

# DAF ALS VOORBEHANDELING VAN COMMUNAAL AFVALWATER



RAPPORT

2014  
47

DAF ALS VOORBEHANDELING VAN COMMUNAAL AFVALWATER  
DEMONSTRATIEONDERZOEK RWZI LIENDEN

RAPPORT

2014

47

ISBN 978.90.5773.679.7



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## PROJECTUITVOERING

E. Broeders - Nijhuis Water Technology  
H. Menkveld - Nijhuis Water Technology  
A. Van Nieuwenhuijzen - Witteveen+Bos  
A. Veldhoen - Witteveen+Bos

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

B. Bult - Waterschap Reest en Wieden  
T. Flaming - Waterschap De Dommel  
L. Hartog - Waterschap Brabantse Delta  
D. Piron - Waterschap Rivierenland  
D. Roes - Waterschap Rijn en IJssel  
D. Schellekens - Waterschap De Dommel  
S. Tee - Waternet  
C. Uijterlinde - STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2014-47  
ISBN 978.90.5773.679.7

**COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

**DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

# TEN GELEIDE

De waterschappen willen in 2020 minstens 40% van het energieverbruik zelf opwekken. In de Meerjarenaafspraken energie-efficiency (2008), Klimaatakkoord (2010), Lokale Klimaatagenda (2011) Green Deal (2011), Ketenakkoord Fosfaat en recentelijk het SER Energieakkoord (2013) zijn beleidsmatige afspraken gemaakt over energie- en fosfaatwinning. Er is afgesproken dat in 2015 minimaal twaalf Energiefabrieken en drie tot vijf Fosfaatfabrieken zijn gerealiseerd.

Een Energiefabriek heeft tot doel de energie-inhoud van afvalwater optimaal te benutten. Bij veel Energiefabrieken wordt met bestaande technieken enerzijds op energie bespaard en anderzijds de energieproductie uit slib gemaximaliseerd. Daarnaast wordt er volop onderzoek gedaan naar energie-efficiëntere methoden om afvalwater te zuiveren. Eén van de onderzochte scenario's waarmee de energieopbrengst uit het afvalwater gemaximaliseerd kan worden, is het toepassen van Dissolved Air Flotation, afgekort DAF. DAF is een voorbehandelingstechniek waarmee zwevende stof uit afvalwater verwijderd kan worden. DAF kan toegepast worden ter vervanging van een voorbezinking of als maatregel bij overbelasting. De doelstelling van dit onderzoek is het verkennen of DAF als voorbehandelingstechniek voor stedelijk afvalwater technisch en economisch haalbaar is. De verkenning vindt plaats in het licht van de ontwikkeling van de rwzi als Energiefabriek en Grondstoffenfabriek.

Voor grootschalige toepassing van DAF is op rwzi Eindhoven pilotonderzoek verricht, waarbij de pilotinstallatie parallel aan de voorbezinktank werd bedreven. De resultaten van het eerste pilotonderzoek en de variantenstudies zijn gerapporteerd in STOWA-rapport 2014-03. In vervolg op het pilotonderzoek op rwzi Eindhoven is DAF op semi-praktijkschaal getest op rwzi Lienden (ontwerpcapaciteit 8.000 i.e. à 150 g TZV). De rwzi Lienden is een voorbeeld van een overbelaste rwzi die baat zou kunnen hebben bij voorbehandeling, zoals op meerderde locaties in Nederland het geval is.

DAF kan voor de ontlasting van actiefslibinstallaties doeltreffend, duurzaam en kosteneffectief ingezet worden als aan de juiste voorwaarden wordt voldaan voor ontwerp, inpassing, BZV/N-verhouding en de juiste slibverwerking.

# SAMENVATTING

## AANLEIDING EN DOELSTELLING

Het project 'DAF als voorbehandeling van communaal afvalwater' heeft als doel om Dissolved Air Flotation (DAF) te testen en de technische en economische haalbaarheid ervan te verkennen. DAF kan net als fijnzeven worden ingezet als vervanging van bestaande voorbehandeling in een voorbezinktank of A-trap met tussenbezinktank of als vergaande voorzuivering op locaties waar nog geen voorbehandeling aanwezig is.

Voor grootschalige toepassing binnen dit project is op rwzi Eindhoven pilotonderzoek verricht, waarbij de pilotinstallatie parallel aan de voorbezinktank werd bedreven. De resultaten van het eerste pilotonderzoek en de variantenstudies zijn gerapporteerd in STOWA-rapport 2014-03. In vervolg op het pilotonderzoek op rwzi Eindhoven is DAF op semi-praktijkschaal getest op rwzi Lienden (ontwerpcapaciteit 8.000 i.e. à 150 g TZV). De rwzi Lienden is een voorbeeld van een overbelaste rwzi die baat zou kunnen hebben bij voorbehandeling, zoals op meerdere locaties in Nederland het geval is.

Het doel van het onderzoek is om de overbelaste rwzi Lienden biologisch te ontlasten door toepassing van DAF als voorbehandeling. De nadruk ligt hierbij op stikstof- en CZV-verwijdering en minder op de fosfaatverwijdering. Naast het demonstratieonderzoek wordt de technische en economische haalbaarheid van een DAF-installatie voor deze specifieke toepassing bepaald met een variantenstudie.

## PILOTONDERZOEK EN VARIANTENANALYSE

Het project is gedurende een doorlooptijd van 4 maanden tussen oktober 2013 en februari 2014 uitgevoerd op rwzi Lienden van het Waterschap Rivierenland en is opgedeeld in drie onderzoeksperioden:

- 1 DAF als voorbehandeling zonder chemicaliëndosering;
- 2 DAF als voorbehandeling met dosering van polymeer;
- 3 DAF als behandeling van influent en indikking spuilib, met dosering van polymeer.

De rwzi Lienden is een conventionele rwzi waarbij de waterlijn achtereenvolgens bestaat uit een roostergoedverwijdering, selector, AT en een nabezinktank. De rwzi is de laatste jaren biologisch licht overbelast (belasting 115% o.b.v. TZV). De effluenteisen worden nog behaald, maar voor extra belasting is geen ruimte.

Er is vervolgens een variantenstudie uitgevoerd waarin de technische en economische haalbaarheid van het toepassen van DAF ter ontlasting van de overbelaste rwzi Lienden wordt bepaald.

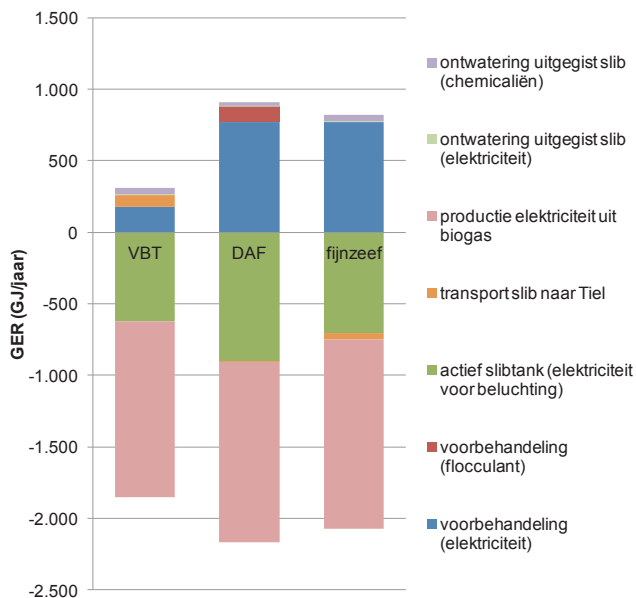
## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van het pilotonderzoek en de variantenstudie wordt geconcludeerd dat het plaatsen van een DAF of andere voorbehandeling de belasting van het actiefslibstelsysteem doeltreffend verlaagd. Dit heeft een gunstig effect op de effluentkwaliteit, al is dit, vanwege de beperkte doorlooptijd, tijdens het demonstratieonderzoek op rwzi Lienden niet meetbaar geweest<sup>1</sup>. Uit de variantenstudie blijkt dat de effluentconcentratie voor totaalfosfaat een aandachtspunt is, door de lagere productie van biomassa waarin fosfaat wordt opgeslagen.

- 1 Uit het onderzoek op rwzi Eindhoven is gebleken dat door toevoeging van een coagulant fosfaat goed te verwijderen is. In dit geval zal je weinig coagulant nodig hebben om de eisen te behalen.

Tijdens het demonstratieonderzoek leidde de DAF tot een hoger energiegebruik op de rwzi. Ook uit de variantenstudie blijkt dat het energiegebruik iets toeneemt wanneer voorbehandeling wordt toegepast. Daar staat tegenover dat met slibgisting veel meer biogas geproduceerd kan worden, waardoor de energiebalans toch positief uitvalt. Dit komt ook tot uitdrukking in de berekening van de GER-waarde als indicatie van duurzaamheid.

AFBEELDING 1 GER-WAARDE PER VARIANT T.O.V. REFERENTIE PER DEELASPECT

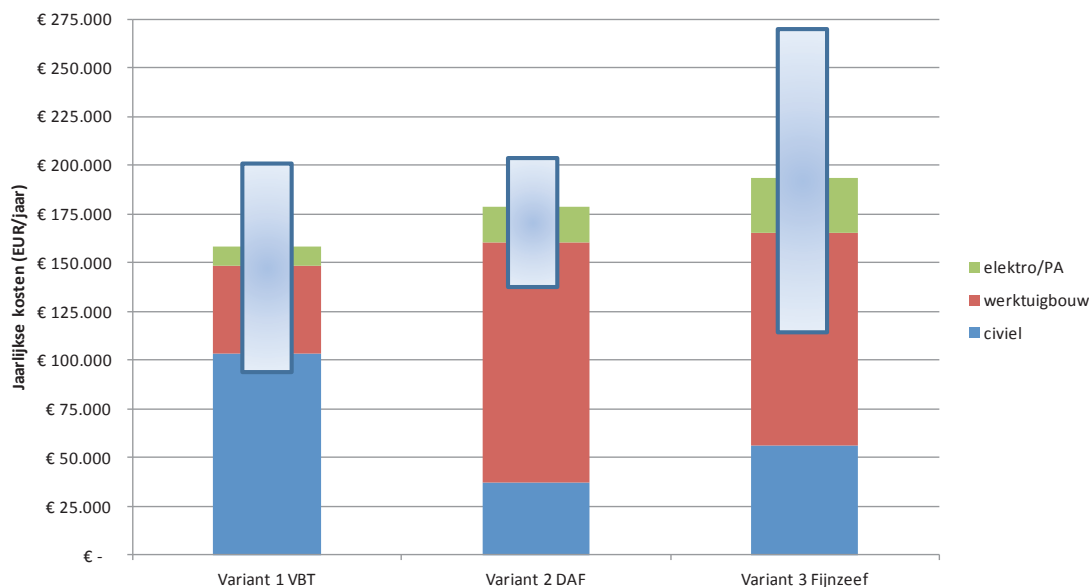


In de variantenstudie scoort de toepassing van voorbezinking zowel op het gebied van kosten als op het gebied van duurzaamheid net iets beter dan een DAF of fijnzeef. Daar tegenover staat dat met name DAF (als ook fijnzeving) veel eenvoudiger toegepast kan worden op een bestaande (kleinschalige) rwzi vanwege compactheid en technische en hydraulische inpasbaarheid. Daar waar ruimte schaars is, is DAF een passende methode om overbelaste actief-slibinstallaties te ontlasten.

Het onderzoek op rwzi Lienden heeft de meerwaarde van DAF aangetoond. Op rwzi Eindhoven werd een nadelig effect op de werking van de denitrificatie in de AT vastgesteld door te vergaande verlaging van de BZV/N-verhouding. Op rwzi Lienden is aangetoond dat door alleen polymeer te doseren de BZV/N-verhouding op peil blijft en de denitrificatie goed verloopt. Tevens is de mogelijkheid om DAF te gebruiken voor slibindikking door op droge-stofgehalte van het flotaat te sturen en spuislib vanuit de nabezinktanks mede in te dikken, overtuigend aangetoond. Ook heeft het onderzoek laten zien dat de DAF betrouwbaar onbemand kan draaien zonder extra toezicht. Wel blijft de keuze voor een voorbehandeling maatwerk, afhankelijk van de locatie.

DAF kan voor de ontlasting van actief-slibinstallaties doeltreffend, duurzaam en kosteneffectief ingezet worden als aan de juiste voorwaarden wordt voldaan voor ontwerp, inpassing, BZV/N-verhouding en de juiste slibverwerking. Daarbij komt de goede inpasbaarheid van DAF tussen ontvangwerk en actief-slibproces als belangrijk voordeel naar voren. Dit geldt zowel vanwege de compacte uitvoering van DAF-installaties alsmede door de praktische technische en hydraulische inpasbaarheid.

AFBEELDING 2 ADDITIONELE BOUWKOSTEN PER VARIANT (INCLUSIEF BANDBREEDTE)



Tijdens het praktijkonderzoek op rwzi Lienden is succesvol indikking van spuislib in combinatie met influentbehandeling op de DAF-installatie verkend. Het wordt aanbevolen dit verder te onderzoeken. Het indikken van spuislib in een DAF biedt verschillende voordelen: er is geen indikker meer nodig, de transportkosten zijn lager en er hoeft bij vergisting een kleinere hoeveelheid slib te worden opgewarmd.

# DE STOWA IN HET KORT

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

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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



# DAF ALS VOORBEHANDELING VAN COMMUNAAL AFVALWATER

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Doel	1
	1.3 Leeswijzer	1
<b>2</b>	<b>PROJECTAANPAK</b>	<b>2</b>
	2.1 Locatiekeuze rwzi Lienden	2
	2.2 Onderzoeksvragen	3
	2.2.1 Demonstratieonderzoek	3
	2.2.3 Variantenstudie	4
<b>3</b>	<b>MATERIALEN EN METHODE DEMONSTRATIEONDERZOEK</b>	<b>6</b>
	3.1 Demonstratie-installatie DAF	6
	3.1.1 Dimensies DAF en toebehoren	7
	3.1.2 Optimalisaties van de installatie	8
	3.1.3 Coagulantdosering	8
	3.1.4 Polymeerdosering	8
	3.2 Methodiek en onderzoeksperiodes	10
	3.3 Monstername en analyses	11
<b>4</b>	<b>RESULTATEN EN ANALYSE DEMONSTRATIEONDERZOEK LIENDEN</b>	<b>12</b>
	4.1 Inleiding	12
	4.2 Bedrijfsvoeringservaringen	12
	4.2.1 Verstopping door vezels	12
	4.2.2 Filter recirculatiestroom	13
	4.3 Onderzoekperiode 1 en 2: verwijderingsrendementen DAF	14
	4.3.1 Onderzoekperiode 1: zonder polymeerdosering	14
	4.3.2 Onderzoekperiode 2: met polymeerdosering	15

<b>4.4</b>	Effect op de rwzi	18
4.4.1	BZV/N-verhouding	19
4.4.2	Verlaging belasting	19
4.4.3	Werking van de rwzi en effluentconcentraties	20
4.4.4	Energiegebruik	21
4.4.5	Samenstelling flotaat en spuislib	24
4.4.6	Effect op de SVI	24
4.4.7	Zuurstofconcentratie in eluaat	25
4.4.8	Flotaatproductie	25
<b>4.5</b>	Onderzoekperiode 3: indikken spuislib in DAF	26
4.5.1	Eluaatconcentraties	26
4.5.2	Effect op flotaat en spuislib	27
<b>4.6</b>	Beantwoording onderzoeksvragen	28
<b>5</b>	<b>VARIANTENSTUDIE</b>	32
<b>5.1</b>	Inleiding	32
<b>5.2</b>	Varianten en uitgangspunten	32
5.2.1	Omschrijving varianten	32
5.2.2	Technologische uitgangspunten	33
5.2.3	Financiële uitgangspunten	36
<b>5.3</b>	Resultaten	38
5.3.1	Uitwerking varianten	38
5.3.2	Effect op rwzi	38
5.3.3	Chemicaliëngebruik per variant	38
5.3.4	Productie van slib en biogas	39
5.3.5	Energieverbruik	40
5.3.6	GER-waarden	41
5.3.7	Bouw- en investeringskosten	42
5.3.8	Jaarlijkse kosten	43
5.3.9	Netto contante waarde	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	46
<b>6.1</b>	Conclusies	46
6.1.1	Demonstratieonderzoek	46
6.1.2	Variantenstudie	48
6.1.3	Algehele conclusie	49
<b>6.2</b>	Aanbevelingen	49
	<b>REFERENTIES</b>	51
	<b>BIJLAGEN</b>	
1.	Verlaging belasting AT	52
2.	Werking van de rwzi en effluentconcentraties	53
3.	Uitwerking varianten	57
4.	Verbruiken	61
5.	Globale ontwerpdimensioneringen varianten Lienden	62
6.	Ontwerp rwzi Lienden (pfd-file)	64
7.	Kostenramingen per variant	66

# 1

## INLEIDING

### 1.1 ACHTERGROND

Het project 'DAF als voorbehandeling van communaal afvalwater' heeft als doel om Dissolved Air Flotation (DAF) op grootschalige pilotschaal te testen en de technische en economische haalbaarheid ervan te verkennen. DAF kan net als fijnzeven worden ingezet als vervanging van bestaande voorbehandeling in een voorbezinktank of A-trap met tussenbezinktank of als vergaande voorzuivering op locaties waar nog geen voorbehandeling aanwezig is.

Voor grootschalige toepassing binnen dit project is op rwzi Eindhoven pilotonderzoek verricht, waarbij de pilotinstallatie parallel aan de voorbezinktank werd bedreven. Hierbij zijn stabiele hoge zuiveringsprestaties behaald. Ook zijn voor rwzi Eindhoven en rwzi Nieuwveer variantenstudies uitgevoerd waarin DAF is vergeleken met andere voorbehandelingstechnieken zoals voorbezinking, hoogbelaste A-trap met tussenbezinking en fijnzeving. De resultaten van het eerste pilotonderzoek en de variantenstudies zijn gerapporteerd in STOWA-rapport 2014-03.

In vervolg op het pilotonderzoek op rwzi Eindhoven is DAF op semi-praktijkschaal getest op rwzi Lienden (ontwerpcapaciteit 8.000 i.e. à 150 g TZV). De rwzi Lienden is een voorbeeld van een overbelaste rwzi die baat zou kunnen hebben bij voorbehandeling, zoals op meederde locaties in Nederland het geval is.

### 1.2 DOEL

Het doel van dit onderzoek is om de overbelaste rwzi Lienden biologisch te ontlasten door toepassing van DAF als voorbehandeling. De nadruk ligt hierbij op stikstof- en CZV-verwijdering en minder op de fosfaatverwijdering. Naast het demonstratieonderzoek wordt de technische en economische haalbaarheid van een DAF-installatie voor deze specifieke toepassing bepaald met een variantenstudie.

### 1.3 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 licht de aanpak van het demonstratieonderzoek toe en zet uiteen waarom voor rwzi Lienden is gekozen als locatie om het onderzoek uit te voeren. Ook worden de onderzoeksvragen voor het demonstratieonderzoek en de variantenstudie uiteengezet. Hoofdstuk 3 licht de gebruikte installatie, de onderzoeksperiodes en de analysemethodes toe. In vervolg hierop worden in hoofdstuk 4 de resultaten van het demonstratieonderzoek gepresenteerd. In hoofdstuk 5 vindt u de uitwerking van de variantenstudie op basis van de resultaten van het demonstratieonderzoek. Hoofdstuk 6 sluit tenslotte af met conclusies en aanbevelingen.

# 2

## PROJECTAANPAK

Het project is uitgevoerd gedurende een doorlooptijd van 4 maanden tussen oktober 2013 en februari 2014 en is opgedeeld in drie onderzoeksperioden:

- 1 DAF als voorbehandeling zonder chemicaliëndosering;
- 2 DAF als voorbehandeling met dosering van polymeer;
- 3 DAF als behandeling van influent en indikking spuislib, met dosering van polymeer.

Er is vervolgens een variantenstudie uitgevoerd waarin de technische en economische haalbaarheid van het toepassen van DAF ter ontlasting van de overbelaste rwzi Lienden wordt bepaald.

### 2.1 LOCATIEKEUZE RWZI LIENDEN

Op rwzi Lienden wordt de DAF-installatie ingezet als voorbehandeling om een deel van de belasting van de rwzi weg te nemen. Deze toepassing van DAF kan interessant zijn voor kleine rwzi's zonder voorbezinktank die biologisch overbelast zijn. DAF kan in deze gevallen worden ingezet als alternatief voor andere aanpassingen, zoals het uitbreiden van de beluchtings-tank.

De rwzi Lienden is de laatste jaren biologisch licht overbelast (belasting 115% o.b.v. TZV). De effluenteisen worden nog behaald, maar voor extra belasting is geen ruimte. De mate van overbelasting fluctueert jaarlijks (tabel 2.1).

TABEL 2.1

BELASTING RWZI LIENDEN [1,2,3].

jaar	belasting op basis van TZV (%)
2008	105
2009	107
2010	123
2011	128
2012	110

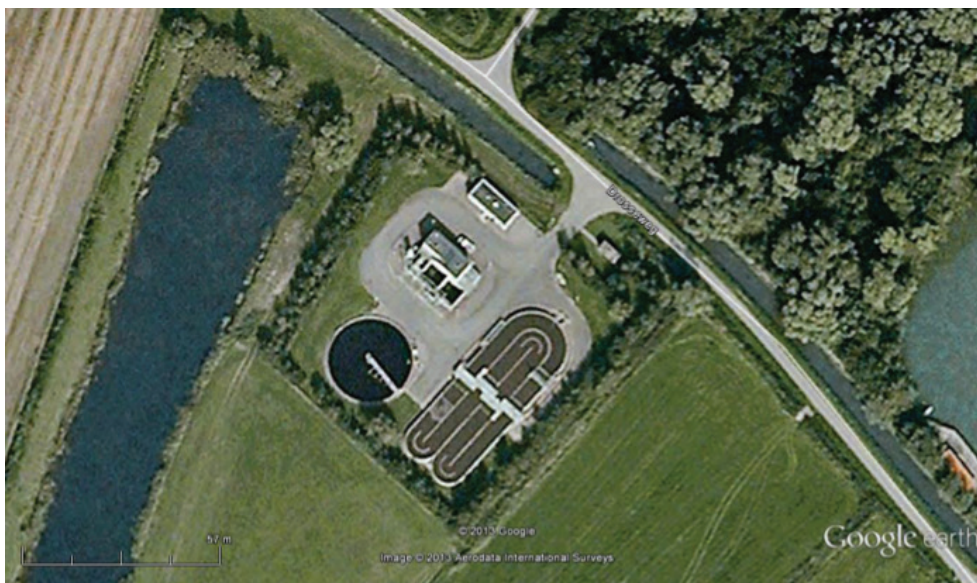
Rwzi Lienden is een interessante locatie voor dit onderzoek, omdat de DAF-pilotinstallatie de juiste dimensies heeft om het volledige DWA-debiet na buffering te behandelen.

De rwzi Lienden is een conventionele rwzi waarbij de waterlijn achtereenvolgens bestaat uit een roostergoedverwijdering, selector, AT en een nabezinktank. De belangrijkste specificaties staan in tabel 2.2. Verdere ontwerpdetails zijn opgenomen in bijlage VI.

TABEL 2.2 SPECIFICATIES RWZI LIENDEN

parameter	waarde
Bouwjaar	1996
Type	oxidatiesloot
Ontvangend oppervlaktewater	Neder-Rijn
Biologische capaciteit	8.000 i.e. à 150 gr. TZV / dag
Hydraulische capaciteit RWA	350 m <sup>3</sup> / uur
Slibbelasting	0,054 kg BZV/kg DS.d
Slibleeftijd	14,1 d
Slibgehalte	4,0 g/l
Vergunningsvoorwaarde P	2,0 mg/l
Vergunningsvoorwaarde N	15 mg/l

AFBEELDING 2.1 RWZI LIENDEN



## 2.2 ONDERZOEKSVRAGEN

### 2.2.1 DEMONSTRATIEONDERZOEK

De onderzoeksvragen voor het demonstratieonderzoek zijn hieronder opgesomd en per onderzoeksvraag uitgewerkt.

#### 1. WAT ZIJN HAALBARE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN EN ELUAATCONCENTRATIES?

De verwijderingsrendementen en eluaatconcentraties voor CZV/BZV<sub>5</sub>, fosfaat, stikstof en onopgeloste bestanddelen worden gemeten met en zonder dosering van coagulant en flocculant.

#### 2. WAT IS DE INVLOED VAN DE CZV/BZV<sub>5</sub> VERWIJDERING OP DE DENITRIFICATIE?

Op rwzi Eindhoven bleek de DAF met chemicaliëndosering te leiden tot een lage BZV/N verhouding. Door op rwzi Lienden de DAF toe te passen op (bijna) de gehele DWA-stroom, kan het effect op de denitrificatie worden bepaald. Het effect op de BZV/N-verhouding zal op rwzi Lienden echter anders zijn dan op rwzi Eindhoven, doordat geen metaalzout gedoseerd wordt.

#### 3. WAT IS HET EFFECT VAN SPUISLIBAFVOER VIA DE DAF OP DE WERKING VAN DE DAF EN DE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN?

- Zowel het influent als het spuislib wordt gedurende periode 3 in de DAF behandeld;
- De verwijderingsrendementen en eluaatconcentraties voor CZV/BZV<sub>5</sub>, fosfaat, stikstof en

onopgeloste bestanddelen worden gemeten bij verschillende doseringen van coagulant en flocculant.

#### **4. WAT IS HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE GEHELE DAF-PILOTINSTALLATIE?**

Het specifieke energieverbruik van de DAF-pilot wordt gemeten via een kWh-meter. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de vertaalbaarheid van de pilot naar full-scale-toepassing, waarbij de totale droog weer aanvoer wordt verwerkt.

#### **5. WAT IS HET EFFECT VAN VOORBEHANDELING MET DAF OP HET ENERGIEVERBRUIK VOOR BELUCHTING?**

Het specifieke energieverbruik van de beluchting wordt gemeten via een kWh meter.

#### **6. WAT IS HET ZUURSTOFGEHALTE IN HET ELUAAT EN WAT VOOR INVLOED HEEFT DIT OP DE IN TE BRENGEN HOEVEELHEID ZUURSTOF IN DE BELUCHTING?**

Een DAF-installatie wordt continu belucht waardoor het effluent van de DAF een restconcentratie zuurstof zal bevatten. Een hogere concentratie zuurstof heeft een positief effect op beluchtingsenergie, er hoeft immers minder zuurstof te worden ingebracht.

#### **7. WAT IS DE SLIBPRODUCTIE EN DE BIJBEHORENDE SAMENSTELLING VAN HET FLOTAATSLIB?**

Met meting, bemonstering en analyse worden slibproductie en -samenstelling (ds, OS, N, P) bepaald bij verschillende chemicaliëndoseringen en belastingen; het slib (en eluaat) wordt tevens beoordeeld op de visuele aanwezigheid van haren en andere vezels die mogelijk operationele problemen kunnen veroorzaken bij de verdere slibverwerking. De verwachting is dat een DAF alle haren/vezels zal afscheiden waardoor het eluaat vrij is van haren/vezels en verstopping in het vervoltraject voorkomen wordt.

#### **8. WAT IS DE SLIBPRODUCTIE EN DE BIJBEHORENDE SAMENSTELLING VAN HET INGEDIKTE SPUI-SLIB?**

Met behulp van meting, bemonstering en analyse worden slibproductie en -samenstelling (ds, OS, N, P) bepaald.

#### **9. WAT IS DE INVLOED VAN DE VERWIJDERING VAN ZWEVENDE STOF IN HET INFLUENT OP DE SVI?**

Door de verwijdering van de zwevende stof fractie (cellulose) verandert naar verwachting de samenstelling van het actief slib. Het verloop van de SVI zal worden bepaald en worden vergeleken met de zelfde periode in voorgaande jaren.

#### **10. KAN DE DAF ZONDER PERSONEEL DRAAIEN?**

Voor een kleine onbemande rwzi is het van belang dat de DAF met zo weinig mogelijk toezicht goed blijft functioneren. Tijdens het onderzoek zal het beheer zo minimaal mogelijk zijn. De uren en werkzaamheden worden bijgehouden.

### **2.2.3 VARIANTENSTUDIE**

Voor de rwzi Lienden worden de volgende varianten uitgewerkt:

- 1 referentie, rwzi Lienden zonder voorbehandeling;
- 2 VBT, rwzi Lienden met een voorbezinktank als voorbehandeling;
- 3 DAF, rwzi Lienden met een DAF als voorbehandeling;
- 4 Fijnzeef, rwzi Lienden met een fijnzeef als voorbehandeling.

De onderzoeksvragen die worden beantwoord in de variantenstudie zijn in de onderstaande opsomming uitgewerkt.

### **1. UITWERKEN VARIANTEN**

De volgende varianten worden in Excel in een ontwerp op hoofdlijnen uitgewerkt, waarbij het uitgangspunt gehanteerd wordt dat het eluaat van de voorbehandeling voldoet aan de eisen om het biologisch verder te kunnen zuiveren.

Voor de uitwerking voor de variant met DAF-installatie worden de uitkomsten van het pilotonderzoek ingezet. De variant met de VBT wordt op basis van kentallen doorgerekend (STOWA-studies). Voor de variant met fijnzeef worden de resultaten van het Kallisto-onderzoek gebruikt, evenals in de variantenstudie voor rwzi Eindhoven.

### **2. RAMING INVESTERINGSKOSTEN VAN VARIANTEN**

Voor de verschillende varianten worden beoogde bouw- en investeringskosten bepaald met een nauwkeurigheid van 30-50 %. Per post wordt de onnauwkeurigheid aangegeven. Voor de verrekening van bouwkosten naar investeringskosten wordt een staatkostenfactor van 1,7 (inclusief omzetbelasting) gebruikt. De kosten worden berekend als extra investeringskosten ten opzichte van de huidige situatie.

### **3. UITWERKEN JAARLIJKSE OPERATIONELE KOSTEN**

Aanvullend op de investeringskosten van de verschillende varianten worden de operationele kosten op jaarbasis bepaald. Deze operationele kosten zijn opgebouwd uit de volgende kostenposten:

- chemicaliëndosering (polymeer);
- energieverbruik/opbrengst (beluchting, slibbehandeling);
- slibafzet;
- onderhoud.

Voor de operationele kosten worden de eenheidsprijzen van rwzi Lienden gehanteerd. De jaarlijkse kosten worden berekend als meer- of minderkosten ten opzichte van de huidige referentiesituatie.

### **4. EFFECT OP NETTO ENERGIEVERBRUIK BIJ VOORBEHANDELING MET DAF**

Het energieverbruik van de verschillende varianten wordt inzichtelijk gemaakt ten opzichte van het energieverbruik van de rwzi in de huidige referentiesituatie. De volgende onderdelen worden hierbij meegenomen:

- mogelijke energiebesparing als gevolg van reductie in beluchtingscapaciteit vanwege extra afscheiding van aan zwevende stof gerelateerde organische stoffen door een DAF. De besparing wordt berekend op basis van de afname van het TZV;
- extra energiegebruik als gevolg van het toepassen van DAF ten opzichte van de huidige situatie;
- extra biogasproductie (energieproductie) als gevolg van primair slibproductie;
- extra energiegebruik als gevolg van slibbehandeling (indikken en ontwatering).

Om de varianten te beoordelen op het aspect duurzaamheid wordt een GER-balans opgesteld (elektriciteitsverbruik, biogas en CO<sub>2</sub>-productie van gebruikte chemicaliën).

# 3

## MATERIALEN EN METHODE DEMONSTRATIEONDERZOEK

### 3.1 DEMONSTRATIE-INSTALLATIE DAF

Voor het demonstratieonderzoek op rwzi Lienden is dezelfde DAF-installatie gebruikt als op rwzi Eindhoven [4]. Hierbij zijn de optimalisaties uit het proefonderzoek op Eindhoven meegenomen. Afbeelding 3.1 toont de demonstratie-installatie op rwzi Lienden.

AFBEELDING 3.1 DAF-INSTALLATIE OP RWZI LIENDEN



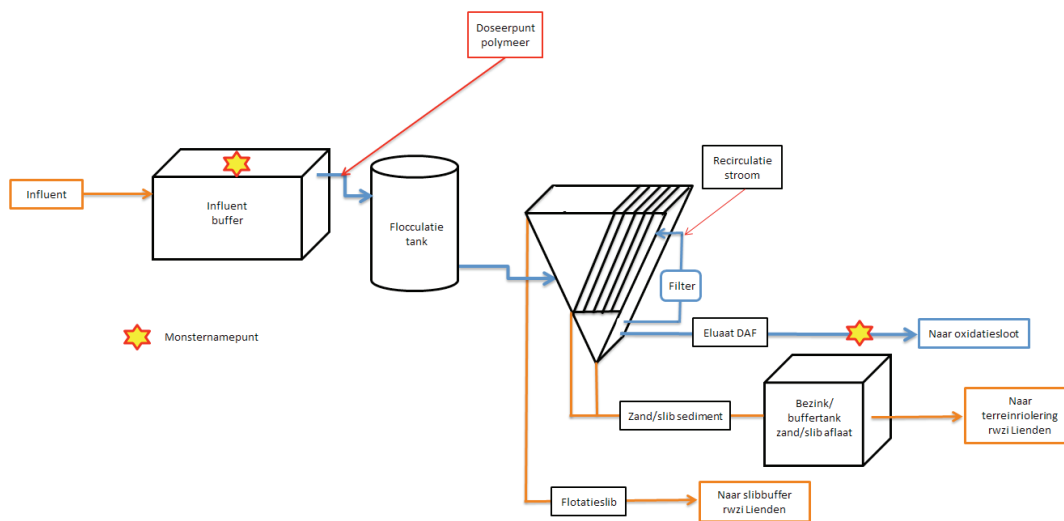
Het afvalwater wordt vanuit de selector via aparte (geroerde) buffertanks voor de bemonstering en analyses, coagulatie en flocculatie verpompt naar de DAF-installatie. Het effluent van de DAF-installatie stroomt via de overloop van de selector naar de beluchtingstank. Het flotatieslib wordt afgeschraapt door het schrapersysteem. Het afgevangen flotatieslib wordt verpompt naar 1 van de 2 slibbuffertanks.

Het influent verzamelt zich in een influentbuffer waaruit bemonsterd wordt. Het polymeer wordt gedoseerd in de leiding tussen de influentbuffertank en de flocculatietank. Op deze wijze vindt een goede initiële menging plaats. In de flocculatietank is een mixer geplaatst die het water langzaam roert, zodat er voldoende tijd is voor vlokvorming. Het afvalwater wordt in de toevoerleiding gemengd met een lucht-water mengsel met zeer kleine luchtbelletjes ( $\pm 40 \mu\text{m}$ ). Het hiervoor benodigde water is gerecirculeerd eluaat van de DAF.



Het influent stroomt de unit in via een inlaatcompartiment, waar zware deeltjes bezinken. Periodieke drainage van dit compartiment is noodzakelijk. Het water stroomt vanuit het inlaatcompartiment het platenpakket in. Traag opstijgende deeltjes die aan luchtbelletjes gehecht worden in dit platenpakket uit het water verwijderd, doordat een laminair stromingspatroon is gecreëerd tussen de platen. De floteerbare deeltjes gaan langs de platen omhoog en worden verzameld in de drijfslag, zwaardere deeltjes kunnen alsnog bezinken via het platenpakket. Door middel van een schrapersysteem vindt afscheiding flotatieslib plaats. Gereinigd water stroomt langs het platenpakket naar de bodem en verlaat de unit via een geregelde effluentklep. Een deel van het behandelde water wordt gerecirculeerd en gebruikt om het influent te beluchten. De recirculatiepomp brengt het water onder een druk van 4-6 bar.

AFBEELDING 3.2 SCHEMATISCH OVERZICHT DAF PILOT OPSTELLING



In de beluchtungspijp vlak na de recirculatiepomp wordt lucht in het water gedoseerd. Boven in de mengpijp wordt het onder druk gebrachte water met lucht gemengd. Door gebruik te maken van drukverhoging kan er meer lucht opgelost worden in water. Aan de onderkant van de mengpijp is een ontluichtingsafsluiter geplaatst om onopgeloste lucht te laten ontsnappen. Juist voordat het recirculatiewater wordt toegevoegd aan het voedingswater vindt ontspanning plaats. Bij drukverlaging tot 1 bar komt het grootste deel van de opgeloste lucht vrij in de vorm van zeer kleine luchtbelletjes ( $\pm 40 \mu\text{m}$ ).

Na de DAF-installatie stroomt het behandelde water (eluaat) terug naar de overloop van de selector naar het beluchtungs-circuit. In de eluaatleiding vindt bemonstering plaats voor analyses. Het gesedimenteerde zand en slib wordt via de onderkant van de DAF afgelaten naar een bezinkbuffer. Vanuit hier stroomt het afvalwater via de overloop van de buffer de terreinriolering in om vervolgens het opnieuw de rwzi in te leiden.

### 3.1.1 DIMENSIES DAF EN TOEBEHOREN

In tabel 3.1 zijn per procesonderdeel van de pilotopstelling de volumes en de verblijftijd weergegeven.

TABEL 3.1 VOLUME EN VERBLIJFTIJD PER PROCESONDERDEEL PILOTINSTALLATIE DAF

onderdelen	volume	eenheid	verblijftijd bij 45 m <sup>3</sup> /h	eenheid
influentbuffer	3,6	m <sup>3</sup>	4,8	Min
flocculatietank	3,0	m <sup>3</sup>	4,0	Min
DAF	4,6	m <sup>3</sup>	6,1	Min
eluaatbuffer	2,6	m <sup>3</sup>	3,5	Min
totaal	14	m <sup>3</sup>	18,4	Min

In tabel 3.2 zijn de overige specificaties van de DAF-pilotinstallatie weergegeven.

TABEL 3.2 SPECIFICATIES DAF-PILOTINSTALLATIE

specificaties	waarde (range)	eenheid
Debiet	30 - 60	m <sup>3</sup> /h
Oppervlaktebelasting	13 - 27	m/h
Plaatbelasting	2,25 - 3	m/h
Polymeerdosering	0,5 - 3,5	mg/l
Luchttoevoer	3	l/min
Druk recirculatiestroom	5 - 6,5	Bar
Debiet recirculatiestroom	6,2	m <sup>3</sup> /h

### 3.1.2 OPTIMALISATIES VAN DE INSTALLATIE

De installatie heeft gedurende het onderzoek naar behoren gedraaid. Wel trad verstopping op in de recirculatiestroom, waardoor een ander filter moest worden toegepast. Dit is het gevolg van een (te) grove voorzuivering op de rwzi. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 4.2.

### 3.1.3 COAGULANTDOSERING

Op rwzi Lienden is geen coagulant gedoseerd.

### 3.1.4 POLYMEERDOSERING

Op rwzi Lienden is polymeer als flocculant gedoseerd. Het gebruikte polymeer is Kemira 1592 RS. Dit is een kationisch acrylamide. De bruikbaarheid van dit polymeer is vastgesteld in een jartest.

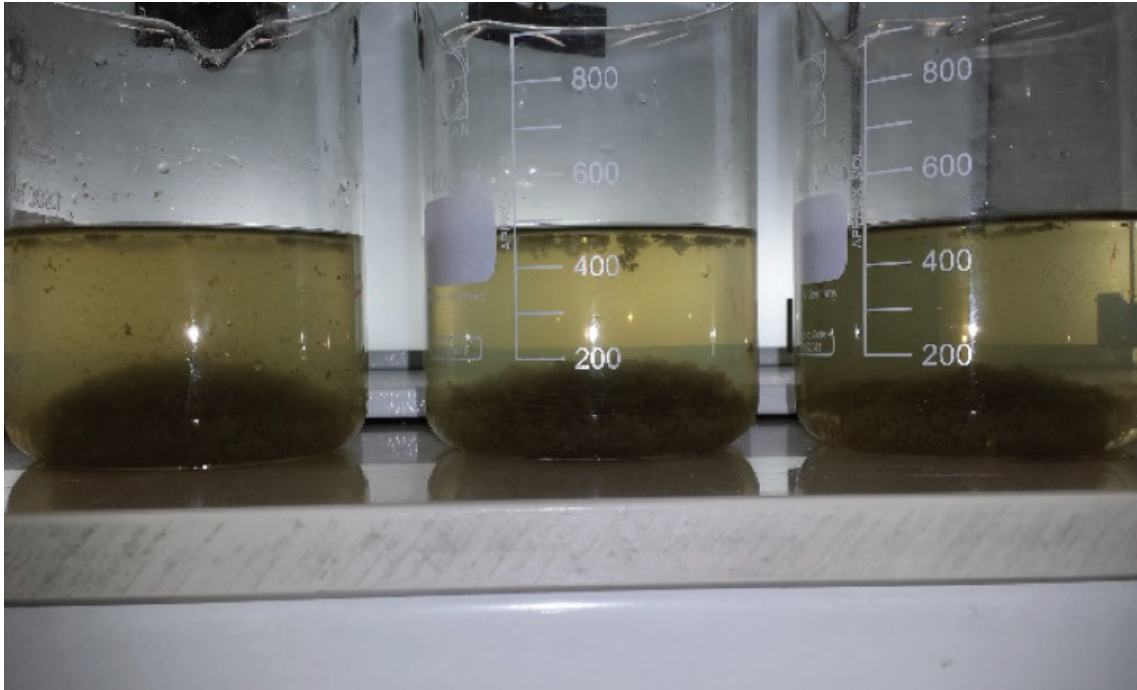
Tijdens jartesten zijn diverse polymeren gebruikt om vast te stellen welke producten en welke concentraties actief polymeer de beste flocculatie geven. Hierbij wordt een range van producten getest, zoals sterk anionische, zwak anionische, zwak kationische en sterk kationische acrylamiden. Uit deze testen is naar voren gekomen dat voor zowel de testen met enkel influent als voor de testen met een combinatie van influent en spuislib het meest geschikte voor de test op rwzi Lienden het polymeer Kemira 1592 RS is. Dit is een zwak kationisch acrylamide (10% lading).

Een geconcentreerd vloeibaar polymeer wordt vanuit de chemieleverancier aangeleverd met een concentratie van 50% polymeer. Dit betekent dat er maximaal 50% actief polymeer aanwezig kan zijn. Over het algemeen zal de activiteit van vloeibaar polymeer tussen de 35 en 50% zijn. Gedurende het onderzoek is rekening gehouden met de activiteit van het product. Het gedoseerde polymeer is in deze rapportage weergegeven als mg/l actief polymeer.

In afbeelding 3.3 is de jartest voor influent, opgemengd met spuislib weergegeven. Hierbij is van links naar rechts respectievelijk 1, 2 en 3 mg/l actief polymeer gebruikt. In deze afbeel-

ding is te zien dat bij 1 mg/l actief polymeer er nog veel kleine vlokken in de waterlaag aanwezig zijn. Bij 2 en 3 mg/l actief polymeer is de waterlaag minder troebel. Daarom is gedurende onderzoeksperiode 3 de polymeerdosering verhoogd van 1 mg/l naar 2,5 mg/l actief polymeer.

AFBEELDING 3.3 JARTEST VOOR INFLUENT MET SPUISLIB



### POLYMEERAAANMAAK

Voor de DAF-installatie wordt geconcentreerd polymeer (50%) ingekocht. Voor het onderzoek is een concentratie van 0,1% tot 0,4% toegepast. In een aanmaakstation wordt het geconcentreerde polymeer goed gemengd met de juiste hoeveelheid water en in de juiste snelheid geroerd om de eigenschappen te bewaren. Omdat een verdunde polymeeroplossing niet bewaard kan worden is het noodzakelijk deze ter plaatse te maken. Om een continue werking te kunnen garanderen functioneert het aanmaakstation volledig automatisch. De werking is als volgt:

- Het vloeibare polymeer wordt door een hevelpomp vanuit een voorraadvat of -tank naar het aanmaakcompartiment gepompt.
  - De aanmaakcyclus start zodra het laagniveau in het aanmaakcompartiment is bereikt<sup>2</sup>.
  - In de watertoevoerleiding is een debietmeter geïnstalleerd, dat een signaal geeft aan de PLC voor iedere 10 liter water die toegevoegd is. De mixer en watertoevoer starten, en voor iedere 10 liter water start de polymeer doseerpomp voor een in de PLC ingestelde tijd. Op deze wijze wordt de concentratie in de aanmaakunit bepaald.
  - De polymeer hevelpomp loopt gedurende een berekende periode, zodat de polymeeroplossing de gewenste concentratie bereikt.
  - Zodra het niveau het hoogniveaupunt heeft bereikt stopt de watertoevoer en schakelt de polymeerhevelpomp uit. De mixer blijft nog een bepaalde tijd lopen, de zogenaamde 'rijpingstijd', die nodig is om de oplossing te laten rijpen. De aangemaakte polymeeroplossing is over het algemeen na een rijpingstijd van 10 tot 15 minuten klaar voor gebruik.
- 2 Dit betekent dat er steeds een kleine hoeveelheid aangemaakt polymeer overblijft. Dit restproduct wordt met vers aangemaakt polymeer gemengd tijdens 2 aanmaakcyclussen per dag. Dit zal geen negatief effect hebben op de werking van het polymeer. Bij deze pilot begint de aanmaak wanneer de voorraad 50% is.

- De oplossing wordt vanuit het doseercompartiment door een polymeerdoseerpomp aan het proces gedoseerd. Indien nodig is een naverdunningsstelsel geïnstalleerd om de gewenste concentratie te bereiken.
- Wanneer de polymeeroplossing voldoende is gerijpt en klaar is voor gebruik stopt de mixer om te voorkomen dat de macromoleculaire polymeerketens door intensief mengen breken.

### 3.2 METHODIEK EN ONDERZOEKSPERIODES

Het demonstratieonderzoek op rwzi Lienden had tot doel te bepalen of DAF kan worden ingezet om een bestaande zuivering zonder voorbezinktank te ontlasten. Daarom is de verwijdering van zwevende stof, BZV<sub>5</sub>, CZV, zwevende stof, Kjeldahl-stikstof, totaal fosfaat en orthofosfaat gemeten. Dit is zowel met als zonder polymeerdosering getest. Daarnaast is een combinatie van spuislib en influent behandeld in de DAF-installatie. Dit heeft plaatsgevonden in drie onderzoeksperiodes:

- Behandeling van influent zonder polymeerdosering
- Behandeling van influent met 1 mg/l polymeerdosering
- Behandeling van influent en spuislib met 2,5 mg/l polymeerdosering
- 

#### ONDERZOEKSPERIODE 1: BEHANDELING VAN INFLUENT ZONDER POLYMEER-DOSERING

Bij aanvang van het onderzoek en aan het einde van het onderzoek is de DAF-installatie bedreven zonder chemicaliëndosering. Het bedrijven zonder chemicaliën heeft vanuit duurzaamheidsoogpunt de voorkeur. Het verwijderingsrendement dient echter wel hoog genoeg te zijn om voldoende belasting weg te nemen.

Onderzoeksperiode 1 vond plaats van 11 tot en met 25 september 2013 (15 dagen) en van 5 tot en met 13 december 2013 (9 dagen).

#### ONDERZOEKSPERIODE 2: BEHANDELING VAN INFLUENT MET 1 MG/L POLYMEERDOSERING

Voor een hoger verwijderingsrendement is de DAF-installatie bedreven met een polymeerdosering van 1 mg/l. Onderzoeksperiode 2 vond plaats van 26 september tot en met 22 november 2013 (58 dagen)

#### ONDERZOEKSPERIODE 3: BEHANDELING VAN INFLUENT EN SPUISLIB MET 2,5 MG/L POLYMEERDOSERING

Als aanvullende test is bekeken of de DAF-installatie kan worden ingezet om het spuislib verder in te dikken. Tijdens deze periode is een combinatie van spuislib en influent over de DAF-installatie geleid. Gedurende de eerste week ging het om 40 m<sup>3</sup>/d spuislib, tijdens de resterende 5 dagen om 60 m<sup>3</sup>/d. Hierbij is een polymeerdosering van 2,5 mg/l toegepast. Onderzoeksperiode 3 vond plaats van 23 november tot en met 4 december 2013 (12 dagen).

Op rwzi Lienden is steeds 45 m<sup>3</sup>/uur van het influent over de DAF-installatie geleid. Dit komt overeen met een dagdebiet van 1080 m<sup>3</sup>/dag. Door storingen is dit debiet niet op alle dagen behaald. Afhankelijk van de aanvoer naar de rwzi fluctueerde het aandeel van het volledige influent dat in de DAF-installatie werd behandeld (zie afbeelding 4.11).

### 3.3 MONSTERNAME EN ANALYSES

Tijdens het demonstratieonderzoek zijn zowel monsters van de waterlijn als van de sliblijn geanalyseerd.

#### **WATERLIJN**

Regulier zijn 24-uurs monsters van het influent en effluent van de rwzi en het eluaat van de DAF-installatie genomen voor het meten van de volgende stoffen:

- CZV;
- BZV<sub>5</sub>;
- Totaal stikstof;
- Nitraat
- Totaal fosfaat;
- Orthofosfaat
- Zwevende-stofgehalte.

#### **SLIBLIJN**

De slibmonsters zijn handmatig als steekmonster genomen. De slibmonsters zijn geanalyseerd op de volgende parameters:

- Indamprest;
- Asrest;
- Kjeldahl stikstof;
- Totaal fosfaat;
- CZV;
- SVI (actief slib in de beluchting).

Tijdens het onderzoek is bovendien het energieverbruik van de DAF-installatie en de gehele rwzi bijgehouden. Ook is de hoeveelheid flotaat gemonitord. Uit de reguliere meetgegevens van de rwzi kan worden afgeleid hoeveel slib er in totaal wordt afgevoerd.

# 4

## RESULTATEN EN ANALYSE

### DEMONSTRATIEONDERZOEK LIENDEN

#### 4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk zet de resultaten van het demonstratieonderzoek uiteen. Hierbij wordt eerst ingegaan op de bedrijfsvoeringservaringen. Hierbij worden ook de aanpassingen aan de installatie die nodig bleken benoemd. Vervolgens worden de behaalde verwijderingsrendementen met en zonder polymeedosering besproken. Daarna wordt ingegaan op het effect op de gehele rwzi, waarbij zoveel mogelijk wordt gekeken naar de volledige onderzoeksperiode. Daarop volgt de beschouwing van de periode waarin ook spuislib in de DAF is behandeld. Het hoofdstuk sluit af met de beantwoording van de onderzoeksvragen.

#### 4.2 BEDRIJFSVOERINGSERVARINGEN

De pilotinstallatie was goed te beheren en te onderhouden. De installatie is geautomatiseerd zodat deze stand-alone kan draaien. De enige instelling die regelmatig is veranderd, is de loop- wachttijd van het schrapersysteem waarmee de drijfslag wordt verwijderd. Op basis van een inschatting van de dikte van de drijfslag vond bijstelling plaats. Behalve bij de periode waarbij slib is toegevoegd (erg veel TSS-opbouw), zal het aanpassen van de schrapper in de praktijk echter niet nodig zijn. In onderzoeksperiode 2 (met polymeer) heeft dit zes maal plaatsgevonden. De meeste aanpassingen zijn gedaan tijdens onderzoeksperiode 3, toen gedurende twee weken het spuislib via de DAF werd behandeld. Gezien de grotere hoeveelheid zwevende stof was het moeilijk een instelling te vinden waarbij de drijfslag goed werd verwijderd. In de praktijk is dit te verhelpen door een andere dimensionering van de DAF, waarbij gekozen wordt voor een groter oppervlak. De oppervlaktebelasting neemt dan af. Het vele draaien van het schrapersysteem heeft geleid tot een verlaging van het zwevende-stofgehalte van het afgevoerde flotatieslib (zie ook tabel 4.14).

Gedurende de gehele looptijd van het onderzoek was het niet nodig om onderhoud aan de installatie uit te voeren.

##### 4.2.1 VERSTOPPING DOOR VEZELS

Op de rwzi Lienden vindt de roostergoedverwijdering plaats met een harkrooster met een spleetwijdte van 10 mm. Vezels worden hiermee slecht afgevangen. De vezels hoopten zich op aan de mengers van de flocculatietank (spinselvorming). Het is driemaal voorgekomen dat deze zijn losgekomen en tot verstopping van de toevoer naar de DAF-installatie hebben geleid (zie afbeelding 4.1). De verstoppingen zullen naar verwachting niet meer optreden als er geen mengers worden gebruikt, maar een pijpflocculator. Hierdoor zijn er geen obstructies in de aanvoer meer aanwezig waar vezels zich kunnen ophopen. Ook als de verdeling in de toevoer anders wordt uitgevoerd, zullen verstoppingen niet meer voorkomen.

AFBEELDING 4.1 TOEVOER DAF-INSTALLATIE MET VERSTOPPING



#### 4.2.2 FILTER RECIRCULATIESTROOM

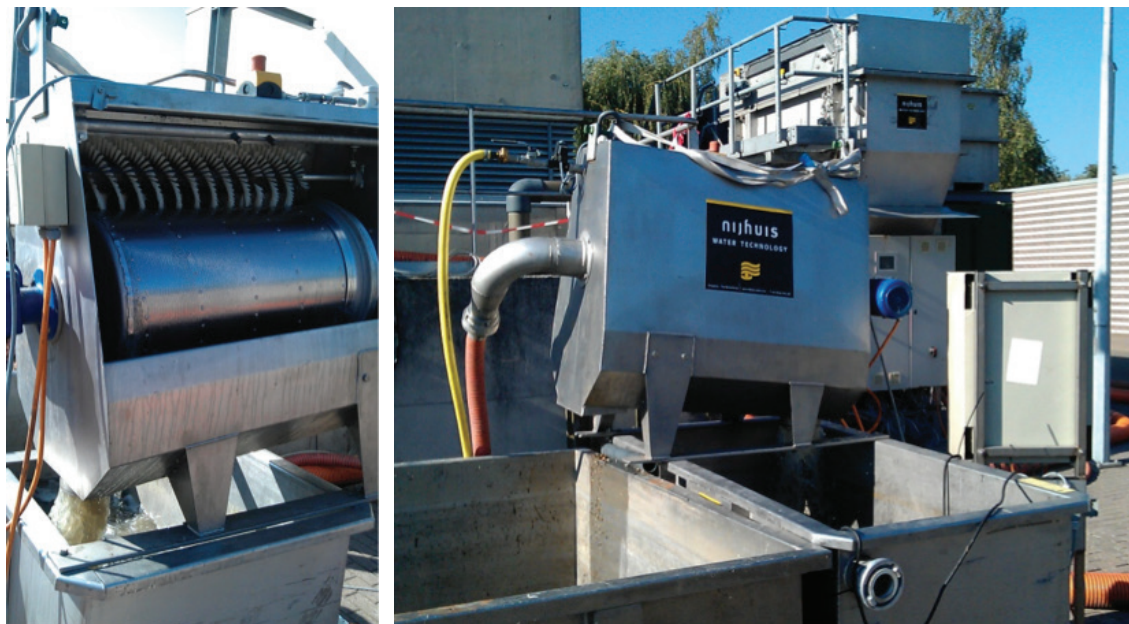
Bij de opstart hebben zich veel problemen voorgedaan met het filter in de recirculatiestroom. Het filter kon de vervuiling niet aan en bleef nagenoeg continu spoelen. Het filter moest ook meerdere keren per dag handmatig worden schoongemaakt. De DAF-installatie is regelmatig uitgevallen doordat de druk op het filter te sterk opliep.

AFBEELDING 4.2 OORSPRONKELIJK FILTER



In de derde week is er een trommelfilter geplaatst (zie afbeelding 4.3). Dit heeft zonder problemen gedraaid.

AFBEELDING 4.3



Na de onderzoeksperiode is er nog een kleiner zelfreinigend filter getest (zie afbeelding 4.4). Ook dit heeft zonder problemen gedraaid.

AFBEELDING 4.4 ZELFREINIGEND FILTER



### 4.3 ONDERZOEKSPERIODE 1 EN 2: VERWIJDERINGSRENDEMENTEN DAF

#### 4.3.1 ONDERZOEKSPERIODE 1: ZONDER POLYMEERDOSERING

Bij aanvang van het onderzoek en gedurende de laatste week van het onderzoek is de DAF bedreven zonder dosering van chemicaliën. Tijdens de eerste weken van het onderzoek is ervaring opgedaan met de bedrijfsvoering. Tijdens deze periode zijn enkele storingen opgetreden. Daarom is alleen de laatste week beschouwd als correcte bedrijfsvoering van de DAF



zonder chemicaliëndosering. De resultaten van deze week ziet u in tabel 4.1. Het gaat hier om een beperkt aantal meetgegevens (4 metingen).

In deze tabel ziet u dat er voor droge stof een rendement te behalen is van 35%. Wel is de spreiding zowel in het influent als in het effluent relatief groot. Voor zowel BZV als voor CZV is een rendement te behalen van bijna 30%. Kjeldahl stikstof, orthofosfaat en totaal fosfaat worden nauwelijks verwijderd.

TABEL 4.1 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN DAF ZONDER POLYMEERDOSERING

parameter	eenheid	DS	BZV	CZV	N-Kj	Ptot-P	PO <sub>4</sub> -P	
oppervlaktebelasting	m/uur	20	20	20	20	20	20	
aantal metingen		4	4	4	4	4	4	
influent	gemiddeld	mg/l	365	330	820	72	10,4	6,4
	min	mg/l	240	250	610	46	6,4	3,9
	max	mg/l	590	390	1210	97	15,0	8,1
eluaat DAF	gemiddeld	mg/l	236	232	558	63	8,8	5,9
	min	mg/l	160	180	470	45	6,5	3,8
	max	mg/l	370	320	780	79	11,0	7,4
rendement	gemiddeld	%	35%	26%	28%	5%	8%	2%
	min	%	23%	18%	21%	-9%	-9%	-12%
	max	%	50%	34%	36%	19%	27%	11%

#### 4.3.2 ONDERZOEKSPERIODE 2: MET POLYMEERDOSERING

In tabel 4.2 en tabel 4.3 ziet u de resultaten van onderzoeksperiode 2, waarin is gedraaid met een polymeerdosering van 1 mg/l. Tijdens onderzoeksperiode 2 zijn er enkele dagen met veel tot zeer veel regen geweest. Daarom zijn de resultaten verdeeld in twee categorieën: droog weer en regenweer. Droog weer is een influentdebiet lager dan 2.000 m<sup>3</sup>/dag en regenweer een influentdebiet van meer dan 2.000 m<sup>3</sup>/dag. De resultaten zijn grafisch weergegeven in Afbeelding 4.5 tot en met Afbeelding 4.10. De werking van de DAF op de verwijderingsprestaties bij verschillende aanvoerdebieten is af te leiden uit de percentuele verwijderingsrendementen (effluentconcentratie versus de influentconcentratie).

Tijdens onderzoeksperiode 2 zijn voor alle componenten hogere verwijderingspercentages behaald dan zonder dosering van polymeer. Wel is de spreiding in de resultaten groot. Bij droog weer worden hogere verwijderingsrendementen behaald voor zwevende stof, P-totaal en PO<sub>4</sub>.

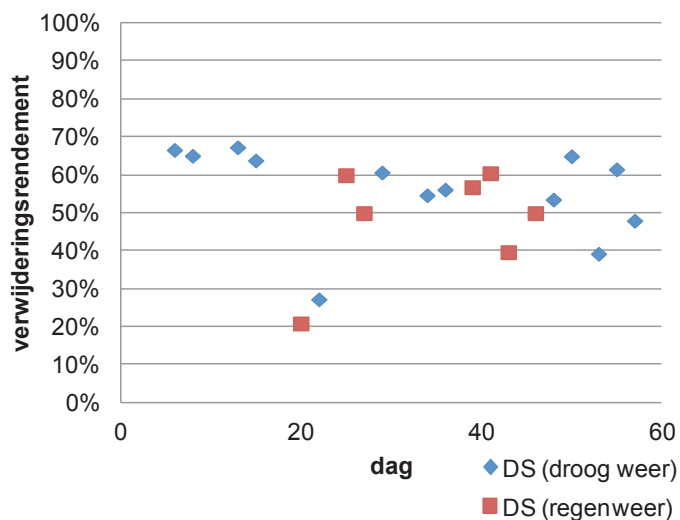
TABEL 4.2 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN DAF MET POLYMEERDOSERING (1 MG/L), DWA

parameter	eenheid	DS	BZV	CZV	N-Kj	Ptot-P	PO <sub>4</sub> -P	
oppervlaktebelasting	m/uur	20	20	20	20	20	20	
aantal metingen		13	13	13	13	13	12	
influent	gemiddeld	mg/l	295	236	625	62	8,9	6,0
	min	mg/l	0	125	125	353	50,3	6,7
	max	mg/l	270	254	617	85	11,7	8,1
eluaat DAF	gemiddeld	mg/l	121	148	363	53	7,4	5,2
	min	mg/l	63	76	180	31	4,1	2,7
	max	mg/l	170	230	490	73	12,0	7,5
rendement	gemiddeld	%	56%	36%	41%	13%	15%	12%
	min	%	27%	8%	20%	8%	0%	0%
	max	%	67%	49%	56%	23%	27%	40%

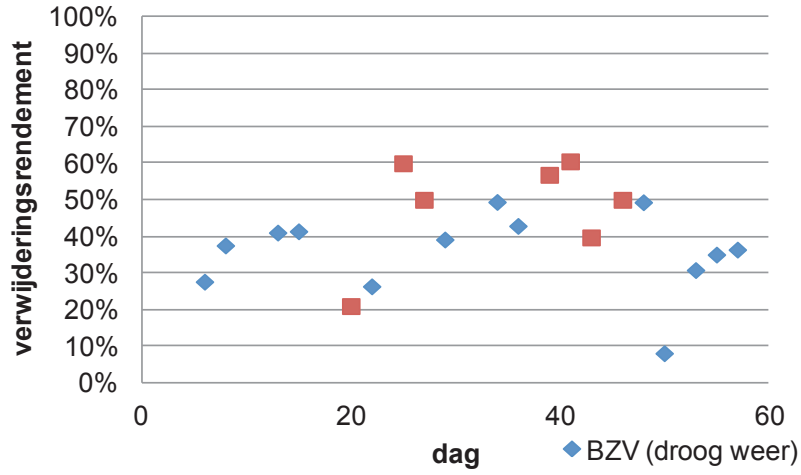
TABEL 4.3 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN DAF MET POLYMEERDOSERING (1 MG/L), RWA

parameter	eenheid	DS	BZV	CZV	N-Kj	Ptot-P	PO <sub>4</sub> -P	
oppervlaktebelasting	m/uur	20	20	20	20	20	20	
aantal metingen		7	6	7	6	7	6	
influent	gemiddeld	mg/l	145	99	271	24	3,8	2,6
	min	mg/l	68	54	120	17	2,1	1,4
	max	mg/l	250	150	420	38	6,0	3,7
eluaat DAF	gemiddeld	mg/l	71	54	159	22	3,3	2,2
	min	mg/l	30	24	87	14	1,8	1,3
	max	mg/l	110	93	250	34	4,8	3,3
rendement	gemiddeld	%	48%	44%	38%	12%	11%	8%
	min	%	21%	28%	23%	5%	4%	0%
	max	%	61%	56%	55%	18%	20%	16%

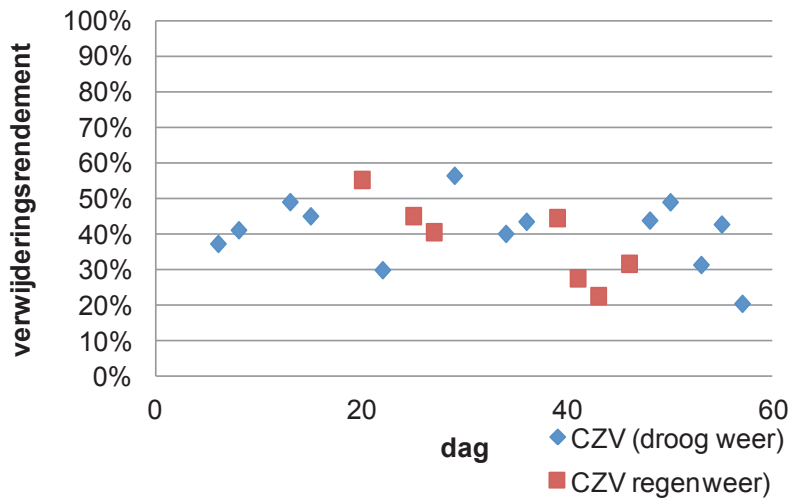
AFBEELDING 4.5 VERWIJDERINGSRENDEMENT ZWEVENDE STOF (1 MG/L POLYMEER)



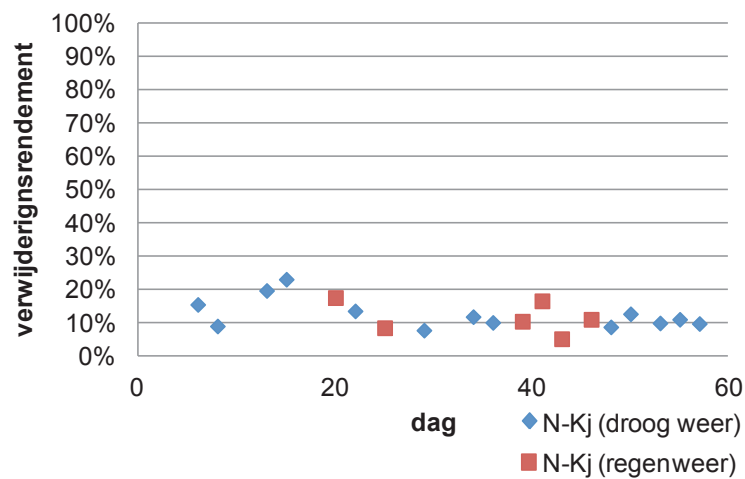
AFBEELDING 4.6 VERWIJDERINGSRENDEMENT BZV (1 MG/L POLYMEER)



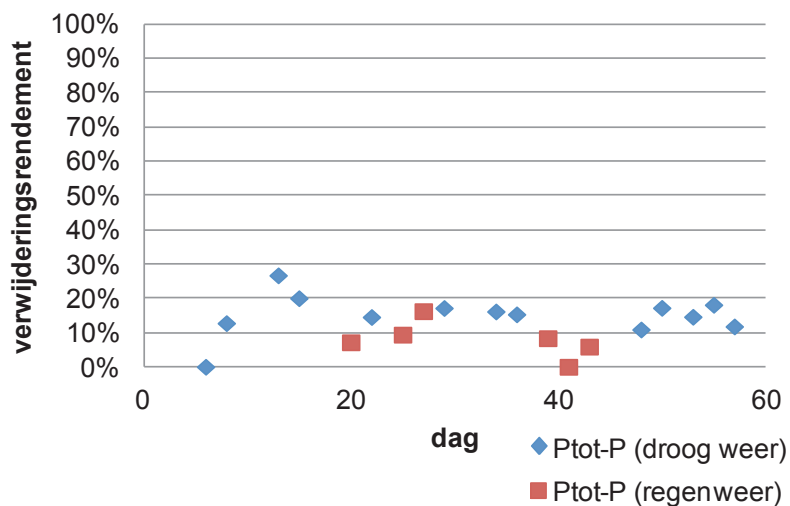
AFBEELDING 4.7 VERWIJDERINGSRENDEMENT CZV (1 MG/L POLYMEER)



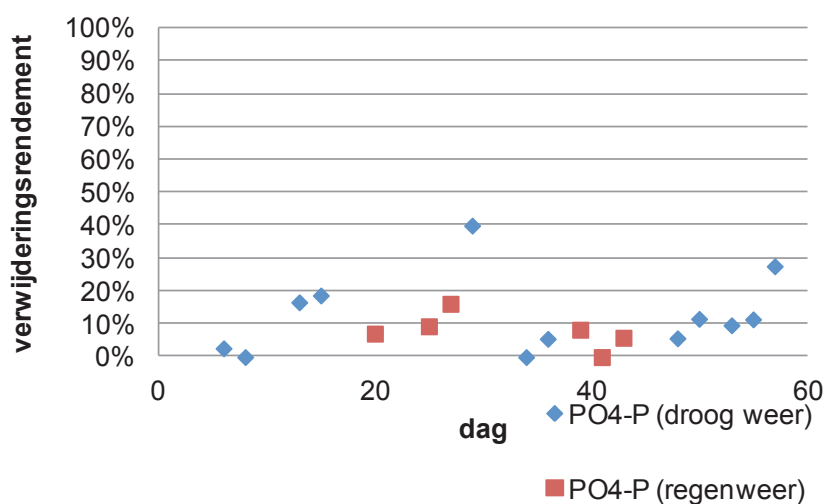
AFBEELDING 4.8 VERWIJDERINGSRENDEMENT KJELDAHL-STIKSTOF (1 MG/L POLYMEER)



AFBEELDING 4.9 VERWIJDERINGSRENDEMENT TOTAALFOSFAAT (1 MG/L POLYMEER)



AFBEELDING 4.10 VERWIJDERINGSRENDEMENT ORTHOFOSFAAT (1 MG/L POLYMEER)



#### 4.4 EFFECT OP DE RWZI

Om de haalbaarheid van DAF als voorbehandeling te kunnen bepalen, is het belangrijk om het effect op het functioneren van de rwzi vast te stellen. Hiervoor zijn tijdens de gehele onderzoeksperiode metingen verricht. Hieruit zijn de volgende parameters afgeleid:

- BZV/N-verhouding, per onderzoeksperiode;
- Belasting van de rwzi, per onderzoeksperiode;
- Effluentconcentraties, gehele proefperiode;
- Energiegebruik, gehele proefperiode;
- Samenstelling van het floaat, per onderzoeksperiode;
- Effect op de SVI, gehele proefperiode;
- Zuurstofgehalte in het eluaat, per onderzoeksperiode.

De parameters BZV/N-verhouding, belasting, samenstelling van het floaat en zuurstofgehalte in het eluaat zijn vastgesteld per onderzoeksperiode. Voor deze parameters is het immers van belang of er wel of geen polymeer wordt gedoseerd en zijn kunnen losse metingen over een korte periode al een goed beeld geven.

De parameters effluentconcentratie, energiegebruik en effect op de SVI zijn bepaald voor de gehele proefperiode. Het effect op het effluent en de SVI zijn namelijk het resultaat van een verandering die gedurende een langere periode plaatsvindt. Ook is het aantal meetpunten te beperkt om dit te kunnen uitsplitsen per onderzoeksperiode. Om het energiegebruik te kunnen vergelijken met eerdere jaren is naar de gehele proefperiode gekeken. Hierbij zijn ook de individuele onderzoeksperiodes aangegeven.

#### 4.4.1 BZV/N-VERHOUDING

Voor een goed werkend actief slibstelsysteem is een goede BZV/N-verhouding nodig. In tabel 4.4 is deze voor beide onderzoeksperiodes weergegeven, zowel voor het influent van de rwzi als voor het influent van de aeratietank (AT). In het influent van de AT is een minimale BZV/N-verhouding van 3,0 nodig. Een uitgebreide beschouwing van de benodigde BZV/N-verhouding vindt u in STOWA-rapport 2014-03. Uit tabel 4.4 blijkt dat deze zowel met als zonder polymeedosering gemiddeld wordt behaald. Wel fluctueerde de verhouding in het influent gedurende het onderzoek. Op sommige dagen was de BZV/N-verhouding met polymeedosering daardoor te laag. Waarschijnlijk heeft dit door de lange verblijftijd in de beluchtingstank geen of slechts beperkt effect op de effluentkwaliteit.

TABEL 4.4 BZV/N IN HET INFLUENT VAN DE RWZI EN DE AT TIJDENS PERIODE 1 EN 2

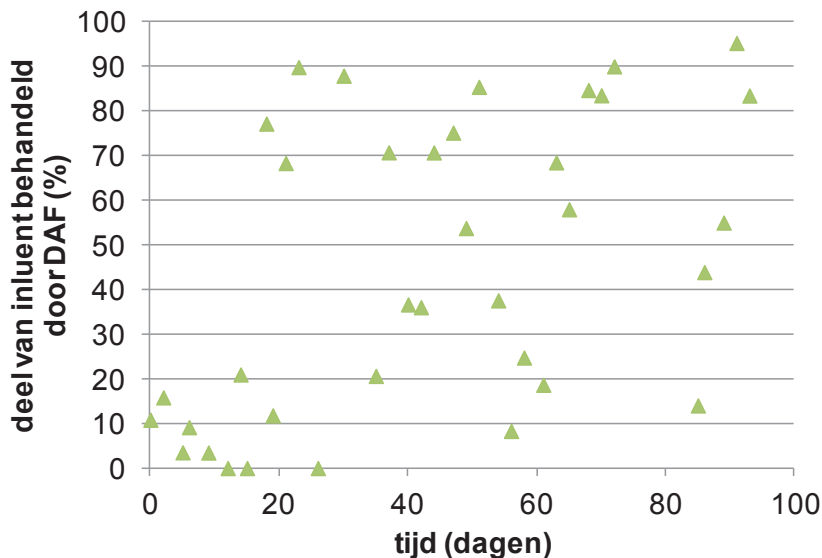
parameter	eenheid	influent rwzi	influent AT	influent rwzi	influent AT
periode		1	1	2	2
polymeerdosering	mg/l	0	0	1	1
oppervlaktebelasting	m/uur	20	20	20	20
BZV/N	aantal metingen	-	4	5	19
	gemiddeld	-	4,7	4,2	3,7
	min	-	4,0	3,8	2,1
	max	-	5,4	4,8	4,7

#### 4.4.2 VERLAGING BELASTING

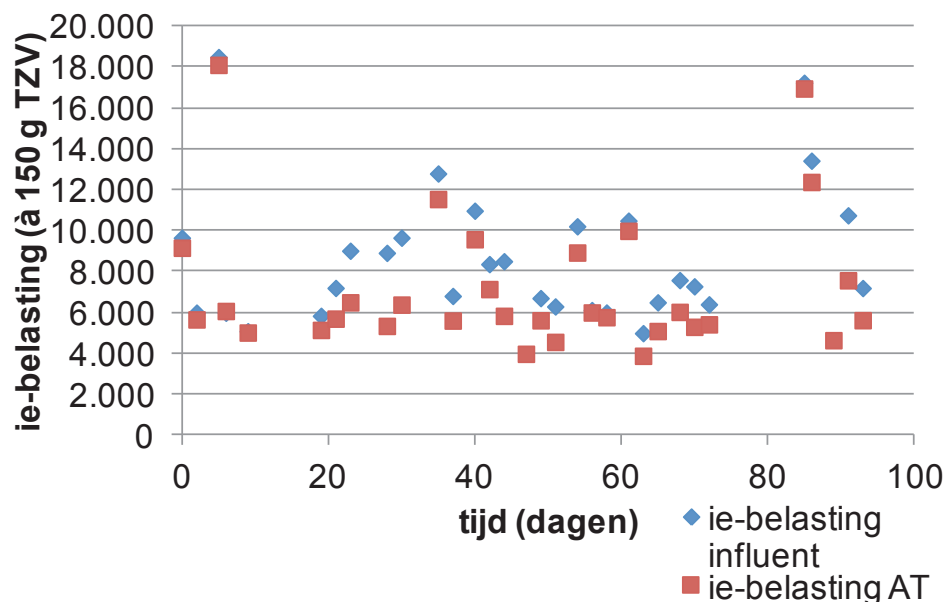
Een van de doelen van het DAF-onderzoek op rwzi Lienden is om de belasting van de rwzi te verlagen (zie ook bijlage I). Daarom is een zo groot mogelijk deel van het influent door de DAF behandeld. Dit aandeel is weergegeven in afbeelding 4.11.

Door voorbehandeling met DAF is de belasting van de AT verlaagd. Dit is weergegeven in afbeelding 4.12. Hieruit blijkt dat de TZV-belasting van de AT iets stabiel en lager is dan zonder voorbehandeling, maar dat er nog steeds pieken voorkomen. Een uitgebreide toelichting op de verlaging van de belasting per parameter staat in bijlage I.

AFBEELDING 4.11 DEEL VAN INFLUENT DAT DOOR DAF IS VOORBEHANDELD



AFBEELDING 4.12 BELASTING VAN INFLUENT EN AT MET VOORBEHANDELING DOOR DAF



#### 4.4.3 WERKING VAN DE RWZI EN EFFLUENTCONCENTRATIES

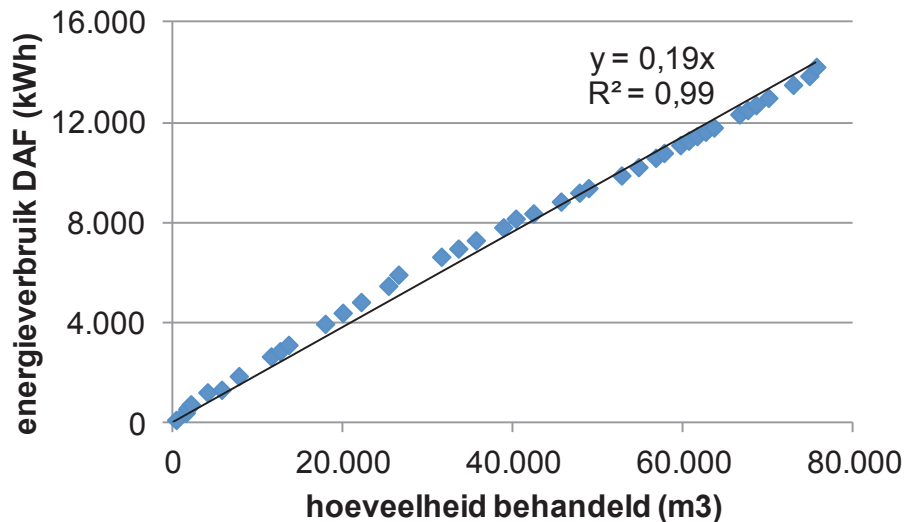
Het doel van het toepassen van DAF als voorbehandeling is om de biologische belasting van de rwzi te verlagen om zo de effluentkwaliteit te verbeteren en/of energie in de biologie te besparen. Daarom zijn de tijdens het onderzoek behaalde effluentconcentraties vergeleken met de waarden in eerdere jaren. Deze resultaten staan in bijlage I en II. Uit deze vergelijking komt geen duidelijke verbetering of verslechtering naar voren. Hierbij moet vermeld worden dat in april 2013 de besturing van de beluchting is aangepast van een tijd/zuurstofregeling naar een ammonium/zuurstofregeling. Dit kan enig effect hebben op de effluentkwaliteit.

De vergelijking van de kwaliteit tijdens het onderzoek met dezelfde periode in eerdere jaren laat zien dat het gecombineerde effect van een lagere belasting en een lagere BZV/N-verhouding leidt tot een gelijke effluentkwaliteit.

#### 4.4.4 ENERGIEGEBRUIK

Voor praktijktoepassing van DAF als voorbehandeling is het elektriciteitsverbruik van de DAF zelf en het effect op de elektriciteitsvraag voor beluchting belangrijk. In afbeelding 4.13 ziet u daarom het elektriciteitsgebruik en de hoeveelheid behandeld influent van de DAF tijdens het demonstratieonderzoek. Hieruit blijkt dat de elektriciteitsvraag van de DAF in de pilotopstelling 0,19 kWh per m<sup>3</sup> behandeld water bedraagt. Door optimalisaties op het verbruik van onder andere de recirculatiepomp kan het totale energieverbruik in de praktijk nog verlaagd worden.

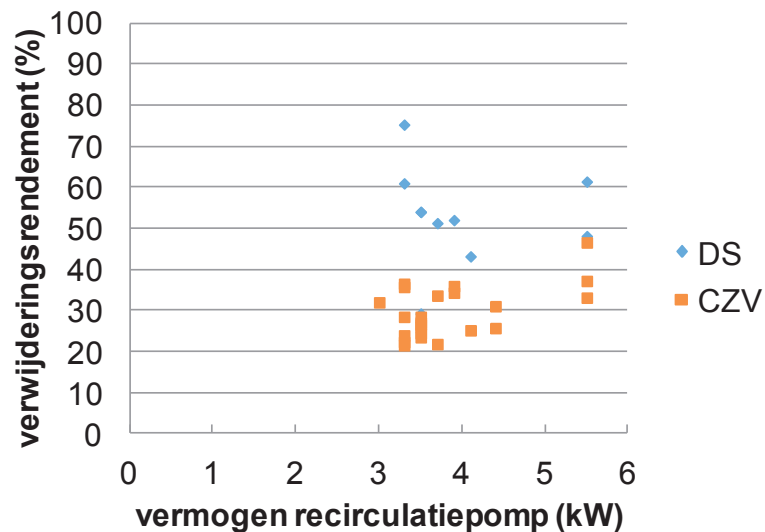
AFBEELDING 4.13 ENERGIEGEBRUIK DAF PILOTINSTALLATIE ALS FUNCTIE VAN BEHANDELD INFLUENT



#### OPTIMALISATIES ENERGIEGEBRUIK

Aanvullend op het STOWA-onderzoek is er door Waterschap Rivierenland en Nijhuis een onderzoek uitgevoerd om te bepalen hoeveel energiereductie er bereikt kan worden door de recirculatiepomp terug te toeren. Hierbij is onderzocht of het terugtoeren van de recirculatiepomp een negatief effect heeft op de verwijderingsrendementen van zwevende stof en CZV. De resultaten van de verwijderingsrendementen zijn weergegeven in afbeelding 4.14. Hieruit blijkt dat het terugtoeren van de recirculatiepomp van 5,5 kW naar 3,3 kW niet leidt tot een grote verlaging van het verwijderingsrendement.

AFBEELDING 4.14 VERWIJDERINGSRENDEMENT I.R.T. ENERGIEVERBRUIK RECIRCULATIEPOMP



Het energieverbruik van de pilotinstallatie en de installatie voor full-scale toepassing voor rwzi Lienden is weergegeven in tabel 4.5. Hierbij is de pilotinstallatie de installatie zoals gebruikt in het demonstratieonderzoek en de full-scale toepassing de installatie met een teruggetoerde recirculatiepomp en zonder mixers. Dit zijn de aanpassingen die voor full-scale toepassing gedaan zullen worden. Er zal geen gebruik worden gemaakt van de mixers voor de coagulatie en flocculatietank, doordat een inline dosering of een pijpflocculator gebruikt zal worden in de praktijk. Het energieverbruik van de influentpomp neemt hierdoor iets toe, maar dit zal minimaal zijn tenzij de pomp bovenin zijn werkgebied zit. Afgerond is dit nog steeds  $0,12 \text{ kW/m}^3$ . In beide gevallen is uitgegaan van een debiet van  $45 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

Voor de pilotinstallatie is een vermogen van 8,6 kW nodig. Dit komt neer op een verbruik van  $0,19 \text{ kWh/m}^3$ . Bij full-scale toepassing neemt dit af naar 5,4 kW, ofwel een verbruik van  $0,12 \text{ kWh/m}^3$ . Indien een groter debiet behandeld wordt, dan daalt het verbruik per  $\text{m}^3$ , doordat het energieverbruik van diverse elektrische delen niet lineair toeneemt bij een toename in het debiet.

TABEL 4.5

GEÏNSTALLEERD VERMOGEN EN GELIJKTIJDIGHEID PILOT EN FULL-SCALE INSTALLATIE

Procesonderdeel	Gelijktijdigheid	Pilot kW	Pilot Totaal (kW)	Full-scale kW	Full-scale Totaal (kW)
Aanvoerpomp	0,5	3	1,5	3	1,5
Recirculatiepomp	1	5,5	5,5	3,3	3,3
Schraper	0,3	0,37	0,11	0,37	0,11
Concentraatpomp polymeer	0,1	0,75	0,075	0,75	0,075
Doseerpomp polymeer	1	0,25	0,25	0,25	0,25
Slibpomp	0,1	1,5	0,15	1,5	0,15
Mixers	1	1	1	0	0
Totaal			8,6		5,4

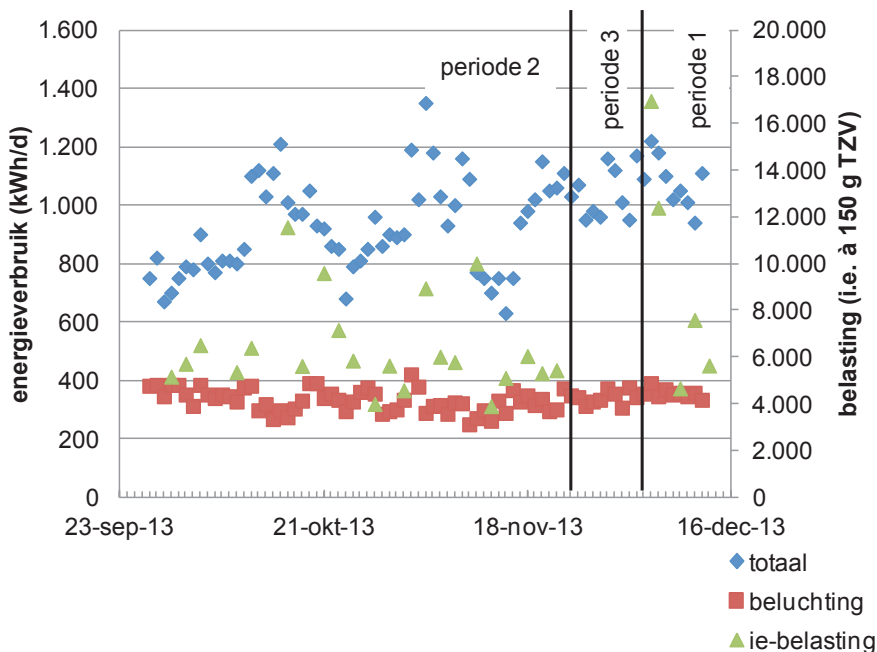
#### TOTAAL ENERGIEGEBRUIK

Afbeelding 4.15 toont het totale elektriciteitsgebruik en het elektriciteitsgebruik voor beluchting op rwzi Lienden tijdens het demonstratieonderzoek. Ook is de belasting (i.e.) weergegeven. Hieruit blijkt dat het totale elektriciteitsgebruik sterk fluctueert. Er lijkt samenhang te zijn tussen de belasting en het totale energieverbruik. Een relatie met het energieverbruik voor beluchting is niet duidelijk zichtbaar.

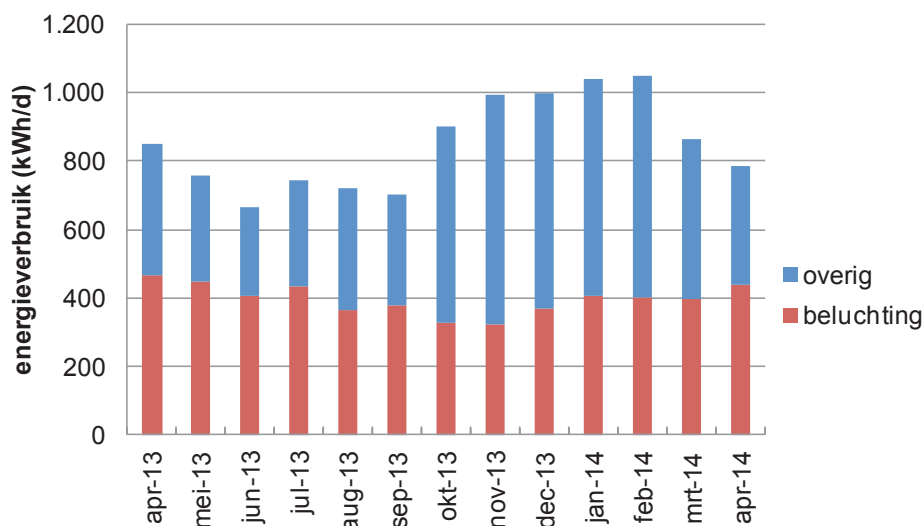
Het elektriciteitsverbruik voor beluchting varieerde tijdens het demonstratieonderzoek tussen  $250 \text{ kWh/d}$  en  $420 \text{ kWh/d}$ .



AFBEELDING 4.15 ENERGIEGEBRUIK RWZI LIENDEN TIJDENS DEMONSTRATIEONDERZOEK



AFBEELDING 4.16 GEMIDDELD ENERGIEGEBRUIK RWZI LIENDEN APRIL 2013-APRIL 2014



Afbeelding 4.16 relateert het elektriciteitsverbruik tijdens het demonstratieonderzoek aan het elektriciteitsverbruik op rwzi Lienden in de omliggende periode. Deze periode is gekozen omdat in april 2013 de besturing van de beluchting is aangepast van een tijd/zuurstofregeling naar een ammonium/zuurstofregeling.

Uit deze afbeelding blijkt dat het totale elektriciteitsverbruik 700-800 kWh/dag is, waarvan ruim de helft voor beluchting. Tijdens het demonstratieonderzoek (september-december 2013) was het elektriciteitsgebruik voor beluchting lager dan in de rest van het jaar. Het totale elektriciteitsverbruik was echter hoger. Ook in januari en februari is echter een hoger totaal energieverbruik gemeten. Het hogere totale verbruik kan dus niet worden verklaard door toepassing van DAF. Waarschijnlijk speelt ook de elektrische verwarming een rol.

#### 4.4.5 SAMENSTELLING FLOTAAT EN SPUISLIB

De samenstelling van het spuislib en flotaat is gemeten tijdens de periode zonder polymeerdosering en met polymeerdosering (tabel 4.6). Opvallend is dat zonder polymeerdosering het spuislib een lagere indamprest en het flotaat een hogere indamprest heeft dan met polymeerdosering. Dit flotaat zag er vezeliger uit. Het aantal metingen zonder polymeerdosering is echter zeer beperkt. De gloeirest is met polymeerdosering hoger, zowel in het spuislib als in het flotaat. Het CZV-gehalte is voor beide periodes vergelijkbaar. Het gehalte Kjeldahlstikstof in het spuislib is ook vergelijkbaar, maar is hoger in het flotaat wanneer polymeer wordt gedoseerd. Dit is in lijn met het hogere verwijderingsrendement met polymeerdosering.

TABEL 4.6 SAMENSTELLING SPUISLIB EN FLOTAAT

parameter		eenheid	ingedikt spuislib	ingedikt spuislib	flotaat DAF	flotaat DAF
			periode 1	periode 2	periode 1	periode 2
indamprest	gemiddeld	%	1,9	2,8	9,8	6,8
	min	%	1,6	2,2	6,5	2,9
	max	%	2,1	3,1	11,8	10,0
	aantal metingen		2	8	4	10
gloeirest	gemiddeld	%	27	31	11	19
	min	%	26	26	9	12
	max	%	27	37	12	31
	aantal metingen		2	8	4	10
CZV	gemiddeld	g/kg ds	1.160	1.130	1.534	1.326
	min	g/kg ds	1.140	997	994	980
	max	g/kg ds	1.180	1.290	2.040	2.210
	aantal metingen		2	7	4	9
N-Kjeldahl-N	gemiddeld	g/kg ds	67	65	18	34
	min	g/kg ds	67	50	16	20
	max	g/kg ds	67	72	19	53
	aantal metingen		1	8	3	10
P-totaal-P	gemiddeld	g/kg ds	29	20	4,1	7,2
	min	g/kg ds	28	17	3,6	2,6
	max	g/kg ds	29	24	5,0	14,0
	aantal metingen		2	8	4	10

#### 4.4.6 EFFECT OP DE SVI

Tijdens de proefperiode is de SVI (slibvolumeindex) gemeten. Deze resultaten zijn vergeleken met de metingen uit dezelfde periode in eerdere jaren in afbeelding 4.17. Een verschil tussen de onderzoeksperiode en eerdere jaren is dat de selector tijdens het onderzoek is gebruikt als influentbuffer en overloopbuffer en niet voor zijn oorspronkelijke functie.

Uit de afbeelding blijkt dat er in alle jaren een redelijke spreiding in de gegevens zit. Ook tijdens de proefperiode was dit het geval. De SVI lijkt niet hoger of lager te zijn dan in andere jaren. De SVI was in 2011 wel structureel lager dan in de andere beschouwde jaren.



TABEL 4.8 PRODUCTIE FLOTAAT IN PERIODE 1, 2 EN 3

parameter	eenheid	periode 1	periode 2	periode 3
debiet	m <sup>3</sup> /d	831	948	980
CZV in	kg/d	664	840	861
rendement CZV	%	28	40	44
CZV verwijderd	kg/d	188	334	380
slibproductie (65% van CZV)	kg/d	122	217	247
ds-gehalte	%	9,8%	6,8%	3,8%
	l flotaat/m <sup>3</sup>			
flotaatproductie	behandeld	1,51	3,38	6,58

## 4.5 ONDERZOEKSPERIODE 3: INDIKKEN SPUISLIB IN DAF

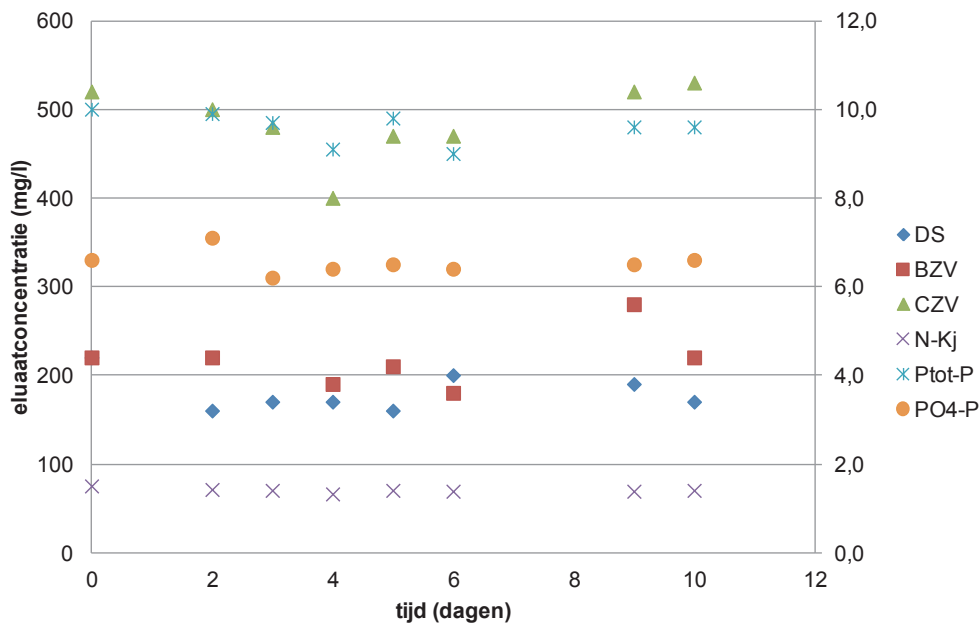
### 4.5.1 ELUAATCONCENTRATIES

De influent- en eluaatconcentraties en bijbehorende verwijderingsrendementen in onderzoeksperiode 3 zijn weergegeven in tabel 4.9. De eluaatconcentraties zijn ook weergegeven in afbeelding 4.18. Deze gegevens zijn niet te vergelijken met die uit periode 1 en 2, omdat ook spuislib over de DAF werd geleid. Dit werd gemengd met het influent.

Uit de tabel en afbeelding blijkt dat de eluaatconcentraties redelijk stabiel waren, ondanks de fluctuerende influentconcentratie.

TABEL 4.9 INFLUENT- EN ELUAATCONCENTRATIES TIJDENS ONDERZOEKSPERIODE 3 (2,5 MG/L POLYMEER)

parameter		eenheid	DS	BZV	CZV	N-Kj	Ptot-P	PO <sub>4</sub> -P
aantal metingen			8	7	8	8	8	8
influentconcentratie	gemiddeld	mg/l	443	393	879	86	13,4	7,3
	min	mg/l	360	280	780	71	11,0	6,6
	max	mg/l	560	570	1030	94	15,0	7,9
eluaatconcentratie	gemiddeld	mg/l	180	217	486	70	9,6	6,5
	min	mg/l	160	180	400	66	9,0	6,2
	max	mg/l	220	280	530	75	10,0	7,1
verwijderingsrendement	gemiddeld	%	58	46	44	18	27	10
	min	%	44	37	34	1	11	3
	max	%	69	59	58	29	39	16

AFBEELDING 4.18 ELUUAATCONCENTRATIES TIJDENS ONDERZOEKSPERIODE 3. P-TOTAAL EN PO<sub>4</sub>-P ZIJN WEERGEGEVEN OP DE RECHTER Y-AS

#### 4.5.2 EFFECT OP FLOTAAT EN SPUISLIB

Tabel 4.10 toont de samenstelling van het flotaat en het ingedikte spuislib tijdens onderzoeksperiode 3. Hieruit blijkt dat de indamprest van het flotaat lager is dan bij behandeling van alleen het influent bij een lagere polymeerdosering (9,8% bij 0 mg/l polymeer en 6,8% bij 1 mg/l polymeer). Tijdens onderzoeksperiode 3 was de indamprest van het niet ingedikte spuislib 4,1-4,6 g/l.

TABEL 4.10 SAMENSTELLING SPUISLIB EN FLOTAAT, ONDERZOEKSPERIODE 3 (2,5 MG/L POLYMEER)

parameter		eenheid	ingedikt spuislib	flotaat DAF
indamprest	gemiddeld	%	2,4	3,8
	min	%	2,2	3,4
	max	%	2,6	4,7
	aantal metingen		2	7
gloeirest	gemiddeld	%	26	18
	min	%	26	15
	max	%	26	19
	aantal metingen		2	8
CZV	gemiddeld	g/kg ds	1.140	1.463
	min	g/kg ds	1.100	1.250
	max	g/kg ds	1.180	1.983
	aantal metingen		2	4
N-Kjeldahl-N	gemiddeld	g/kg ds	73	59
	min	g/kg ds	71	56
	max	g/kg ds	75	60
	aantal metingen		2	4
P-totaal-P	gemiddeld	g/kg ds	18	14
	min	g/kg ds	18	13
	max	g/kg ds	18	15
	aantal metingen		2	4

De bedoeling van het indikken van spuislib met de DAF is om een hogere indikgraad te bereiken dan met de bestaande gravitaire indikter. Daarom zijn in Tabel 4.11 de indikgraden

van de laatste jaren weergegeven. Hieruit blijkt dat de indikgraad op rwzi Lienden fluctueert rond 3%. Door in te dikken met de DAF installatie kan een hogere indikgraad van 3,8% bereikt worden. Nijhuis Water Technology verwacht de indikgraad te kunnen verhogen tot 5,0% door het proces verder te optimaliseren. Een aandachtspunt bij het verhogen van de indikgraad is het verwijderen van het slib uit de slibbuffer. Er zal een menger geplaatst moeten worden om verder indikken onderin de buffer te voorkomen.

TABEL 4.11 HISTORISCHE WAARDE INDAMPREST SPUISLIB RWZI LIENDEN

jaar	eenheid	waarde
2008	%	2,8
2009	%	3,4
2010	%	2,7
2011	%	2,7
2012	%	3,4

#### 4.6 BEANTWOORDING ONDERZOEKSVRAGEN

##### 1. WAT ZIJN HAALBARE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN EN ELUAATCONCENTRATIES?

In tabel 4.12 staan de behaalde verwijderingsrendementen en eluaatconcentraties op rwzi Lienden. Onderzoeksperiode 3 is hierin niet opgenomen en wordt later besproken. Ter vergelijking zijn ook de behaalde resultaten op rwzi Eindhoven toegevoegd. Op rwzi Eindhoven zijn hogere verwijderingsrendementen behaald dan op rwzi Lienden. Er werd echter ook gebruik gemaakt van coagulant.

TABEL 4.12 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN EN ELUAATCONCENTRATIES RWZI LIENDEN EN RWZI EINDHOVEN

onderzoek	parameter	eenheid	DS	BZV	CZV	N-Kj	Ptot-P	PO <sub>4</sub> -P
periode 1 (0 mg/l polymeer)	verwijderingsrendement	%	35%	26%	28%	5%	8%	2%
	eluaatconcentratie	mg/l	236	232	558	63	9	6
periode 2 (1mg/l polymeer)	verwijderingsrendement	%	53%	38%	40%	12%	14%	11%
	eluaatconcentratie	mg/l	104	117	295	44	6	4
Eindhoven, optimale bedrijfsinstellingen	verwijderingsrendement	%	73%	56%	56%	-	60%	-
Eindhoven, optimale bedrijfsinstellingen	eluaatconcentratie	mg/l	62	99	254	-	4,3	-

##### 2. WAT IS DE INVLOED VAN DE CZV/BZV<sub>5</sub>-VERWIJDERING OP DE DENITRIFICATIE?

Op de rwzi Eindhoven leidde DAF met chemicaliëndosering tot een lage BZV/N-verhouding in het influent. Het effect hiervan was echter niet vast te stellen, omdat slechts een klein deel van het influent in de DAF-installatie werd behandeld. Op rwzi Lienden is DAF toegepast op een groot deel van het influent, waardoor het effect op de denitrificatie beter is vast te stellen.

De effluentconcentraties tijdens de onderzoeksperiode zijn vergeleken met die tijdens eerdere jaren. Deze waarden waren ongeveer gelijk. Voor sommige parameters was de effluentwaarde iets lager. De onderzoeksperiode was echter relatief kort. Ook zijn er een beperkt aantal metingen uitgevoerd. Daarom zijn uit deze constatering geen vergaande conclusies te trekken.

Overigens is ook op rwzi Lienden de BZV/N-verhouding bepaald. Deze is tijdens de onderzoeksperiode niet beperkend geweest.

### 3. WAT IS HET EFFECT VAN SPUISLIBAFVOER VIA DE DAF OP DE WERKING VAN DE DAF EN DE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN?

Het is goed mogelijk om spuislib via de DAF af te voeren. Hierbij zijn geen operationele problemen opgetreden.

In Tabel 4.13 staan de verwijderingsrendementen van deze onderzoeksperiode. Deze zijn echter niet te vergelijken met die uit de andere onderzoeksperiodes, omdat het influent van de DAF-installatie een combinatie was van rwzi-influent en spuislib. De verwijderingsrendementen zijn bepaald op basis van het DAF-influent.

TABEL 4.13 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN EN ELUAATCONCENTRATIES ONDERZOEKSPERIODE 3

onderzoek	parameter	eenheid	DS	BZV	CZV	N-Kj	Ptot-P	PO <sub>4</sub> -P
periode 3 (2,5 mg/l polymeer)	verwijderingsrendement	%	58%	46%	44%	18%	27%	16%
	eluaatconcentratie	mg/l	180	217	486	70	10	7

### 4. WAT IS HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE GEHELE DAF-PILOTINSTALLATIE?

Op basis van de testopstelling is gedurende de onderzoeksperiode een elektriciteitsvraag van de DAF op 0,19 kWh per m<sup>3</sup> behandeld water vastgesteld. Door optimalisatie en implementatie van een praktijkinstallatie wordt in praktijktoepassingen een energieverbruik van 0,12 kWh per m<sup>3</sup> behandeld water bereikt.

### 5. WAT IS HET ENERGIEVERBRUIK VOOR BELUCHTING?

Het energieverbruik voor beluchting op rwzi Lienden bedraagt ruim 400 kWh per dag. Tijdens de onderzoeksperiode kon niet vastgesteld worden dat het energieverbruik voor beluchting lager was. Dit is echter wel te verwachten door de lagere BZV- en stikstofbelasting. Wanneer een groter deel van het influent wordt voorbehandeld, is ook het energiegebruik voor beluchting lager. Aanpassingen van de bedrijfsvoering, zoals het verlagen van het slibgehalte, kunnen de energievraag voor beluchting nog verder verlagen. Echter, zonder het verlagen van het slibgehalte zal het te meten effect op energieverbruik voor beluchting minimaal zijn doordat de slibsamenstelling verandert zodat de endogene ademhaling toeneemt.

### 6. WAT IS HET ZUURSTOFGEHALTE IN HET ELUAAT?

Het zuurstofgehalte in het eluaat bedroeg gemiddeld 5,8 mg/l. Of het effect van zuurstof in het eluaat positief of negatief is hangt onder meer af van de locatie waar het DAF-eluaat wordt ingebracht in de beluchtingstank. Bij een aerobe zone kan het positief zijn, terwijl het in een anaerobe of anoxische zone negatief is. Het effect zal echter zeer klein zijn. Op rwzi Lienden is geen positief of negatief effect vastgesteld.

### 7. WAT IS DE SLIBPRODUCTIE EN DE BIJBEHORENDE SAMENSTELLING VAN HET FLOTAATSLIB?

De slibproductie bedroeg 1,5 l flotaat/m<sup>3</sup> behandeld zonder polymeerdosering en 3,4 l flotaat/m<sup>3</sup> behandeld met dosering van 1 mg/l polymeer. Tijdens periode 3 bedroeg de slibproductie 6,6 l flotaat/m<sup>3</sup> behandeld. Deze waarde is niet te vergelijken met periode 1 en 2, omdat in periode 3 een combinatie van influent en spuislib behandeld werd.

Tabel 4.14 presenteert de samenstelling van het flotaat tijdens de drie onderzoeksperiodes. De indamprest is lager bij een hogere polymeerdosering. Ook het behandelen van spuislib in de DAF leidt tot een lagere indamprest in het flotaat. Het stikstof- en fosfaatgehalte neemt juist toe bij een hogere polymeerdosering. Tijdens onderzoeksperiode 3 had het flotaat wel een hogere indamprest dan het gravitair ingedikte spuislib dat normaal gesproken wordt afgevoerd.

TABEL 4.14 SAMENSTELLING FLOOTAAT

parameter		eenheid	periode 1 (0 mg/l polymeer)	periode 2 (1mg/l polymeer)	periode 3 (+spuislib, 2,5 mg/l polymeer)
indamprest	gemiddeld	%	9,8	6,8	3,8
	min	%	6,5	2,9	3,4
	max	%	11,8	10,0	4,7
	aantal metingen		4	10	7
gloeirest	gemiddeld	%	11	19	18
	min	%	9	12	15
	max	%	12	31	19
	aantal metingen		4	10	8
CZV	gemiddeld	g/kg ds	1.534	1.326	1.463
	min	g/kg ds	994	980	1.250
	max	g/kg ds	2.040	2.210	1.983
	aantal metingen		4	9	4
N-Kjeldahl-N	gemiddeld	g/kg ds	18	34	59
	min	g/kg ds	16	20	56
	max	g/kg ds	19	53	60
	aantal metingen		3	10	4
P-totaal-P	gemiddeld	g/kg ds	4,1	7,2	14
	min	g/kg ds	3,6	2,6	13
	max	g/kg ds	5,0	14,0	15
	aantal metingen		4	10	4

## 8. WAT IS DE SLIBPRODUCTIE EN DE BIJBEHORENDE SAMENSTELLING VAN HET SPUISLIB?

Tabel 4.15 presenteert de samenstelling van het spuislib tijdens de drie onderzoeksperiodes. Op basis van de gegevens lijkt de indamprest hoger bij een hogere polymeerdosering. Echter, bij gebruik van een polymeer neemt de indamprest toe door toevoeging van materiaal. In periode 3 is ook spuislib toegevoegd en is er meer polymeer toegevoegd om de hogere hoeveelheid TSS te vlokken. Deze waarde is niet 1 op 1 te vergelijken met de overige onderzoeksperiodes.

TABEL 4.15 SAMENSTELLING SPUISLIB

parameter		eenheid	periode 1 (0 mg/l polymeer)	periode 2 (1mg/l polymeer)	periode 3 (+spuislib, 2,5 mg/l polymeer)
indamprest	gemiddeld	%	1,9	2,8	2,4
	min	%	1,6	2,2	2,2
	max	%	2,1	3,1	2,6
	aantal metingen		2	8	2
gloeirest	gemiddeld	%	27	31	26
	min	%	26	26	26
	max	%	27	37	26
	aantal metingen		2	8	2
CZV	gemiddeld	g/kg ds	1.160	1.130	1.140
	min	g/kg ds	1.140	997	1.100
	max	g/kg ds	1.180	1.290	1.180
	aantal metingen		2	7	2
N-Kjeldahl-N	gemiddeld	g/kg ds	67	65	73
	min	g/kg ds	67	50	71
	max	g/kg ds	67	72	75
	aantal metingen		1	8	2
P-totaal-P	gemiddeld	g/kg ds	29	20	18
	min	g/kg ds	28	17	18
	max	g/kg ds	29	24	18
	aantal metingen		2	8	2



### **9. WAT IS DE INVLOED VAN ZWEVENDE-STOFVERWIJDERING UIT HET INFLUENT OP DE SVI?**

Er is geen verschil tussen de SVI tijdens het onderzoek en de SVI tijdens dezelfde periode in voorgaande jaren.

### **10. KAN DE DAF ZONDER PERSONEEL DRAAIEN?**

voor een kleine onbemande rwzi is het van belang dat de DAF met zo weinig mogelijk toezicht goed blijft functioneren. Tijdens het onderzoek zal het beheer zo minimaal mogelijk zijn. De uren en werkzaamheden worden bijgehouden.

Het beheer van de DAF-installatie richtte zich tijdens het demonstratieonderzoek vooral op de afvoer van het flotatieslib. Door aanpassing van de loop- wachttijd van het schrapersysteem wordt de dikte en omvang van de hoeveelheid flotatieslib bepaald. Wanneer definitief gekozen wordt voor DAF zullen vaste leidingen worden aangelegd voor de afvoer van flotaat, waardoor hier geen extra tijdsbesteding voor nodig is. Voor controle- en schoonmaakwerkzaamheden is per week een half uur nodig.

# 5

## VARIANTENSTUDIE

### 5.1 INLEIDING

De technische en economische haalbaarheid van DAF als voorbehandeling zijn bepaald door middel van een variantenstudie. Hierbij is voor rwzi Lienden een aantal varianten uitgewerkt. In paragraaf 5.2 worden de verschillende varianten en hun uitgangspunten omschreven. Ook worden de financiële uitgangspunten toegelicht. In paragraaf 5.3 worden de resultaten toegelicht. Hierbij wordt achtereenvolgens ingegaan op een uitwerking per variant, inclusief massabalans en effluentconcentraties, het effect op de rwzi, het chemicaliëngebruik, de productie van slib en biogas en het energieverbruik. Vervolgens is de duurzaamheid bepaald met behulp van GER-waarden. Ook zijn voor alle varianten investeringskosten en jaarlijkse kosten bepaald. Hiermee is de netto contante waarde berekend.

### 5.2 VARIANTEN EN UITGANGSPUNTEN

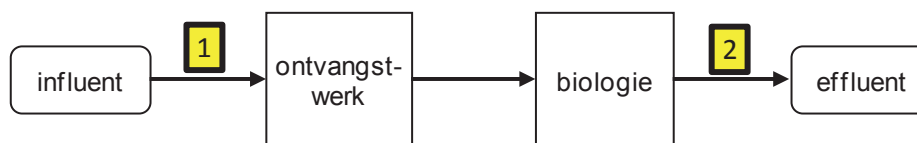
#### 5.2.1 OMSCHRIJVING VARIANTEN

Voor de variantenstudie voor rwzi Lienden zijn vier varianten uitgewerkt. In deze paragraaf worden deze beschreven

##### AO: REFERENTIE

De referentie voor de variantenstudie is de huidige situatie. Hierin vindt geen voorbehandeling plaats. Een blokschema van de referentie staat in afbeelding 5.1.

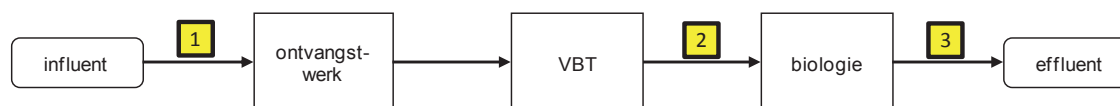
AFBEELDING 5.1 BLOKSHEMA VARIANT AO: REFERENTIE



##### A1: VOORBEZINKTANK

De rwzi Lienden is volbelast en soms licht overbelast. Om een deel van de belasting weg te nemen, kan voorbehandeling worden ingezet. Een van de mogelijkheden is een voorbezinktank. Een blokschema hiervan staat in afbeelding 5.2.

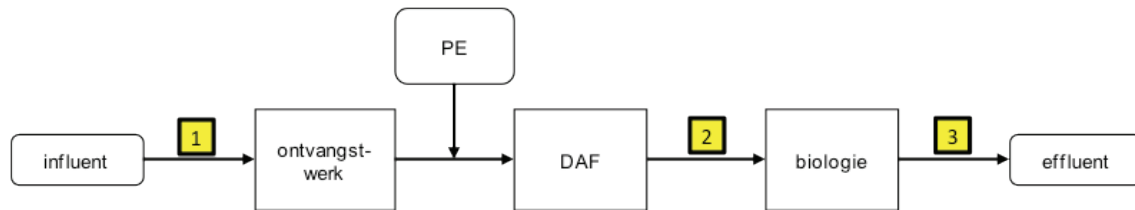
AFBEELDING 5.2 BLOKSHEMA VARIANT A1: VOORBEZINKTANK



**A2: DAF**

Om belasting weg te nemen kan ook worden gekozen voor een DAF-installatie. Een blokschema hiervan staat in afbeelding 5.3.

AFBEELDING 5.3 BLOKSHEMA VARIANT A2: DAF

**A3: FIJNZEEF**

Om belasting weg te nemen kan ook worden gekozen voor een fijnzeef. Een blokschema hiervan staat in Afbeelding 5.4.

AFBEELDING 5.4 BLOKSHEMA VARIANT A3: FIJNZEEF

**Achtergrond keuze varianten**

Een voorbezinktank is de reguliere methode van primaire zuivering op een communale rwzi. Op veel grotere rwzi's (>100.000 i.e.) wordt dan ook voor deze methode gekozen in combinatie met slibgisting. Op kleinere rwzi's (< 50.000 i.e.) is een voorbezinktank niet gebruikelijk, omdat voorbezinktanks (met slibgisting) op kleine schaal niet kosteneffectief zijn. Daarom wordt meestal gekozen voor het uitbreiden van het actief-slibstelsysteem. Het doel van deze variantenstudie is nadrukkelijk om verschillende voorbehandelingsmethodes voor een bestaande, volbelaste, kleinschalige rwzi te vergelijken. Ook is vergelijkbaarheid met de eerder uitgevoerde studie voor de rwzi's Eindhoven en Nieuwveer gewenst (STOWA-rapport 2014-03). Daarom is de voorbezinktank hier als variant meegenomen. Een DAF-installatie en fijnzeef zijn meegenomen als flexibele oplossing die gemakkelijk op de rwzi bij te plaatsen is.

**Effect op het actief slibstelsysteem en koolstofbrondosering**

Door het toepassen van voorbehandeling wordt zwevende stof weggenomen uit het influent. Daardoor neemt vooral de BZV/CZV-vracht af. Hierdoor daalt de verhouding BZV/N. Bij een te lage BZV/N-verhouding vindt onvoldoende denitrificatie plaats. Daarom werd in de variantenstudie in STOWA-rapport 2014-03 een externe koolstofbron gedoseerd. Voor een kleine rwzi zoals de rwzi Lienden is dosering van koolstofbron niet realistisch. Daarom is dit in deze variantenstudie niet meegenomen.

**Verwerking zuiverings-slib**

Op dit moment wordt het zuiverings-slib dat op rwzi Lienden vrijkomt gecomposteerd door GMB. Het is de bedoeling het slib vanaf 2017 te gaan vergisten op de rwzi Tiel. Na vergisting vindt eindverwerking plaats bij GMB. Voor deze studie wordt in de referentie en de varianten uitgegaan van deze - nu nog hypothetische - route.

**5.2.2 TECHNOLOGISCHE UITGANGSPUNTEN****INFLUENT**

De samenstelling van het influent is berekend op basis van de meetdagen (n=26) van rwzi Lienden in 2012. Hierbij is als uitgangspunt een jaargemiddeld dagdebiet van 2.291 m<sup>3</sup>/d (~ 92 m<sup>3</sup>/h bij 24 uur per dag aanvoer) gehanteerd. De influentsamenstelling staat in tabel 5.1.

TABEL 5.1 SAMENSTELLING INFLUENT RWZI LIENDEN

parameter	eenheid	waarde voor varianten
Debieten		
dagdebiet	m <sup>3</sup> /d	2.214
uurdebiet <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> /h	92
Concentraties		
zwevende stof	mg/l	329
BZV	mg/l	215
CZV	mg/l	568
P-totaal	mg/l	7,7
P-niet ortho	mg/l	3,1
P-ortho <sup>2)</sup>	mg/l	4,6
N-totaal	mg/l	49
N-Kj	mg/l	49
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0

1. Bepaald op basis van dagdebiet verdeeld over 24 uur.

2. Aanname: P-ortho = 60% van P-totaal (gemeten in demonstratieonderzoek: 61%).

### VOORBEHANDELING EN RENDEMENT

In de varianten A1, A2 en A3 wordt een voorbehandelingstechniek toegepast. De gebruikte rendementen staan in tabel 5.2.

TABEL 5.2 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VOORBEHANDELINGSTECHNIKEN

parameter	eenheid	DAF 1,0 mg/l polymeer		
		voorbezinktank	DAF pilot Lienden	fijnzeef
bron data		STOWA-onderzoek Symbaal [5]	DAF pilot Lienden	Kallisto-onderzoek De Dommel voor RvO [6]
variant		A1	A2	A3
gemiddelde oppervlaktebelasting	m/uur	1,50	-	95
zwevende stof	%	50%	55%	55%
BZV	%	25%	39%	46%
CZV	%	30%	41%	33%
P-totaal	%	7%	16%	8%
P niet-ortho	%	7%	-	8%
P-ortho	%	7%	11%	8%
N-totaal	%	7%	14%	10%
N-Kj	%	7%	14%	10%

### ACTIEF-SLIBPROCES

Het actief-slibproces is niet gemodelleerd, effluentconcentraties zijn gebaseerd op gegevens in de huidige situatie en expert judgement. De volgende uitgangspunten zijn gebruikt in de benadering van het actief-slibproces.

- de concentratie zwevende stof in het effluent blijft gelijk aan de huidige situatie (8,8 mg/l);
- het effluent heeft altijd een BZV-concentratie van 5,1 mg/l (= huidige situatie);
- het effluent heeft altijd een CZV-concentratie van 35 mg/l (= huidige situatie);
- de opname van orthofosfaat in de bacteriële biomassa is 2%. Daarnaast vindt het bio-P-proces in beperkte mate plaats. Dit wordt gesimuleerd met een totale opname in biomassa van 2,8%. De verwijdering van totaal fosfaat in de referentie is bekend op basis van de influent- en effluentconcentratie. De verwijdering van gebonden fosfaat is gefit op basis van de opname in biomassa en de effluentconcentratie;
- de productie van biomassa is berekend op basis van ingaande en uitgaande CZV-concentraties van het actief-slibproces. Het verschil is verwijderd CZV. Verwijderd CZV

wordt met behulp van de aangenomen yield (0,24 g VSS/g CZV verwijderd, gefit op basis van [3]) omgerekend naar biomassa-productie;

- N-Kj is altijd 30 % van N-totaal in het effluent;
- NO<sub>3</sub>-N is altijd 70 % van N-totaal in het effluent.

### CHEMICALIËN

Chemicaliën worden gebruikt voor de slibontwatering (uitgegist slib) en voorbehandeling met DAF (variant A2). Hiervoor zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- als flocculant voor de DAF wordt kationisch polymeer gebruikt in een dosering van 1 mg/l;
- chemicaliën voor voorontwatering zijn niet nodig. Secundair slib wordt op rwzi Lienden ingedikt in de bestaande slibindikers zonder chemicaliën. In de variant met VBT (variant A1) wordt primair slib ingedikt in dezelfde slibindiker. Het slib uit de DAF (variant A2) en de fijnzeef (variant A3) heeft een voldoende hoog droge-stofgehalte en hoeft niet verder te worden ingedikt of ontwaterd voor transport en vergisting;
- voor slibontwatering na slibgisting (kamerfilterpers) wordt 12 kg actief polymeer per ton ds gebruikt.

### SLIBPRODUCTIE

Voor het berekenen van de slibproductie zijn onderstaande uitgangspunten gehanteerd.

- de productie van primair slib is berekend op basis van de verwijdering van zwevende stof in de voorbehandeling;
- de productie van organisch surplusslib wordt berekend op basis van verwijdering van CZV in het actief-slibstelsel en de aangenomen yield (0,24 g VSS/g CZV verwijderd);
- de productie van anorganisch surplusslib wordt berekend op basis van de hoeveelheid organisch surplusslib en het gemeten asgehalte.

### ENERGIEGEBRUIK EN BIOGASPRODUCTIE

Voor het berekenen van energiegebruik en biogasproductie zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het energieverbruik is berekend als hoger of lager gebruik voor voorbehandeling, beluchting en slibindiking- en ontwatering ten opzichte van de referentie;
- biogasproductie wordt gebaseerd op het Chen-Hashimoto-model (vergisting onder mesofiele omstandigheden zonder voorbehandeling zoals TDH). Hierbij zijn de uitgangspunten in tabel 5.3 gebruikt.
- er is uitgegaan van een vaste verblijftijd en een variabel gistingsvolume. Het werkelijk beschikbare gistingsvolume staat niet vast.
- de benodigde hoeveelheid biogas voor opwarmen van de vergister is niet meegerekend omdat deze wegvalt in de marge.

ABEL 5.3

## UITGANGSPUNTEN BIOGASROUTE

parameter	eenheid	waarde
asgehalte ds primair slib (zonder chemisch slib)	%	24
asgehalte ds secundair slib	%	0
ds-gehalte primair slib (VBT)	%	3,4%
ds-gehalte flotaat (DAF)	%	7,8%
ds-gehalte zeefgoed (fijnzeef)	%	25%
ds-gehalte secundair slib	%	3,4%
maximale reductie ods primair	%	65
maximale reductie ods secundair	%	40
afbraakconstante primair	-	1,00
afbraakconstante secundair	-	1,50
kg CZV/kg ODS primair	kg/kg	1,80
kg CZV/kg ODS secundair	kg/kg	1,42
kg CZV/kg ODS secundair zonder voorbehandeling	kg/kg	1,40
methaangehalte biogas	%	65
efficiëntie benutting biogas	%	98
Calorische waarde biogas	MJ/m <sup>3</sup>	23
Elektrisch rendement WKK	%	40
Warmte rendement WKK	%	40
SRTmin	d	2,85
fT mesofiel (temperatuurfactor)	-	1,08
fT thermofiel (temperatuurfactor)		1,35
verblijftijd in gisting	d	20
temperatuur	°C	35

## BEREKENING GER-BALANS

Om de varianten te beoordelen op het aspect duurzaamheid is een balans van GER-waarden (gross energy requirement) opgesteld, waarin de onderdelen elektriciteitsverbruik, elektriciteitsproductie uit biogas, gebruikte chemicaliën en transport zijn opgenomen. De GER-waarde is een manier om de energie-impact van hulpstoffen uit te drukken in primaire energie. In STOWA-verband is een overzicht gemaakt van GER-waarden van in de waterketen gebruikte hulpstoffen [7]. Daarnaast is voor deze berekening gebruik gemaakt van de GER-waardendatabase van de RVO [8]. De gebruikte waarden en hun bronvermelding zijn weergegeven in tabel 5.4. De invloed van de warmtebehoefte van de gisting en warmteproductie van de WKK's is niet meegenomen in de GER-balans.

TABEL 5.4

## GER-WAARDEN VAN GEBRUIKTE HULPSTOFFEN

hulpstof	eenheid	waarde	bron
elektriciteit (NL mix)	MJ/kWh	11,9	RVO [8]
aardgas	MJ/m <sup>3</sup>	44,5	RVO [8]
polymeer: Polyacrylamide, kationisch, vloeibaar, emulsie 50%	MJ/kg	66,7	STOWA [7]
transport (vrachtwagen 16-32 ton)	MJ/tonkm	2,87	RVO [8]

## 5.2.3 FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

## BOUW- EN INVESTERINGSKOSTEN

De bouwkosten zijn op basis van globale ontwerpdimensioneringen berekend als extra investeringskosten ten opzichte van de referentie zonder voorbehandeling. De bouwkosten zijn bepaald met een nauwkeurigheid van 30-50%.

De investeringskosten zijn berekend door de bouwkosten te vermenigvuldigen met de staartkostenfactor. Hierin zijn opgenomen:

- 1 algemene kosten (5%);
- 2 financieringskosten en prijsstijgingen (3%);
- 3 inrichtingskosten (2%);
- 4 leges en heffingen (2%);
- 5 CAR-verzekering (1%);
- 6 bouwrente (3%);
- 7 voorbereiding en plankosten (15%);
- 8 onvoorzien (18%);
- 9 omzetbelasting (21%).

De totale staartkostenfactor is dus 1,7.

### OPERATIONELE KOSTEN

De operationele kosten bestaan uit:

- chemicaliëndosering (polymeer als flocculant en voor slibontwatering);
- netto energieverbruik (voorbehandeling, beluchting, slibbehandeling, elektra uit biogas);
- (uitgest) slibafzet via GMB-route (alleen variabele lasten);
- onderhoudskosten;
- eventueel personeelskosten.

Voor de operationele kosten zijn de eenheidsprijzen van rwzi Lienden gehanteerd. De jaarlijkse kosten zijn berekend als meer- of minderkosten ten opzichte van de referentiesituatie. De uitgangspunten voor de berekening van operationele kosten zijn weergegeven in tabel 5.5.

### KAPITAALLASTEN

Naast de operationele kosten zijn de kapitaallasten (afschrijvingskosten en rente over de bouwkosten) bepaald. Hiervoor is de methodiek die gebruikt wordt door Waterschap Rivierenland toegepast. Ook hiervoor zijn de uitgangspunten benoemd in tabel 5.5.

TABEL 5.5 UITGANGSPUNTEN OPERATIONELE KOSTEN EN AFSCHRIJVING

categorie	onderdeel	eenheid	kostenkengetal	referentie
Chemicaliën	polymeer	EUR/kg actief polymeer	4,00	opgave WSRL
Energie	elektriciteit	EUR/kWhe	0,10	opgave WSRL
Slibafvoer	slibafvoer en verwerking (GMB)	EUR/m <sup>3</sup> slib (als 22 %ds)	62	opgave WSRL
Onderhoud	deel civiel	% van investeringskosten	0,5	opgave WSRL
	deel werktuigbouw	% van investeringskosten	2,0	opgave WSRL
	deel elektro	% van investeringskosten	2,0	opgave WSRL
Personeel	personeelskosten	EUR/FTE	60.000	opgave WSRL
Afschrijving	afschrijfperiode Civiel	jaar	35	opgave WSRL
	afschrijfperiode Werktuigbouw	jaar	15	opgave WSRL
	afschrijfperiode Elektrotechniek	jaar	15	opgave WSRL
	rentevoet	%	3,5	opgave WSRL
	inflatie	%	1,5	opgave WSRL

## 5.3 RESULTATEN

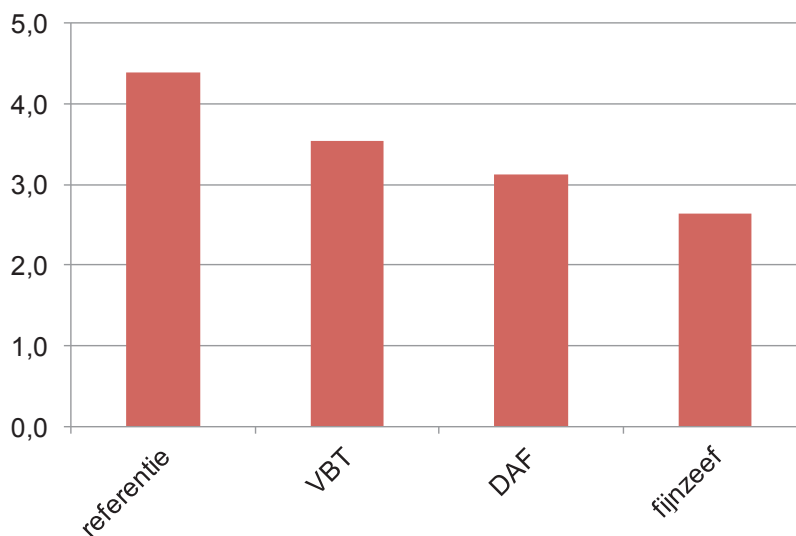
### 5.3.1 UITWERKING VARIANTEN

Iedere variant is uitgewerkt met een blokschema en bijbehorende debieten, vrachten en concentraties. Deze zijn weergegeven in bijlage II.

### 5.3.2 EFFECT OP RWZI

Een voldoende hoge BZV/N-verhouding is nodig om denitrificatie mogelijk te maken. Om een effluentconcentratie van maximaal 10 mg N-totaal/l te bereiken is een BZV/N-verhouding van minimaal 2,5 in het influent nodig. Uit afbeelding 5.5 blijkt dat de BZV/N-verhouding in alle varianten hoger is. Er zijn dus geen problemen te verwachten met onvoldoende denitrificatie. Wel is het natuurlijk zo dat de gehele variantenstudie wordt berekend met gemiddelde waarden. Door fluctuaties in het influent kan de BZV/N-verhouding tijdelijk wel te laag zijn.

AFBEELDING 5.5 BZV/N-VERHOUDING IN AFLOOP VOORBEHANDELING PER VARIANT

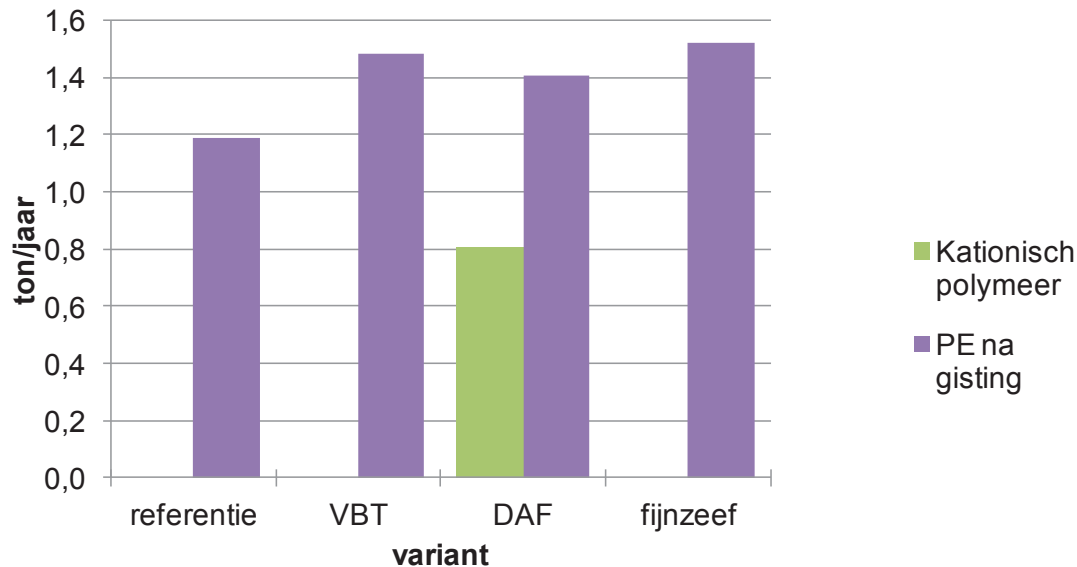


### 5.3.3 CHEMICALIËNGBRUIK PER VARIANT

In alle varianten is polymeer nodig voor de slibontwatering na slibgisting. Daarnaast is in variant A2 (DAF) kationisch polymeer nodig voor een goede werking van de DAF. De hoeveelheden zijn weergegeven in afbeelding 5.6. Uit deze afbeelding blijkt dat het chemicaliëngebruik voor slibontwatering in alle varianten in dezelfde orde van grootte is. In de referentie is het chemicaliëngebruik iets lager dan in de andere varianten.



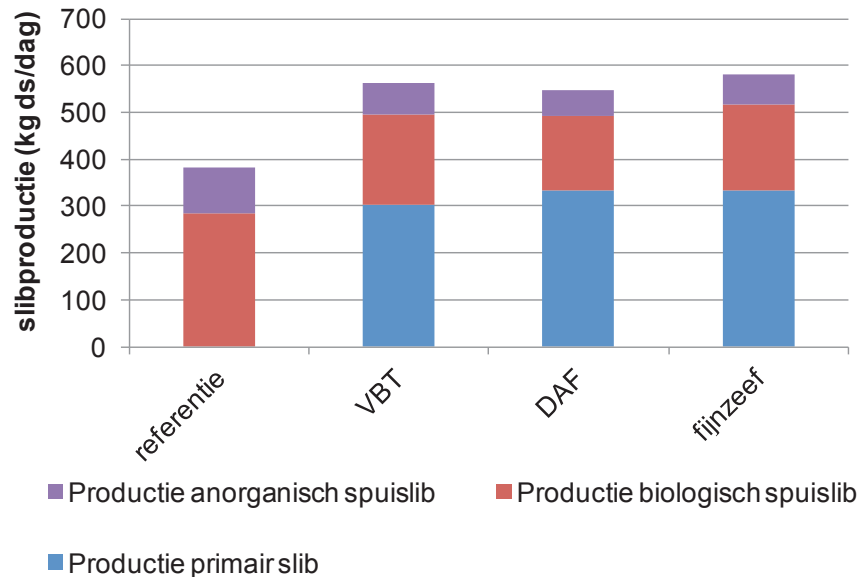
AFBEELDING 5.6 CHEMICALIËNVERBRUIK PER VARIANT OP RWZI LIENDEN



#### 5.3.4 PRODUCTIE VAN SLIB EN BIOGAS

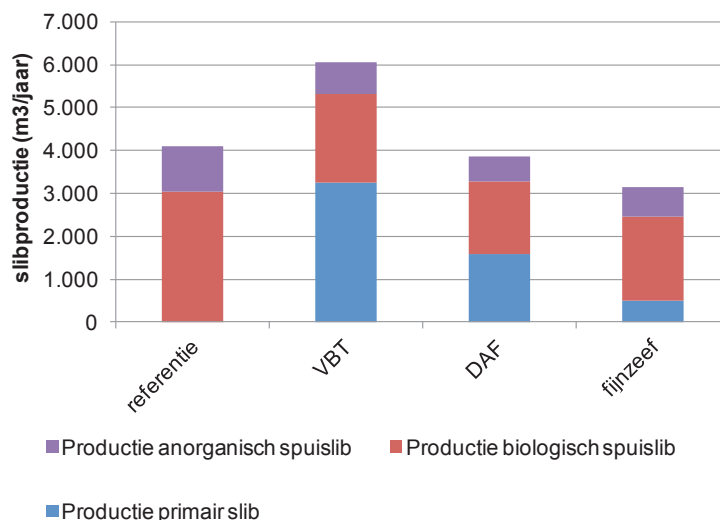
Door voorbehandeling toe te passen verandert de hoeveelheid slib die geproduceerd wordt. In alle varianten wordt primair slib en minder secundair slib geproduceerd dan in de referentie. De totale hoeveelheid slib, uitgedrukt als droge stof, is hoger. Voor alle varianten is de slibproductie ongeveer even hoog. De bijdrage van chemisch slib in de DAF-variant is minimaal. De slibproductie uitgedrukt als zwevende stof is weergegeven in afbeelding 5.7.

AFBEELDING 5.7 SLIBPRODUCTIE PER VARIANT OP RWZI LIENDEN (DROGE STOF)



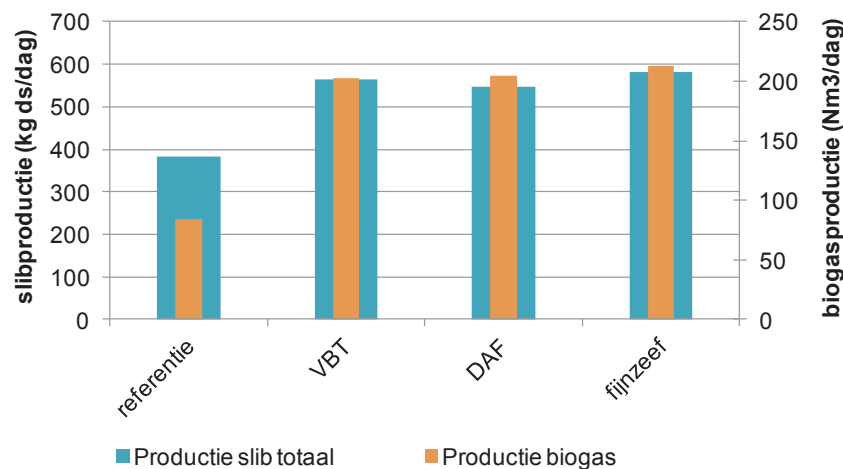
De verschillende soorten slib hebben elk een ander droge-stofgehalte. Daarom verschilt de totale hoeveelheid slib in kubieke meters die moet worden getransporteerd naar rwzi Tiel. Dit is weergegeven in Afbeelding 5.8. De variant met voorbezinktank produceert de grootste hoeveelheid slib. In de DAF- en de fijnzeefvariant wordt iets minder slib geproduceerd dan in de referentiesituatie. Tevens wordt flotaatslib en zeefslib op de machines zelf ingedikd, hierdoor neemt het volume van deze stromen aanzienlijk af en is het beeld anders dan uit afbeelding 5.7 blijkt.

AFBEELDING 5.8 SLIBPRODUCTIE PER VARIANT OP RWZI LIENDEN (VOLUME)



In de variantenstudie wordt het slib ingezet voor vergisting en biogasproductie op rwzi Tiel. In afbeelding 5.9 is weergegeven wat de totale hoeveelheid slib per variant is en hoeveel biogas dit oplevert. Hieruit blijkt dat de biogasproductie in de drie varianten met voorbehandeling ongeveer even hoog is. Deze biogasproductie is ruim tweemaal zo hoog als in de referentiesituatie.

AFBEELDING 5.9 SLIB- EN BIOGASPRODUCTIE VOOR DE VARIANTEN OP RWZI LIENDEN

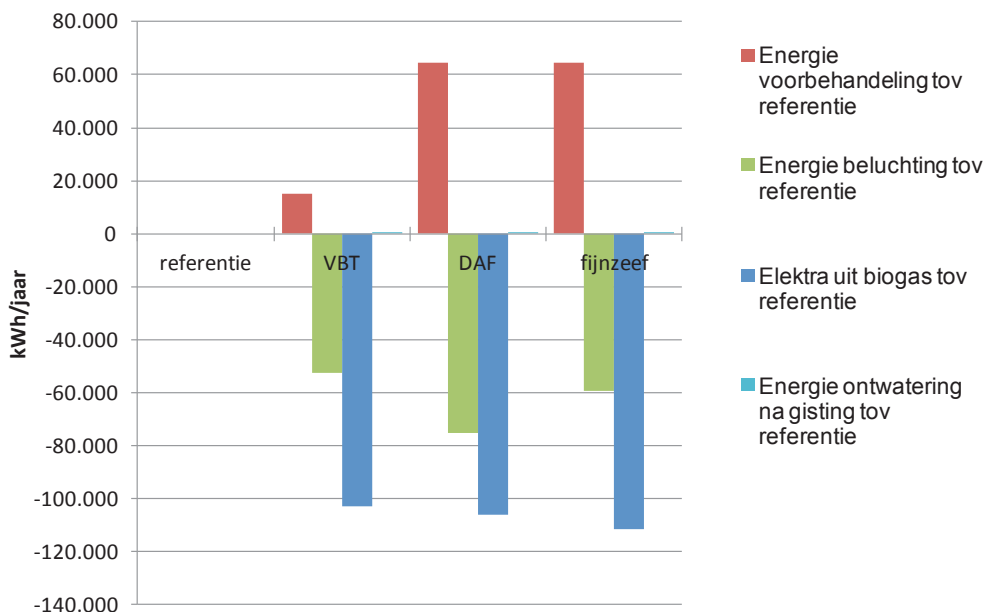


### 5.3.5 ENERGIEVERBRUIK

Het energiegebruik per variant ten opzichte van de referentie is weergegeven in afbeelding 5.10. Voor alle varianten geldt dat de voorbehandeling extra energiegebruik met zich meebrengt. Dit wordt gecompenseerd door een besparing op het energiegebruik voor beluchting, doordat de AT minder zwaar belast is. Ook is de opbrengst van elektriciteit uit biogas hoger. Het energiegebruik voor na-ontwatering is voor alle varianten nagenoeg gelijk. Alle varianten hebben een lager energiegebruik dan de referentie.

De besparing op de beluchtingsenergie kan in de praktijk hoger zijn dan hier voorspeld. In de berekening is namelijk enkel rekening gehouden met een lagere belasting (lager TZV) van de AT. Een verandering in de bedrijfsvoering, zoals het aanpassen van het slibgehalte, is hierin niet meegenomen.

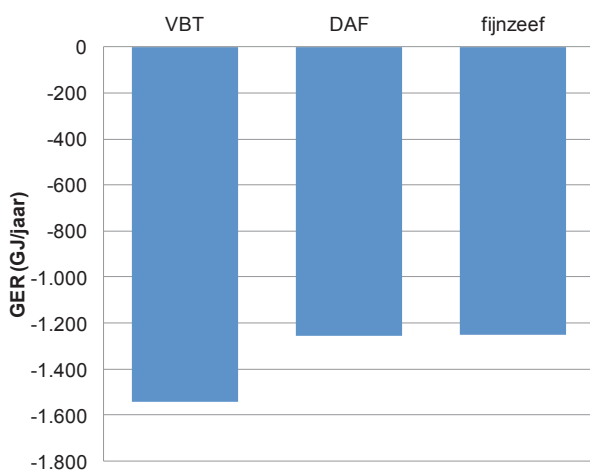
AFBEELDING 5.10 ENERGIEGEBRUIK PER VARIANT TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE



### 5.3.6 GER-WAARDEN

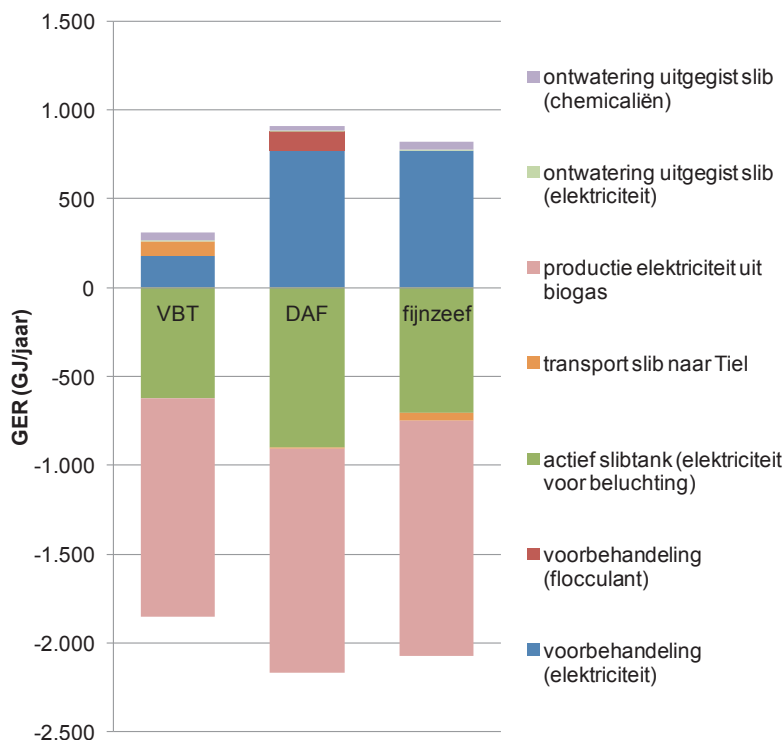
Om de varianten te beoordelen op het aspect duurzaamheid is een balans van GER-waarden (gross energy requirement) opgesteld, waarin de onderdelen elektriciteitsverbruik, biogas en gebruikte chemicaliën zijn opgenomen. De berekening is weergegeven in bijlage IV. GER-waarden zijn berekend ten opzichte van de referentie: een negatieve waarde geeft aan dat de impact van de betreffende variant lager is dan de referentie, een positieve GER-waarde betekent een grotere impact dan de referentie. Afbeelding 5.11 geeft de netto GER-waarde weer per variant. Hieruit blijkt dat de GER van alle varianten met voorbehandeling lager is dan die van de referentie.

AFBEELDING 5.11 GER-WAARDE PER VARIANT TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE



De GER-berekening is opgebouwd uit een aantal posten. In afbeelding 5.12 zijn deze uitgesplitst naar onderdeel. Hierbij valt op dat de productie van elektriciteit uit biogas een belangrijke bijdrage levert aan het verlagen van de GER ten opzichte van de referentie. Ook de besparing op beluchtingsenergie levert een belangrijke bijdrage. Daarnaast leidt het energiegebruik van de voorbehandeling tot een hogere GER-waarde, vooral bij de DAF en de fijnzeef.

AFBEELDING 5.12 GER-WAARDE PER VARIANT T.O.V. REFERENTIE UITGESPLITST PER POST



### 5.3.7 BOUW- EN INVESTERINGSKOSTEN

De kosten zijn op basis van globale ontwerpdimensioneringen (zie bijlage IV) berekend als additionele bouwkosten en daarmee extra investeringskosten ten opzichte van de referentie. De bouwkosten zijn inclusief een post onvoorzien (20% voor variant (1) VBT en (3) fijnzeef; 15% voor variant (2) DAF) bepaald met een nauwkeurigheid met een range van 25-40%. De kostenraming voor de DAF is met  $\pm 25\%$  het meest nauwkeurig omdat hieraan een budgetraming van Nijhuis Water Technology ten grondslag ligt. De varianten (1) VBT en (3) Fijnzeef zijn met een nauwkeurigheid van 40% geraamd op basis van kengetallen en engineeringsramingen op voorontwerpniveau. Een uitsplitsing van de bouwkosten is weergegeven in bijlage VII.

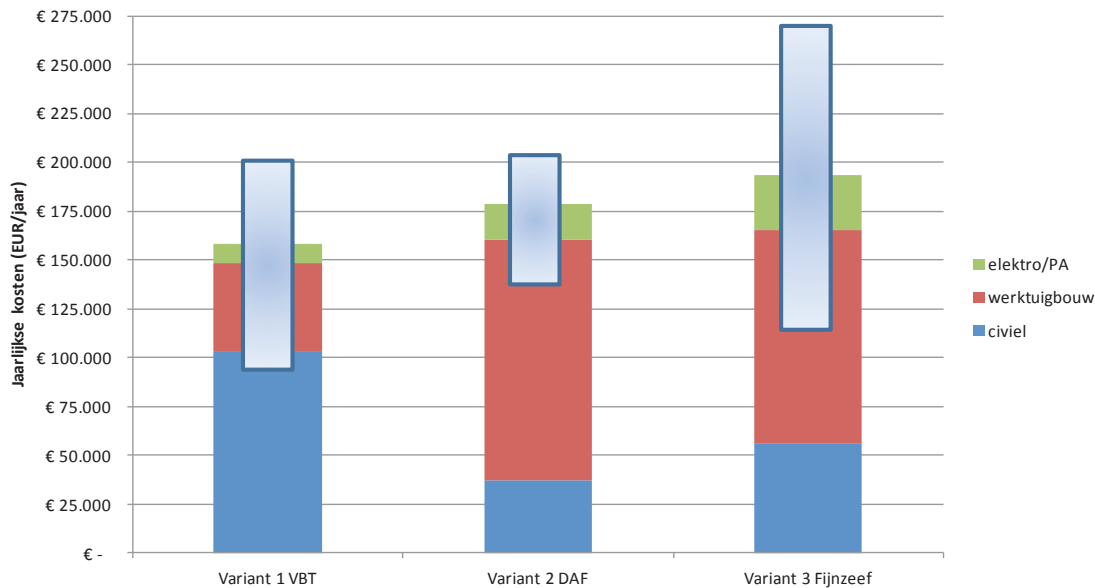
De investeringskosten worden berekend door de bouwkosten te vermenigvuldigen met de staartkostenfactor. De opbouw van de staartkostenfactor is toegelicht in paragraaf 5.2.3.

In tabel 5.6 zijn de additionele bouw- en investeringskosten ten opzichte van de referentie weergegeven. De noodzakelijke investeringen voor een DAF liggen bijna 10 % hoger dan de investeringskosten voor de voorbezinktank maar 10% lager dan een fijnzeef. Rekening houdend met de nauwkeurigheid van de berekeningen liggen variant 1 en 2 in de maximale kostenrange op hetzelfde niveau (zie afbeelding 5.13).

TABEL 5.6 ADDITIONELE BOUW- EN INVESTERINGSKOSTEN VARIANTEN RWZI LIENDEN

	variant 1 VBT	variant 2 DAF	variant 3 Fijnzeef
bouwkosten C	103.100	36.800	56.200
bouwkosten W	45.000	123.300	109.200
bouwkosten E	9.800	18.800	28.100
totaal bouwkosten	158.000	179.000	194.000
staartkostenfactor	1,7	1,7	1,7
investeringskosten (bouwkosten*staartkosten)	269.000	304.000	330.000

AFBEELDING 5.13 ADDITIONELE BOUWKOSTEN PER VARIANT (INCLUSIEF BANDBREEDTE)



### 5.3.8 JAARLIJKSE KOSTEN

De jaarlijkse kosten zijn bepaald op jaarbasis als meer- of minderkosten ten opzichte van de huidige situatie (de referentie). De jaarlijkse kosten zijn opgebouwd uit operationele kosten en kapitaallasten.

- De operationele kosten bestaan uit:
  - chemicaliëndosering (polymeer als flocculant en voor slibontwatering);
  - netto energieverbruik (voorbehandeling, beluchting, slibbehandeling, elektra uit biogas);
  - slibtransport nat en ontwaterd, (uitgegist) slibafzet via de GMB-route (alleen variabele lasten);
  - onderhoudskosten.

Tijdens het pilotonderzoek is gebleken dat de tijdsbesteding voor bedrijfsvoering voor de DAF-installatie zeer beperkt is. Ook voor de bedrijfsvoering van de voorbezinktank en fijnzeef zal naar verwachting weinig tijd nodig zijn. Daarom zijn voor de varianten geen extra personeelskosten meegenomen.

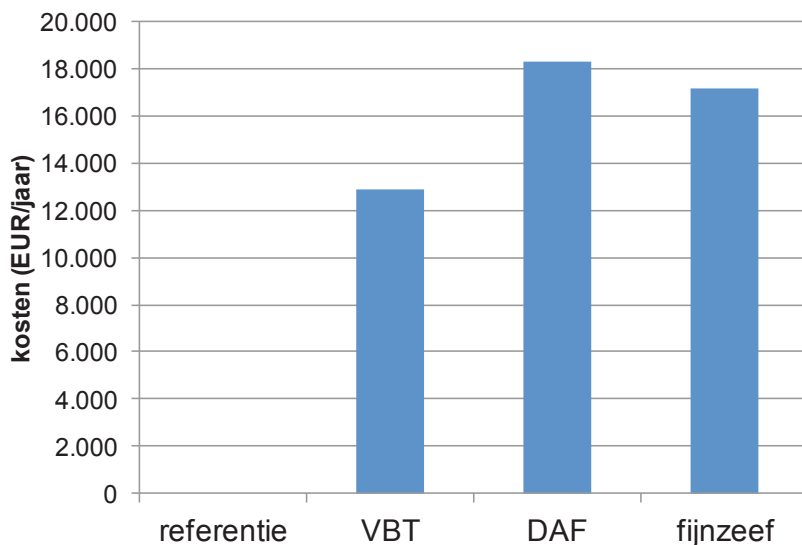
Naast de operationele kosten zijn de kapitaallasten als afschrijvingskosten en rente over de investeringskosten bepaald.

In afbeelding 5.14 zijn de totale extra jaarlijkse kosten weergegeven. In afbeelding 5.15 zijn de jaarlijkse kosten uitgesplitst per post. Hieruit blijkt dat voor alle varianten de jaarlijkse kosten hoger zijn van voor de referentie. De extra jaarlijkse kosten voor de voorbezinktank bedragen circa 13.000 EUR/jaar, terwijl de extra kosten voor een DAF-installatie of fijnzeef tussen 17.000 en 18.000 EUR/jaar liggen.

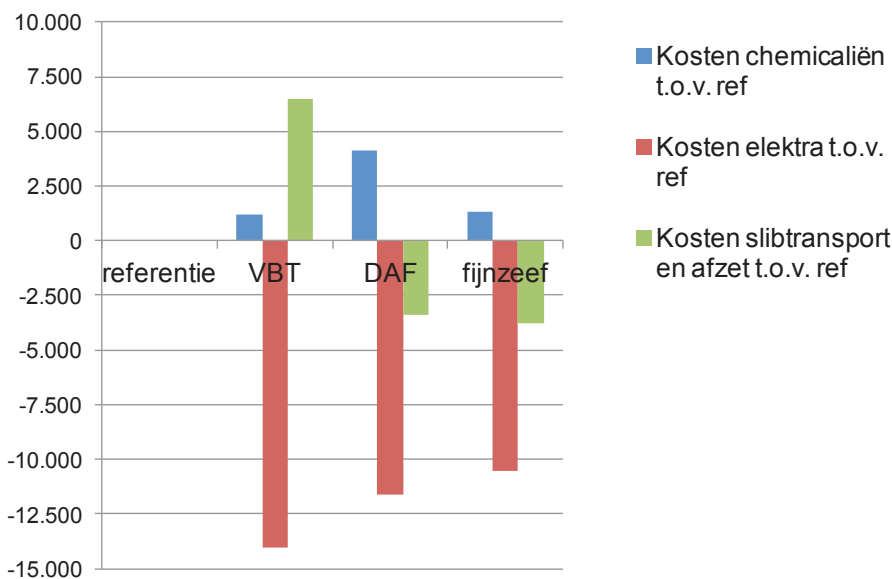
In alle varianten levert de extra elektriciteitsproductie door de productie en vergisting van primair slib een kostenbesparing op. Na slibgisting blijft echter meer slib over, waardoor er meer kosten zijn voor chemicaliën voor ontwatering en voor slibafzet. De DAF-variant heeft daarnaast ook kosten voor polymeer voor flocculatie. Ook brengen de nieuwe installaties onderhoudskosten met zich mee. De kapitaallasten hebben het grootste aandeel in de jaarlijkse kosten.

Voor deze vergelijking geldt natuurlijk wel dat de referentiesituatie nu volbelast is, waarbij geen extra belasting mogelijk is. De voorbehandeling van de varianten biedt wel ruimte voor extra belasting.

AFBEELDING 5.14 EXTRA JAARLIJKSE KOSTEN TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE



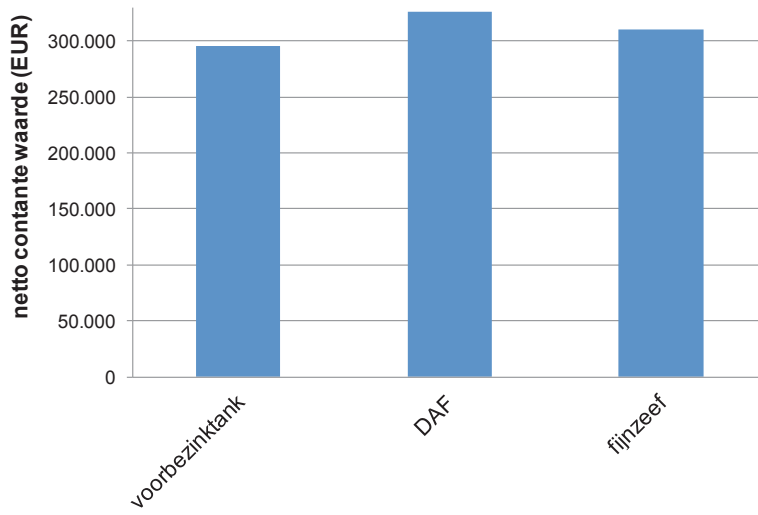
AFBEELDING 5.15 EXTRA JAARLIJKSE OPERATIONELE KOSTEN (EUR/JAAR) T.O.V. REFERENTIE



### 5.3.9 NETTO CONTANTE WAARDE

Op basis van de investeringskosten, operationele kosten en onderhoudskosten is de netto contante waarde over een periode van 30 jaar (2014 tot 2044) bepaald daarbij zijn de vervangingskosten voor kleine werktuigbouwkundige werken en elektrotechniek na 15 jaar herinverteerd. Evenals de overige kostenberekeningen is deze berekening uitgevoerd voor de meer- of minderkosten ten opzichte van de referentie. Het resultaat is weergegeven in afbeelding 5.16. Hieruit komt een vergelijkbaar beeld naar voren als uit de berekening van jaarlijkse kosten. De netto contante waarde over 30 jaar van de varianten zijn ongeveer even groot doordat de operationele voordelen van DAF en fijnzeef verrekend worden tegen de extra investeringen die nodig zijn voor realisatie en vervangingsmaatregelen. Op basis van de netto contante waarde is het over een periode van 30 jaar nauwelijks onderscheid te maken in kosten.

AFBEELDING 5.16 NETTO CONTANTE WAARDE TEN OPZICHTE VAN REFERENTIE



# 6

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1 CONCLUSIES

#### 6.1.1 DEMONSTRATIEONDERZOEK

Het demonstratieonderzoek naar toepassing van DAF op kleinschalige rwzi's ter ontlasting van het actief-slibproces is op rwzi Lienden uitgevoerd in drie onderzoeksperiodes:

- 1 Behandeling van influent zonder polymeerdosering;
- 2 Behandeling van influent met 1 mg/l polymeerdosering;
- 3 Behandeling van influent en spuislib met 2,5 mg/l polymeerdosering.

Geconcludeerd wordt dat de DAF-installatie op rwzi Lienden naar behoren heeft gewerkt en de overbelaste installatie doeltreffend heeft ontlast. De DAF-installatie kon gemakkelijk geplaatst worden tussen ontvangwerk en actief-slibtank, zonder dat grote bouwtechnische aanpassingen nodig waren. Met de DAF-installatie zijn voldoende hoge verwijderingsrendementen behaald om een substantiële verlaging van de belasting van het actief-slibproces te bereiken. De BZV/N-verhouding was voldoende hoog om denitrificatie te garanderen. De DAF-installatie leidde tijdens het demonstratieonderzoek wel tot een kleine toename in het overall elektriciteitsverbruik van de installatie, hierbij is echter het positieve effect van extra biogasproductie vanuit flotaat (primair slib) en het verlagen van het slibgehalte niet meegenomen. De daadwerkelijke energiebalans is afhankelijk van optimalisaties van de DAF-installatie, het deel van het influent dat wordt voorbehandeld, het gehanteerde slibgehalte en de manier van slibeindverwerking.

Tijdens het demonstratieonderzoek is vooral aandacht besteed aan verwijderingsrendementen, slibeigenschappen en het effect op de rest van de zuivering. Rondom deze drie thema's zijn de volgende conclusies getrokken.

#### VERWIJDERINGSRENDEMENTEN

In tabel 6.1 zijn de zuiveringsprestaties van de DAF-installatie op rwzi Lienden samengevat om conclusies te kunnen trekken. Het demonstratieonderzoek op rwzi Lienden heeft aangetoond dat een DAF zonder chemicaliëndosering voor zwevende stof lagere verwijderingsrendementen behaalt dan een voorbezinktank. Met een polymeerdosering van 1 mg/l is het verwijderingsrendement voor zwevende stof van de DAF-installatie vergelijkbaar met dat van een theoretische standaardwaarde voor een voorbezinktank. Het verwijderingsrendement van organische stof (CZV, BZV), stikstof en fosfaat is (marginaal) hoger, maar zal met name door de samenstelling van het influent bepaald worden. Vergeleken met het pilotonderzoek op rwzi Eindhoven (STOWA 2014-03) zijn op rwzi Lienden iets lagere verwijderingsrendementen behaald. In Eindhoven werd echter ook aluminiumchloride gedoseerd en was de bedrijfsvoering van de DAF geoptimaliseerd.



TABEL 6.1 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN IN VOORBEZINKTANK EN DAF

parameter	eenheid	DAF Lienden 0 mg/l polymeer	DAF Lienden 1 mg/l polymeer	VBT standaardwaarde	DAF Eindhoven optimale bedrijfsvoering
zwevende stof	%	35	53	50	73
BZV	%	26	38	25	56
CZV	%	28	40	30	56
P-totaal	%	8	14	7	60
P-ortho	%	2	11	7	-
N-totaal	%	-	-	7	11
N-Kj	%	5	12	7	-

### SLIBEIGENSCHAPPEN

De samenstelling van het flotaat (afgeroomd DAF-slib) en het spuislib vanuit de nabezinktank zijn tijdens het proefonderzoek herhaaldelijk bepaald en samengevat in tabel 6.2. Uit de metingen blijkt dat het droge-stofgehalte in het flotaat in vergelijking met de periode zonder chemicaliëndosering lager is bij toepassing van polymeerdosering op de DAF, waarschijnlijk doordat meer waterhoudend organisch materiaal wordt afgevangen. Het stikstof- en het fosfaatgehalte zijn juist hoger bij polymeerdosering dan zonder dosering.

Ook tijdens periode 3, waarin ook spuislib werd ingedikt in de DAF, is de samenstelling van het flotaat en het spuislib bepaald. De indamprest in het flotaat en het spuislib tijdens deze periode was iets lager dan tijdens de periode waarin alleen influent werd behandeld met polymeerdosering.

TABEL 6.2 GEMIDDELDE SAMENSTELLING FLOTAAT EN SPUISLIB, PERIODE 1 EN 2

parameter	slibstroom	eenheid	periode 1 (0 mg/l polymeer)	periode 2 (1mg/l polymeer)	periode 3 (spuislib, 2,5 mg/l polymeer)
indamprest	flotaat	%	9,8	6,8	3,8
gloeirest	flotaat	%	11	19	18
CZV	flotaat	g/kg ds	1.534	1.326	1.463
N-Kjeldahl-N	flotaat	g/kg ds	18	34	59
P-totaal-P	flotaat	g/kg ds	4,1	7,2	14
indamprest	spuislib	%	1,9	2,8	2,4
gloeirest	spuislib	%	27	31	26
CZV	spuislib	g/kg ds	1.160	1.130	1.140
N-Kjeldahl-N	spuislib	g/kg ds	67	65	73
P-totaal-P	spuislib	g/kg ds	29	20	18

### EFFECT OP DE ZUIVERING: ZUIVERINGSPRESTATIE EN BEDRIJFSVOERING

Om het effect op de rwzi, en in het bijzonder de denitrificatie, vast te stellen, zijn de effluentconcentraties gemeten. Deze zijn vergeleken met de waarden van eerdere jaren. De effluentconcentraties tijdens het demonstratieonderzoek waren ongeveer even hoog als tijdens dezelfde periode in eerdere jaren. Een verbetering of verslechtering is dus niet aangetoond. De onderzoeksperiode was echter kort en het aantal metingen was echter beperkt.

Het demonstratieonderzoek op rwzi Lienden heeft helaas nog geen nieuwe inzichten opgeleverd over gewijzigde werking van het actief-slibstelsel als gevolg van voorbehandeling met DAF. Effecten op het actief-slibstelsel zijn waarschijnlijk beter zichtbaar wanneer het systeem meer tijd (meer dan drie slibleeftijden) heeft om zich aan te passen aan het veranderde

voedingswater. Ook kan de bedrijfsvoering worden aangepast. Dit is tijdens het demonstratie-onderzoek niet gebeurd.

Het energieverbruik voor beluchting op rwzi Lienden is ruim 400 kWh per dag. Tijdens de onderzoeksperiode was het energieverbruik voor beluchting lager. Theoretisch is dit ook te verwachten door het lagere energieverbruik voor de oxidatie van BZV en nitrificatie en de lagere endogene ademhaling. Voor een gelijkblijvende biologische slibbelasting zou het slibgehalte in de zuivering verlaagd moeten worden. Dit zou een extra verlaging in de zuurstofvraag betekenen.

Het zuurstofgehalte in de DAF en in het eluaat is enkele malen gemeten. Het zuurstofgehalte in het eluaat bedroeg gemiddeld 5,8 mg/l. De invloed op de in te brengen hoeveelheid zuurstof in de beluchting is niet vastgesteld.

Er is geen verschil tussen de SVI tijdens het onderzoek en de SVI tijdens dezelfde periode in voorgaande jaren.

Het effect van de toepassing van DAF op de bedrijfsvoering is beperkt. Er is weinig tijd nodig voor het goed laten functioneren van de DAF-installatie.

### 6.1.2 VARIANTENSTUDIE

Voor de variantenstudie naar toepassing van vergaande voorzuivering op rwzi Lienden ter ontlasting van het actief-slibproces zijn een referentie en drie varianten uitgewerkt:

- 1 variant A0, geen voorbehandeling (referentie);
- 2 variant A1, voorbezinktank;
- 3 variant A2, DAF met polymeerdosering;
- 4 variant A3, fijnzeef.

Met alle varianten wordt voldaan aan de effluenteisen voor N-totaal. Voor P-totaal worden de eisen niet behaald biologische vastlegging, doordat er minder slibgroei plaatsvindt in het actief-slibproces als gevolg van verlaging van de vuilbelasting. Daardoor is ook de opname van orthofosfaat in het slib lager. Door dosering van ijzer- of aluminiumzouten kan extra fosfaat worden verwijderd om wel aan de eisen te voldoen.

De totale slibproductie in de referentie bedraagt 140 ton ds/jaar. In de varianten neemt dit toe tot 200-212 ton ds/jaar (circa 23 kg ds per i.e. per jaar). De productie van biogas is in de referentie circa 84 Nm<sup>3</sup>/dag en in de varianten 202-213 Nm<sup>3</sup>/dag (±8,5 Nm<sup>3</sup>/i.e./jaar).

In alle varianten is het energiegebruik lager dan in de referentie, doordat minder energie nodig is voor beluchting en meer biogas wordt geproduceerd. Het extra energieverbruik van DAF en fijnzeef wordt hierdoor gecompenseerd.

Om de duurzaamheid van de varianten te bepalen is een GER-berekening (voor operationele gebruiken) uitgevoerd. Hieruit blijkt dat alle varianten een lagere GER-waarde hebben dan de referentie, waardoor alle varianten als meer duurzaam worden aangemerkt. In de berekening van GER-waarden is de warmtebehoefte van de slibgisting en de warmteproductie van het biogas niet meegenomen. Dit kan enig effect hebben op de werkelijke GER.

Voor alle varianten zijn de meer- of minderinvesteringen bepaald ten opzichte van de referentie. Op basis hiervan zijn de additionele kapitaallasten berekend. Tezamen met de additionele

operationele kosten vormen zij de jaarlijkse lasten ten opzichte van de referentie. Voor alle varianten geldt dat de jaarlijkse kosten hoger zijn dan in de referentiesituatie doordat de kapitaallasten hoger zijn dan de operationele baten. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat in de varianten de installatie ontlast wordt, terwijl dit in de referentie niet gebeurt. Voor de variant met voorbezinktank zijn de totale jaarlijkse lasten circa 12.000 EUR/jaar, terwijl de extra jaarlijkse kosten voor de DAF en de fijnzeef ongeveer 18.000 EUR/jaar bedragen.

Verdiscontering van investeringen en de operationele baten naar een netto contante waarde over 30 jaar geeft aan dat de drie varianten ongeveer even duur zijn om 30 jaar in bedrijf te houden, met een miniem voordeel voor de variant met voorbezinking.

### 6.1.3 ALGEGELE CONCLUSIE

Op basis van de resultaten van het pilotonderzoek en de variantenstudie wordt geconcludeerd dat het plaatsen van een DAF of andere voorbehandeling de belasting van het actief-slibstelsysteem doeltreffend verlaagd. Dit heeft een gunstig effect op de effluentkwaliteit, al is dit, vanwege de beperkte doorlooptijd, tijdens het demonstratieonderzoek niet meetbaar geweest. Uit de variantenstudie blijkt dat de effluentconcentratie voor totaal-fosfaat een aandachtspunt is, door de lagere opname door microbiële biomassa.

Tijdens het demonstratieonderzoek leidde de DAF tot een hoger energiegebruik op de rwzi. Ook uit de variantenstudie blijkt dat het energiegebruik iets toeneemt wanneer voorbehandeling wordt toegepast. Daar staat tegenover dat met slibgisting veel meer biogas geproduceerd kan worden, waardoor de energiebalans toch positief uitvalt. Dit komt ook tot uitdrukking in de berekening van de GER-waarde als indicatie van duurzaamheid.

In de variantenstudie scoort de toepassing van voorbezinking zowel op het gebied van kosten als op het gebied van duurzaamheid net iets beter dan een DAF of fijnzeef. Daar tegenover staat dat met name DAF (als ook fijnzeving) veel eenvoudiger toegepast kan worden op een bestaande (kleinschalige) rwzi vanwege compactheid en technische en hydraulische inpasbaarheid. Daar waar ruimte schaars is, is DAF en fijnzeving een passende methode om overbelaste actief-slibinstallaties te ontlasten.

Het onderzoek op rwzi Lienden heeft de meerwaarde van DAF aangetoond. Op rwzi Eindhoven werd een nadelig effect op de werking van de AT verwacht door te vergaande verlaging van de BZV/N-verhouding. Op rwzi Lienden is aangetoond dat door alleen polymeer te doseren de BZV/N-verhouding op peil blijft en de denitrificatie goed verloopt. Tevens is de mogelijkheid om DAF te gebruiken voor slibindikking door op droge-stofgehalte van het flotaat te sturen en spuislib vanuit de nabezinktanks mede in te dikken, aangetoond. Ook heeft het onderzoek laten zien dat de DAF betrouwbaar onbemand kan draaien zonder extra toezicht. Wel blijft de keuze voor een voorbehandeling maatwerk, afhankelijk van de locatie.

## 6.2 AANBEVELINGEN

DAF kan voor de ontlasting van actief-slibinstallaties doeltreffend, duurzaam en kosteneffectief ingezet worden als aan de juiste voorwaarden wordt voldaan voor ontwerp, inpassing, BZV/N-verhouding en de juiste slibverwerking. Daarbij komt de goede inpasbaarheid van DAF tussen ontvangwerk en actief-slibproces als belangrijk voordeel naar voren. Dit geldt zowel vanwege de compacte uitvoering van DAF-installaties alsmede door de praktische technische en hydraulische inpasbaarheid.

Tijdens het praktijkonderzoek op rwzi Lienden is succesvol indikking van spuislib in combinatie met influentbehandeling op de DAF-installatie verkend. Het wordt aanbevolen dit verder te onderzoeken. Het indikken van spuislib in een DAF biedt verschillende voordelen: er is geen indikker meer nodig, de transportkosten zijn lager en er hoeft bij vergisting een kleinere hoeveelheid slib te worden opgewarmd.

# REFERENTIES

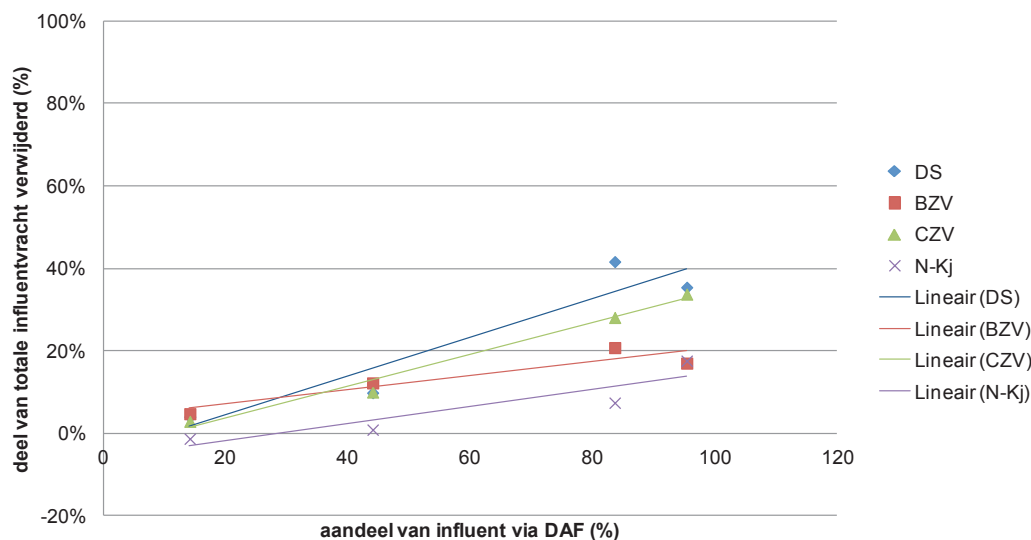
- 1 Waterschap Rivierenland (2009) Prestaties zuiveringstechnische werken 2008
- 2 Waterschap Rivierenland (2012) Prestaties zuiveringstechnische werken 2011
- 3 Waterschap Rivierenland (2013) Jaaroverzicht zuiveringstechnische werken 2012
- 4 STOWA (2014) Toepassing van Dissolved Air Flotation als voorbehandeling van communaal afvalwater, STOWA, rapport 2014-03 / ISBN 978.90.5773.648.3
- 5 STOWA (2013) Symbaalzuivering - Theoretische verkenning van de haalbaarheid, Amersfoort, STOWA, rapport 2013-10 / ISBN 978.90.5773.607.0
- 6 Broeders, E., Schellekens, D en Van Dijk, P (2012), Pilotonderzoek naar behandeling van riool-overstortwater, KALLISTO WP III.
- 7 STOWA (2012), GER-waarden en milieu-impactscores productie van hulpstoffen in de waterketen, STOWA 2012-06, ISBN 978.90.5773.548.6
- 8 RVO (2014) GER-waarden database, te vinden op: <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/monitoring-mja3/mee>

## BIJLAGE 1

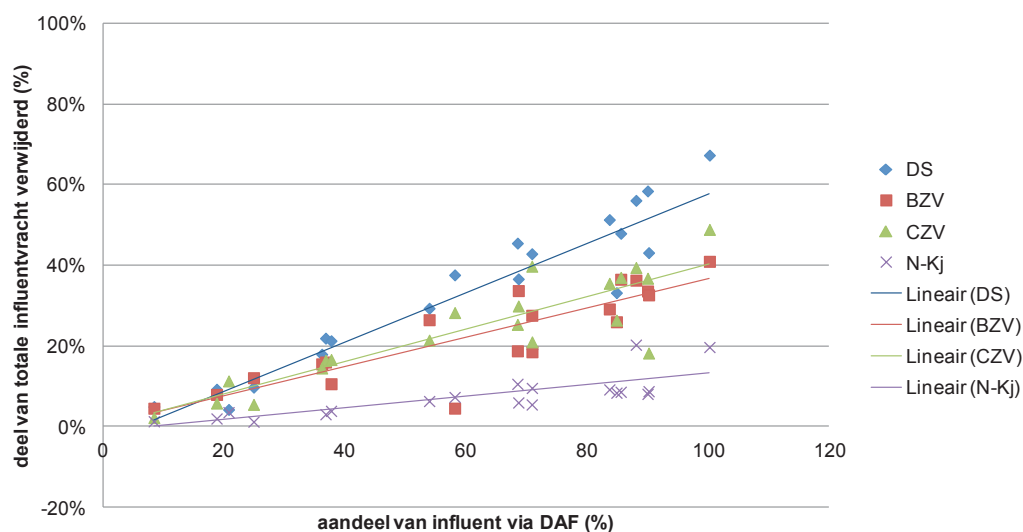
## VERLAGING BELASTING AT

Een van de doelen van het DAF-onderzoek op rwzi Lienden is om de belasting van de rwzi te verlagen. Daarom is een zo groot mogelijk deel van het influent door de DAF behandeld. In afbeelding I1 en I2 is daarom de verlaging van de vracht die de AT in gaat als functie van het deel van het debiet dat door de DAF stroomt weergegeven voor respectievelijk periode 1 en 2. Over het algemeen geldt dat het behandelen van meer influent door de DAF leidt tot een lagere belasting van de AT. Dit is ook de verwachting. In onderzoeksperiode 1 is echter slechts een beperkt aantal datapunten om dit aan te tonen. In onderzoeksperiode 2 (1 mg/l polymeer) is er voor zwevende stof, BZV en CZV een duidelijk verband tussen het aandeel dat door DAF is voorbehandeld en de belasting. Voor N-Kj is dit verband minder duidelijk.

AFBEELDING I.1 DEEL VAN INFLUENTVRACHT VERWIJDERD, ONDERZOEKSPERIODE 1



AFBEELDING I.2 DEEL VAN INFLUENTVRACHT VERWIJDERD, ONDERZOEKSPERIODE 2



## BIJLAGE 2

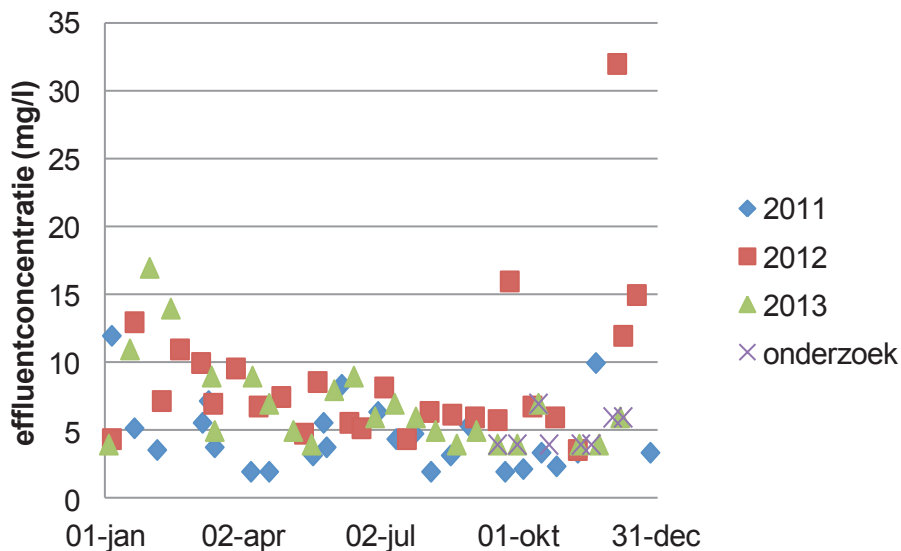
# WERKING VAN DE RWZI EN EFFLUENTCONCENTRATIES

Het doel van de DAF als voorbehandeling is om de effluentkwaliteit te verbeteren. Om te bepalen of dit het geval is, zijn in onderstaande afbeeldingen de effluentconcentraties van verschillende componenten weergegeven. De gegevens uit 2011, 2012 en 2013 betreffen reguliere effluentmetingen. De reeks 'onderzoek' zijn alle effluentmetingen die tijdens de onderzoeksperiodes 1, 2 en 3 zijn gedaan. Ter informatie is ook de belasting van de betreffende jaren weergegeven in tabel...

TABEL II.1 GEMIDDELDE INFLUENTWAARDEN RWZI LIENDEN IN 2011, 2012 EN 2013

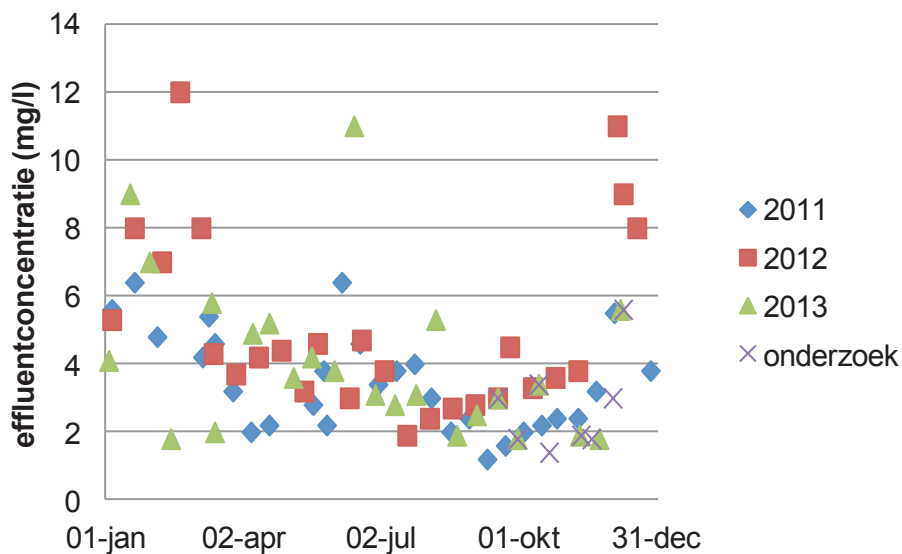
parameter	eenheid	2011	2012	2013
belasting	i.e. (150g TZV)	10.226	8.839	9.046
debiet	m <sup>3</sup> /d	2.135	2.214	1.893
BZV <sub>5</sub>	mg/l	257	215	373
CZV	mg/l	634	568	973
KjN	mg/l	57	49	84
N <sub>tot</sub>	mg/l	57	49	84
P <sub>tot</sub>	mg/l	9	8	13

AFBEELDING II.1 ZWEEVDE-STOFCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013.

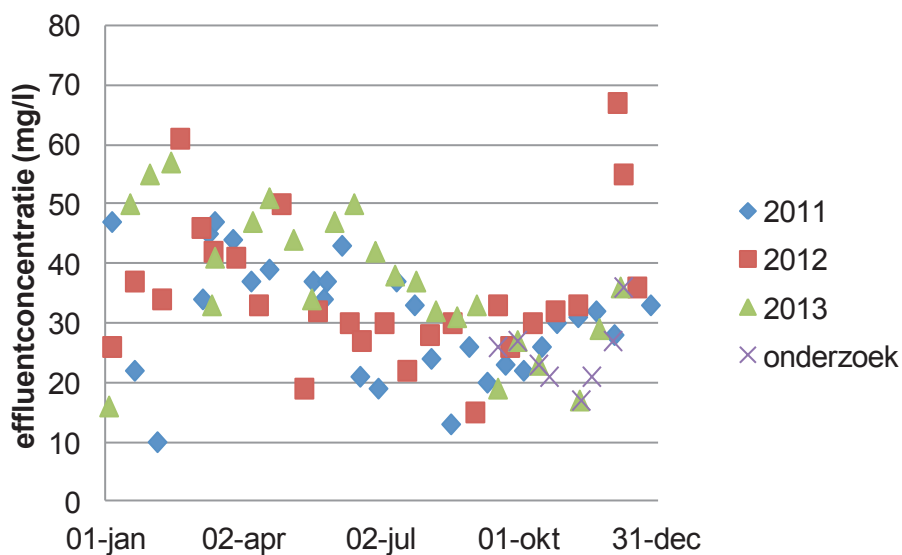


Uit afbeelding II.1 blijkt dat de effluentconcentratie zwevende stof bij toepassing van DAF in de gebruikelijke range ligt. Er wordt niet meer of minder droge stof verwijderd.

AFBEELDING II.2 BZV-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013



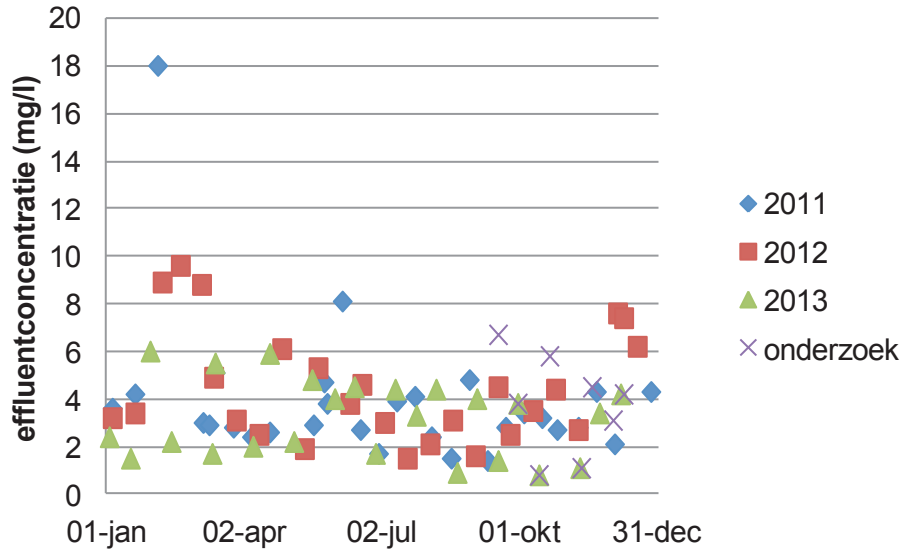
AFBEELDING II.3 CZV-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013



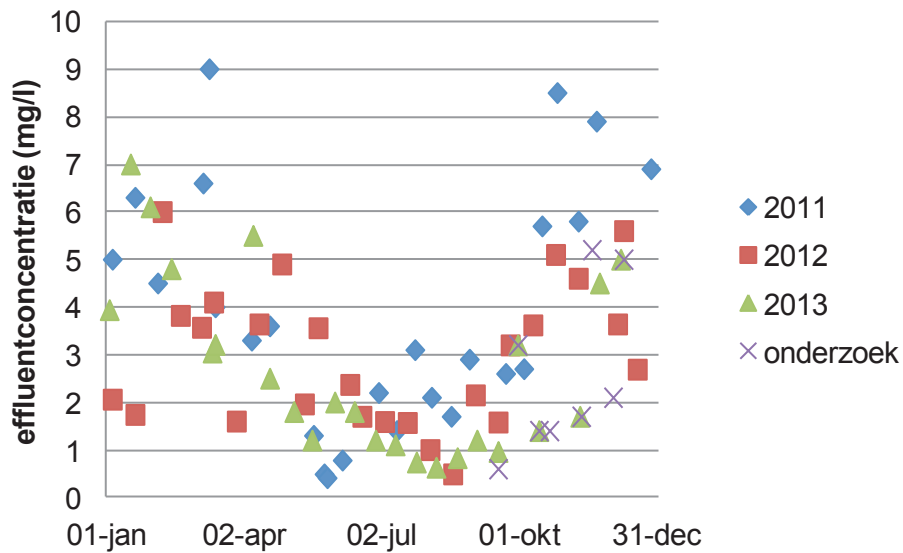
Afbeelding en II.2 en II.3 laten zien dat de BZV- en CZV-concentratie in het effluent tijdens het demonstratieonderzoek in lijn waren met de concentratie in 2011 en 2012. Enkele waarden liggen iets lager dan de waarden in dezelfde periode in 2011 en 2012. Deze waarden komen uit verschillende onderzoeksperiodes.



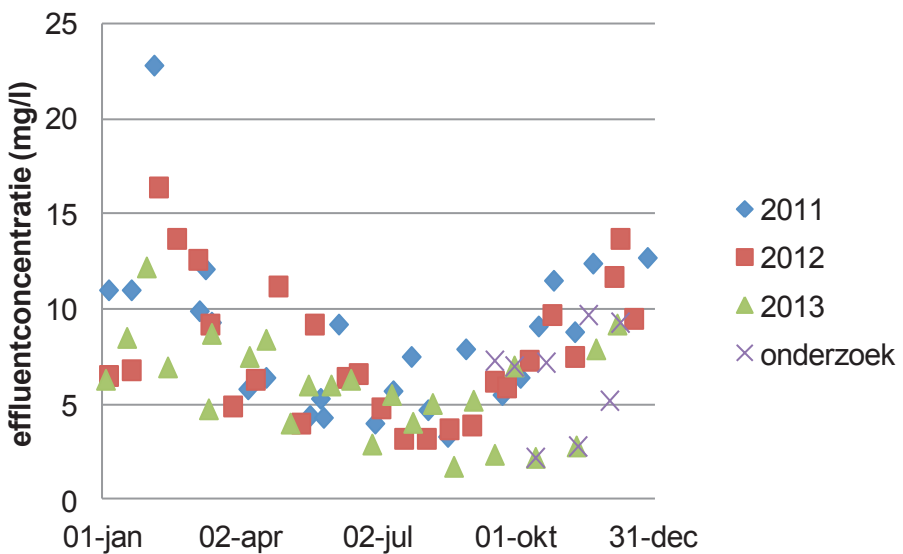
AFBEELDING II.4 N-KJ-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013



AFBEELDING II.5 NOX-N-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013

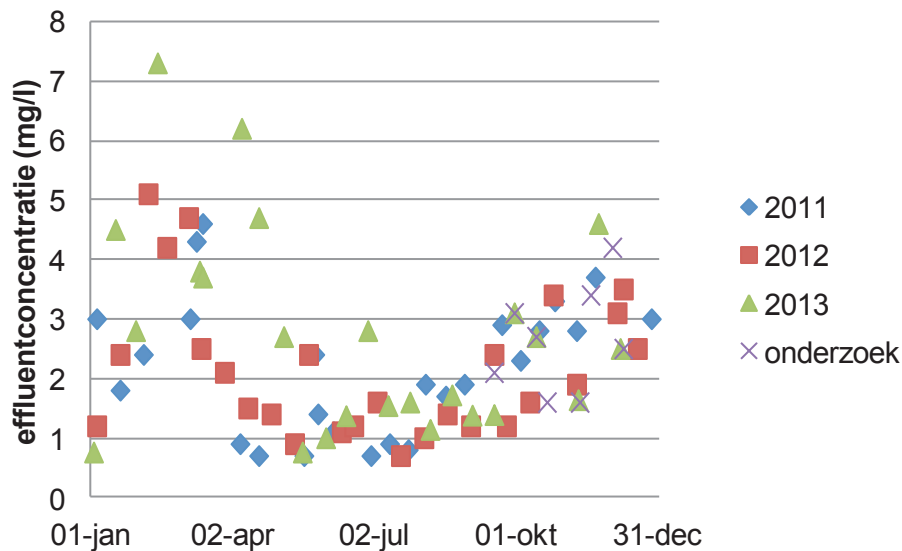


AFBEELDING II.6 N-TOTAAL-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013



Afbeeldingen II.4, II.5 en II.6 laten zien dat voor stikstof mogelijk iets lagere effluentconcentraties te behalen zijn na voorbehandeling met DAF. Voor N-totaal waren geen pieken boven 10 mg/l zichtbaar. Gezien het beperkte aantal meetpunten is echter niet te zeggen dat deze ook daadwerkelijk niet meer zullen optreden. De meeste waarden voor NOx-N waren in veel gevallen lager tijdens het proefonderzoek dan tijdens dezelfde periode in 2011 en 2012. Voor Kjeldahl-stikstof is dit effect niet zichtbaar. Wel is de concentratie N-totaal in het effluent op enkele momenten lager.

AFBEELDING II.7 P-TOTAAL-CONCENTRATIE IN HET EFFLUENT IN 2011, 2012 EN 2013



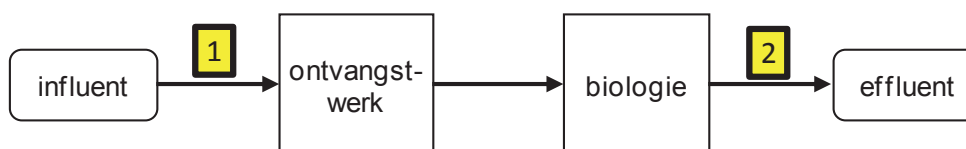
Afbeelding II.7 laat zien dat de effluentconcentraties P-totaal tijdens het demonstratieonderzoek op rwzi Lienden vergelijkbaar waren met dezelfde periode in 2011 en 2012.

## BIJLAGE 3

## UITWERKING VARIANTEN

## VARIANT A0: REFERENTIE

AFBEELDING III.1 BLOKSCHEMA VARIANT A0: REFERENTIE



TABEL III.1 DEBIETEN, VRACHTEN EN CONCENTRATIES VARIANT A0

stroom			1	2
debiet		m <sup>3</sup> /h	92	92
vracht	zwevende stof	kg/h	30	0,8
	BZV	kg/h	20	0,5
	CZV	kg/h	52	3,2
	P-totaal	kg/h	0,7	0,2
	P-ortho	kg/h	0,3	0,1
	N-totaal	kg/h	0,4	0,1
	N-Kj	kg/h	4,5	0,7
	NO <sub>3</sub> -N	kg/h	4,5	0,2
concentratie	zwevende stof	mg/l	329	8,8
	BZV	mg/l	215	5,1
	CZV	mg/l	568	35
	P-totaal	mg/l	7,7	2,2
	P-ortho	mg/l	3,1	1,1
	N-totaal	mg/l	4,6	1,0
	N-Kj	mg/l	49	7,8
	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	49	2,3

## VARIANT A1: VOORBEZINKTANK

AFBEELDING III.2 BLOKSCHEMA VARIANT A1: VOORBEZINKTANK

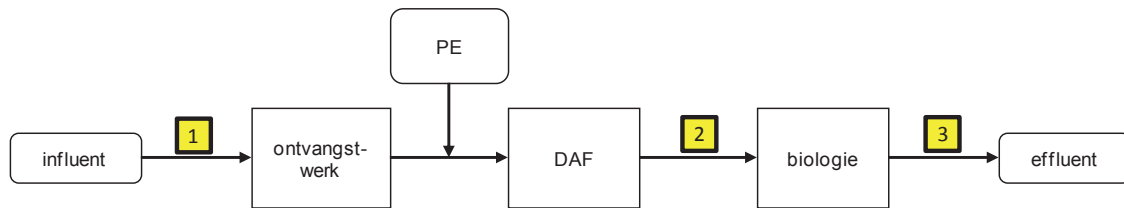


TABEL III.2 DEBIETEN, VRACHTEN EN CONCENTRATIES VARIANT A1

stroom			1	2	3
debiet		m <sup>3</sup> /h	92	92	92
vracht	zwevende stof	kg/h	30	15	0,8
	BZV	kg/h	20	15	0,5
	CZV	kg/h	52	37	3,2
	P-totaal	kg/h	0,7	0,7	0,3
	P-ortho	kg/h	0,3	0,3	0,1
	N-totaal	kg/h	0,4	0,4	0,2
	N-Kj	kg/h	4,5	4,2	0,7
	NO <sub>3</sub> -N	kg/h	4,5	4,2	0,2
concentratie	zwevende stof	mg/l	329	164	8,8
	BZV	mg/l	215	161	5,1
	CZV	mg/l	568	398	35,0
	P-totaal	mg/l	7,7	7,2	3,2
	P-ortho	mg/l	3,1	2,9	1,1
	N-totaal	mg/l	4,6	4,3	2,2
	N-Kj	mg/l	49	46	7,8
	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	49	46	2,3

## VARIANT A2: DAF

AFBEELDING III.3 BLOKSCHEMA VARIANT A2: DAF



TABEL III.3 DEBIETEN, VRACHTEN EN CONCENTRATIES VARIANT A2

stroom			1	2	3
debiet		m <sup>3</sup> /h	92	92	92
vracht	zwevende stof	kg/h	30	14	0,8
	BZV	kg/h	20	12	0,5
	CZV	kg/h	52	31	3,2
	P-totaal	kg/h	0,7	0,6	0,3
	P-ortho	kg/h	0,3	0,3	0,1
	N-totaal	kg/h	0,4	0,4	0,2
	N-Kj	kg/h	4,5	3,9	0,7
	NO <sub>3</sub> -N	kg/h	4,5	3,9	0,2
concentratie	zwevende stof	mg/l	329	149	8,8
	BZV	mg/l	215	131	5,1
	CZV	mg/l	568	333	35,0
	P-totaal	mg/l	7,7	6,5	3,3
	P-ortho	mg/l	3,1	3,1	1,1
	N-totaal	mg/l	4,6	4,1	2,1
	N-Kj	mg/l	49	42	7,8
	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	49	42	2,3

## VARIANT A3: FIJNZEEF

AFBEELDING III.4 BLOKSCHEMA VARIANT A3: FIJNZEEF



TABEL III.4 DEBIETEN, VRACHTEN EN CONCENTRATIES VARIANT A3

stroom			1	2	3	
debiet		m <sup>3</sup> /h	92	92	92	
vracht	zwevende stof	kg/h	30	14	0,8	
		BZV	kg/h	20	11	0,5
		CZV	kg/h	52	35	3,2
		P-totaal	kg/h	0,7	0,7	0,3
		P-ortho	kg/h	0,3	0,3	0,1
		N-totaal	kg/h	0,4	0,4	0,2
		N-Kj	kg/h	4,5	4,1	0,7
		NO <sub>3</sub> -N	kg/h	4,5	4,1	0,2
concentratie	zwevende stof	mg/l	329	148	8,8	
		BZV	mg/l	215	116	5,1
		CZV	mg/l	568	381	35,0
		P-totaal	mg/l	7,7	7,1	3,0
		P-ortho	mg/l	3,1	2,8	1,0
		N-totaal	mg/l	4,6	4,3	1,9
		N-Kj	mg/l	49	44	7,8
		NO <sub>3</sub> -N	mg/l	49	44	2,3

## BIJLAGE 4

## VERBRUIKEN

TABEL IV.1 VERBRUIKEN PER VARIANT

Proces	eenheid	VBT	DAF	fijnzeef
voorbehandeling (elektriciteit t.o.v. ref)	kWh/jaar	14.990	96.973	96.973
voorbehandeling (floculant t.o.v. ref)	ton polymeer/jaar	0	1	0
actief slibtank (elektra voor beluchting t.o.v. ref)	kWh/jaar	-52.629	-75.450	-59.349
slibproductie totaal	ton/jaar	1.940	-238	-958
transport slib naar Tiel (t.o.v. referentie)	tonkm/jaar	29.484	-3.619	-14.565
productie biogas (t.o.v. referentie)	Nm <sup>3</sup> /jaar	43.183	43.942	46.879
productie elektriciteit uit biogas t.o.v. referentie	kWh/jaar	-103.000	-106.000	-111.000
ontwatering uitgegist slib (elektriciteit t.o.v. ref)	kWh/jaar	614	455	692
ontwatering uitgegist slib (chemicaliën t.o.v. ref)	ton polymeer/jaar	0,29	0,22	0,33

TABEL IV.2 GER PER VARIANT

Proces	eenheid	VBT	DAF	fijnzeef
voorbehandeling (elektriciteit t.o.v. ref)	MJ/jaar	178.000	779.000	779.000
voorbehandeling (floculant t.o.v. ref)	MJ/jaar	0	108.000	0
actief slibtank (elektriciteit voor beluchting t.o.v. ref)	MJ/jaar	-626.000	-898.000	-706.000
transport slib naar Tiel (t.o.v. referentie)	MJ/jaar	84.000	-10.000	-42.000
productie elektriciteit uit biogas t.o.v. referentie	MJ/jaar	-1.227.000	-1.260.000	-1.321.000
ontwatering uitgegist slib (elektriciteit t.o.v. ref)	MJ/jaar	7.000	5.000	8.000
ontwatering uitgegist slib (chemicaliën t.o.v. ref)	MJ/jaar	39.000	29.000	44.000
Totaal	MJ/jaar	-1.544.000	-1.257.000	-1.252.000

## BIJLAGE 5

# GLOBALE ONTWERPDIMENSIONERINGEN

## VARIANTEN LIENDEN

**VARIANT A1: VOORBEZINKTANK**

De belangrijkste parameters voor de voorbezinktank zijn weergegeven in tabel 1.

TABEL 3 BELANGRIJKSTE PARAMETERS VOORBEZINKTANK

parameter	eenheid	waarde
totaal debiet (RWA)	m <sup>3</sup> /uur	75
maximale oppervlaktebelasting	m <sup>2</sup> /uur	0,5 (bij dwa)
oppervlak voorbezinktank	m <sup>3</sup>	150
diameter voorbezinktank	m	13,8
leidingwerk	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten
verhardingen	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten
onvoorzien	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten

**VARIANT A2: DAF MET POLYMEERDOSERING**

In deze variant wordt een DAF met polymeedosering toegepast. De belangrijkste parameters zijn weergegeven in tabel 2. De dimensionering en kostenraming zijn opgesteld door Nijhuis Water Technology.

TABEL 4 BELANGRIJKSTE PARAMETERS DAF MET POLYMEERDOSERING

parameter	eenheid	waarde
totaal debiet	m <sup>3</sup> /uur	75 <sup>1)</sup>
aantal pijpflocculatoren	#	1
capaciteit per flocculator	m <sup>3</sup> /uur	75
aantal DAF-installaties	#	1
capaciteit per installatie	m <sup>3</sup> /uur	75
aanmaakunit polymeeroplossing	#	1
doseerpomp polymeer	#	1
inhoud gebouw	m <sup>3</sup>	0 (voldoende ruimte in bestaand gebouw)
aantal voedingspompen	#	1
capaciteit per voedingspomp	m <sup>3</sup> /uur	75
aantal slibpompen	#	1
capaciteit per slibpomp	m <sup>3</sup> /uur	3
trap en bordes	-	te plaatsen
voorzieningen buitenopstelling DAF	-	verwarming, isolatie en overkapping
besturingspaneel	-	PLC, touchscreen en elektrische engineering
leidingwerk	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten
verhardingen	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten
onvoorzien	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten

<sup>1</sup> Bij RWA wordt een deel van het influent gebypast.



**VARIANT A3: FIJNZEEF**

De belangrijkste parameters voor de fijnzeef zijn weergegeven in tabel 3. Bekende kosten voor een fijnzeefinstallatie betreffen over het algemeen installaties met een grotere capaciteit. Daarom is hier uitgegaan van een prijs per kubieke meter behandeld, en niet van een prijs per fijnzeef.

TABEL 5

BELANGRIJKSTE PARAMETERS FIJNZEEF

parameter	eenheid	waarde
totaal debiet	m <sup>3</sup> /uur	75 <sup>1)</sup>
leidingwerk	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten
verhardingen	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten
onvoorzien	-	berekend als percentage van civiele bouwkosten

<sup>1)</sup> Gelijk gehouden aan DAF, bij RWA wordt een deel van het influent gebypast.

## BIJLAGE 6

# OVERZICHT DIMENSIES ONDERDELEN

## RWZI LIENDEN

**ROOSTERGOEDVERWIJDERING**

hydraulische capaciteit	: 350 m <sup>3</sup> /h
roosterdoorlaat	: < 10 mm
kanaalbreedte	: 1 m
afstorthoogte	: 1 m

**ANAËROBE SELECTOR**

volume	: 80 m <sup>3</sup>
diepte	: 4 m
contacttijd	: 30 min.
percentage retourslib	: 0-100%

**BELUCHTINGS CIRCUIT**

totaal volume	: 1.625 m <sup>3</sup>
diepte	: 1,5 m
slibgehalte	: 4 kg/m <sup>3</sup>
slibbelasting	: 0,054 kg BZV/kg ds.d
slibproductie	: 325 kg ds/d
beluchte periode	: 70%
zuurstof inbreng capaciteit	: 59 kg O <sub>2</sub> /h ( $\alpha = 0,9$ )
aantal rotoren	: 4
lengte	: 4,8 m
diameter	: 0,7 m
omloopsnelheid	: 0,3 m/s

**NABEZINKTANK**

slibvolume-index	: 0,15 m <sup>3</sup> /kg ds
oppervlak	: 491 m <sup>2</sup>
diameter	: 25 m
kantdiepte	: 1,5 m
oppervlaktebelasting	: 0,71 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h
retourslibdebiet DWA	: 80 m <sup>3</sup> /h
recirculatiefactor RWA	: 0,74
retourslibdebiet RWA	: 259 m <sup>3</sup> /h
surplusslibdebiet	: 41 m <sup>3</sup> /d

**ONTWERP RWZI LIENDEN****RETOURSLIBGEMAAL**

aantal	: 1
capaciteit	: 80/259 m <sup>3</sup> /h
opvoerhoogte	: 1,5 m
diameter vijzel	: 650 mm
opstellingshoek	: 30°

**SURPLUSSLIBPOMP**

aantal	: 1
capaciteit mohnopomp	: 10 m <sup>3</sup> /h

**SLIBINDIKKER**

oppervlak	: 13 m <sup>2</sup>
diameter	: 4 m
diepte	: 3 m
oppervlaktebelasting	: 25 kg ds/m <sup>2</sup> .d
slibgehalte ingediktd slib	: 3%
debiet ingediktd slib	: 11 m <sup>3</sup> /d

**INGEDIKTD SLIBPOMP**

aantal	: 1
capaciteit mohnopomp	: 10 m <sup>3</sup> /h

**SLIBBUFFERS**

verblijftijd	: 30 dagen
inhoud	: 330 m <sup>3</sup>
ventilatievoud	: 2 maal/h

**BIOFILTERS**

oppervlaktebelasting	: 50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h
oppervlak	: 6 m <sup>2</sup>

**EFFLUENTGEMAAL**

aantal	: 2
type	: droog opgestelde centrifugaal pompen (ook geschikt voor influent)
capaciteit	: 400 m <sup>3</sup> /h (per pomp)

**TERREINWATERPOMPEN**

aantal	: 2
type	: dompelpompen
capaciteit	: 25 m <sup>3</sup> /h (per pomp)

## BIJLAGE 7

## KOSTENRAMINGEN PER VARIANT

## VARIANT 1 VBT

	eenheid	civiel	werktuigbouw	elektrotechniek	totaal
Variant 1 VBT					
tank VBT	EUR	56.250			56.250 opgave Engineering
ruimerbrug	EUR		20.000	2.500	22.500 opgave Engineering
trap en bordes	EUR	1.500	2.500		4.000 opgave Engineering
aanvoer pomp	EUR		10.000	1.000	11.000 opgave Engineering
silbomp	EUR		5.000	500	5.500 opgave Engineering
leidingwerk	EUR	11.250			11.250 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
pm post fundering	EUR	14.063			14.063 onzeker
verhardingen	EUR	2.813			2.813 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
automatisering	EUR		7.500	4.150	4.150 percentage van W+E
onvoorzien	EUR	17.175	45.000	1.630	26.305 percentage op raming VO
totaal	EUR	103.050		9.780	157.830

## VARIANT 2 DAF

	eenheid	civiel	werktuigbouw	elektrotechniek	totaal
Variant 2 DAF					
floculator, doseerpomp, flocculantaanmaak, flotatie-unit (incl engineering)	EUR		94.050	10.450	104.500 budgetprijs NWT
opslag PE	EUR				0 mogelijk in bestaand gebouw
voedingspomp, silbomp	EUR		11.200		11.200 budgetprijs NWT
trap en bordes	EUR		5.000		5.000 budgetprijs NWT
buitenopstelling DAF vorstrij maken	EUR		9.250		9.250 50% van oorspronkelijk, wel deels nodig binnen waarschij
besturingspaneel	EUR			5.875	5.875 aansluiting op bestaand (25% van oorspronkelijke kosten)
civiele werken (fundering, pompput, buffertank, zandgoot)	EUR	25.000			25.000 raming
leidingwerk	EUR	5.000			5.000 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
verhardingen	EUR	2.000			2.000 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
onvoorzien (10 - 15%)	EUR	4.800	3.818	2.449	11.066 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
totaal	EUR	36.800	123.318	18.774	178.891

## VARIANT 3 FIJNZEEF

	eenheid	civiel	werktuigbouw	elektrotechniek	totaal
Variant 3 Fijnzeef					
fijnzeef (inclusief engineering)	EUR	27.500	66.000	16.500	110.000 STOWA2012-03
besturingsstelsel	EUR			5.875	5.875 gelijk aan raming DAF
trap en bordes	EUR	1.500	2.500		4.000 gelijk van VBT
utiliteiten	EUR		15.000	1.000	16.000 STOWA2012-03
container zeefgoed	EUR	10.000	7.500		17.500 overgenomen uit raming Eindhoven (verschaald naar corita
leidingwerk	EUR	5.850			5.850 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
verhardingen	EUR	1.950			1.950 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
onvoorzien	EUR	9.360	18.200	4.675	32.235 percentage overgenomen uit raming Eindhoven (BUUE)
totaal	EUR	56.160	109.200	28.050	193.410