweden)</p> <p>rwzi Klagshamn, 90.000 i.e. (Zweden)</p>																														
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																															
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Geen raakvlakken.																															
NETTO RUIMTEBESLAG	590 m ² (20.000 i.e.) en 730 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag.																															
OPGESTELD VERMOGEN	2,5 kW (20.000 i.e.) en 4,5 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: mengers, doseerpomp.																															
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF <p>Na de MBBR zijn de volgende concentraties haalbaar:</p> <table border="1"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>0,86</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>3,6</td> </tr> </table> <p>Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:</p> <table border="1"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>0,89</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>1,06</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,77</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>4,2</td> </tr> </table> <p>Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de N-totaalconcentratie met ca. 2,5 mg N/l.</p>	NH ₄ -N	mg N/l	0,86	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	0,40	N _{org-particulair}	mg N/l	0,85	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	3,6	NH ₄ -N	mg N/l	0,89	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	1,06	N _{org-particulair}	mg N/l	0,77	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	4,2	EFFLUENT FOSFOR <p>Ortho-fosfaat wordt opgenomen in biomassa aangroei, de biomassa wordt met het effluent afgevoerd. De hoeveelheid totaal-P blijft zodoende gelijk.</p>
NH ₄ -N	mg N/l	0,86																														
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	0,40																														
N _{org-particulair}	mg N/l	0,85																														
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5																														
N-totaal	mg N/l	3,6																														
NH ₄ -N	mg N/l	0,89																														
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	1,06																														
N _{org-particulair}	mg N/l	0,77																														
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5																														
N-totaal	mg N/l	4,2																														

KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	1.800.000 – 4.180.000	3.000.000 – 7.020.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	63
OPEX (EUR/j)	98.000	277.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	3.869
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,15 – 0,26	0,07 – 0,10	(2-3% materialen, 93-94% hulpstoffen, 4% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	11,5 – 20,3	5,0 – 7,9	* uitgangspunt is een anoxische AnoxKaldnes™ MBBR bestaande uit 4 tanks (MBBR Deox > MBBR Post-DN 1 > MBBR Post-DN 2 > MBBR Reox) met een waterdiepte van 6 meter (ontwerp door Veolia).	
* uitgangspunt is een anoxische AnoxKaldnes™ MBBR bestaande uit 4 tanks (MBBR Deox > MBBR Post-DN 1 > MBBR Post-DN 2 > MBBR Reox) met een waterdiepte van 6 meter (ontwerp door Veolia).				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	<ul style="list-style-type: none"> - Elke 15-25 jaar moet het dragermateriaal worden vervangen. - ATEX-zone rondom het vulpunt van de methanol opslag. De opslag zelf kan in een terp worden voorzien, hiervoor geldt géén zonering. 			
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	<ul style="list-style-type: none"> - Risico op P-limitatie voor denitrificerende biomassa bij zeer lage ingaande PO₄-P concentraties (< 0,05 mgPO₄-P/g NO_x-N) - Methanol wordt bij toepassing op grote schaal als C-bron geadviseerd gelet op de relatief lage kosten van methanol en de lage bijbehorende slibproductie. Daarentegen dient rekening te worden gehouden met meer kosten in de aanleg en ATEX-zonering van het vulpunt. Voor toepassing op beperkte schaal zijn andere C-bronnen mogelijk aantrekkelijker. - Alternatieve (commercieel verkrijgbare) C-bronnen (bv. azijnzuur) zijn mogelijk, dit geeft meer slibproductie, operationele kosten en CO₂ footprint. - Methanolverbruik kan worden bespaard als de inbreng van zuurstof na het biologisch zuiveren wordt beperkt (valhoogte beperken bij verdeelwerken e.d.). - MBBR-technologie kan worden geleverd door diverse leveranciers als 'technology package'. Soms zijn delen hiervan gepatenteerd. Enkele bekende leveranciers zijn Veolia (AnoxKaldnes), Nijhuis en SigmaDAF. - Verhoogd ZS-gehalte in het effluent. De exacte hoeveelheid is afhankelijk van de hoeveelheid C-bron dosering. Voor de referentie rwzi is dit circa 15 mgOB/L. - Mogelijk risico op (micro)plastics in het effluent. 			

23. MBBR VOOR NH₄-N VERWIJDERING

	TYPE MAATREGEL Nazuivering	TOEPASSINGSGEBIED Na diverse systemen.																														
DOEL VAN DE MAATREGEL	HOOFDDOEL Verwijdering NH ₄	NEVENDOELEN/ BIJVANGST -																														
WERKINGSPRINCIPE	WERKINGSPRINCIPE <ul style="list-style-type: none"> - Een moving bed bioreactor (MBBR) bestaat uit een tank gevuld met dragermateriaal en scheidingseenheden. Op het dragermateriaal vindt biofilm-groei van biomassa plaats; de scheidingseenheden worden gebruikt om het effluent van het dragermateriaal te separeren. - Een MBBR-systeem is compact doordat er geen slibbezinking plaatsvindt. Dit zorgt wel voor een verhoging van het ZS-gehalte in het effluent. - Inpassing in de hydraulische lijn kan zonder pompstap mogelijk zijn, door het geringe hydraulische verlies over de reactor. - In een nitrificerende MBBR is beluchting nodig. 	AFBEELDING(EN) 																														
LITERATUUR EN REFERENTIES	RELEVANTE LITERATUUR VOOR DE NEDERLANDSE PRAKTIJK STOWA 2011-03. Evaluatie silb op drager systemen.	FULL SCALE REFERENTIES Niet bekend																														
TRL	TRL in 2024: 9, doorkijk naar 2027: 9.																															
RAAKVLAKKEN EUWWTD	Als aerobe MBBRs gevoed worden met zuurstofrijk water, bijv. de afloop van een ozonisatie t.b.v. verwijdering van medicijnresten, kunnen beluchtingskosten gereduceerd worden.																															
NETTO RUIMTEBESLAG	80 m ² (20.000 i.e.) en 180 m ² (100.000 i.e.). Het bruto ruimtebeslag is locatiespecifiek. Indicatie voor het bruto ruimtebeslag: factor 1,2 – 1,8 t.o.v. het netto ruimtebeslag																															
OPGESTELD VERMOGEN	3,8 kW (20.000 i.e.) en 18,7 kW (100.000 i.e.). Hoofdverbruikers: beluchting.																															
VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN	EFFLUENT STIKSTOF Na de MBBR zijn de volgende concentraties haalbaar: <table border="1" data-bbox="488 949 1243 1125"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>0,06</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>4,7</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>6,7</td> </tr> </table> <p>Bij een behandeling van 80% van het jaardebiet wordt de effluentconcentratie van de referentiezuiveringen:</p> <table border="1" data-bbox="488 1212 1243 1388"> <tr> <td>NH₄-N</td> <td>mg N/l</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>NO₃-N / NO_x-N</td> <td>mg N/l</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>N_{org-particulair}</td> <td>mg N/l</td> <td>0,47</td> </tr> <tr> <td>N_{org-opgelost}</td> <td>mg N/l</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>N-totaal</td> <td>mg N/l</td> <td>6,7</td> </tr> </table> <p>Door toepassing van deze maatregel in de referentiezuiveringen daalt de NH₄-N concentratie met ca. 0,7 mg N/l.</p>	NH ₄ -N	mg N/l	0,06	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,7	N _{org-particulair}	mg N/l	0,48	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	6,7	NH ₄ -N	mg N/l	0,25	NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,5	N _{org-particulair}	mg N/l	0,47	N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5	N-totaal	mg N/l	6,7	EFFLUENT FOSFOR n.v.t.
NH ₄ -N	mg N/l	0,06																														
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,7																														
N _{org-particulair}	mg N/l	0,48																														
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5																														
N-totaal	mg N/l	6,7																														
NH ₄ -N	mg N/l	0,25																														
NO ₃ -N / NO _x -N	mg N/l	4,5																														
N _{org-particulair}	mg N/l	0,47																														
N _{org-opgelost}	mg N/l	1,5																														
N-totaal	mg N/l	6,7																														

KOSTEN EN CO _{2eq} FOOTPRINT	KOSTEN*		CO _{2eq} FOOTPRINT*	
	20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
Investeringskosten (EUR)	400.000 – 930.000	1.200.000 – 2.780.000	Per m ³ behandeld (gCO _{2eq} /m ³)	27
OPEX (EUR/j)	58.000	166.000	Per v.e. (gCO _{2eq} /(v.e.·j))	1.664
Per m ³ behandeld (EUR/m ³)	0,06 – 0,08	0,03 – 0,05	(3-4% materialen, 96-97% energie)	
Per v.e. (EUR/v.e.)	4,4 – 6,3	2,5 – 3,7	* uitgangspunt is een aerobe AnoxKaldnes™ MBBR bestaande uit 2 tanks (MBBR N1 > MBBR N2) met een waterdiepte van 6 meter (ontwerp door Veolia).	
* uitgangspunt is een aerobe AnoxKaldnes™ MBBR bestaande uit 2 tanks (MBBR N1 > MBBR N2) met een waterdiepte van 6 meter (ontwerp door Veolia).				
AANDACHTSPUNTEN VOOR BEHEER EN ONDERHOUD	- Elke 15-25 jaar moet het dragermateriaal worden vervangen.			
OVERIGE AANDACHTSPUNTEN	- MBBR-technologie kan worden geleverd door diverse leveranciers als 'technology package'. Soms zijn delen hiervan gepatenteerd. Enkele bekende leveranciers zijn Veolia (AnoxKaldnes), Nijhuis en SigmaDAF. - Verhoogd ZS-gehalte in het effluent. De exacte hoeveelheid is afhankelijk van de hoeveelheid ammonium die wordt omgezet in biomassa. Voor de referentie rwzi circa 10 mgOB/l. - Mogelijk risico op (micro)plastics in het effluent			

BIJLAGE II

LONGLIST TECHNOLOGIEËN

Maatregel aanvoerstelsel	Factsheet	Doel	Motivatie/toelichting
DWA-afvlakking	Ja	N, P	Mogelijke bijvangst is een meer continue waterlevering en verblijftijd van waterlichamen achter de rwzi.
Bergen first-flush in het stelsel	Ja	N, P	
Afkoppelen regenwater	Ja	N, P	Mogelijke bijvangst minder overstorten in stelsel.
Doorspoelen stelsel (voorkomen van first flush condities)	Ja	N, P	Toegepast bij Waterschap de Dommel en Aquafin (BE)

Maatregel hoofdzuivering	Factsheet	Doel	Motivatie/toelichting
Optimalisatie processturing	Nee	N, P	Beter sturen op targets KRW (niet op elektriciteitsverbruik). Sturing door slimme automatisering. Bijvangst kan lachgas reductie zijn. Van toepassing op véél rwzi's.
Verhogen slibleeftijd (CAS)			
Verhogen slibgehalte binnen bestaande bezinkcapaciteit	Ja	N	Meer slibleeftijd mogelijk contraproductief voor P/ metaalzoutdosering.
Verhogen slibgehalte door bijbouwen nabezinktanks	Ja	N	
Bijbouwen biologisch volume	Ja	N	
Toepassen dragermaterialen (IFAS)	Ja	N	Meer slibleeftijd mogelijk contraproductief voor P/ metaalzoutdosering. Toepassing op rwzi Velsen.
InDENSE®	Ja	N	
Nabeluchting realiseren	Ja	NH ₄ -N	Buiten recirculatiestroom, extra nitrificatiecompartiment met verblijftijd
Verhogen slibgehalte door optimaliseren nabezinktanks	Nee	N	Aanpasbare inloop nabezinktanks (bv. Hydrograv Passavant)
Vergroten OC			
Uitbreiden beluchtingscapaciteit	Nee	N, P	
Toepassen pure zuurstof bij beluchting	Nee	N, P	Toegepast in industrie. Is naar verwachting relatief duur zonder restproduct O ₂ , nu toepassing bij gebruik van electrolyzers op rwzi's in onderzoek.
Ontlasten rwzi (wijziging samenstelling influent + verlagen belasting)			
Bijplaatsen DAF	Nee	N, P	Te ver voorbehandelen is mogelijk contraproductief voor N en P door verminderde BZV/N en BZV/P verhoudingen, dit is locatiespecifiek relevant. Pompstappen locatiespecifiek relevant.
Bijplaatsen voorbezinktanks	Nee	N, P	
Bijplaatsen fijnzeefinstallatie	Nee	N, P	
Toepassen voorprecipitatie op bestaande voorbezinktanks	Nee	N, P	Te ver voorbehandelen is mogelijk contraproductief voor N en P door verminderde BZV/N en BZV/P verhoudingen, dit is locatiespecifiek relevant.
Andere maatregelen			
C-bron dosering op de waterlijn	Ja	N	Eén factsheet voor zowel glycerine als methanol
Lokale vetzuurproductie (warme reactor)	Ja	N en/of P	
Lokale vetzuurproductie (koude reactor)	Ja	N en/of P	
Metaalzouten doseren op waterlijn	Ja	P	
Vergroten recirculatiecapaciteit	Ja	N	
Toepassen Bio-P (bouwen anaerobe tank en/of selector)	Nee	N, P	
Influentbuffer/ bergbezinkbassins	Nee	N, P	

Maatregel hoofdzuivering	Factsheet	Doel	Motivatie/toelichting
Aanvullende hoofdzuiveringstechniek	Nee	N, P	Bijbouw aerob korrelslib reactor, SBR-reactor
Maatregelen om P-release te voorkomen in sliblijn	Nee	P	
By-pass anaerobe tank en selector bij RWA	Nee	P	
EssDe/ hoofdstroom Annamox	Nee		Onvoldoende stabiel in praktijk (rwzi Den Bosch)
Afvlakking/ buffering op site	Nee		
VBT bypassen/ primair slib doseren op biologie (indien VBT aanwezig)	Nee	N, P	
MBR	Nee		Beperkte toepassing in Nederland. Vaak géén noodzaak voor vergaande zwevende stof verwijdering. Relatief hoge operationele kosten. Hoog energieverbruik.

Maatregel deelstroombehandeling	Factsheet	Doel	Motivatie/toelichting
Anammox-systemen	Ja	N	Veel toegepast als éénstaps reactor, enkele oudere toepassingen in 2 stappen reactoren.
NH ₃ stripper	Ja	N	Recent in opkomst, in het verleden al veel onderzocht
Struvietreactor	Ja	P	Bijvoorbeeld ANFOS [®] , CrystalActor [®] , Pearl [®] , Airprex [®] . Andere precipitaten zoals calciumfosfaat zijn ook denkbaar.
Doseren in gisting	Nee	P	IJzer of magnesium, beter ontwatering bij Mg als bijvangst
Nitri/Denitri (BABE)	Nee	N	Uitgefaseerd ten gunste van anammox.
Electrodialyse	Nee	N	Hoge concentraties stikstof zijn nodig. TRL te laag. Geen fact sheet.
Calciumfosfaat precipitatie	Nee	P	Beperkte toepassing t.o.v. struviet
Aqua2N (struviet neerslaan als stikstof vector voor terugwinning)	Nee	N	Lage TRL
ViviMag [®]	Nee	P	Lage TRL
Electrocoagulatie	Nee	N	Lage TRL (op rwzi's)

Maatregel nabehandeling	Factsheet	Doel	Motivatie/toelichting
Mediafiltratie vastbed voor denitrificatie	Ja	N, P	Zand en GAK (ONE-step)
Mediafiltratie vastbed voor nitrificatie	Ja	N, NH ₄	Zand en GAK (BODAC/ BAKF)
Mediafiltratie bewegend bed voor denitrificatie	Ja	N, P	Diverse media en uitvoeringsvormen: zand (AstraSand, DynaSand), GAK (DynaCarb), BAKF (Bio-GAK)
Mediafiltratie bewegend bed voor nitrificatie	Ja	N, NH ₄	
Doekfilters	Ja	P	Pile Cloth Media Filters (bijv. Mecana)
Natuurlijke systemen	Nee	N, P	Waterharmonica, helofytenfilters, etc. Juridische status als deel van rwzi is onzeker. Daarom niet meegenomen.
Ultrafiltratie	Nee	N, P	Minder relevant door hogere kosten en beperkte meerwaarde t.o.v. zandfiltratie. Wel niche benoemen in rapport rondom hergebruik.
Ionenwisseling (zeolieten)	Nee	NH ₄ -N	Lagere kosteneffectiviteit bij lage NH ₄ concentratie (competitie met andere ionen). Weinig bekend over ionenwisseling op effluent (met lage ingaande concentraties).
Adsorptie (bv. BioPhree)	Nee	PO ₄ -P	Lage TRL
MBBR (nitrificerend)	Ja	NH ₄ -N	
MBBR (denitrificerend)	Ja	NO ₃ -N	Toepassingen in Zweden.
Nanofiltratie	Nee	P	Gebrek aan oplossing voor concentraatbehandeling.
Disc filters	Nee	P	Deeltjesafscheiding minder effectief dan doekenfilters. Risico is op versmering van mechanische delen en schurende werking met snelle slijtage tot gevolg.

Maatregel nabehandeling	Factsheet	Doel	Motivatie/toelichting
Ballasted sedimentation	Nee		Lage duurzaamheid door verbruik van polymeer
Algen systemen	Nee		Klimatologisch niet haalbaar
Bio-elektrische systemen	Nee		Lage TRL
Compressible media filter (Fuzzy filter)	Nee		Beperkte toepassing
Filtration over sand coated with hydrous ferric oxide (Blue Pro)	Nee		Lage TRL
Iron (hydro)oxide pellets	Nee		Lage TRL

BIJLAGE III

UITGANGSPUNTEN PER MAATREGEL

UITGANGSPUNTEN VOOR SPECIFIEKE MAATREGELEN (FACTSHEETS)

Slibgehalte verhogen binnen bestaande bezinkcapaciteit

- Er is een SVI van 120 ml/g gehanteerd ten opzichte van de referentiesituatie (150 ml/g). Hierdoor kan het slibgehalte worden verhoogd van 4,0 g/l naar 5,5 g/l.

Slibgehalte verhogen door bijbouwen NBT

- Dimensies/capaciteit
 - Bijbouwen van één NBT met gelijke afmetingen als de huidige NBT(s). 20.000 i.e.: Ø 29,3 m, 100.000 i.e. Ø 49,5 m.
- Kostenraming
 - Onderdelen meegenomen: Civiele tank (bodempelling 1/12), ruimerbrug, ruimer, loopwagen met aandrijving, inlooptrommel, deflectieschot, overstortrand met duikschot, drijfslag afvoerbak, E-voeding aandrijving brug, E-instrumentatie zoals draai-bewaking.
- Piekvermogen
 - Processen/verbruiken meegenomen: aandrijving (1 of 2 zijdes, afhankelijk van diameter), gootborstel, verwarming t.b.v. sneeuw/ijs.
- Effect maatregel
 - Het slibgehalte wordt verhoogd van 4,0 g/l naar 6,0 g/l.

Slibgehalte verhogen door toepassen inDENSE® (bron: Logisticon en Sweco)

- Dimensies/capaciteit
 - Spuien vanaf retourliblijn bij een slibgehalte van 8 g/l. Capaciteit 20.000 i.e.: 7 m³/h, 100.000 i.e.: 32 m³/h (inclusief piekfactor 1,3).
- Kostenraming
 - Scope: engineering, voedingspomp, instrumentatie, inDENSE systeem, leidingwerk, bedrijfsklaar opleveren, 2 jaar procesbegeleiding en doorlopende gebruikslicentie. Uitgesloten: civiele aanpassingen.
- Piekvermogen
 - Processen/verbruiken meegenomen: voedingspomp.
- Effect maatregel
 - De SVI₃₀ daalt naar 100 ml/g (bron: Sweco en Waterschap Scheldestromen). Hierdoor kan het slibgehalte worden verhoogd van 4,0 g/l naar 6,0 g/l.
- Materialen
 - 2000 kg staal aangenomen voor 20.000 i.e., 10.000 kg staal voor 100.000 i.e.

Bijbouwen van biologisch volume

- Dimensies/capaciteit
 - Volumevergroting van 30% van het totaalvolume; de uitbreiding betreft een denitrificatieruimte met menging. 20.000 i.e.: 930 m³, 100.000 i.e.: 4.656 m³.
- Kostenraming
 - Uitgangspunt is een losse betonnen ronde tank met aluminium afdekking. Onderdelen meegenomen: vloer, buitenwanden, tussenwanden (uitgaan van 4 compartimenten), aluminium afdekking incl. luiken, leuningwerk, toegangstrap, mengers (droog opgestelde aandrijving), E-voeding mengers, E-instrumentatie (nitraatmeting).
- Piekvermogen
 - Processen/verbruiken meegenomen: mengers.

Toepassen van dragermaterialen (IFAS)

- Dimensies/capaciteit
 - Dragermaterialen (HDPE) toevoegen tot een vulgraad van 40% van het totaalvolume.

Toepassen van een nabeluchting

- Dimensies/capaciteit
 - Nabeluchtingstank met een HRT van 20 minuten. 20.000 i.e.: 58 m³ met een beluchtingscapaciteit van 19 Nm³/h, 100.000 i.e.: 292 m³ met een beluchtingscapaciteit van 94 Nm³/h.
- Kostenraming
 - Uitgangspunt is een losse betonnen ronde tank zonder afdekking. Onderdelen meegenomen: vloer, buitenwanden, toegangstrap, compressor, luchtleidingwerk incl. appendages, beluchtingselementen, Evoeding compressor, E-instrumentatie (zuurstofmeting).
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een specifiek piekvermogen van 0,02 kW/Nm³/h bij 0,5 bar (E-verbruik 0,2 kW/Nm³).

Doseren van C-bron

- Dimensies/capaciteit
 - Doseren van glycerine (Carbo BWB-60) of methanol. 20.000 i.e.: 200 kg CZV/d, 100.000 i.e.: 1000 kg CZV/d.
- Kostenraming
 - Op basis van referentie-installatie rwzi Dinther (peildatum medio 2023).
- Piekvermogen
 - Processen/verbruiken meegenomen: doseerpomp.

Lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn (warme vetzuurreactor)

- Algemeen
 - Het ingaande primair slib heeft een drogestofgehalte van 3,0%.
 - Aanvullende personeelsbehoefte van 0,25 FTE/j.
- Dimensies/capaciteit
 - Vetzuurproductie uit primair slib bij een temperatuur van 30°C en HRT van 3 dagen. Reactorvolume 100.000 i.e.: 286 m³, 400.000 i.e.: 1.186 m³.
 - Na de vetzuurreactor: scheiding van verzuurd primair slib en vetzuren d.m.v. een trommelzeef met PE-dosering.
- Kostenraming

- Onderdelen meegenomen: fundatie vloer (staal gefundeerd), aansluitingen op ondergrondse infrastructuur, behuizing E-installatie, voedingspomp, NaOH-doseerunit, vetzuurreactor, menger, warmtewisselaar, trommelindikker, PE-doseerunit, slibafvoerpomp, leidingwerk incl. appendages, aansluiting luchtbehandeling incl. afzuigventilator, meet- en regelkast, instrumentatie, bekabeling, software.
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5

Lokale vetzuurproductie voor toepassing op de waterlijn (koude vetzuurreactor)

- Algemeen
 - Het ingaande primair slib heeft een drogestofgehalte van 3,0%.
 - Aanvullende personeelsbehoefte van 0,25 FTE/j.
- Dimensies/capaciteit
 - Vetzuurproductie uit primair slib zonder opwarming, bij een HRT van 7 dagen. Reactorvolume 100.000 i.e.: 667 m³, 400.000 i.e.: 2.767 m³.
 - Na de vetzuurreactor: scheiding van verzuurd primair slib en vetzuren d.m.v. bezinking en eluteren met spoelwater.
- Kostenraming
 - Onderdelen meegenomen: fundatie vloer (staal gefundeerd), aansluitingen op ondergrondse infrastructuur, behuizing E-installatie, voedingspomp, vetzuurreactor, menger, slibafvoerpomp, leidingwerk incl. appendages, isolatie, aansluiting luchtbehandeling incl. afzuigventilator, meet- en regelkast, instrumentatie, bekabeling, software.
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5

Doseren van metaalzouten

- Dimensies/capaciteit
 - Doseren van ijzerchloride tot modelminimum van PO₄-P = 0,20 mg P/l.
- Kostenraming
 - Op basis van referentie-installatie rwzi Dinther (peildatum medio 2023).
- Piekvermogen
 - Processen/verbruiken meegenomen: doseerpomp.

Vergroten van interne recirculatiecapaciteit

- Dimensies/capaciteit
 - Vergroting van interne recirculatiecapaciteit: factor 6,0 naar 12,0 ten opzichte van DWA₂₄. 20.000 i.e.: 720 m³/h naar 1.440 m³/h. 100.000 i.e.: 3.600 m³/h naar 7.200 m³/h.
- Kostenraming
 - Onderdelen meegenomen: actiefslibtank leegzetten, sparing maken en aanstorten, toegangstrap, nieuwe propelloromp bijplaatsen, E-voeding FO geregeld, E-instrumentatie (temperatuurbeveiliging i.v.m. FO-regeling).
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een opvoerhoogte van de recirculatiepomp van 0,7 m.

Anammox-systeem

- Algemeen
 - Aangenomen verwijderingsrendementen:

CZV	50%
BZV ₅	50%
NH ₄ -N	80%
P-totaal	5%
OB	60%

Hierbij wordt opgemerkt dat een NH₄-N rendement van 80% alleen mogelijk is als de alkaliniteit van het rejectiewater voldoende hoog is; de HCO₃/NH₄ ratio dient minimaal 1 te zijn. Bij een te lage alkaliniteit is natronloogdosering vereist.
 - Geen opwarming benodigd, energieverbruik van 1,25 kWh/kg N-verwijderd (STOWA 2018-70).
 - Lachgasemissie uit anammox-systeem van 0,023 kg N₂O-N/kg N-verwijderd (STOWA 2013-39).
 - Aanvullende personeelsbehoefte van 0,25 FTE/j.
- Dimensies/capaciteit
 - Stikstofbelasting van 1 kg N/m³/d, waterdiepte 6 meter.
- Kostenraming
 - Onderdelen meegenomen: anammox-systeem, doseerinstallatie hypochloriet.
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5.

NH₃-stripper

- Algemeen
 - Procestemperatuur van 75°C, 80% warmteterugwinning in warmtewisselaar. 3°C warmteverlies in de strippertoren.
 - NH₄-N rendement van 80% zonder natronloogdosering. Hierbij wordt opgemerkt dat een rendement van 80% alleen mogelijk is als de alkaliniteit van het rejectiewater voldoende hoog is; de HCO₃/NH₄ ratio dient minimaal 1 te zijn. Bij een te lage alkaliniteit is natronloogdosering vereist.
 - Elektriciteitsverbruik van 4 kWh/m³.
 - Aanvullende personeelsbehoefte van 0,25 FTE/j.
- Dimensies/capaciteit
 - Rejectiewaterdebiet ca. 630 m³/d; uitgangspunt is 39 m³ (piekfactor 1,5).
- Kostenraming
 - Onderdelen meegenomen: stripper-scrubber systeem, warmtewisselaar, gebouw (i.v.m. weersinvloeden). Exclusief CIP-unit en chemicaliënopslag.
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5.

Struviereactor

- Algemeen
 - Aangenomen verwijderingsrendementen:

CZV	20%
BZV5	20%
NH ₄ -N	0%
P-totaal	85%
OB	80%

- Struvietafscheiding van 95% (Pearl, STOWA 2011-24)
- Elektriciteitsverbruik: 0,885 kWh per kg droog struviet (incl. kristalwater), bron: Pearl Amersfoort en Apeldoorn (STOWA 2023-08)
- Natronloogverbruik: 0,84 kg (50% NaOH) per kg droog struviet (incl. kristalwater), bron: Pearl Amersfoort (STOWA 2023-08)
- $Mg(OH)_2$ -dosering met Me/P-verhouding van 1,05 (Pearl, STOWA 201124).
- Aanvullende personeelsbehoefte van 0,50 FTE/j.
- Kostenraming
 - Investeringskosten op basis van STOWA 2011-24 (Pearl), met inflatiecorrectie en schalingsfactor 0,7.
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5 op het energieverbruik.
- Materialen
 - Uitgangspunt is 2 x Pearl® 2K, met een aangenomen stalen wanddikte van 8 mm. Enkel de materialen van de struvietreactor en het gebouw zijn meegenomen, niet de materialen voor ontwatering, droging, etc.

Filtratietechnieken

- Algemeen
 - Prestatie van zandfilters is gelijk aan koolfilters wat betreft P-, OB- en NO_3 -verwijdering
 - Het verschil tussen zandfilters en koolfilters is enkel de aanschaf van het filtermedium
 - Als koolstofbron wordt uitgegaan van methanol (MeOH, 98%)
 - Als metaalzout wordt uitgegaan van ijzerchloride ($FeCl_3$, 40%)
 - Doseerverhouding metaalzouten: Me/P van 4,0 betrokken op PO_4 -P
 - Doseerverhouding methanol: 3,2 kg MeOH/kg NO_3 -N, 1,2 kg MeOH/kg O_2
 - Slibproductie door methanol: 0,25 kg DS/kg MeOH
- Vastbed mediafiltratie
 - Vuilspoelwaterproductie 8% voor nitrificerende filters zonder P-verwijdering en 12% voor filters met N- en P-verwijdering
- Bewegend bed mediafiltratie
 - Maximale hydraulische belasting van 10 m³/m²/h.
 - In de factsheets is rekening gehouden met 50% extra energieverbruik ten opzichte van vastbed filters.
 - Vuilspoelwaterproductie 11% voor nitrificerende filters zonder P-verwijdering en 15% voor filters met N- en P-verwijdering
- Piekvermogen
 - Gebaseerd op opvoer en terugspoeling

MBBR belucht

- Dimensies/capaciteit
 - Ontwerp bestaat uit twee beluchte tanks met een totaalvolume van 160 m³ (20.000 i.e.) en 800 m³ (100.000 i.e.) en een waterdiepte van 6 m (ontwerp door Veolia).
 - Uitgangspunt is een vulgraad van 50%.
- Kostenraming
 - Uitgangspunt is een rechthoekige betonnen tank met tussenwanden. Onderdelen meegenomen: vloer, buitenwanden, tussenwanden (uitgaan van 2 compartimenten), toegangstrap, compressor, luchtleidingwerk, beluchtingselementen, E-voeding compressor, E-instrumentatie (zuurstofmeting).

- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5

MBBR anoxisch

- Algemeen
 - C-brondosering met methanol
- Dimensies/capaciteit
 - Ontwerp bestaat uit vier tanks (deox – denit – denit – reox) met een totaalvolume van 216 m³ (20.000 i.e.) en 1080 m³ (100.000 i.e.) en een waterdiepte van 6 m (ontwerp door Veolia).
 - Uitgangspunt is een vulgraad van 50%.
- Kostenraming
 - Uitgangspunt is een rechthoekige betonnen tank met tussenwanden. Onderdelen meegenomen: vloer, buitenwanden, tussenwanden (uitgaan van 4 compartimenten), toegangstrap, compressor, luchtleidingwerk, beluchtingselementen, mengers (droog opgestelde aandrijving), E-voeding compressor, E-voeding mengers, E-instrumentatie (nitraat- en zuurstofmeting).
- Piekvermogen
 - Uitgangspunt is een piekfactor van 1,5