

KWR 2014.077 | oktober 2014

# Vervolgonderzoek A-trap: bouwstenen voor het A-trap procesontwerp

DynaFil WP4a





## Vervolgonderzoek A-trap: bouwstenen voor het A-trap procesontwerp

KWR 2014.077 | oktober 2014

### Opdrachtnummers

400017 en 400465

### Projectmanager

Marthe de Graaff

### Opdrachtgevers

RVO (AgentschapNL) en Waternet

### Kwaliteitsborger

Mark van Loosdrecht

### Auteurs

Marthe de Graaff, Kees Roest, Tessa van den Brand,  
Hans Huiting (allen KWR) en Marcel Zandvoort  
(Waternet)

### Verzonden aan

DynaFil Partners en Stowa begeleidingscommissie

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van het project DynaFil, waarin deelnemen KWR Watercycle Research Institute, TU Delft, Waternet, STOWA, Logisticon Water Treatment, Waterschap Brabantse Delta en Bert Daamen. Het project is mede gefinancierd door RVO (voorheen AgentschapNL) in het kader van de Subsidieregeling Energie en Innovatie, Effectieve en Efficiënte Vergistingketen.

Jaar van publicatie  
2014

### Meer informatie

T +31 (0)30 6069 526  
E kees.roest@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E info@kwrwater.nl  
I www.kwrwater.nl



KWR 2014.077 | Oktober 2014 © KWR

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



# Samenvatting

Optimaal 'oogsten' van organische stof vormt de drijvende kracht achter het onderzoek naar de A-trap, de hoogbelaste eerste trap van het AB-proces voor afvalwaterzuivering, binnen het project DynaFil, Efficiënte vergisting met dynamische filtratie. Uiteindelijk moet dit leiden tot een verhoogde energie-opbrengst in de nageschakelde vergister, waarin het surplus slib wordt vergist. Gezien de sterke interactie tussen biologische en fysisch/chemische deelprocessen vormt de A-trap een complex geheel vanuit mechanistisch oogpunt.

De belangrijkste doelstellingen in dit onderzoek zijn:

- Inzicht verkrijgen in de relevante deelmechanismen in de A-trap, met name in relatie tot het binden van organische stof
- Mogelijke routes bepalen voor optimalisatie van de binding van organische stof aan het slib
- Voorlopige vertaling van optimalisatieroutes naar ontwerp en sturing van de A-trap

De inventarisatie gebaseerd op jaargegevens 2009, 2010 en 2011 heeft laten zien dat er grote verschillen zijn tussen de bestaande AB-systemen, zowel wat betreft ontwerp als procescondities. De resultaten staan beschreven in rapport KWR 2012.094 (werkpakket 1).

Het vervolgonderzoek (werkpakket 4a) richt zich op het mechanisme van CZV-verwijdering voor vastlegging in slib in de A-trap, TBT en indikker voor uiteindelijke energieopwekking. De hoofdprocessen, biologische groei, coagulatie, flocculatie en de hydraulische belasting en het functioneren van de TBT, in bestaande full-scale AB-systemen zijn verder onderzocht. Batchtesten op locatie van de rwzi's voor biologische activiteit en flocculatie/coagulatie eigenschappen zijn uitgevoerd. In samenwerking met Waternet zijn de resultaten uitgewerkt in bouwstenen voor een optimale A-trap. Dit onderzoek heeft meer inzicht gegeven in de werking van de A-trap. Voor dit onderzoek was er weinig bekend over de werking en efficiëntie van de A-trap.

De samenstelling van het afvalwater bepaalt mede of een AB-systeem een toegevoegde waarde heeft; dit is vooral bij een hoge toevoer (>25%) aan opgelost CZV. De belangrijkste bouwstenen zijn korte contacttijd (15 min), korte slibleeftijd (0,3 d), ijzerdosering voor hogere CZV-verwijdering, voldoende beluchting voor opgelost CZV verwijdering. Snelle slib/waterscheiding is essentieel voor hoog rendement van CZV naar de vergister. Daarbij is ook het behandelen van het slib (o.a. verpompen) van grote invloed op het rendement. RWZI Dokhaven laat in de praktijk zien dat hoge CZV verwijdering in de A-trap mogelijk is; deze RWZI haalt al 82% BZV verwijdering uit de toevoer naar de A-trap.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek richten zich op nadere analyse van verschillende (retour)stromen in het AB-systeem en de invloed daarvan op het rendement van CZV naar de vergister. Daarnaast dient vervolgonderzoek zich te richten op nutriëntenverwijdering van N en P. Ijzerdosering heeft als bijeffect dat het ijzerfosfaat lastig direct te hergebruiken is. Een alternatieve flocculant kan wellicht dit probleem oplossen. De toepassing van de A-trap in combinatie met koude Anammox biedt kansen voor maximale benutting van het CZV en efficiënte stikstofverwijdering. Aanbevolen wordt om verder onderzoek te doen naar een totaal concept voor maximale energie- en grondstoffenterugwinning.



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1	Project: Efficiënte vergisting met dynamische filtratie	9
1.2	Samenvatting WP1	9
1.3	Doel en onderzoeksvragen WP4a	10
1.4	Leeswijzer	11
1.5	Terminologie	11
<b>2</b>	<b>Materialen en methode</b>	<b>13</b>
2.1	Bekerglasapparaat	13
2.2	Analyses en monsternamen	13
2.3	Biologische activiteit	17
2.4	Flocculatietesten	17
2.5	Bioflocculatie	18
2.6	Slibbezinktsten	19
2.7	Inventarisatie van het ontwerp van de bestaande A-trap, TBT en gerelateerde onderdelen van de RWZI's	19
2.8	Overzicht experimenten en periode	19
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>21</b>
3.1	CZV analyses	21
3.2	Beluchting in full scale installaties	21
3.3	Aerobe biologische activiteitstesten	24
3.4	Vrijkomen van CZV onder niet-beluchte condities / hydrolysetesten	25
3.5	Invloed van de influentsamenstelling	27
3.6	Ontwerp en sturing A-trap en TBT	28
3.7	Slibkarakteristieken	29
3.8	Flocculatie-experimenten	29
3.9	Bioflocculatie: ijzerdosering en biologische activiteit	32
<b>4</b>	<b>Ontwikkelingen bij de RWZI's met A-trap</b>	<b>35</b>
4.1	RWZI Dokhaven	35
4.2	RWZI Utrecht	36
4.3	RWZI Nieuwveer	37
4.4	RWZI Garmerwolde	38
4.5	Vergelijkbaar onderzoek en ontwikkelingen buitenland	39
<b>5</b>	<b>Betekenis van de resultaten voor de A-trap in de praktijk</b>	<b>41</b>
5.1	Resultaten en discussie	41

5.2	Bouwstenen voor het A-trap procesontwerp en aanbevelingen voor het AB-systeem in nieuwe zuiveringsconcepten	45
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>49</b>
	<b>Bijlage I</b>	<b>51</b>
•	<b>CZV Analyses</b>	<b>51</b>
	Protocol CZV meting met Hach-Lange test kits	51
	Verdunningen	51
	Controle meting CZV test kit met standaardoplossing	51
	Filters	52
	Fixeren van monsters	52
	Additietesten	52
	Fluctuatie CZV over de dag	53
	Verificatie met analyses door lab Aquon	53
	<b>Bijlage II</b>	<b>54</b>
•	<b>Proefopzet full scale test met beluchting op RWZI Dokhaven</b>	<b>54</b>
	Hypothese	54
	Proefopzet	54
	Resultaten	55
	<b>Bijlage III</b>	<b>57</b>
•	<b>Biologische activiteitstesten</b>	<b>57</b>
	<b>Bijlage IV</b>	<b>62</b>
•	<b>Gegevens van de rioolstelsels</b>	<b>62</b>
	Rioolstelsel globaal in beeld van RWZI Dokhaven, Nieuwveer, Utrecht en Garmerwolde	63
	Details Dokhaven	64
	Details Garmerwolde	65
	<b>Bijlage V</b>	<b>66</b>
•	<b>Ontwerpgegevens en uitvoering A-trap en tussenbezinktank</b>	<b>66</b>
	Ontwerpgegevens i.e.	66
	Ontwerpdebieten DWA	66
	Uitvoering A-trap	67
	Beluchting	67
	Retourslib	68
	Overgang van A-trap naar TBT	68
	Chemicaliëndoseringen	69
	Uitvoering TBT	69
	Berekende turbulenties in de verschillende onderdelen	69
	Sturing op DS gehalte in A-trap	70
	Indikers	70
	<b>Bijlage VI</b>	<b>71</b>



•	Onderzoek RWZI Garmerwolde	71
	<b>Bijlage VII</b>	<b>74</b>
•	Aanvullende berekeningen effect A-trap op biogasproductie e.a.	74



# 1 Inleiding

## 1.1 Project: Efficiënte vergisting met dynamische filtratie

Afvalwater bevat een grote hoeveelheid potentiële energie in de vorm van organische stof. Nederlands afvalwater bevat ongeveer 940 kton aan organische CZV met een potentiële energie-inhoud van 12 PJ (Roest et al., 2010). Door middel van slibgisting wordt ongeveer 33% van het potentieel aan organische energie teruggewonnen in de vorm van methaan (o.a. (Wett et al., 2007)). Om dit te verbeteren is het project 'Efficiënte vergisting met dynamische filtratie' opgezet door Waternet, Stowa, Waterschap Brabantse Delta, TU Delft, Logisticon, Bert Daamen en KWR. Het doel van dit project is het substantieel verhogen van de hoeveelheid organische stof die op een RWZI naar de vergisting wordt gestuurd, zodat er zo min mogelijk CZV wordt geoxideerd en deze route van CZV naar biogas ('vergistingsketen') effectiever en efficiënter wordt. De gekozen oplossing is de ontwikkeling en toepassing van een optimaal AB-systeem met dynamische filtratie in combinatie met een anaerobe vergister met dynamisch membraan. Het AB-systeem bestaat uit een hoogbelaste eerste trap (A-trap) en een laagbelaste tweede trap (B-trap) (Böhnke, 1977). Dit rapport beschrijft de resultaten van werkpakket 4a, het vervolg van het werkpakket 1.

## 1.2 Samenvatting WP1

Het doel van de inventarisatie A-trap, DynaFil werkpakket (WP) 1, was het achterhalen van procescondities voor een optimale A-trap, waarbij zoveel mogelijk CZV wordt vastgelegd in het slib voor energieproductie, d.m.v. een literatuurstudie en een inventarisatie van bestaande AB-systemen.

Er bleek onverwacht weinig literatuur te bestaan over het AB-proces; ondanks dat er toch wereldwijd tientallen installaties zijn gebouwd. De enkele beschikbare verhalen uit Duitsland zijn globaal beschrijvend en geven geen inzicht in de werkingsmechanismen van de A-trap. Ook over het functioneren van AB-systemen in de praktijk is weinig bekend. Het AB-systeem is vooral in de jaren 80 en 90 van de vorige eeuw populair geweest, maar er zijn toen weinig rapporten en artikelen verschenen. Vervolgens is het AB-systeem in onbruik geraakt en zijn veel AB-systemen omgebouwd tot actief slib systemen met voorbezinktanks. Naast het literatuuronderzoek is er ook bij diverse instanties (o.a. Stowa, universiteiten (ook in het buitenland), waterschappen) hierover navraag gedaan, maar dit heeft geen extra informatie opgeleverd. De recente aandacht voor het terugwinnen van energie uit afvalwater in initiatieven zoals de energiefabriek<sup>1</sup> waarin energieneutrale of zelfs energieproducerende rioolwaterzuiveringen (RWZI's) mogelijk lijken, heeft de interesse in AB-systemen weer doen opleven. Dit is mede mogelijk omdat voor de stikstofverwijdering inmiddels het anammox proces in ontwikkeling is (o.a. CENIRELTA onderzoeksproject). Het resultaat is dat er steeds meer aandacht is voor het functioneren van de A-trap. Het rapport van DynaFil WP1 geeft een overzicht van de huidige stand van kennis en ervaring wat betreft de A-trap van het AB-systeem, vooral gebaseerd op de vier bestaande A-trap systemen in Nederland (de Graaff and Roest, 2012).

De inventarisatie heeft laten zien dat er grote verschillen zijn tussen de bestaande AB-systemen, zowel voor wat betreft bouw, operationele aspecten en toevoersamenstelling naar de A-trap. De in het kader van dit onderzoek uitgevoerde aanvullende CZV-fractioneringanalyses op de bestaande Nederlandse AB-systemen bevestigden de verschillen

<sup>1</sup> [www.energiefabriek.com](http://www.energiefabriek.com)

tussen deze systemen. De studie heeft laten zien dat er vier hoofdprocessen zijn die de CZV verwijdering in de A-trap en tussenbezinktank (TBT) beïnvloeden:

- biologische activiteit in de A-trap/TBT (groei/hydrolyse)
- fysisch/chemische activiteit (adsorptie/coagulatie/flocculatie) in de A-trap
- hydraulische belasting en functioneren van de TBT
- verwerking van het spui- en retourlib

De resultaten van WP1 laten echter geen eenduidig beeld zien van de optimale procescondities van een A-trap voor het vastleggen van een maximale CZV-vracht in het slib voor energieproductie. De diverse installaties hebben een redelijk grote variatie in fractie CZV-influent die uiteindelijk als slibvracht naar de vergister gaat (26 -52%). Een aantal aspecten waren niet eenduidig uit de inventarisatie te halen: onder andere de invloed van biologische groei en beluchting in de A-trap, ontwerp van de TBT, invloed van retourstromen, verschillen in redoxcondities in de A-trap en slibkarakteristieken. Deze aspecten zijn verder in detail onderzocht in WP4a.

### 1.3 Doel en onderzoeksvragen WP4a

De A-trap is vooral een adsorptie/coagulatie/flocculatie proces dat is vorm gegeven als een actief slibproces. De bijdrage van de biologie is de omzetting van opgelost CZV naar gesuspendeerd CZV (biomassa) en potentieel een positieve rol in de flocculatie. Vormgeving van de A-trap, TBT en indikker gericht op de coagulatie/flocculatie functie en het intact houden van de slibvlokken, lijkt daarom voor de hand te liggen. Dit onderzoek richt zich op de mechanismen van CZV-verwijdering voor vastlegging van CZV in slib in de A-trap, TBT en indikker voor uiteindelijke energieopwekking (DynaFil WP4b). De hoofdprocessen biologische groei, coagulatie, flocculatie en de hydraulische belasting en het functioneren van de TBT, zijn in meer detail onderzocht in bestaande full-scale AB-systemen. Het uiteindelijke doel is om de mechanismen van CZV verwijdering in de A-trap te achterhalen en hiermee inzicht te generen voor het formuleren van bouwstenen voor de optimale A-trap, een A-trap waarin zoveel mogelijk CZV in slib wordt vastgelegd. Om het vastgelegde CZV te gebruiken voor energieproductie middels slibgisting, is ook een efficiënte scheiding van het water en slib nodig (DynaFil WP4b).

De onderzoeksvragen waren:

Biologische activiteit	Wat is de biologische activiteit om opgelost CZV om te zetten en hoeveel CZV kan er vrijkomen door hydrolyse van gesuspendeerd materiaal?
Flocculatie / coagulatie	Wat is de bijdrage van (bio en chemische) flocculatie op de CZV verwijdering in de A-trap en hoe is coagulatie/(bio)flocculatie te optimaliseren?
Bouwstenen voor het A-trap procesontwerp	Wat zijn de mechanismen en ontwerpaspecten van een optimale A-trap?

#### 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de materialen en methoden die zijn gebruikt in dit onderzoek. De resultaten van het onderzoek staan beschreven in hoofdstuk 3. Gedurende dit onderzoek zijn er ook veranderingen en ontwikkelingen wat betreft het functioneren en bedrijven van de A-trap op de RWZI's zelf. Deze staan beschreven in hoofdstuk 4.

Belangrijk om te weten voor het lezen van dit rapport als nuancering van de hardheid van de data:

- Alle experimenten zijn uitgevoerd onder DWA omstandigheden op locatie van de RWZI. Slib is direct na monsternamen gebruikt in de experimenten.
- Alle experimenten zijn gedaan onder praktijkomstandigheden. Waar metingen van afzonderlijke water- en slibstromen wenselijk zou zijn bleek dit niet altijd mogelijk.
- Veelal zijn steekmonsters gebruikt; gemeten concentraties wijken daardoor vaak af van de dagelijkse/jaarlijkse gemiddelden.
- Het is gebleken dat het A-trap slib zo fragiel is dat ook de analyse van opgelost CZV in slib bevattende monsters lastig is. De gebruikte monsternamen methode met filter is nader onderzocht omdat bepaalde opgelost CZV concentraties in monsters met slib hoger waren dan verwacht (paragraaf 3.1).
- Wanneer de absolute waarden door bovenstaande aspecten niet gebruikt konden worden, is het wel mogelijk om uit de waarden een trend te halen.
- RWZI Garmerwolde is niet altijd meegenomen in de tabellen en analyses vanwege ontbrekende gegevens.

Hoofdstuk 5 beschrijft en integreert de resultaten die in werkpakket 1 (WP1 inventarisatie) en werkpakket 4a (WP4a vervolg A-trap onderzoek) van het Dynafil onderzoek zijn behaald. Dit hoofdstuk kan samen met hoofdstuk 1 apart worden gelezen.

#### 1.5 Terminologie

A-trap toevoer slibmengsel = mengsel aan het begin van de A-trap inclusief influent en alle retourstromen en retourslibstroom

A-trap toevoer = toevoer naar de A-trap exclusief retourslib maar inclusief influent en alle retourstromen

A-trap retourslib = A-trap slib uit de retourslibleiding

A-trap afloop = afloop van de A-trap naar de TBT

BZV = biologisch zuurstofverbruik

CZV = chemisch zuurstofverbruik

CZV<sub>opgelost</sub> = CZV na filteren over 0,45 µm

Influent = het aangevoerde afvalwater exclusief retourstromen

RWZI = Rioolwaterzuiveringsinstallatie

TBT = tussenbezinktank

TBT afloop = afloop van de TBT naar de B-trap



## 2 Materialen en methode

Alle testen zijn uitgevoerd op locatie van de RWZI onder DWA omstandigheden. DWA omstandigheden zijn gedefinieerd als er op de dag voor de uitvoering minder dan 3 mm regen was gevallen en er op de dag zelf ook minder dan 3 mm regen werd voorspeld. De testen zijn allemaal uitgevoerd door dezelfde onderzoeker van KWR Watercycle Research Institute (Tessa van den Brand).

### 2.1 Bekerglasapparaat

De biologische activiteit en de flocculatie testen zijn uitgevoerd in een bekersglasapparaat voorzien van menging (variërend van 50 rpm tot 300 rpm) en beluchting (voor ieder bekersglas apart instelbaar). Een foto van het bekersglasapparaat is te zien in Figuur 2.1. De bekersglazen hebben een inhoud van 2L en zijn afsluitbaar met deksel of met piepschuimkorrels om zuurstofinbreng te voorkomen indien nodig. De experimenten die in dit bekersglasapparaat zijn gedaan, worden beschreven in de volgende paragrafen.



FIGUUR 2.1 BEKERGLASAPPARAAT

### 2.2 Analyses en monsternamen

#### 2.2.1 Algemeen

Er is extra zorg besteed aan het verkrijgen van representatief gemengd monster zonder afbraak van de slibvlok. Monsters zijn genomen met een 20 mL spuit (Luer). Voor CZV analyses zijn de Hach-Lange test kits LCK 414 en LCK 514 gebruikt en voor  $P_{\text{totaal}}$  is LCK 350 gebruikt. CZV<sub>opgelost</sub> monsters zijn eerst gefiltreerd over een 0,45  $\mu\text{m}$  filter (Whatman spartan 30/0.45 RC). Indien nodig, om in het gewenste bereik van de kit te zitten, is er verdund met demi water zoals aanwezig op de RWZI. Temperatuur, pH en opgelost zuurstof (DO) zijn

gemeten met een losse handmeter (Hach-Lange pH/Oxi 340i) ongeveer 5 cm onder het oppervlak. Hiermee is gegarandeerd dat er in een gemengde omgeving is gemeten. Monsters (5-10 mL) voor een troebelheidsmeting zijn genomen ongeveer 2 cm onder het oppervlak en overgebracht naar monstervaatjes. Indien nodig is het monster verdund met demi water zoals aanwezig op de betreffende RWZI. Voor de meting is een losse troebelheidsmeter (Hach-Lange 2100Qis Portable Turbidimeter) gebruikt.

Voor het droge stof gehalte (DS), het asgehalte en organisch slibgehalte is een gemengd monster genomen. Een bekende hoeveelheid monster (ongeveer 20-30 mL) is genomen en gedurende 1 dag op 100°C gedroogd (DS) en vervolgens 2 uur op 550°C verbrand (asgehalte). Een glass microfibre filter met een poriegrootte van 1,2 µm is gebruikt. Voor enkele monsters (TBT afloop en effluent) was 20-30 mL niet genoeg voor een nauwkeurige analyse, in dat geval is er 1L gefiltreerd.

### 2.2.2 CZV-metingen

De CZV-metingen zijn gevalideerd om factoren die de meting mogelijk kunnen beïnvloeden uit te sluiten. De validatie van de CZV analyses (verduunningen met demiwater, CZV-afgifte door filters, additietesten) staat beschreven in memo 2013-19 in bijlage I. Er zijn in dit validatieonderzoek geen factoren gevonden die de CZV meting hebben beïnvloed.

Gedurende het hele onderzoek is gebleken dat het A-trap slib fragiel is en gevoelig voor behandeling; het slib valt snel uit elkaar. Omdat de opgelost CZV concentraties hoger waren dan verwacht en het validatieonderzoek geen verklaring hiervoor gaf, is er op het eind van het onderzoek nog onderzocht in hoeverre het nemen van monsters in een 20 mL spuit en filtreren invloed heeft op opgelost CZV concentratie. Hypothese is dat tijdens het aanzuigen in de spuit teveel shear ontstaat, waardoor geadsorbeerd CZV weer vrijkomt in oplossing.

De volgende methodes zijn getest:

Methode 'slibmonster in spuit filtreren'	Het slibmonster is genomen met een 20 mL spuit uit het vat/bekerglas met het monster. Vervolgens is op de spuit een membraanfilter geplaatst en is de inhoud van de spuit door het filter gedrukt.
Methode 'slibmonster aanzuigen door filter in de spuit'	Het slibmonster is uit het vat/bekerglas met een spuit met daarop een membraanfilter direct door het filter opgezogen. In de spuit zit dus alleen vloeistof zonder slib.
Methode 'centrifugeren'	Het slibmonster is overgegoten in centrifugebekerglazen en gecentrifugeerd (10 minuten bij 2.500 rpm). Vervolgens is de bovenstaande vloeistof met een spuit er afgezogen en na het plaatsen van een membraanfilter op de spuit is de bovenstaande vloeistof door het filter gedrukt.



### 2.2.3 Monstername op de RWZI's

Op RWZI Utrecht, Dokhaven en Nieuwveer zijn experimenten uitgevoerd. Alle RWZI's verschillen in aanleg en ontwerp wat invloed had op de monstername. De volgende tabel geeft een samenvatting van de belangrijkste verschillen voor de monstername.

TABEL 2.1 OVERZICHT VAN DE VERSCHILLEN IN MONSTERNAME TUSSEN DE DRIE RWZI'S

Monstername	RWZI Utrecht	RWZI Dokhaven	RWZI Nieuwveer
Influent	Niet mogelijk, retourstromen al voor roosterhark gemengd	Influent van 1 pijp (die uit de stad)	Influent inclusief effluent retour
Toevoer A-trap zonder slib	Wel mogelijk	Niet mogelijk	Wel mogelijk

#### Monstername RWZI Utrecht

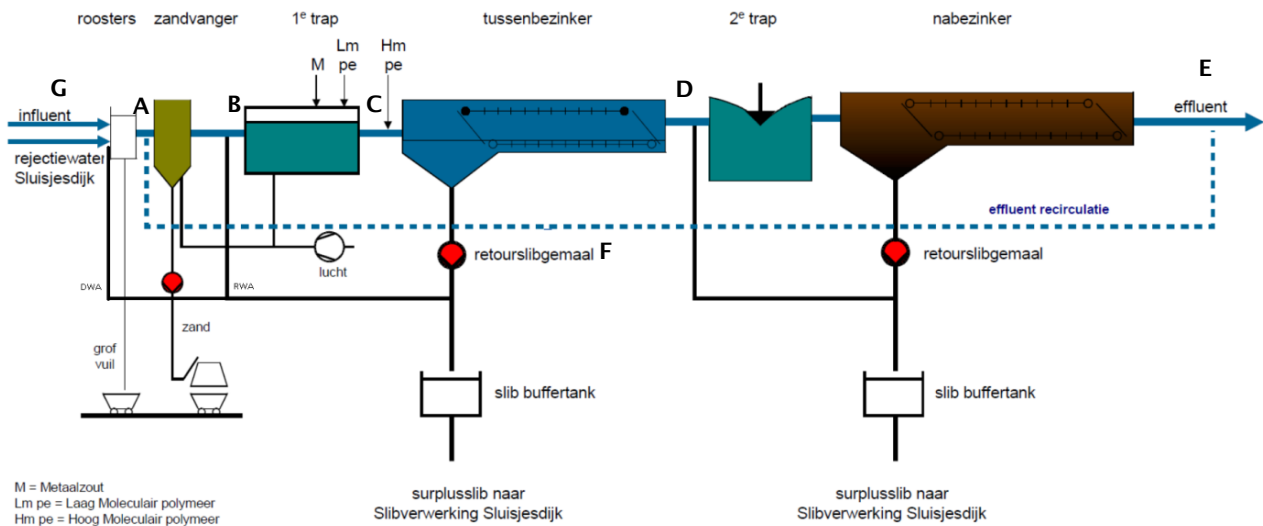
Op RWZI Utrecht is het bekersglasapparaat getest en zijn enkele experimenten uitgevoerd. Bemonstering van het influent is niet mogelijk. Retourstromen worden al voor de roosterhark gemengd met het influent. Voor de testen is daarom de toevoer naar de A-trap, A-trap toevoer slibmengsel en afloopt A-trap bemonsterd.

#### Monstername RWZI Dokhaven

Op RWZI Dokhaven zijn de monsters genomen zoals aangeven in Figuur 2.2 en Tabel 2.2.

3

## Process design



FIGUUR 2.2 SCHEMATISCHE WEERGAVE RWZI DOKHAVEN EN DE MONSTERNAMELOCATIES (LETTERS)

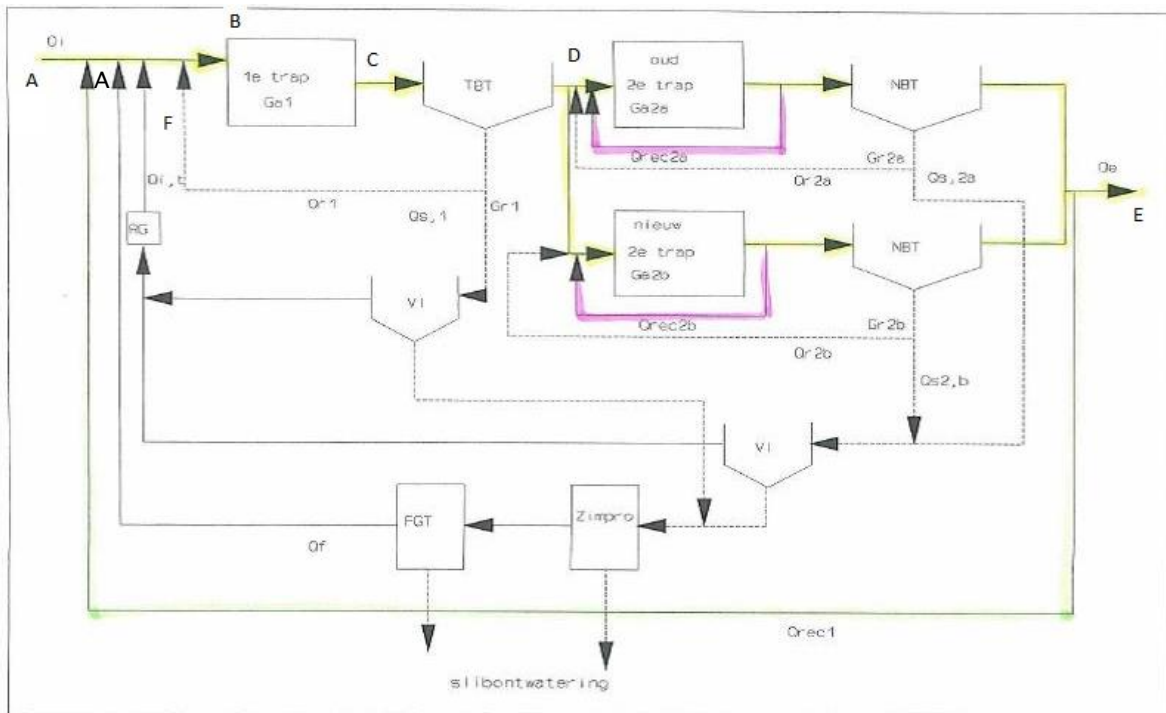
TABEL 2.2 MONSTERNAMELOCATIES RWZI DOKHAVEN

Monster	
A	Roosterhark
B	A-trap toevoer slibmengsel (inclusief alle retourstromen)
C	Eind A-trap (afloop A-trap)
D	Afloop TBT
E	Effluent
F	Retourslib
G	Influent (alleen van de stad)

Alle monsters zijn genomen vanuit straat 2. Influent is bemonsterd voor de roostergoedverwijdering, voordat het met retourslib wordt gemengd. Echter, de influent aanvoer bestaat uit 6 pijpleidingen die voor de roostergoedverwijdering niet worden gemengd. Daardoor kon er geen gemengd influent monster worden genomen en is alleen de influentpijp (grootste volumestroom en vracht) uit de stad bemonsterd (G).

**Monstername RWZI Nieuwveen**

Op RWZI Nieuwveen zijn de monsters genomen zoals aangeven in Figuur 2.3 en Tabel 2.3. Influentbemonstering is pas mogelijk na het roostergoed, wanneer het effluentretour al is bijgemengd. Influent bevat dus altijd het effluentretour. In de voorsectie van de A-trap worden alle retourstromen en retourslib gemengd.



FIGUUR 2.3 SCHEMATISCHE WEERGAVE RWZI NIEUWVEER EN DE MONSTERNAMELOCATIES (LETTERS)

TABEL 2.3 MONSTERNAMELOCATIES RWZI NIEUWVEER

Monster	
A	Influent na roostergoed inclusief effluent retour
B	A-trap toevoer slibmengsel
C	Eind A-trap (afloop A-trap)
D	Afloop TBT
E	Effluent
F	Retour slib

## 2.3 Biologische activiteit

### 2.3.1 Aerobe activiteit

Voor zover mogelijk zijn er separate monsters genomen van het influent en retourslib. Indien dit niet mogelijk was (op RWZI Dokhaven), is het begin van de A-trap (=A-trap toevoer slibmengsel), waar het retourslib en influent al gemengd was, bemonsterd. Daar is op t=0 een monster genomen boven op de A-trap en direct ter plaatse gefiltreerd. Slib en influent werden 1 op 1 gemengd en belucht in het bekglasapparaat en gemengd bij 100 rpm. Op t=0, 5, 10, 15, 30, 60 en 90 minuten zijn er monsters genomen voor analyse van CZV<sub>opgelost</sub>. In latere testen zijn op zo'n kort mogelijke intervallen t/m 30 minuten monsters genomen om de biologische activiteit in de eerste minuten te bepalen. De monsters zijn genomen met een 20 mL spuit vanaf de bovenkant van het bekglas, ongeveer 2 cm onder het oppervlak. De zuurstofconcentratie en pH werden op de monsternametijdstippen genoteerd, ook ongeveer 2 cm onder het oppervlak. De bekglazen werden voldoende belucht zodat zuurstof niet limiterend was. De testen zijn in duplo uitgevoerd.

### 2.3.2 Hydrolysetesten

Hydrolysetesten van het A-trap toevoer slibmengsel en een monster bij afloop A-trap naar de TBT zijn in duplo uitgevoerd in de bekglazen. De monsters zijn zo anaeroob mogelijk in de bekglazen overgebracht, dat wil zeggen door niet te schudden en zo min mogelijk over te gieten. In de bekglazen werd het mengsel langzaam geroerd (100 rpm) en zuurstofoverdracht vanuit de lucht werd beperkt tot een minimum door de bekglazen af te dekken met een laag piepschuimkorrels. Op t=0, 30, 60, 90 minuten en op de volgende dag zijn er monsters genomen voor analyse van CZV<sub>opgelost</sub>. De zuurstofconcentratie en pH zijn op de monsternametijdstippen genoteerd.

## 2.4 Flocculatie testen

De flocculatie testen zijn als volgt uitgevoerd (procedure vermeld in (Stowa, 2003)):

- Monsters nemen met een spuit
- Monsters analyseren op troebelheid, CZV<sub>totaal</sub>, CZV<sub>opgelost</sub> en P<sub>totaal</sub>
- In bekglasapparaat:
  - Verschillende doseringen (0; 3,2; 4,9; 6,5; 9,7 en 13 mgFe/L) van ijzer(III)chloride
  - Halve minuut op hoge snelheid roeren (300 rpm), 3 min op lage snelheid roeren (50 rpm), dan 15 minuten bezinken
  - Supernatant analyseren op troebelheid, CZV<sub>totaal</sub>, CZV<sub>opgelost</sub> en P<sub>totaal</sub>

Deze testen zijn uitgevoerd met de volgende monsters:

- alleen influent en ijzer(III)dosering
- toevoer A-trap mengsel en ijzer(III)dosering

Aangezien er op RWZI Nieuwveer ijzer (II) wordt gedoseerd i.p.v. ijzer (III) zijn er ook flocculatietesten met ijzer (II) toevoeging gedaan.

In een aantal testen is er een extra roermoment toegepast om te onderzoeken of de troebelheid van het supernatant toeneemt en de slibvlok uit elkaar valt. Hierbij is dan na de 15 minuten bezinktijd opnieuw voor een halve minuut op hoge snelheid geroerd (300 rpm), 3 minuten op lage snelheid geroerd (50 rpm) en vervolgens 15 minuten bezinktijd toegepast. Het supernatant is vervolgens geanalyseerd op troebelheid.

Verschillende roersnelheden bij een gelijke ijzerdosering zijn toegepast om het effect van verschillende shear op de troebelheid van het supernatant te testen. Hierbij is 0,2 mL 40% ijzer(III)chloride oplossing toegevoegd en vervolgens is er 30 seconden op 300 rpm geroerd, gevolgd door 3 minuten op 50 rpm en 15 minuten bezinken. Daarna is een tweede roer periode gestart om verschillende shear te testen (verschillende roer snelheden). Dit is gedaan door eerst 30 seconden op 300 rpm te roeren en vervolgens de 3 minuten snelheid te variëren. Vervolgens is er 15 minuten bezonken.

## 2.5 Bioflocculatie

Om te testen of het A-trap retourslib bijdraagt aan de verwijdering van deeltjes uit het influent zijn bezinktesten uitgevoerd met verschillende verhoudingen influent, A-trap retourslib en afloop TBT. De hypothese is dat als het A-trap retourslib deeltjes uit het influent invangt, de troebelheid van een mengsel van A-trap retourslib, influent en afloop TBT na bezinken een lagere troebelheid heeft dan alleen het influent na bezinken. Na het mengen is dezelfde procedure gevolgd als bij de flocculatietesten, maar dan zonder ijzerdosering. Afloop TBT is gebruikt om dezelfde matrix te houden bij verschillende retourslibgehalten en de hoeveelheid influent hetzelfde te houden.

In de volgende tabel staan de verhoudingen influent, afloopt TBT en retourslib.

TABEL 2.4 VERSCHILLENDE TOEGEPASTE VERHOUDINGEN TIJDENS BIOFLOCCULATIEPROEF

Slib verhouding	Influent	Afloop TBT	Retourslib
%	L	L	L
0	0,5	1,5	0
25	0,5	1	0,5
50	0,5	0,5	1
75	0,5	0	1,5
100	0	0	2

In bovenstaande proef bleek de troebelheid van het mengsel met A-trap retourslib hoger na het mengen (resultaten niet weergegeven). Hoogstwaarschijnlijk is de shear in de bekersglazen te hoog geweest waardoor het slib uit elkaar valt en er geen effect van bioflocculatie kon worden gemeten. Zonder ijzerdosering lijkt het A-trap slib gevoeliger voor shear. Daarnaast lijkt de monstername van retourslib en het behandelen van het monster van retourslib veel invloed te hebben op de samenstelling. De leiding met retourslib en het monsternamepunt staat onder hoge druk, waardoor het retourslib met grote kracht vrijkomt en het hoogstwaarschijnlijk niet meer dezelfde structuur heeft als in de A-trap en de TBT. Het testen van bioflocculatie door bezinktesten met verschillende verhouding influent, retourslib en afloop TBT lijkt op deze manier onmogelijk.

Vervolgens is op basis van ervaringen van bovenstaande proef op een andere manier de bijdrage van slib getest in een combinatie van de biologische experimenten en de flocculatietesten. In 8 bekeerglazen zijn vier verschillende condities toegepast: wel / niet belucht voor 30 minuten en wel / geen ijzerdosering (5 mg Fe(III)/L) (zie Tabel 2.5). Deze testen zijn uitgevoerd op RWZI Nieuwveer. De hypothese is dat in de bekeerglazen met beluchting en ijzerdosering de hoogste CZV verwijdering wordt behaald.

**TABEL 2.5 COMBINATIE BIOLOGISCHE EXPERIMENT EN FLOCCULATIETEST**

Bekerglas	1	2	3	4	5	6	7	8
Belucht	ja	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee
ijzerdosering	ja	ja	nee	nee	ja	ja	nee	nee

## 2.6 Slibbezinktesten

Om inzicht te krijgen in de bezinkingscapaciteit van het A-trap slib op de RWZI is het bezonken bedvolume (mL) in de tijd gemeten. Het A-trap toevoer slib mengsel is 1 op 1 verdund met kraanwater van locatie. Het bezonken bedvolume (in mL) in de tijd is bepaald in in een imhoff trechter (1 L slibmengsel).

## 2.7 Inventarisatie van het ontwerp van de bestaande A-trap, TBT en gerelateerde onderdelen van de RWZI's

Door de verschillen van de bestaande systemen in kaart te brengen, wordt meer inzicht verkregen in hoeverre het ontwerp van de systemen de verwijdering van CZV en SS beïnvloeden. Op basis van ontwerptekeningen en afmetingen is een eerste verkenning uitgevoerd.

## 2.8 Overzicht experimenten en periode

Tabel 2.6 geeft een overzicht van alle A-trap experimenten die zijn gedaan met daarbij de datum en de locatie.

TABEL 2.6 OVERZICHT VAN ALLE A-TRAP EXPERIMENTEN

Datum	Wat	Waar
22 t/m 24 april 2013	Opstelling testen Biologische activiteit	RWZI Utrecht
2 t/m 5 mei 2013	Verificatie CZV analyse	KWR
7 t/m 8 mei 2013	Biologische activiteit	RWZI Dokhaven
21 t/m 28 mei 2013	Flocculatie testen	RWZI Dokhaven
4 t/m 7 juni 2013	Biologische activiteit	RWZI Nieuwweer
10 t/m 13 juni 2013	Flocculatie testen	RWZI Nieuwweer
8 t/m 11 juli 2013	Additionele verificatie CZV analyse	KWR
30 augustus 2013	CZV influent over dag heen gemeten en vergeleken met resultaten van Aquon	RWZI Nieuwweer
19 november 2013	Zuurstof metingen, effect beluchting in full scale installatie	RWZI Dokhaven
17 december 2013	Met Olaf Duin ontwerptekeningen en installatie bekijken	RWZI Dokhaven
14 januari 2014	Biologische activiteit + flocculatie Zuurstof meting	RWZI Nieuwweer
20 januari 2014	Biologische activiteit + flocculatie combinatie test Zuurstof meting	RWZI Nieuwweer
27 januari 2014	Biologische activiteit vergelijken slib Dokhaven en Nieuwweer	RWZI Nieuwweer
25 februari 2014	Met Erik Rekswinkel ontwerptekeningen en installatie bekijken	RWZI Utrecht
12 maart 2014	Met Willy Poeisz ontwerptekeningen en installatie bekijken	RWZI Garmerwolde
31 maart 2014	Met Hans Mollen en Anton Buijnster ontwerptekeningen en installatie bekijken	RWZI Nieuwweer
3 april 2014	Centrifuge versus filteren testen	RWZI Nieuwweer / KWR

## 3 Resultaten

### 3.1 CZV analyses

De resultaten van de CZV analyses met verschillende voorbehandelingsmethodes staan in Tabel 3.1. De in deze studie toegepaste CZV analyse methode is 'slibmonster in spuit filtreren'.

TABEL 3.1 CZV OPGELOST IN A-TRAP SLIB MONSTERS MET VERSCHILLENDE VOORBEHANDELING

	Nieuwveen A-trap begin CZV opgelost in duplo (mg/L)		Nieuwveen A-trap afloop CZV opgelost in duplo (mg/L)		Datum en tijd monstername
Methode 'slibmonster in spuit filtreren'	102	104	110	106	20-1-2014 9:00
Methode 'slibmonster aanzuigen'	131	133	139	131	
Methode 'slibmonster in spuit filtreren'	81	78	86	88	27-1-2014 11:00
Methode 'slibmonster aanzuigen'	103	104	108	111	
Methode 'slibmonster in spuit filtreren'	175	171	144	142	3-4-2014 8:00
Methode 'centrifugeren'	134	132	94	97	

Bovenstaande resultaten laten zien dat de duplo's erg betrouwbaar zijn, maar dat het A-trap slib erg gevoelig is voor verstoring en dat de bemonstering- en analysemethode van monsters met A-trap slib de resultaten sterk beïnvloedt. De opgelost CZV concentraties wijken af van wat verwacht mag worden op basis van waarden in afloop TBT. De hypothese is dat geadsorbeerd CZV aan het slib door wrijving en druk in het filter weer vrijkomt in oplossing. Aannemende dat het slib verzadigd is met CZV en dat de monsters op dezelfde manier zijn behandeld, is wel de trend van de resultaten van de experimenten waarin slibmonsters zijn geanalyseerd bruikbaar (o.a. de experimenten voor biologische activiteit).

Gezien de aard van de experimenten (zo vers mogelijke monsters en uitvoering van experimenten op de locatie van de RWZI) zijn er voornamelijk steekmonsters gebruikt. Logischerwijs wijken absolute CZV concentraties af van de daggemiddelde en jaargemiddelde waarden. Absolute getallen zijn in dat geval echter minder relevant, omdat relatieve getallen en reactiesnelheden wel bruikbaar zijn voor het vaststellen van trends en verschillen.

### 3.2 Beluchting in full scale installaties

Uit de inventarisatie is gebleken dat er weinig bekend is over de hoeveelheid beluchting in de A-trap (energieverbruiken van de beluchters zijn niet altijd bekend). Op RWZI Dokhaven vindt het hoogste elektriciteitsverbruik plaats, terwijl er een lager zuurstofsetpoint wordt gebruikt (0,6 - 0,8 mg/L op 2/3 van de straat) ten opzichte van RWZI Nieuwveen (1,5 mg/L in tweede sectie en 2,0 mg/L in derde sectie) (data uit 2011). Echter o.a. de locatie waar de zuurstofconcentratie wordt gemeten is anders en derhalve is dit lastig te vergelijken.

Tabel 3.2 geeft de luchtdebieten in de A-trap in de full scale installaties weer. RWZI Utrecht past minimale beluchting toe d.m.v. puntbeluchters.



TABEL 3.2 LUCHTDEBIETEN IN DE FULL SCALE A-TRAP INSTALLATIES

Luchtdebieten in Nm <sup>3</sup> /h	min	max	gemiddeld
Dokhaven (564.000 i.e. a 150 g TZV; V <sub>A-trap</sub> = 4800 m <sup>3</sup> )	2.800	12.800	8.000 – 9.600
Garmerwolde (375.161 i.e. a 150 g TZV; V <sub>A-trap</sub> = 2760 m <sup>3</sup> )	900	3.000	?
Nieuwveer, waarvan 40% sectie 2 en 60% sectie 3 (439.733 i.e. a 150 g TZV; V <sub>A-trap</sub> = 3500 m <sup>3</sup> )	2.500	12.000	6.000

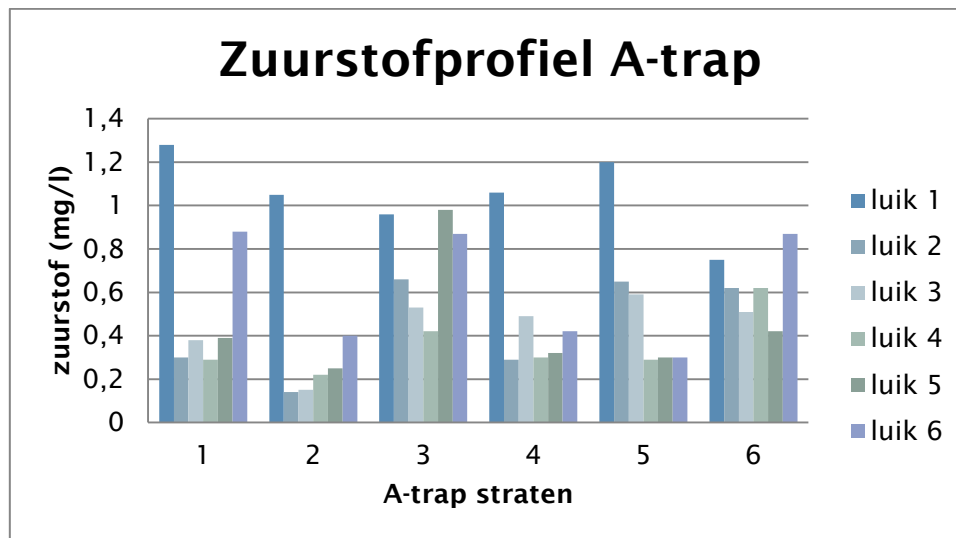
Op RWZI Nieuwveer is op twee momenten handmatig het zuurstofgehalte in de eerste niet beluchte sectie gemeten, om te bepalen of de niet beluchte sectie anoxisch is en daarmee te bepalen wat de aerobe sibleeftijd in de A-trap is. De resultaten staan in Tabel 3.3. Hieruit blijkt dat de gehele A-trap aeroob is en de aerobe sibleeftijd de volledige sibleeftijd is (namelijk 0,65 d).

TABEL 3.3 ZUURSTOFFPROFIEL IN DE VERSCHILLENDE SECTIES (I T/M III) VAN DE A-TRAP OP RWZI NIEUWVEER. SECTIE I WORDT NIET BELUCHT, SECTIE II WORDT FACULTATIEF BELUCHT EN SECTIE III WORDT ALTIJD BELUCHT.

	Influent	A-trap I	A-trap II	A-trap III	Afloop A-trap
14-1-2014 15:00	3,8	1,03	5,09	2,68	2,63
20-1-2014 9:30	3,62	1,21	0,18	1,64	2,54

er is tijdens de meting op 14-1 en 20-1 op andere luiken bemonsterd voor A-trap sectie II (er waren grote verschillen te zien in mate van beluchting tussen de twee luiken in A-trap sectie II)

Op RWZI Dokhaven is de invloed van beluchting op de werking van de A-trap getest door verschillende hoeveelheden luchtinbreng in de 8 parallelle straten toe te passen gedurende 24 uur. In bijlage II staan de proefopzet en volledige resultaten beschreven. In A-trap straat 1 en 2 was de beluchting ingesteld op minimaal, 350 m<sup>3</sup>/h; in A-trap straat 3 en 4 was de beluchting ingesteld op 750 m<sup>3</sup>/h; de overige 4 straten bleven op automatische regeling (O<sub>2</sub> = 0,4 mg/L) en kregen een gemiddelde inbreng van 1.000-1.200 m<sup>3</sup>/h. A-trap straat 1 t/m 6 zijn bemonsterd en geanalyseerd. Het zuurstofprofiel over de verschillende straten staat in Figuur 3.1. De droge stofgehalten in de 6 straten was rond de 0,8 – 1 g/L. Straat 3 had een lager DS gehalte, namelijk 0,47 g/L omdat uit deze straat spuislib wordt onttrokken. Tabel 3.4 geeft de resultaten van de analyses tijdens de proef.



FIGUUR 3.1 ZUURSTOFPROFIEL IN ZES A-TRAP STRATEN OP RWZI DOKHAVEN TIJDENS BELUCHTINGSPROEF OVER ZES LUIKEN (LUIK 1 IS BIJ BEGIN VAN DE STRAAT WAAR INFLUENT WORDT GEMENGD MET RETOURSLIB EN LUIK 6 BIJ HET EIND VAN DE STRAAT). STRAAT 1 EN 2 WAS DE BELUCHTING INGESTELD OP MINIMAAL, 350 M<sup>3</sup>/H; IN A-TRAP STRAAT 3 EN 4 WAS DE BELUCHTING INGESTELD OP 750 M<sup>3</sup>/H; DE OVERIGE 2 STRATEN BLEVEN OP AUTOMATISCHE REGELING (O<sub>2</sub> = 0,4 MG/L) EN KREGEN EEN GEMIDDELDE INBRENG VAN 1.000-1.200 M<sup>3</sup>/H.

TABEL 3.4 RESULTATEN VAN STEEKMONSTERS UIT DE ZES A-TRAP STRATEN OP RWZI DOKHAVEN EN 3-UUR MENGMONSTERS UIT DE TBT TIJDENS DE BELUCHTINGSPROEF.

Straat / TBT	Toevoer A-trap		Afloop TBT		
	Steek monsters van de ochtend t = 8:30	Mengmonsters 8u - 11u	1	2	3
Beluchting	1	1 (straat 1+2) Minimaal, 350 m <sup>3</sup> /h	2 (straat 3+4) 750 m <sup>3</sup> /h	3 (straat 5+6) Regeling DO 0,4 mg/L (1.000 - 1.200 m <sup>3</sup> /h)	
CZV totaal (mg/L)	668	170	165	133	
CZV opgelost (mg/L)	317	108,5	98	85,5	
TP (mgP/L)	2,34	1,53	1,42	0,42	
NO <sub>3</sub> (mgN/L)	3,48	0,34	0,29	0,35	
NH <sub>4</sub> (mgN/L)	22,2	22	21	21	

De resultaten van de CZV concentraties in afloop TBT van de verschillende straten laten zien dat verschillende hoeveelheid beluchting effect heeft op de CZV verwijdering. De absolute opgelost CZV concentraties in de afloop A-trap zijn niet betrouwbaar en laten een te hoge waarde zien t.o.v. afloop TBT vanwege de aanwezigheid van slib tijdens het filtreren (zie paragraaf 3.1), maar er is wel een zelfde trend te zien (zie de data in bijlage II). Bij minimale beluchting wordt er minder opgelost CZV verwijderd. Zoals verwacht zijn er qua stikstofomzetting geen grote verschillen. Wel is er verschil te zien in de fosfaatverwijdering;

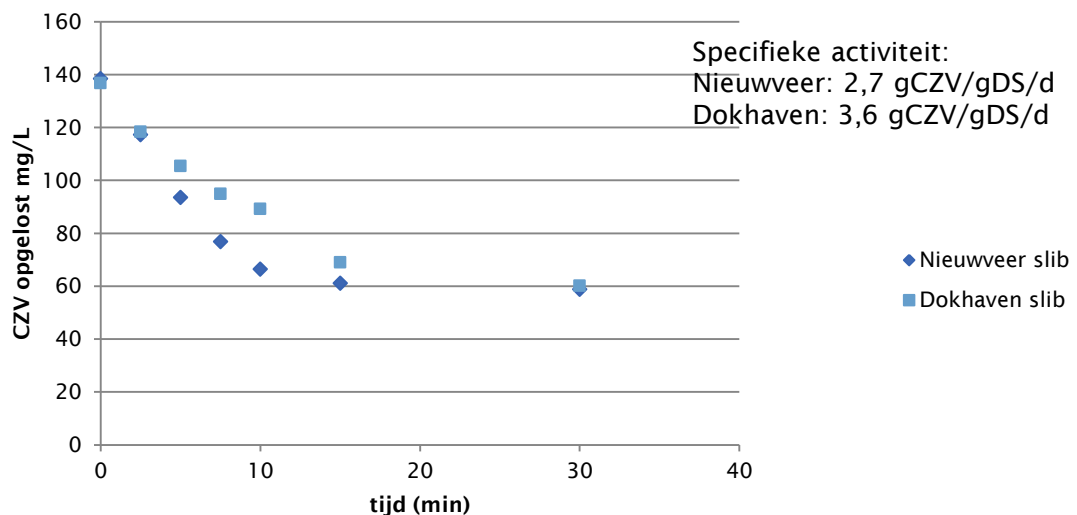
beluchting kan ook invloed hebben op de precipitatie van ijzer met fosfaat door bijvoorbeeld andere mengintensiteit.

### 3.3 Aerobe biologische activiteitstesten

Op RWZI's waar ook nog een significant deel van opgelost CZV in B-trap wordt verwijderd, zou de aerobe hydraulische verblijftijd (HRT) in de A-trap te kort kunnen zijn. Verlenging van de aerobe HRT in de A-trap kan mogelijk resulteren in meer opgelost CZV verwijdering in de A-trap.

Testen op Dokhaven en Nieuwveer laten zien dat de verblijftijd lang genoeg is om het opgelost afbreekbaar CZV om te zetten. Langer beluchten dan 15 minuten resulteert niet in een hogere opgelost CZV verwijdering; een HRT van 15 minuten is lang genoeg. De test op Utrecht leverde geen goede duplo op om een conclusie te trekken. Alle testen en grafieken zijn terug te vinden in bijlage III. Een selectie van de belangrijkste figuren staat hieronder toegelicht.

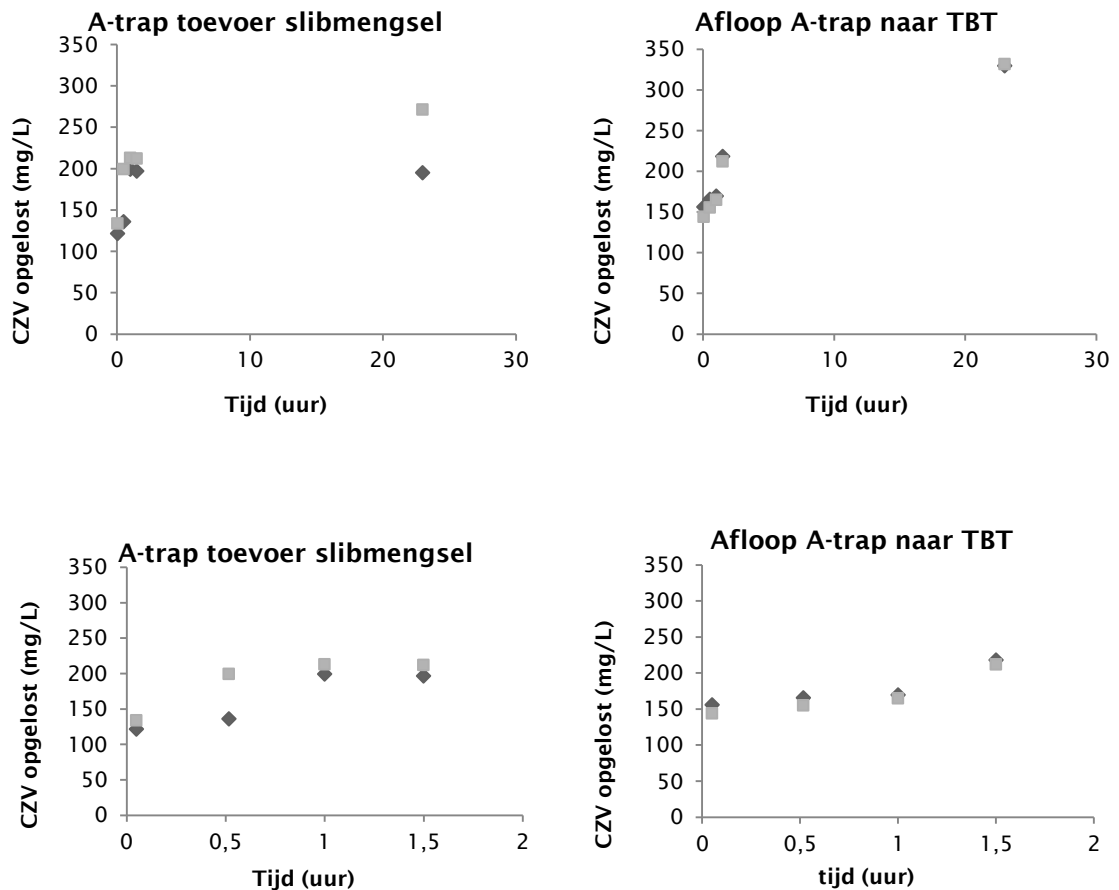
Uit de biologische activiteitstesten bleek er op RWZI Dokhaven een hogere CZV verwijderingsactiviteit te zijn dan op RWZI Nieuwveer. Dit is vervolgens geverifieerd door het slib van Dokhaven met het influent van Nieuwveer te voeden. In Figuur 3.2 staat de afname van opgelost CZV in de aerobe biologische activiteitstesten uitgevoerd met A-trap retourslib van Nieuwveer en A-trap retourslib van Dokhaven. In beide testen is dus het influent van Nieuwveer gebruikt. De resultaten laten zien dat het A-trap slib van Dokhaven actiever is dan het A-trap slib van Nieuwveer. Influent samenstelling en procescondities beïnvloeden dus de samenstelling en activiteit van het slib. Mogelijk hoopt er door een langere SRT bij RWZI Nieuwveer meer inert materiaal op in het slib.



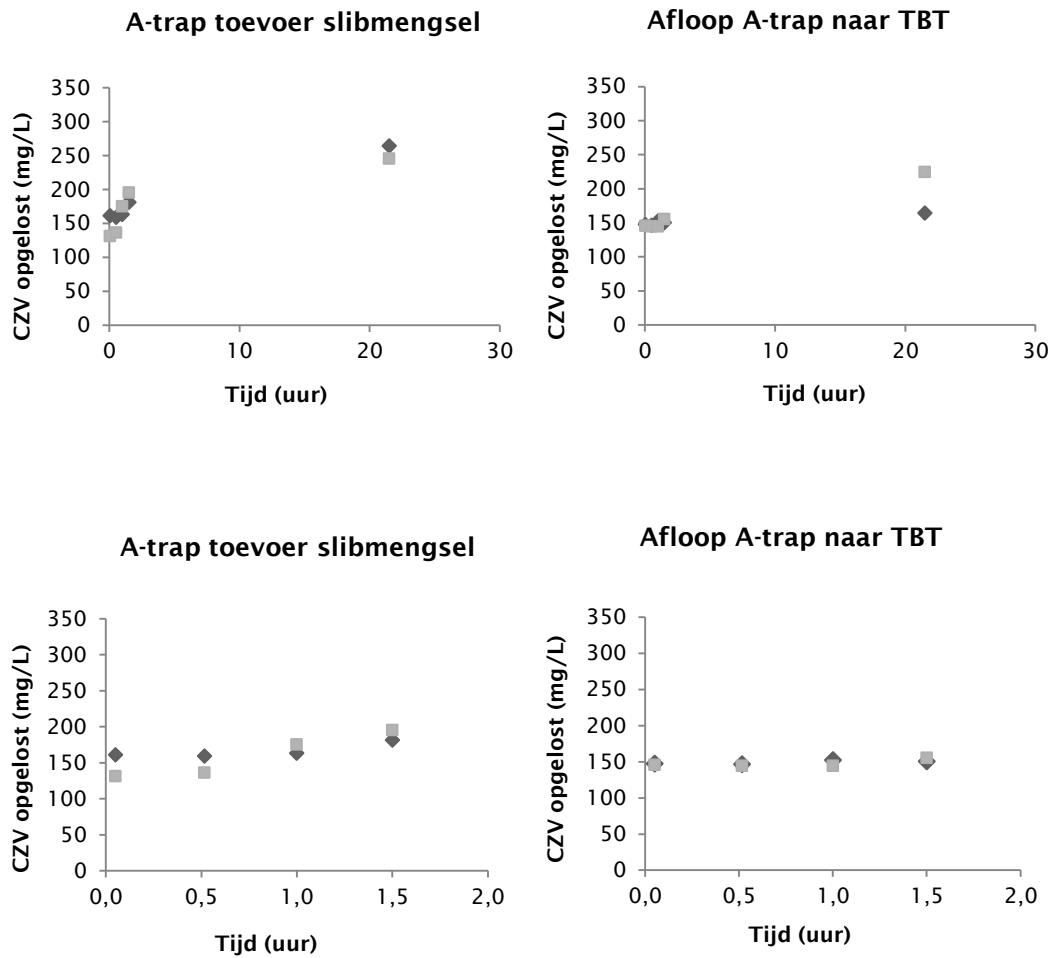
FIGUUR 3.2 AFNAME IN OPGELOST CZV UITGEVOERD IN DE TIJD OP RWZI NIEUWVEER MET IN BEIDE TESTEN INFLUENT VAN NIEUWVEER, MAAR UITGEVOERD MET TWEE TYPEN SLIB IN DUPLO (GRAFIEK LAAT GEMIDDELDE WAARDE ZIEN): A-TRAP RETOURSLIB VAN NIEUWVEER EN A-TRAP RETOURSLIB VAN DOKHAVEN. EXPERIMENT IS GEDAAN OP 27 JANUARI 2014; BIJ 10 °C. DROGE STOF GEHALTE IN DE TWEE SERIES MET NIEUWVEER SLIB WAS GEMIDDELD 3,9 G/L EN DS GEHALTE IN DE TWEE SERIES MET DOKHAVEN SLIB WAS GEMIDDELD 2,0 G/L.

### 3.4 Vrijkomen van CZV onder niet-beluchte condities / hydrolysetesten

De hypothese is dat in de tussenbezinktank het slib anoxisch/anaeroob wordt waardoor het CZV weer vrij kan komen als opgelost CZV. Dit blijkt ook zo te zijn na ongeveer een uur anoxische/anaerobe omstandigheden (zie Figuur 3.3 en Figuur 3.4). Het is dus belangrijk om het slib niet anoxisch/anaeroob te laten worden zodat er geen CZV weer vrij kan komen en een snelle slib/water-scheiding en slibverwerking is noodzakelijk.



FIGUUR 3.3 OPGELOST CZV CONCENTRATIE TIJDENS ANOXISCHE/ANAEROBE OMSTANDIGHEDEN (IN DUPLO), IN ZOWEL A-TRAP TOEVOER SLIBMENGSEL ALS AFLOOP A-TRAP NAAR TBT, A-TRAP RWZI DOKHAVEN (IN DE ONDERSTE GRAFIEKEN IS INGEZOOMD OP DE EERSTE TWEE UUR VAN DE BOVENSTE GRAFIEKEN). BEKERGLAZEN WERDEN LANGZAAM GEROERD EN ZIJN AFGESLOTEN MET PIEPSCHUIMVLOKKEN OM LUCHTINBRENG TE MINIMALISEREN.



FIGUUR 3.4 OPGELOST CZV CONCENTRATIE TIJDENS ANOXISCHE/ANAEROBE OMSTANDIGHEDEN (IN DUPLO), IN ZOWEL A-TRAP TOEVOER SLIBMENGSSEL ALS AFLOOP A-TRAP NAAR TBT, A-TRAP RWZI NIEUWVEER (IN DE ONDERSTE GRAFIEKEN IS INGEZOOMD OP DE EERSTE TWEE UUR VAN DE BOVENSTE GRAFIEKEN). BEKERGLAZEN WERDEN LANGZAAM GEROERD EN ZIJN AFGESLOTEN MET PIEPSCHUIMVLOKKEN OM LUCHTINBRENG TE MINIMALISEREN.

De hydraulische verblijftijd in de TBT ligt in het algemeen tussen de 1 en 1,5 uur (TU Delft dictaat afvalwaterbehandeling 2008). In de volgende tabel staan de verblijftijden van de TBT's op de verschillende RWZI's. Verblijftijd van het slib is niet bekend.

TABEL 3.5 HYDRAULISCHE VERBLIJFTIJD IN TBT

RWZI	Hydraulische verblijftijd (inclusief retourslibstroom) (gemiddeld in 2010) (uur)
Dokhaven	1,3
Nieuwveer	0,8
Utrecht	1,3

Naast de tijd in de TBT kan er ook nog CZV vrij komen tijdens het indikken van het A-trap spuislib voordat het wordt vergist. De verblijftijd van het indikproces kan variëren en is

bijvoorbeeld voor RWZI Nieuwveer relatief kort (1,5 – 2h) in de nieuwe kleinere primaire buffertanks en bandindikker ten opzichte van de oude gravitaire indikkers die veel groter waren.

### 3.5 Invloed van de influentsamenstelling

De aerobe biologische activiteit draagt bij aan de totaal CZV verwijdering door de omzetting van opgelost CZV. Het is afhankelijk van de influentsamenstelling hoe groot de verwijdering is ten opzichte van totaal CZV. Dit is in de volgende tabel samengevat.

TABEL 3.6 PERCENTAGE OPGELOST CZV IN TOEVOER EN HET PERCENTAGE VERWIJDERING

RWZI*	Toevoer samenstelling % opgelost CZV	% verwijdering opgelost CZV in de A- trap (berekend op basis van opgelost CZV vrachten in toevoer A- trap en afloop TBT)	% verwijdering opgelost CZV in de A- trap t.o.v. totaal CZV in toevoer
Dokhaven	40%	61%	24%
Nieuwveer	32%	11%	3,5%
Utrecht	18%	27%	4,9%

\* getallen uit rapport DynaFil WP1 fractionerings-bemonstering (uitgevoerd in winter / lente) (de Graaff and Roest, 2012); gemiddelde waarden (allen DWA in winter/voorjaar 2011/2012) van 2 monsters in periode van 4 weken (Dokhaven), 20 monsters in periode van 5 weken (Nieuwveer) en 7 monsters in periode van 2 weken (Utrecht) (de Graaff and Roest, 2012). RWZI Nieuwveer heeft een grote fractie effluent retour (1,6) ten opzichte van de andere zuiveringen (0,3 – 0,6).

Bovenstaande tabel laat zien dat op RWZI Dokhaven de biologische opgelost CZV verwijderingsactiviteit veel meer bijdraagt aan de totale CZV verwijdering dan op RWZI Nieuwveer. Het lijkt dat het opgelost CZV in het influent van RWZI Nieuwveer minder goed omzetbaar is dan het opgelost CZV in het influent van RWZI Dokhaven. Een andere mogelijkheid is dat door een langere SRT het slib op RWZI Nieuwveer anders wordt opgebouwd en daardoor minder actief is. Op RWZI Utrecht bestaat het influent voornamelijk uit gesuspendeerd materiaal en draagt de biologische verwijdering van opgelost CZV om deze reden maar voor een paar procent bij aan de totaal CZV verwijdering. Ten opzichte van RWZI Dokhaven wordt de A-trap op RWZI Nieuwveer en zeker de A-trap op RWZI Utrecht minder belucht.

#### 3.5.1 Rioolstelsel in beeld

De verschillende RWZI's hebben grote verschillen in de samenstelling van de A-trap toevoer, waarbij het influent de grootste vrachten aanlevert. De aanwezigheid van makkelijk afbreekbaar opgelost CZV lijkt belangrijk voor het functioneren van de A-trap. Het is bekend dat het type riool en de lengte invloed hebben op de rioolwatersamenstelling en conversies in het riool. Zo vindt in een vrij-verval systeem makkelijker oxidatie van CZV plaats dan in een persleiding waarin juist eerder hydrolyse optreedt. Ook van belang is de hoeveelheid industriële lozingen. Om de verschillen tussen de RWZI's beter te kunnen verklaren, is het rioolstelsel voor iedere RWZI globaal in beeld gebracht (Tabel 3.7). In bijlage IV staan de gegevens voor zover bekend. Wat opvalt uit de globale gegevens is dat de aanvoer in RWZI Utrecht volledig via een vrij-verval stelsel is en bij de andere RWZI's voornamelijk via persleidingen. Op RWZI Dokhaven wordt gestuurd op een gelijkmatige aanvoer door buffering in het rioolstelsel. Alle RWZI's ontvangen voornamelijk huishoudelijk afvalwater; het percentage industriële lozingen is beperkt (maximaal 11% in de aanvoer naar RWZI Garmerwolde).

TABEL 3.7 RIOOLSTELSEL GLOBAAL IN BEELD VAN RWZI DOKHAVEN, NIEUWVEER, UTRECHT EN GARMERWOLDE.

	Dokhaven	Nieuwveer	Utrecht	Garmerwolde
km's netwerk	Afvalwater uit stad	Afvalwater uit stad (70%); rest omliggende kernen, langste: 15 km	Afvalwater uit stad	Langste 7,5 km
Verblijftijd (vertraging ochtendpiek)	3 - 4 u	3 - 4 u tot 24u	3 - 4u	~20u
Vrij-verval of persleidingen	Persleidingen	Uit stad: vrij verval; rest persleidingen	100% vrij verval	Persleidingen
% industrie	3%	8%	0%	11%

De verschillende aanvoersystemen kunnen een verklaring zijn voor de geconstateerde verschillen in CZV-fracties in het influent.

### 3.6 Ontwerp en sturing A-trap en TBT

Ontwerpgegevens, details over de uitvoering van de A-trap, beluchting, overgang van A-trap naar TBT en TBT zelf staan beschreven in bijlage V. Zoals ook bleek uit WP1 zijn de verschillen tussen de RWZI's met A-trap groot. In dit onderzoek zijn de verschillen in meer detail in beeld gebracht voor zover de gegevens beschikbaar waren.

De hydraulische belasting ontwerpgegevens staan in Tabel 3.8. Naast de verschillen in effluentrecirculatie is het ook opvallend dat er grote verschillen zijn in slibrecirculatie. Op RWZI Utrecht blijkt de retourslibstroom veel lager te zijn dan was opgegeven in het rapport van WP1 ( $3 \times 630 \text{ m}^3/\text{h} = 1.890 \text{ m}^3/\text{h}$  i.p.v.  $7.500 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Daarnaast valt op dat op RWZI Dokhaven en Nieuwveer relatief veel slib retour wordt gepompt en dat op RWZI Garmerwolde en Utrecht relatief weinig slib retour wordt gepompt.

TABEL 3.8 ONTWERPDEBIETEN; DWA GEGEVENS.

Debieten in $\text{m}^3/\text{h}$	Dokhaven	Garmerwolde	Nieuwveer	Utrecht
$V_{A\text{-trap}}$	4800 $\text{m}^3$	2760 $\text{m}^3$	3500 $\text{m}^3$	3750 $\text{m}^3$
Aanvoer afvalwater	9.100	2.200	3.500	2.700
Recirculatie effluent	2.900	1.200	6.500	900
Subtotaal	12.000	3.400	10.000	3.600
A-trap retourslib	6.000	900	8.000	$3 \times 630$
Totaal door A-trap	18.000	4.300	18.000	5.490

Bij RWZI Dokhaven en RWZI Garmerwolde zijn er plaatbeluchters van Bosman, bij RWZI Nieuwveer membraanbuisbeluchters van GVA en bij RWZI Utrecht een drietal puntbeluchters per A-trap tank. De luchtdebieten in de A-trap zijn:

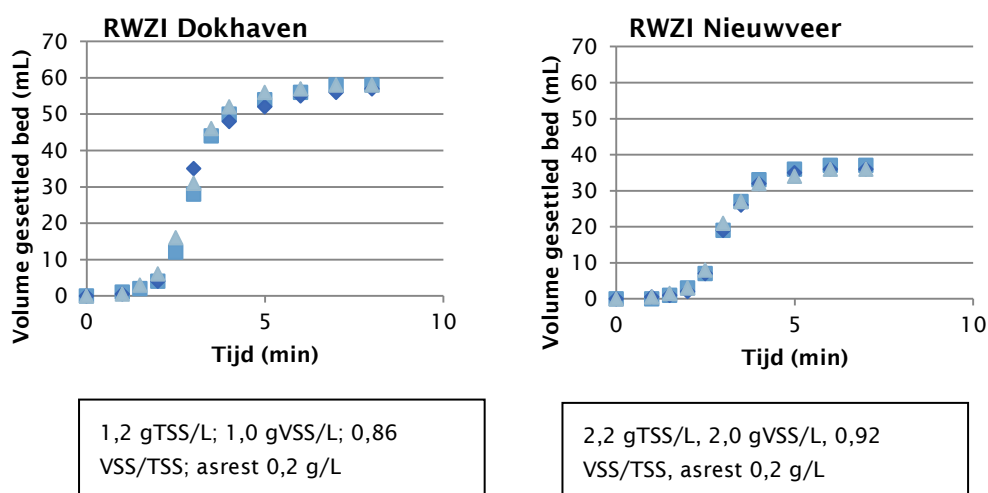
Luchtdebieten in $\text{Nm}^3/\text{h}$	min	max	gemiddeld
Dokhaven	2.800	12.800	8.000 - 9.600
Garmerwolde	900	3.000	?
Nieuwveer	2.500	12.000	6.000

Waarvan 40% sectie 2 en 60% sectie 3

De overgangen van A-trap naar TBT zijn bij iedere RWZI verschillend qua uitvoering en afmetingen. Op RWZI Dokhaven en Nieuwveer gaat het afvalwater via een verdeelwerk met een reeks buizen naar de TBT's. Hierbij ontstaan relatief hoge stroomsnelheden en turbulentie. Op RWZI Utrecht bestaat het verdeelwerk uit goten en buizen met grote diameters en op RWZI Garmerwolde stroomt het afvalwater via een overloop en is er geen verdeelwerk nodig. Op RWZI Garmerwolde en RWZI Utrecht stroomt het water veel minder snel en is er lage turbulentie in de overgang naar de TBT's.

### 3.7 Slibkarakteristieken

De bezinking van het slib van RWZI Dokhaven en Nieuwveer staan weergegeven in Figuur 3.5. Deze figuren laten zien dat het A-trap slib snel bezinkt. De bezinking is uitgevoerd met een vers monster uit de A-trap en zo snel mogelijk na monsternamen, om veranderingen in het slib door handelingen en tijd te voorkomen. Binnen 4 minuten is het meeste slib bezonken in beide experimenten. Er zijn geen grote verschillen tussen de RWZI's gevonden.



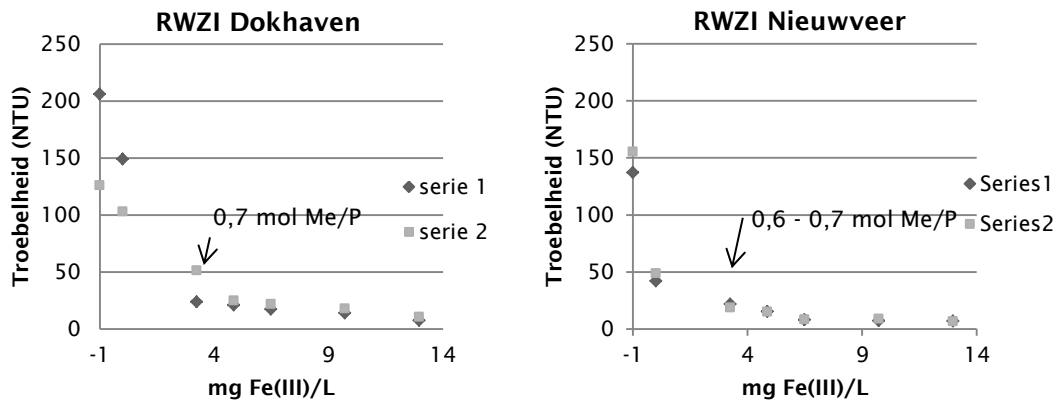
FIGUUR 3.5 BEZINKING VAN A-TRAP SLIB (MONSTER UIT BEGIN A-TRAP) OP RWZI DOKHAVEN (LINKS) EN RWZI NIEUWVEER (RECHTS), IEDER 3 KEER UITGEVOERD. DIT EXPERIMENT IS UITGEVOERD IN EEN IMHOFF BEKERGLAS; HET SLIB VAN DE A-TRAP IS VERDUNT MET KRAANWATER IN VERHOUDING 1:1. ONDER DE GRAFIEKJES STAAN DE GEHALTES DROGE STOF, ORGANISCHE DROGE STOF EN DE VERHOUDING.

Op de RWZI van Nieuwveer is op 19 februari 2014 om 10:15 een monster genomen van de afloop van de A-trap (~20L, verdeeld over 2 jerrycans, normaal droge stof gehalte 1 - 2 g/L). Na 30 minuten bezinken is de bovenstaande fase overgegoten in een schone jerrycan, en daarvan is het droge stof gehalte bepaald: 17 mg/L  $\pm$  0,096. Dit kleine experiment laat zien dat met bezinking lage droge stof gehalten haalbaar zijn.

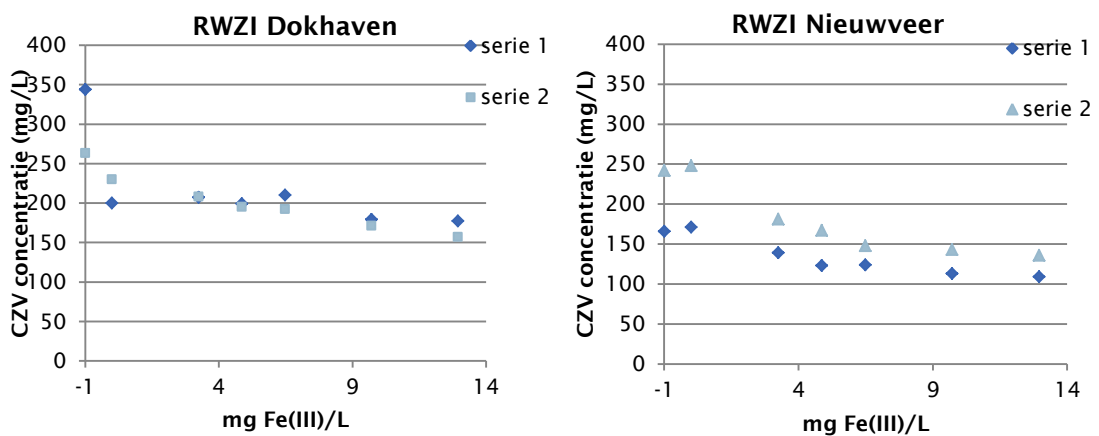
### 3.8 Flocculatie-experimenten

De resultaten van de flocculatie-experimenten met influent uitgevoerd op RWZI Dokhaven en Nieuwveer zijn weergegeven in Figuur 3.6 en Figuur 3.7. Ijzerdosering verlaagt de troebelheid van het Dokhaven influent en heeft een beperkt effect op het totaal CZV. Daarentegen is het effect van ijzerdosering op de CZV concentratie in influent van RWZI Nieuwveer groter. Meer experimenten zijn nodig om hier een duidelijke conclusie uit te kunnen trekken, maar het lijkt dat influent van Dokhaven ook componenten bevat die gemakkelijk(er) coaguleren en flocculeren zonder ijzerdosering (Figuur 3.7).





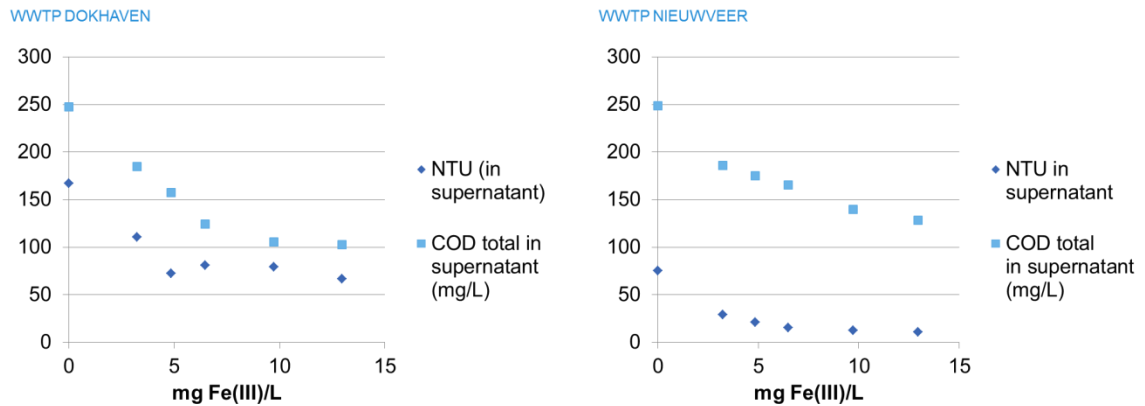
FIGUUR 3.6 FLOCCULATIETEST MET IJZER(III) DOSERING MET INFLUENT (VOOR HET ROOSTERGOED, INFLUENTPIJP UIT DE STAD) VAN RWZI DOKHAVEN (LINKS) EN INFLUENT (INCLUSIEF EFFLUENT RETOUR) VAN RWZI NIEUWVEER (RECHTS). DE WAARDE BIJ -1 IS DE TROEBELHEID IN NTU VAN HET GEMENGDE MONSTER; BEZONKEN INFLUENT ZONDER DOSERING IS AANGEGEVEN ALS DOSERING 0. 0,6-0,7 MOL ME/P IS EEN GEBUIKELIJKE DOSERING VAN 0,7 MOL IJZER PER MOL P IN HET INFLUENT.



FIGUUR 3.7 CZV CONCENTRATIES TIJDENS DE FLOCCULATIETEST MET IJZER(III) DOSERING MET INFLUENT (VOOR HET ROOSTERGOED, INFLUENTPIJP UIT DE STAD) VAN RWZI DOKHAVEN (LINKS) EN INFLUENT (INCLUSIEF EFFLUENT RETOUR) VAN RWZI NIEUWVEER (RECHTS). DE WAARDE BIJ -1 IS HET CZV TOTAAL VAN HET GEMENGDE MONSTER; BEZONKEN INFLUENT ZONDER DOSERING IS AANGEGEVEN ALS DOSERING 0.

Vervolgens zijn dezelfde flocculatietesten gedaan met een monster uit de A-trap, voor de plek waar ijzer wordt gedoseerd. De resultaten hiervan staan weergegeven in Figuur 3.8. Deze figuren laten zien dat de dosering van ijzer (III) voor een aanzienlijk deel bijdraagt aan de verwijdering van het CZV in het A-trap toevoer slibmengsel door bezinking. Ijzer (II) dosering op het A-trap toevoer slibmengsel op RWZI Nieuwveer laat geen effect zien op de

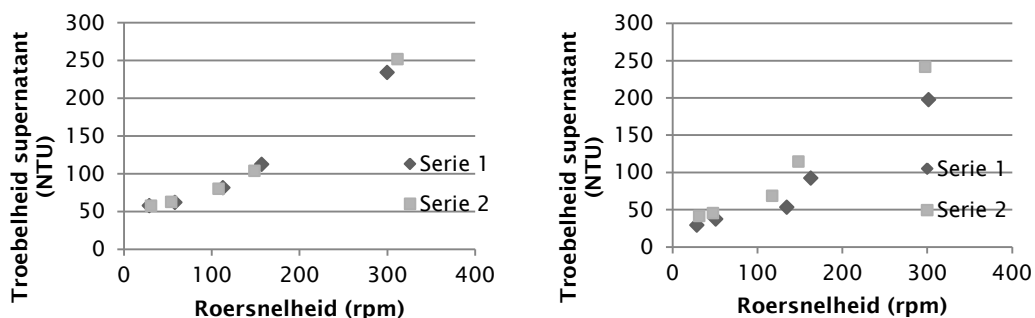
CZV concentratie en troebelheid (resultaten niet getoond). Dit laat zien dat de omzetting van ijzer (II) naar ijzer (III) langzaam gaat en beluchting nodig heeft.



FIGUUR 3.8 FLOCCULATIE TEST MET A-TRAP TOEVOER SLIBMENGSEL EN IJZER(III) DOSERING; WEERGEGEVEN ZIJN DE GEMIDDELDEN VAN DE DUPLO EXPERIMENTEN.

Om het effect van shear te onderzoeken is na monsternamen van het supernatant, een extra roermoment toegepast van 30 sec op 300 rpm en 3 minuten op 50 rpm en is na 15 minuten een monster van het supernatant geanalyseerd op troebelheid. Hierbij zijn geen grote verschillen waargenomen (data niet weergegeven). Hiervoor zijn twee verklaringen mogelijk: of het roermoment van 30 sec op 300 rpm levert niet genoeg shear op, of de 3 minuten roeren op 50 rpm is genoeg om het effect van shear teniet te doen waardoor flocculatie weer kan plaatsvinden.

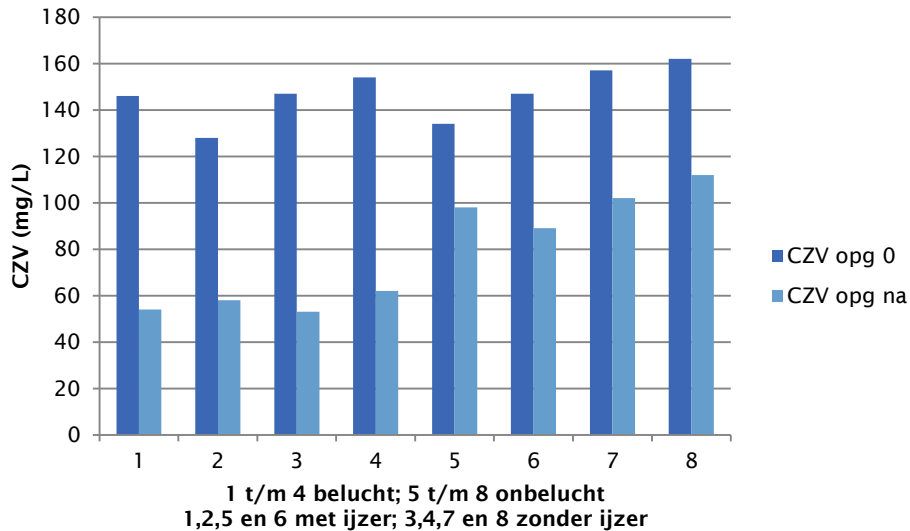
Het effect van shear is ook onderzocht door de roersnelheid tijdens de 3 minuten te variëren, zie Figuur 3.9. Deze figuur laat zien dat het mengen van 3 minuten bij lage roersnelheid en dus lage shear belangrijk is voor een goede flocculatie. Een periode van geringe shear is nodig om flocculatie te laten plaatsvinden.



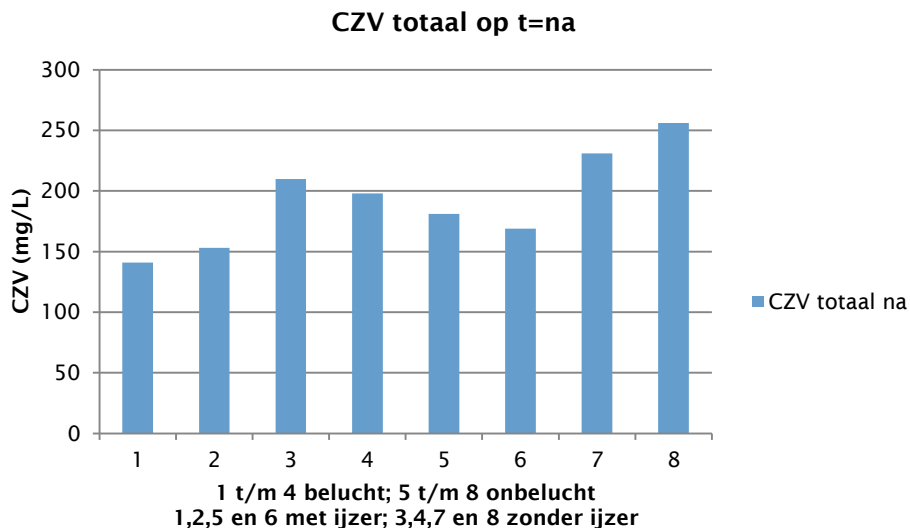
FIGUUR 3.9 EFFECT VAN SHEAR BIJ IJZERDOSERING VAN 5 MG FE(III)/L OP A-TRAP TOEVOER SLIBMENGSEL (LINKS RWZI DOKHAVEN, RECHTS RWZI NIEUWVEER): TROEBELHEID NA 30 SEC ROEREN BIJ 300 RPM, VERVOLGENS 3 MINUTEN ROEREN BIJ VERSCHILLENDE ROERSNELHEDEN ZOALS WEERGEVEN OP DE X-AS EN TENSLOTTE 15 MINUTEN BEZINKEN.

### 3.9 Bioflocculatie: ijzerdosering en biologische activiteit

Zoals beschreven in sectie 2.5 is de bijdrage van biologie getest in een combinatie van de biologische experimenten en de flocculatietesten. In 8 bekeerglazen zijn vier verschillende condities toegepast: wel / niet belucht voor 30 minuten en vervolgens wel / geen ijzerdosering (5 mg Fe(III)/L). De resultaten staan weergegeven in Figuur 3.10 en Figuur 3.11.



FIGUUR 3.10 CZV OPGELOST OP T=0 IN A-TRAP RETOURSILB (RWZI NIEUWVEER) GEMENGD MET INFLUENT (1:1) EN CZV OPGELOST NA 30 MINUTEN BELUCHTEN/MENGEN, IJZERDOSERING (5 MG FE(III)/L) IN BEKERGLAS 1, 2, 5 EN 6, VERVOLGENS HALVE MINUUT OP HOGE SNELHEID ROEREN (300 RPM), 3 MIN OP LAGE SNELHEID ROEREN (50 RPM), DAN 15 MINUTEN LATEN BEZINKEN (T=NA).



FIGUUR 3.11 CZV TOTAAL 0 IN A-TRAP RETOURSILB (RWZI NIEUWVEER) GEMENGD MET INFLUENT (1:1) NA 30 MINUTEN BELUCHTEN/MENGEN, IJZERDOSERING (5 MG FE(III)/L) IN BEKERGLAS 1, 2, 5 EN 6, VERVOLGENS HALVE MINUUT OP HOGE SNELHEID ROEREN (300 RPM), 3 MIN OP LAGE SNELHEID ROEREN (50 RPM), DAN 15 MINUTEN LATEN BEZINKEN (CZV TOTAAL OP T=0 WAS 2,2 GCZV/L).

De figuren laten zien dat met beluchting en ijzerdosering de laagste CZV waarden worden bereikt. Er wordt een lagere CZV opgelost concentratie bereikt wanneer het slib voor de ijzerdosering is belucht; ijzerdosering draagt bij aan een lagere CZV totaal concentratie.



## 4 Ontwikkelingen bij de RWZI's met A-trap

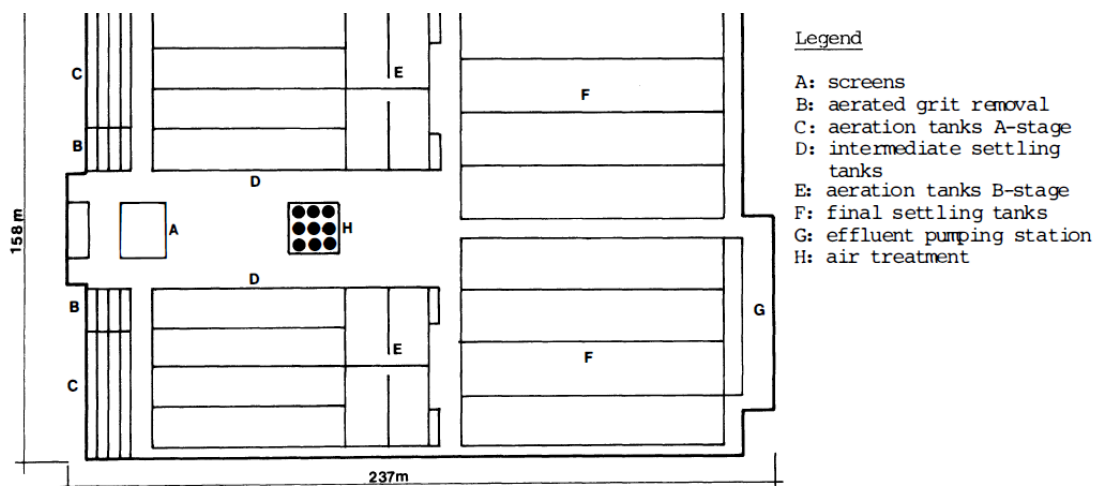
Gedurende de doorlooptijd van het A-trap onderzoek zijn er ontwikkelingen geweest bij de RWZI's die invloed hebben op dit onderzoek. Dit hoofdstuk beschrijft de veranderingen op de RWZI's die invloed hebben op de werking van de A-trap. Daarnaast zijn er nieuwe publicaties verschenen op het gebied van 'high-rate activated sludge'. Een kort overzicht van de recente onderzoeken worden in paragraaf 4.5 gegeven.

### 4.1 RWZI Dokhaven

RWZI Dokhaven is in 1987 gebouwd en ingericht als AB-systeem. Het afvalwater van de bewoners en bedrijven in Rotterdam West, Zuid en een gedeelte van het centrum wordt gezuiverd en het effluent wordt geloosd op de Nieuwe Maas. Het maximale debiet door de A-trap is 19.000 m<sup>3</sup>/h en door de B-trap 14.500 m<sup>3</sup>/h. Bij RWA toevoer is er dus een bypass en ondergaat niet al het afvalwater een behandeling in de B-trap. De RWZI is ontworpen voor BZV-verwijdering en nitrificatie in de zomer. Er is een beluchte zandvang voor de A-trap.

RWZI Dokhaven ontvangt een relatieve grote retourvracht van de slibverwerking in Sluisjesdijk (de Graaff and Roest, 2012). De A-trap op RWZI Dokhaven is volledig belucht (bellenbeluchting) en wordt gestuurd via een set point van 0,6 - 0,8 mg/L op ongeveer 2/3 van de straat. Het droge stofgehalte in de A-trap wordt gestuurd op 1,8 g/L. Een Sharon-Anammox systeem op Sluisjesdijk behandelt het slibrejectiewater. Hiermee wordt ca. 15% van de N-vracht verwijderd.

Het vloerplan van RWZI Dokhaven staat in Figuur 4.1.



FIGUUR 4.1 VLOERPLAN RWZI DOKHAVEN (UIT (MEIJER, 1988))

Uit het onderzoek is er gebleken dat er teveel gesuspendeerd materiaal via de indikker overloop retour gaat naar de A-trap. Dit komt o.a. doordat het A-trap slib over een relatief grote afstand wordt verpompt naar Sluisjesdijk en het slib tijd genoeg heeft om uit elkaar te

vallen. Medio 2012 is gestart met een extra flocculatiestap met ijzer(III)chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) op de indikker van de A-trap ( $8 \text{ m}^3$  per week  $1,1 \text{ m}^3/\text{d}$   $\text{FeCl}_3$   $200 \text{ gFe/l}$ ). Hierdoor is de hoeveelheid CZV die retour gaat naar de A-trap substantieel gedaald, de output naar de gisting gestegen en hiermee de biogasproductie verhoogd ( $4,2$  miljoen  $\text{m}^3$  in 2013 t.o.v.  $3,7$  miljoen  $\text{m}^3$  gemiddeld in 2010 en 2011). Doorslag van slib naar de B-trap is gelijk gebleven; dit is vooral afhankelijk van het totale debiet en hoeveelheid effluentrecirculatie.

De effluentrecirculatie werd tot medio 2012 gestuurd met een schakelregeling. Bij DWA werd één recirculatiepomp bijgezet van ca.  $3.600 \text{ m}^3/\text{h}$ . Deze schakelde af bij het bereiken van een totaaldebiet van  $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Vanaf de zomer van 2012 is een nieuwe regeling met twee pompen in bedrijf genomen. De capaciteit van effluentrecirculatie is verdubbeld en de recirculatie wordt nu geregeld op basis van het nitraatgehalte in het effluent ( $\text{NO}_3^{\text{eff}} > 10 \text{ mg/l}$  2<sup>e</sup> pomp aan;  $\text{NO}_3^{\text{TBT}} > 2 \text{ mg/l}$  2<sup>e</sup> pomp uit). In de winter 2013/2014 is steeds met één pomp gedraaid en allerlei storingen in de zomerperioden verhinderen dat er een uitspraak kan worden gedaan over de invloed van de geoptimaliseerde recirculatie.

Ook zijn er gedurende dit onderzoek aanpassingen gedaan aan de beluchting. Er is gebleken dat verlaging van het setpoint voor zuurstofgehalte de hoeveelheid beluchting niet significant beïnvloedt. Dit is volgens verwachting aangezien alleen de drijvende kracht wordt beïnvloed bij een lager setpoint en het luchtverbruik globaal hetzelfde blijft. Er wordt nu gestuurd op een set-point van  $0,4 \text{ mg/L}$  i.p.v.  $0,6\text{-}0,8 \text{ mg/L}$  en dit resulteert in een totale beluchting van ongeveer  $1.000 - 1200 \text{ m}^3/\text{h}$  per straat. Gemiddeld is hier  $7.000 \text{ kWh/d}$  voor nodig en dit is gelijk aan het luchtverbruik in voorgaande jaren.

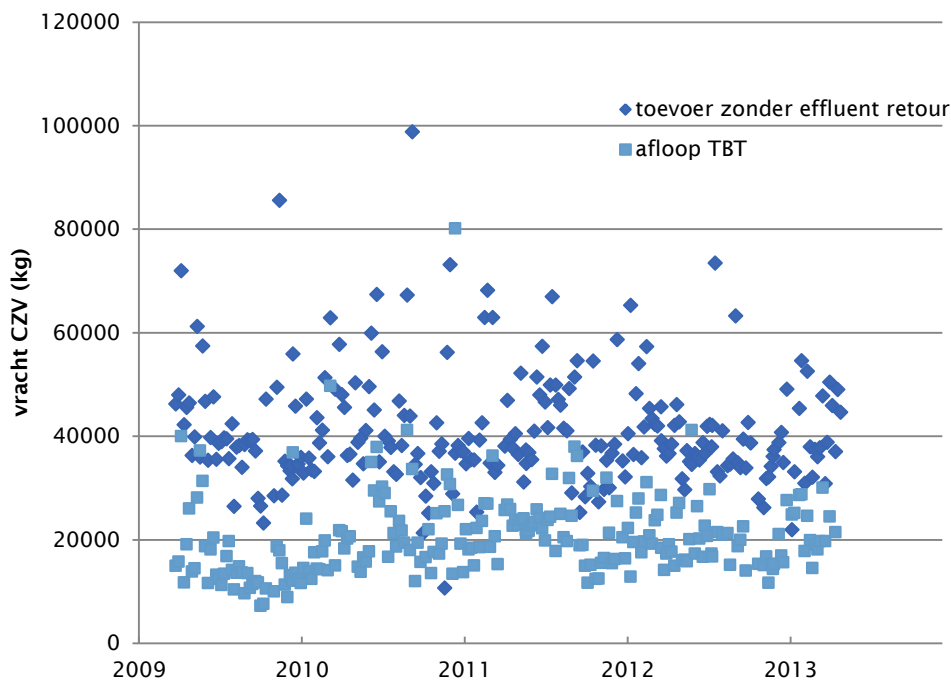
Onderzoek aan de beluchting heeft laten zien dat er een minimale hoeveelheid beluchting nodig is, om zoveel mogelijk opgelost CZV te verwijderen (zie paragraaf 3.2). Hiermee kan worden gestuurd, afhankelijk van wat er in de tweede trap aan CZV toegelaten kan worden.

#### 4.2 RWZI Utrecht

Op RWZI Utrecht is sinds juni 2012 een van de twee A-trap straten buiten bedrijf gezet en gaat al het afvalwater dus over 1 straat. Dit betekent dat de hydraulische verblijftijd in de A-trap is gehalveerd (van  $50 \text{ min}$  naar  $25 \text{ min}$ ; contacttijd inclusief retourslib van  $19 \text{ min.}$  naar  $9,5 \text{ min.}$ ). Halverwege (juni/juli 2013) was er een grote schoonmaakactie nodig in het verdeelwerk na de A-trap naar de TBT's waardoor wat slechtere verwijderingsrendementen zijn behaald. Het CZV-verwijderingsrendement is echter sinds juni 2012 niet significant veranderd (zie Tabel 4.1 en Figuur 4.2); er is nog steeds maar 1 straat in gebruik.

TABEL 4.1 GEMIDDELDE CZV VERWIJDERING IN A-TRAP RWZI UTRECHT.

periode	CZV verwijdering	
	A-trap	stdev
aug 2012 - juni 2013	47%	14%
aug 2011 - mei 2012	46%	10%



FIGUUR 4.2 VRACHT CZV IN TOEVOER (ZONDER EFFLUENT RETOUR) EN AFLOOP TBT RWZI UTRECHT.

In de nabije toekomst zullen de effluenteisen worden aangescherpt naar N totaal van 5 mg/L en P totaal van 0,5 mg/L. Diverse proeven zijn er al gedaan om te onderzoeken of dit haalbaar is (o.a. maximale inzet van Sharon, kalkdosering in de B-trap voor verbeterde slibsamenvestiging). Er wordt onderzocht en overwogen om ijzerdosering in de A-trap te verplaatsen naar het verdeelwerk in de nabezinktanks om biologisch P verwijdering in de B-trap maximaal te benutten. Daarnaast wordt er ook overwogen om de gistingstanks op de RWZI uit gebruik te nemen en het spuislib extern af te zetten. Hierdoor verschuift de noodzaak van maximale primair slibproductie naar maximale doorlaat van BZV naar de B-trap ten behoeve van biologische P verwijdering en voor-denitrificatie.

### 4.3 RWZI Nieuwveen

Sinds eind 2012 is de slibverwerking op RWZI Nieuwveen vernieuwd. Een nieuwe sliblijn met indikking, vergisting en ontwatering behandelt het slib. Voorheen werd het slib in een Zimpro installatie (thermische slibdestructie) behandeld en met een filterpers ontwaterd. Gevolg is dat de samenstelling van de retourstroom naar de A-trap is veranderd. De CZV en BZV verwijdering in de A-trap is niet significant veranderd (zie jaargegevens 2009 – 2013). Wel is er nu een significante elektriciteitsproductie waardoor de inkoop van elektriciteit met 50% is gedaald.

Sinds januari 2014 is er een Demoninstallatie in gebruik die het centraat uit de sliblijn behandelt. Hierin wordt zo'n 600 – 700 kN/d verwerkt, wat niet in de hoofdstroom verwijderd hoeft te worden. Hoofdoel van deze installatie energiebesparing en niet zozeer een verbeterde effluentkwaliteit.

Sinds de deelstroombehandeling is ook de effluentrecirculatie verminderd (van ca. 7.500 m<sup>3</sup>/h naar ongeveer 3.000 m<sup>3</sup>/h; nu zijn er 2 influentvizzels in gebruik, terwijl eerder er altijd



4 influentvijzels in gebruik waren. Doel is om in de toekomst de effluentrecirculatie volledig uit te zetten.

Verder zal de ijzerdosering worden onderzocht en worden overwogen om over te stappen op ijzer(III) dosering i.p.v. ijzer(II) dosering.

Bovenstaande veranderingen kunnen invloed hebben op het functioneren van de A-trap door verandering in de aanvoersamenstelling naar de A-trap en doordat er nu een fluctuerend debiet door de zuivering heen gaat. Er is meer dynamiek in de A-trap. De aanpassingen in de effluentrecirculatie is nog te recent doorgevoerd om te oordelen of dit een effect heeft op de werking van de A-trap. Vooralsnog is er geen effect op de beluchtingshoeveelheid te zien. Er wordt gestuurd op een droge stofgehalte van 2,5 g/L (geen verandering t.o.v. eerdere bedrijfsvoering).

Het A-trap spuislib wordt met een bandindikker ingedikt waar voorheen een gravitaire indikker werd gebruikt. Dit heeft als gevolg dat de verblijftijd in de indikker is verkort en er minder slib retour gaat naar de A-trap. Echter de zeebandpers levert een slechter filtraat o.a. door schuimvorming in de Demon, maar dit moet binnenkort zijn opgelost. A-trap slib wordt aan de voet van het retourslibgemaal gespuid waar het al is ingedikt in de TBT tot ongeveer 1% droge stof.

#### 4.4 RWZI Garmerwolde

In 2013 zijn er een aantal aspecten onderzocht om de slibproductie in de A-trap te verhogen. De resultaten hiervan staan in bijlage VI. De toename van de A-trapproductie is het resultaat van:

- 1) Het aanleggen van persleidingen (= kortere rioolwaterverblijftijd + minder riooloverstorten).
- 2) Het verlagen van de effluentcirculatie (= minder slib naar B-trap).
- 3) Het verbeteren van de slibhuishouding in de A-trap (software, procescontrole).
- 4) Het verbeteren van de slibindikking (PE-dosering + procescontrole = minder overstortend slib).

Sinds medio 2013 behandelt een nieuwe Nereda installatie 40% van het influent en is de effluentrecirculatie uitgeschakeld.

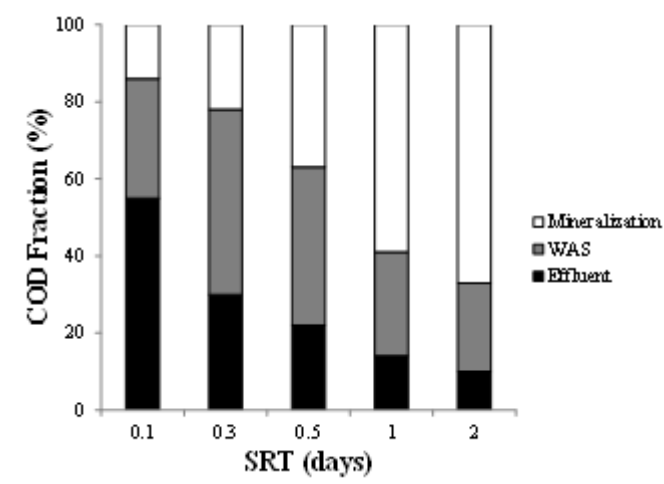
De A-trap ontvangt nu dus nog maar 60% van het influent en geen effluent retourstroom meer. De organische en hydraulische belasting is dus flink afgenomen. Slibhuishouding blijft het moeilijkst, maar de A-trap is nu wel makkelijker te bedienen omdat er geen onderdelen kritisch zijn en er meer ruimte is om pieken in belasting op te vangen. Er wordt nu gestuurd op een slibgehalte van 1 g/L maar kan makkelijk oplopen naar 3 g/L bij RWA aanvoer.

Er wordt nog triple dosering (dosering van coagulant polymeer, flocculant polymeer en ijzer(III)chloride) toegepast maar in de nabije toekomst wordt bekeken of dit nog nodig is en of alleen ijzerdosering niet voldoende is.

Op RWZI Garmerwolde zijn een aantal maatregelen getroffen om ervoor te zorgen dat de indikking van het A-trap spuislib zo goed mogelijk verloopt en er zo min mogelijk zwevende stof terug naar de A-trap gaat. Er wordt bijvoorbeeld gespuid vanuit het tweede segment van de A-trap waar het slib nog volop aeroob is. De indikker is uitgevoerd met een cascadebeluchting (het slib valt via een cascade in de indikker).

#### 4.5 Vergelijkbaar onderzoek en ontwikkelingen buitenland

Vergelijkbaar onderzoek en ontwikkelingen lopen in de VS, maar met weinig aandacht voor de sliblijn en maximalisatie van de CZV recovery in slib. In de VS zijn experimenten uitgevoerd in een pilot plant, zogenaamde High-Rate Activated Sludge systems (HRAS) (Jimenez et al., 2013). In deze studie worden effecten gevonden van de beluchting, SRT en HRT op de CZV verwijdering. Figuur 4.3 laat het effect zien van de SRT. Jimenez et al. (2013) vonden effect van SRT op bioflocculatie; bij hogere SRT (>0,5 dag) werden hogere verwijderingspercentages gevonden van colloïdaal en gesuspendeerd CZV, maar ook hogere mineralisatie waardoor de output naar gisting bij hogere SRT juist lager is.



FIGUUR 4.3 CZV MASSABALANS VOOR ELKE SRT, LAB SCHAAL REACTORS, DOOR JOSE JIMENEZ (EMAIL CORRESPONDENTIE BEGIN 2014), INGEDIEND BIJ WATER RESEARCH.

Ook in Oostenrijk op RWZI Strass is er veel aandacht voor de A-trap in combinatie met autotrofe stikstofverwijdering in de B-trap. Gemiddeld wordt daar 60% CZV verwijdering bereikt in de zomer, en 50% in de winter, maar er wordt geen ijzerdosering toegepast. Ijzerdosering zou hier de CZV verwijdering kunnen verbeteren (persoonlijke communicatie B. Wett, November 2013).



## 5 Betekenis van de resultaten voor de A-trap in de praktijk

Dit hoofdstuk beschrijft en integreert de resultaten die in werkpakket 1 (WP1 inventarisatie) en werkpakket 4a (WP4a vervolg A-trap onderzoek WP1) van het Dynafil onderzoek zijn behaald. Dit hoofdstuk kan samen met hoofdstuk 1 apart worden gelezen. Details van alle experimenten in WP4a staan beschreven in hoofdstuk 2 en 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de ontwikkelingen bij de bestaande RWZI's die (mogelijk) invloed hebben op de werking van de A-trap.

In dit onderzoek is het functioneren van alle Nederlandse praktijkinstallaties met een AB-systeem onderzocht door het bestuderen van de zuiveringsresultaten en het uitvoeren van experimenten op locatie. Het doel is om de procescondities vast te stellen waarbij zoveel mogelijk van het in het influent aanwezige CZV wordt vastgelegd in het A-trap slib. Uit WP1 (literatuurstudie en een inventarisatie van bestaande AB-systemen) bleek dat er geen eenduidig beeld is van de optimale procescondities voor het vastleggen van CZV in de A-trap. In WP4a is de invloed van de volgende aspecten op het functioneren van de installaties nader bestudeerd op: biologische groei en beluchting in de A-trap, ontwerp van de TBT, retourstromen en redoxcondities in de A-trap en slibkarakteristieken.

De resultaten zijn per onderwerp/aspect hieronder beschreven, met het oog op wat de resultaten betekenen in de praktijk voor zowel bestaande AB-systemen als het AB-systeem in nieuwe zuiveringsconcepten. Zoals beschreven in de leeswijzer (paragraaf 1.4) is het lastig gebleken om exacte en nauwkeurige resultaten te verkrijgen. Ondanks deze onvolkomenheden zijn er wel trends uit de inventarisatie en metingen gehaald; deze zijn in de volgende paragraaf beschreven. In paragraaf 5.2 zijn bouwstenen voor het A-trap procesontwerp en aanbevelingen beschreven.

### 5.1 Resultaten en discussie

In deze paragraaf worden de trends uit de inventarisatie en metingen beschreven. Hierbij moet worden opgemerkt dat er vele aspecten invloed hebben op de werking van de A-trap en dat het een samenspel is van vele factoren.

### *Samenstelling afvalwater heeft invloed op de activiteit van de biomassa en daarmee op de effectiviteit van de A-trap*

Biomassa groeit op snel afbreekbaar opgelost CZV. De groei van biomassa en daarmee biologische activiteit in de A-trap is verantwoordelijk voor de verwijdering van opgelost CZV. De processen adsorptie, flocculatie en bezinking verwijderen het colloïdale en gesuspendeerd CZV. Dit betekent dat als er relatief weinig opgelost afbreekbaar CZV in het afvalwater zit (door bijvoorbeeld een korte verblijftijd in riool en/of alleen vrij verval rioolssystemen) een A-trap met ijzerdosering weinig toegevoegde waarde heeft ten opzichte van bijvoorbeeld geavanceerde voorbezinking met chemicaliën (pre-precipitatie). De

verwijdering van CZV is dan grotendeels door verwijdering van gesuspendeerd en colloïdaal materiaal en slechts een klein percentage van de CZV verwijdering is door omzetting van opgelost CZV. Met geavanceerde voorbezinking kan in ieder geval tot 68% CZV verwijdering en 63% BZV verwijdering worden bereikt (de Graaff and Roest, 2012). Ook hier geldt dat de efficiëntie afhangt van de samenstelling van het afvalwater. Zo werd er geconcludeerd in een onderzoek naar geavanceerde voorzuivering dat toepassing van PE-dosering altijd een maatwerkoplossing is (Stowa, 2006). Op locaties waar het afvalwater voornamelijk bestaat uit gesuspendeerd materiaal (>75%) lijkt een A-trap dus weinig toegevoegde waarde te hebben. In de resultaten is dit terug te zien door de opgelost CZV verwijderingspercentages van RWZI Dokhaven en RWZI Utrecht te vergelijken (zie Tabel 3.6). Op RWZI Utrecht draagt de verwijdering van opgelost CZV (27% verwijdering uit toevoer) maar voor ongeveer 5% bij aan de totale CZV verwijdering in de A-trap. Op RWZI Dokhaven draagt de verwijdering van opgelost CZV voor 24% bij aan de totale CZV verwijdering in de A-trap, voornamelijk omdat de toevoer voor 40% uit opgelost CZV bestaat<sup>2</sup>. Daarnaast laat het A-trap slib van RWZI Dokhaven een hogere biologische activiteit zien dan bijvoorbeeld het slib van RWZI Nieuwveer (zie Figuur 3.2). Dit kan ook worden verklaard door verschil in samenstelling; wanneer het percentage opgelost afbreekbaar CZV in toevoer hoger is, dan zal de biomassa ook een hoger percentage actieve biomassa hebben. Daarnaast speelt hierin natuurlijk ook de beluchting een grote rol, zie de stelling verderop.

In bijlage VII staat voor de huidige installaties beschreven wat extra verwijdering van opgelost CZV betekent voor de biogasproductie. Voor bijvoorbeeld RWZI Nieuwveer zou een extra procent CZV verwijdering in de A-trap 1,8% meer biogas op kunnen leveren<sup>3</sup>. Zeker gezien de aanpassingen die recent zijn doorgevoerd (minder effluentrecirculatie, retourvracht inert CZV is hierdoor gehalveerd en contacttijd verlengd), is het nuttig om te onderzoeken of dit tot een verhoogde activiteit van het slib leidt (en daarmee een hogere omzetting van opgelost CZV).

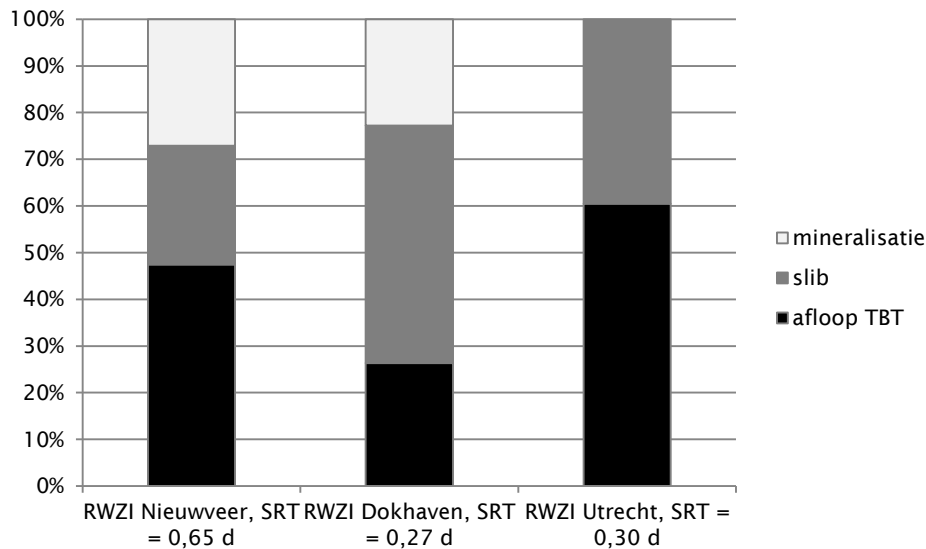
### *Korte contacttijd en korte slibverblijftijd maken een compact systeem mogelijk*

Een contacttijd van 15 minuten (inclusief retourslibstroom) is lang genoeg om al het snel afbreekbaar CZV te verwijderen. Een langere contacttijd levert geen hogere CZV verwijdering op (zie paragraaf 3.3). Aangezien de retourslibstroom een significante stroom is (in praktijk tot 0,5x het toevoer debiet) is het belangrijk om de werkelijke contacttijd te berekenen en niet de hydraulische verblijftijd gebaseerd op alleen het toevoerdebiet (de Graaff and Roest, 2012). Met deze korte contacttijd blijft een A-trap een compact systeem. In combinatie met een hoge slibbelasting en korte SRT wordt er veel slib geproduceerd, is er minder mineralisatie en kunnen hoge verwijderingspercentages worden bereikt (zie ook Figuur 5.1). Dit wordt aangetoond op RWZI Dokhaven waar bij een slibbelasting van 3,5 gBZV/gDS/d en SRT van 0,3 d een CZV verwijdering uit toevoer van 74% wordt behaald (de Graaff and Roest, 2012).

<sup>2</sup> In totaal zijn er vier metingen naar de fractionering van de toevoer naar de A-trap op RWZI Dokhaven gedaan. Twee metingen waren onder RWA omstandigheden. Vracht opgelost CZV was in alle vier de metingen in dezelfde orde grootte (13.000 kgCZV/d); concentraties in de range van 50 (RWA) – 160 (DWA) mg/L. Zie ook tabel 3.6.

<sup>3</sup> Uitgaande van yield van 0,6 kg VSS/kg CZV, 50% afbraak in gisting, 0,38 m<sup>3</sup> biogas/kg CZV en 60% methaan in biogas.

Een korte SRT zorgt voor minimale mineralisatie, zoals ook Jimenez heeft laten zien (zie paragraaf 4.5). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat andere factoren, zoals beluchting, niet beperkend mogen zijn. Minimale SRT voor heterotrofe groei ligt laag.<sup>4</sup> Figuur 5.1 laat de massabalans van RWZI Nieuwveer, Dokhaven en Utrecht zien.



FIGUUR 5.1 CZV MASSABALANS OVER DE A-TRAP OP BASIS VAN JAARGEMIDDELDEN UIT 2010 (DE GRAAFF AND ROEST, 2012) VOOR RWZI NIEUWVEER, DOKHAVEN EN UTRECHT

### *Voldoende zuurstofinbreng is nodig voor maximale opgelost CZV verwijdering*

Beluchting in de A-trap is belangrijk; het maakt het mogelijk dat aerobe bacteriën opgelost CZV kunnen adsorberen en gebruiken voor groei en dat colloïdaal CZV ingevangen kan worden in slibvlokken door slibgroei en vlokvorming. Een zekere mate van beluchting is nodig; de proef met beluchting in de parallelle straten op RWZI Dokhaven laat dit zien (Tabel 3.4). Veranderen van setpoint draagt niet significant bij aan een ander luchtverbruik; alleen de drijvende kracht van zuurstofoverdracht verandert. Dit wordt bevestigd door de praktijkresultaten op RWZI Dokhaven waar een verlaging van setpoint van 0,6 – 0,8 mg/L naar 0,4 mg/L niet heeft geleid tot een lager luchtinbreng en daarmee zuurstofverbruik. Wanneer de luchtinbreng te veel wordt beperkt, leidt dit o.a. tot hogere CZV concentraties in de afloop van de tussenbezinktank. Ook zou het slib sneller anaeroob kunnen worden in de TBT waardoor het sneller uit elkaar zou kunnen vallen. Een lagere verwijdering van CZV in de A-trap heeft vervolgens ook effect op het functioneren van de B-trap.

<sup>4</sup> Maximale groeisnelheid ligt voor heterotrofe groei tussen de 3 – 13,2 d<sup>-1</sup>, met een default waarde van 6 d<sup>-1</sup> (ASM1). Minimale SRT is de reciproke van de maximale groeisnelheid. Jimenez past een minimale SRT van 0,1 d toe in zijn onderzoek.

## *Snelle slib-waterscheiding in TBT is mogelijk en noodzakelijk*

Uit bezinkproeven en visuele waarnemingen blijkt dat het slib uit de A-trap snel bezinkt en er weinig zwevende stof in bovenstaande vloeistof (<20 mg/L SS) achter blijft (paragraaf 3.7) (gemiddeld stroomt er in de praktijk zo'n 40 mg/L SS uit de TBT). De slibvlokken in het A-trap slib zijn relatief zwak; hierdoor kan door shear en stromingen het slib snel uit elkaar vallen. Bovendien lijkt de bezinking van het slib uit twee fasen te bestaan: eerst bezinkt het grove gesuspendeerde materiaal, later pas het wat fijner gesuspendeerd materiaal. Wanneer na beluchting (bijvoorbeeld in de tussenbezinktank of in dode zones) anaerobe/anoxische omstandigheden ontstaan, kan CZV weer snel in oplossing komen. Experimenten laten zien dat dit al binnen een uur kan gebeuren. Het is dus belangrijk om het slib niet anoxisch/anaeroob te laten worden en een snelle slib/water-scheiding en slibverwerking is noodzakelijk om te voorkomen dat er veel CZV terug naar de A-trap gaat. De overgangen van A-trap naar TBT bij de bestaande AB-systemen laten geen relatie tussen het ontwerp en functioneren zien. Op RWZI Dokhaven is er een relatief hoge turbulentie door een relatief kleine diameter van de leiding, terwijl op RWZI Garmerwolde turbulentie laag is. Beide TBT's functioneren naar behoren.

## *Goede indikking is van belang voor het rendement van CZV naar de slibgisting*

Het A-trap slib bezinkt weliswaar snel, maar is ook fragiel; bijvoorbeeld door schudden valt het slib uit elkaar. Korte verblijftijd in de TBT, dosering van ijzer en voorkomen van anaerobe zones leidt tot een betere slibindikking. Tijdens het verpompen van spuislib wordt de vlokstructuur aangetast waardoor de slibindikking voor de vergisting minder efficiënt verloopt. Op RWZI Dokhaven is aangetoond dat de indikking beter verloopt als er na het verpompen opnieuw ijzer wordt gedoseerd. Hierdoor is de hoeveelheid CZV die retour gaat vanuit de indikking naar de A-trap substantieel gedaald, de output naar de gisting gestegen en hiermee de biogasproductie met 14% verhoogd (4,2 miljoen m<sup>3</sup> in 2013 t.o.v. 3,7 miljoen m<sup>3</sup> gemiddeld in 2010 en 2011; in 2013 werd 1,1 m<sup>3</sup>/d FeCl<sub>3</sub> met een concentratie van 200 gFe/L gedoseerd op de indikker). De toename in biogasproductie komt overeen met een CZV vracht van 0,8 milj. kg CZV; dit is ongeveer 4% van de toevoer. Dit laat opnieuw zien dat aandacht voor het rendement van CZV naar de slibgisting energiewinst kan opleveren (zie ook discussie bij de eerste 'bouwsteen' in deze paragraaf en bijlage VII. Efficiënte indikking is dus van groot belang voor het functioneren van de A-trap waarbij de sliblijn grote aandacht verdiend. Ook op RWZI Garmerwolde zijn er een aantal maatregelen genomen in de sliblijn om zoveel mogelijk CZV in de vergisting te krijgen en de indikking te verbeteren (o.a. spuien uit de beluchte sectie in de A-trap (i.p.v. uit retourslibleiding) en cascade beluchting bij de indikker, zie paragraaf 4.4).

## *Ijzerdosering ondersteunt flocculatie in de A-trap en TBT*

Alle RWZI's passen ijzerdosering toe waarbij de dosering is afgestemd op de verwijdering van fosfaat. Flocculatieproeven in deze studie laten zien dat ijzerdosering bijdraagt aan de verwijdering van gesuspendeerd en colloïdaal CZV. Ook wordt de troebelheid verminderd. Beluchting gecombineerd met ijzerdosering in de vorm van Fe(III) levert de hoogste CZV verwijdering op (zie o.a. paragraaf 3.9).

### **5.2 Bouwstenen voor het A-trap procesontwerp en aanbevelingen voor het AB-systeem in nieuwe zuiveringsconcepten**

Diverse aspecten spelen een rol bij de vlokvorming en beïnvloeden uiteindelijk de verwijdering van CZV. Een goede menging is belangrijk voor het invangen van colloïdaal materiaal en het flocculeren van de biomassa. Teveel shear kan de vlokken echter ook weer kapot maken. In de aeratieruimte dient vooral biologische groei en adsorptie plaats te vinden. De TBT moet zo ontworpen zijn dat de suspensie kan uitvlokken en bezinken. De bouwstenen voor het A-trap procesontwerp kunnen als volgt worden samengevat:

- Bepaal samenstelling van afvalwater; maak onderscheid tussen gesuspendeerd CZV en opgelost CZV (<0,45 µm); wanneer het afvalwater voornamelijk uit gesuspendeerd materiaal bestaat (>75%), overweeg dan pre-precipitatie in plaats van toepassing van het AB-systeem.
- Zorg voor voldoende beluchting voor maximale verwijdering van opgelost CZV. Analyseer opgelost CZV in toevoer A-trap en afloop TBT.
- Kies een korte HRT in de A-trap; een contacttijd (inclusief retourslibstroom) van het afvalwater in de A-trap van 15 minuten is voldoende. Samen met een lage SRT (0,3 d) moet een hoge slibbelasting (3,5 – 5 gBZV/gDS/d) worden toegepast.
- Pas ijzerdosering (5 mg/L Fe(III)) of andere flocculant dosering toe voor hogere CZV verwijdering.
- Laat het slib niet anoxisch/anaeroob worden en zorg voor een snelle slib/water-scheiding na de A-trap.
- Besteedt aandacht aan de sliblijn: snelle indikking met maximale output naar de gisting door korte afstanden, aerobe omstandigheden, bandindickers en eventueel ijzerdosering op de indickers.

Bovenstaande conclusies en bouwstenen staan in de volgende tabel samengevat, samen met de originele A-trap richtlijnen opgesteld door prof. Böhnke.



TABEL 5.1 BOUWSTENEN UIT DIT ONDERZOEK VERGELEKEN MET LITERATUUR

Parameter	Literatuur (Böhnke, 1977, 1984, Salomé, 1990)	4 RWZI's in NL	Dit onderzoek
Contacttijd (min)	20 – 30	12 – 28	15
SRT (d)	0,5	0,27 – 0,65	0,3
Slibbelasting (kg BZV <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /d)	Min. 2	2,2 – 3,5	3,5 – 5
Beluchting	Minimaal	Variërend van minimaal tot vrij intensief	Voldoende om opgelost CZV om te zetten; analyseer opgelost CZV in toevoer A-trap en afloop TBT
Retourslibcapaciteit	0,5 RWA	Alleen ontwerpwaarden bekend: 0,18 – 0,88 retourslibratio t.o.v. toevoerdebit	Niet verder onderzocht
Haalbare rendementen	50 – 60 % BZV	53 – 74% CZV uit toevoer	Rendement van 74% uit toevoer is mogelijk, RWZI Dokhaven als voorbeeld. Vervolgonderzoek nodig naar haalbare rendementen uit influent
Toevoersamenstelling	x	Variërend van 60% - 82% gesuspendeerd CZV	Bij meer dan 75% gesuspendeerd CZV lijkt A-trap weinig toegevoegde waarde te hebben
Additionele procesparameters	x	A-trap geoptimaliseerd op stikstofverwijdering: denitrificatie en uitspoeling naar B-trap	Indikking van A-trap spuislib en retourstroom uit de slibindikker kunnen groot effect hebben op rendement van CZV naar de gisting

## Aanbevelingen voor verder onderzoek:

- Het rendement van de indikking van het A-trap spuislib heeft een grote impact op het rendement van de A-trap. Het is gebleken dat het A-trap slib fragiel is en dat op een aantal RWZI's een grote vracht CZV weer terug gaat naar de A-trap. Het wordt aanbevolen om meer inzicht te krijgen in hoe dit proces van slibtransport en indikking te optimaliseren. Inzicht in hoe deze stromen in de huidige situatie zijn samengesteld kan hierbij helpen. Het wordt dus aanbevolen om de slibstromen (retourslib, spuislib en retourstroom uit de indikker) nader te analyseren op CZV fracties om de precieze vracht die retour gaat vast te stellen. Hiermee kan dan worden bepaald hoe dit kan worden verbeterd (bijvoorbeeld vlokvrindelijke pompen, flotatiescheiding i.p.v. indikking), naast bestaande oplossing zoals bandindickers en ijzerdosering op de indikker.
- CZV fractionering heeft veel inzicht opgeleverd in de werking van de A-trap. Het wordt aanbevolen deze fractionering te herhalen en uit te breiden met VFA analyse, zodat meer inzicht wordt verkregen in de verschillende fracties CZV (opgelost, colloïdaal en

gesuspendeerd). Daarbij is het ook aan te raden om de vergistbaarheid van de individuele slibfracties te bepalen, zodat er meer inzicht komt in welke fracties van belang zijn om te winnen voor slibgisting.

- Aangezien er weinig bekend is over hoeveel slib er precies retour wordt gestuurd en wat hiervan het effect is op de CZV verwijdering in de A-trap wordt aanbevolen in vervolgonderzoek hier in meer detail naar te kijken.
- De grootste CZV verwijdering in de A-trap wordt bereikt door een combinatie van biologische activiteit en flocculatie / invanging van deeltjes. IJzer(III)dosering draagt hieraan bij, maar heeft als bijkomend effect dat het ook fosfaat bindt. Hierdoor is het fosfaat lastiger beschikbaar voor terugwinning uit slib (eindigt in het slib als ijzerfosfaat). Een alternatief voor ijzer (III) zoals een vergistbaar organische flocculant zou het fosfaat niet binden en laat andere mogelijkheden open voor fosfaatterugwinning.
- Een optimale A-trap verwijdert het grootste deel van het CZV en zorgt voor maximale output van primair A-trap slib naar de gisting. In dit onderzoek is niet gekeken naar een totaal concept waarin ook fosfaat en stikstof worden verwijderd. De toepassing van Anammox na de A-trap wordt op dit moment gedemonstreerd in het CENIRELTA project op RWZI Dokhaven (Geilvoet et al., 2014). Aanbevolen wordt om verder onderzoek te doen naar een totaal concept voor maximale energie- en grondstoffenterugwinning.



## 6 Referenties

- Böhnke, B. (1977) Installation for the treatment of waste water by the activated sludge process, patent.
- Böhnke, B. (1984) Reinigungsleistungen von 2-stufigen Höchstlast-Belebungsanlagen im Vergleich zu einstufigen Belebungsanlagen. Korrespondenz Abwasser 31(7), 588-591.
- de Graaff, M.S. and Roest, K. (2012) Inventarisatie van AB-systemen - optimale procescondities in de A-trap. KWR, KWR 2012.094.
- Geilvoet, S., van Erp Taalman Kip, C., Duin, O., Schellen, A. and van der Vlies, A. (2014) Onderzoek naar de verdere verbetering van de tweetraps RWZI Rotterdam-Dokhaven, Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 19 - 21 Maart 2014
- Jimenez, J., Bott, C., Miller, M., Murthy, S., Randall, A., Nogaj, T. and Wett, B. (2013) High-Rate Activated Sludge System for Carbon Removal - Pilot Results and Crucial Process Parameters, WEFTEC, Oct. 5 - 9, 2013
- Meijer, H.A. (1988) Rotterdam-Dokhaven sewage treatment plant; a large sewage treatment plant in the midst of a developing residential quarter. Water science and technology 20(4/5), 267-274.
- Roest, K., Hofman, J.A.M.H. and van Loosdrecht, M.C.M. (2010) In Dutch: De Nederlandse watercyclus kan energie opleveren. H2O (25/26), 47 - 51.
- Salomé, A.A. (1990) AB-systemen; een inventarisatie. Stowa, RWZI 2000: Stowa 90-02.
- Stowa (2003) Vergaande voorzuivering van afvalwater. Haalbaarheidsstudie voor praktijktoepassing. Stowa, 2003-20.
- Stowa (2006) Geavanceerde voorzuivering van afvalwater. 2006-13.
- Wett, B., Buchauer, K. and Fimml, C. (2007) Energy self-sufficiency as a feasible concept for wastewater treatment systems, IWA Leading Edge Technology Conference, September 2007



# Bijlage I

## CZV Analyses

Deze bijlage beschrijft een analyse van de CZV metingen met Hach-Lange test kits ter validatie van de resultaten van de A-trap experimenten in het kader van het DynaFil-project. Mogelijke aspecten die de meting zouden kunnen beïnvloeden zijn geverifieerd. Er zijn twee Hach-Lange test kits gebruikt tijdens dit onderzoek: LCK 414 (5 - 60 mg/L) en LCK 514 (100 - 2.000 mg/L). De test kits hebben een specifieke concentratierange die betrouwbaar wordt gemeten.

### Protocol CZV meting met Hach-Lange test kits

1. 2mL monster wordt direct gepipetteerd in het LCK 414 of 514 buisje
2. Het LCK buisje na afsluiten goed schudden tot alles is opgelost
3. 2 uur incuberen op 148 °C
4. Indien er met stap 3 gewacht is, weer schudden tot alles is opgelost voordat incubatie word gestart.
5. Buisje schudden na de incubatie
6. Buisje af laten koelen tot 20°C (nu niet meer schudden!)
7. Buisje schoonmaken en ontvetten, vervolgens meten met spectrofotometer.

### Verdunningen

Verdunningen zijn uitgevoerd met het op de locatie beschikbare demiwater. Op alle locaties is het demiwater getest op aanwezigheid van CZV en nergens is deze hoger bevonden dan 15 mgCZV/L. Allen zijn gemeten met LCK 414, dus met een CZV range van 5-60 mg/L O<sub>2</sub>.

Demiwater	mg CZV/L
KWR	3
Utrecht	9
Dokhaven	14
Nieuweer	5

### Controle meting CZV test kit met standaardoplossing

Beide test kits (LCK 414 en 514) zijn gebruikt voor de meting van verschillende verdunningen van een standaardoplossing van 400 mgCZV/L (van acetaat); ook buiten de door Hach-Lange gespecificeerde concentratierange. Gezien de range van LCK 414, was het in enkele gevallen nodig de verdunningen van de standaardoplossing extra te verdunnen met demiwater.

verdunning	Concentratie standaardoplossing (mgCZV/L)	Resultaat met LCK 414 (mgCZV/L)	Resultaat met LCK 514 (mgCZV/L)
-	400	39.6*10 = 396	421
2	200	21.3*10 = 213	209
4	100	48.0*2 = 96	103
10	40	39	50

De resultaten laten zien dat met LCK 414 en LCK 514 vergelijkbare resultaten worden gehaald en deze binnen de 5% afwijking vallen die bekend is voor Hach-Lange metingen. Alleen voor de 10 keer verdunde standaardoplossing, met eindconcentratie van 40 mgCZV/L, werd met de LCK 514 test kit een hogere waarde gevonden. Dit wordt verklaard door het feit dat de concentratie onder de door Hach-Lange aangegeven ondergrens ligt, waardoor de afwijking groter wordt.

### Filters

De standaardoplossing (400 mgCZV/L acetaat) is onverdund gebruikt om te kijken of de gebruikte filters (cellulose nitrate membraanfilters van 0,45µm) CZV afvangen of afgeven aan het monster. Metingen zijn in duplo uitgevoerd.

	CZV mg/L
Onbewerkt monster	398 ± 17 mg/L
Gefiltreerd monster	404 ± 12 mg/L

De resultaten laten zien dat het filter geen significante hoeveelheid CZV afgeeft aan het monster.

### Fixeren van monsters

Omdat niet altijd de incubator beschikbaar was, is er in een aantal gevallen voor gekozen om het monster wel al in het Hach-Lange buisje te doen, maar pas dagen later te incuberen (2 uur op 148°C). Dit betekent dat tussen stap 3 en 4 van het protocol, een wachttijd van 2-3 dagen gezeten heeft. Voordat er dan alsnog werd geïncubeerd, is het buisje met monster weer goed geschud. Er is tweemaal een test gedaan in duplo, met een standaardoplossing van 300 mgCZV/L.

	Directe meting (mg/L)	Incubatie na 2-3 dagen (mg/L)
Standaardoplossing	307 ± 3	303 ± 2

Het later uitvoeren van de incubatie, heeft geen effect op de CZV meting.

### Additietesten

Om het effect van de matrix op de CZV analyse te kunnen testen is er een A-trap toevoerslib monster van RWZI Nieuwveer geanalyseerd en is er vervolgens CZV toegevoegd van 40, 100 en 200 mgCZV/L. Deze test is uitgevoerd met LCK 514 en er zijn geen verdunningen gemaakt.

Concentratie (mgCZV/L)	LCK514 (mgCZV/L)
Monster gefiltreerd	152
Monster + 40 = 192	196
Monster + 100 = 252	247
Monster + 200 = 352	348

De additie testen laten zien dat de toegevoegde CZV hoeveelheid ook daadwerkelijk wordt teruggevonden in het meetresultaat. Dit houdt in dat de matrix geen effect heeft op de CZV meting, waarbij wordt uitgegaan van een vergelijkbare matrix in alle bemonsterde RWZI's.

### Fluctuatie CZV over de dag

Tijdens het onderzoek zijn veel relatief hoge CZV-waarden gevonden. Om te controleren of het aan CZV-fluctuatie over de dag kan liggen, zijn de CZV testen met genomen steekmonsters in de tijd in kaart gebracht. Hierbij is verschil gemaakt in influent en A-trap slib toevoer mengsel. Achter het tijdstip staat de datum vermeld als dag/maand.

	Utrecht		Dokhaven		Nieuwveer	
	Tijdstip (datum)	Opgelost CZV (mg/L)	Tijdstip (datum)	Opgelost CZV (mg/L)	Tijdstip (datum)	Opgelost CZV (mg/L)
Influent			9.00 (8/5)	280	8.30 (7/6)	169
			11.00 (7/5)	202	9.30 (4/6)	142
Toevoer A-trap	8.30 (23/4)	411	9.00 (7/5)	242	8.00 (4/6)	189
slibmengsel	9.00 (23/4)	301	11.00 (7/5)	128	8.00 (4/6)	173
	10.00 (23/4)	284	11.00 (7/5)	162	9.00 (4/6)	161
			11.30 (8/5)	200	9.30 (4/6)	165
					10.00 (7/6)	188
					13.00 (7/6)	179

Uit bovenstaand tabel blijkt dat de CZV concentratie erg kan variëren in het influent en in het A-trap toevoer mengsel.

### Verificatie met analyses door lab Aquon

Op vrijdag 30 augustus 2013 zijn op RWZI Nieuwveer 24-uurs monsters bestemd voor reguliere analyse door Aquon ook geanalyseerd met Hach Lange test kits. De resultaten staan in de volgende tabel.

	Totaal CZV in duplo		gemiddeld	waarden
				Aquon Nieuwveer
influent	463	421	442	443
TBT	74,8	77,6	76,2	73,5
Effluent	24,6	21	22,8	28

De afwijking valt binnen de 5% foutmarge zoals opgegeven door Hach Lange.



## Bijlage II

### Proefopzet full scale test met beluchting op RWZI Dokhaven

#### Hypothese

Hypothese: bij lagere beluchting wordt er minder opgelost CZV verwijderd in de A-trap.

#### Proefopzet

Op Dokhaven loopt een onderzoek naar de zuurstofinbreng. Bij het aanpassen van de O<sub>2</sub>-setpoints (van 0,6 – 0,8 mg/L naar 0,4 mg/L) op Dokhaven bleek eerder dat dit nauwelijks invloed had op de zuurstofinbreng. De gemiddelde luchtinbreng per A-trap is ca. 1.000-1.200 m<sup>3</sup>/h.

Het instelbereik van de blowers is 350 – 1.650 m<sup>3</sup>/h.

Voorstel voor uitvoering van het volgende:

1. De 8 A-trappen worden zo ingesteld dat ook bij dwa het retourslib teruggaat naar de eigen straat. Het retourslib komt dan achter de zandvang in het begin van elke A-trap binnen.
2. Van 2 A-trappen wordt minimale beluchting ingesteld van, 350 m<sup>3</sup>/h; van 2 A-trappen wordt de beluchting ingesteld op 750 m<sup>3</sup>/h; de overige 4 straten staan op automatische regeling (O<sub>2</sub>-setpoint = 0,4 mg/L) en zullen een gemiddelde inbreng krijgen van 1.000-1.200 m<sup>3</sup>/h.
3. De effluentrecirculatie staat vast ingesteld op 1 pomp (3.500 m<sup>3</sup>/h) (en wordt, zoals normaal, voor de zandvang met het influent gemengd).

De instellingen worden op maandag ochtend ingezet op 18 november, afhankelijk van het weer, DWA omstandigheden vereist).

Dinsdag zijn de straten ruim 2 sibleeftijden verder en kan gemeten worden aan het slib.

Tijdens de proef:

Tijdens de proef zal op dinsdag op 6 plaatsen (6 luiken) over iedere A-trap (en de zandvang) het O<sub>2</sub> gehalte gepeild worden met een handmeter. Zo kan een betrouwbaar profiel over de straat worden vastgelegd. Dit zal twee keer worden gedaan.

De redox en de NO<sub>3</sub> waarde van de overstort A-trap worden vastgelegd.

Op dinsdag monsternamen van iedere straat afloop A-trap en afloopt TBT. Van 1 A-trap wordt ook de toevoer (zonder retourslib) bemonsterd, met de aanname dat de toevoer naar elke A-trap gelijk is, d.m.v. steekmonsters.

Bezinktstenen van het slib in iedere A-trap.

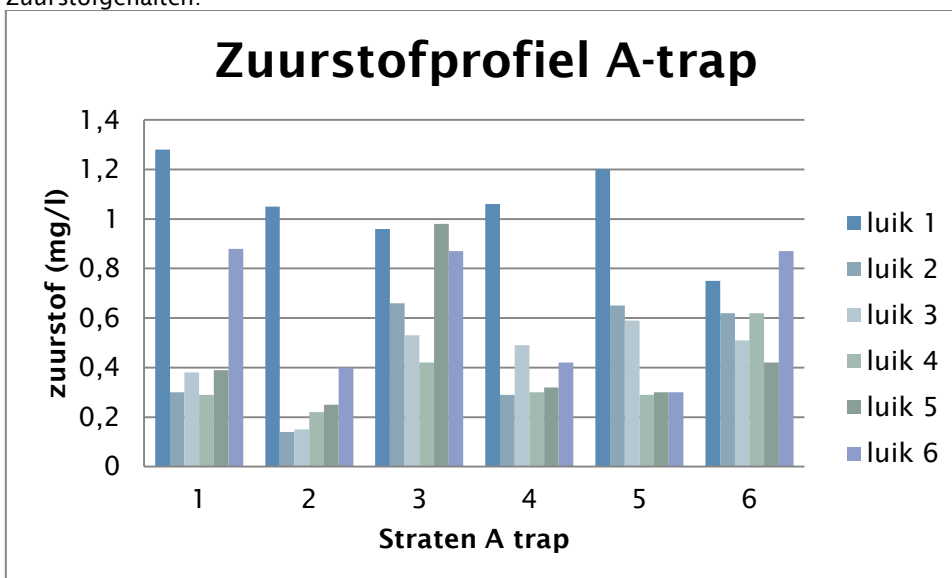
## Resultaten

DS-gehalten:

straat	Afloop A-trap					
	1	2	3	4	5	6
g/L	0,81	0,785	0,465	0,925	1,015	0,745
OS-gehalte	86%	86%	92%	85%	85%	86%

In straat 3 was het aanvangs-ds-gehalte wat lager omdat normaliter in deze straat het spuislib wordt onttrokken.

Zuurstofgehalten:



CZV gehalten afloop TBT:

straat	toevoer A-trap ...	Afloop A-trap						mengmonsters 8u - 11u Afloop TBT		
		1	2	3	4	5	6	1	2	3
CZV totaal	668							170	165	133
CZV 0,45 um	317	200	184	140	156	144	153	108,5	98	85,5
TP	2,34	2,73	2,96	1,3	1,88	0,359	1,55	1,53	1,42	0,42
NO3 0,45 um	3,48	0,325	0,283	0,258	0,303	1,5	1,27	0,34	0,294	0,354
NH4 0,45 um	22,2	25,5	27,1	24,7	25,6	18,7	19,2	22	21	20,7

## Conclusie:

- Bij lage beluchting in straat 1 en 2 (350 m<sup>3</sup>/h) duidelijk hogere CZV waarden in afloop A-trap

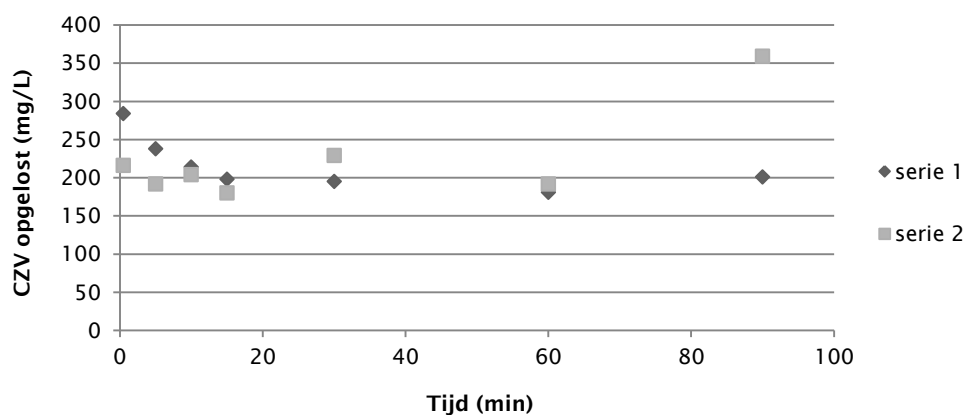
- In afloop TBT is effect minder zichtbaar, maar ook hier lijkt verschil te zien tussen beluchting laag (350) – midden (750) – auto
- Een lager ds gehalte in straat 3 (0,47 g/l t.o.v. 0,8-1) lijkt niet nadelig voor de werking A-trap
- Fosfaatverwijdering lager dan normaal (ijzerdosering uit?); uitzondering straat 5.
- In straat 5 en 6 met hoogste beluchting is  $\text{NO}_3$  waarde in afloop AT duidelijk hoger; In afloop TBT is dit effect verdwenen

De hypothese is bevestigd, bij 750 m<sup>3</sup>/h beluchting meer  $\text{CZV}_{\text{opp}}$  verwijderd dan bij 350 m<sup>3</sup>/h. Bij hogere beluchtingsgraad wordt het effect minder duidelijk.

## Bijlage III

### Biologische activiteitstesten

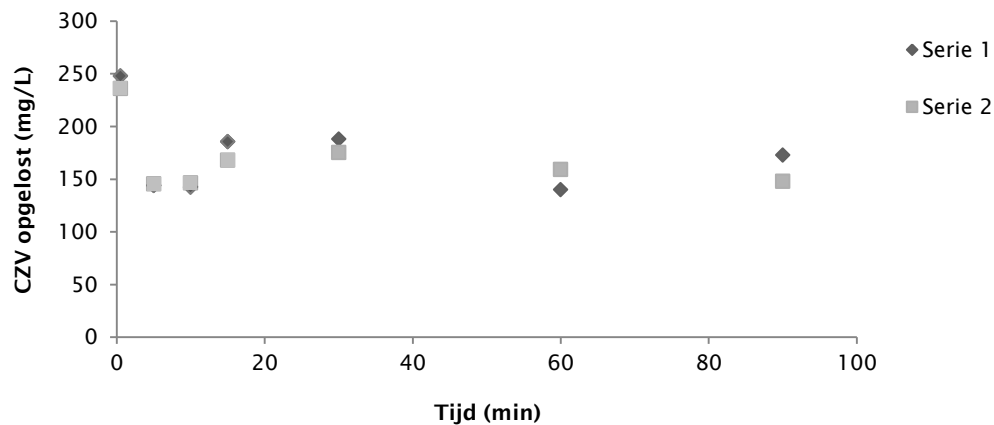
Figuur 6.1 laat de opgelost CZV concentratie zien in een mengsel van influent en A-trap retourslib op RWZI Utrecht. De twee series laten echter een verschillend beeld zien. Op basis van serie 1 is een afname waarneembaar, maar dit is niet waargenomen in serie 2.



FIGUUR 6.1 OPGELOST CZV CONCENTRATIE IN EEN MENGSEL VAN INFLUENT EN A-TRAP RETOURSLIB OP RWZI UTRECHT, ALS FUNCTIE VAN DE TIJD ONDER AEROBE OMSTANDIGHEDEN; 23 APRIL 2013.

serie 1					serie 2				
tijdstip	temperatu	pH	DO	CZV opgelost	tijdstip	temperatu	pH	DO	CZV opgelost
min	graden	-	%	mg/L	min	graden	-	%	mg/L
0,5	15,2			284	0,5	15,1			216
5	15	7,88	5,29	238	5	15,1	7,84	5,57	192
10	15,1	7,76	4,18	214	10	15,2	7,73	5,45	204
15	15,3	7,92	4,25	198	15	15,3	7,93	5,41	180
30	15,4	8,02	4,32	195	30	15,3	7,96	5,61	229
60	15,7	8,07	4,27	181	60	15,6	7,99	6,41	192
90	15,7	8,12	4,28	201	90	15,7	8,03	5,51	359

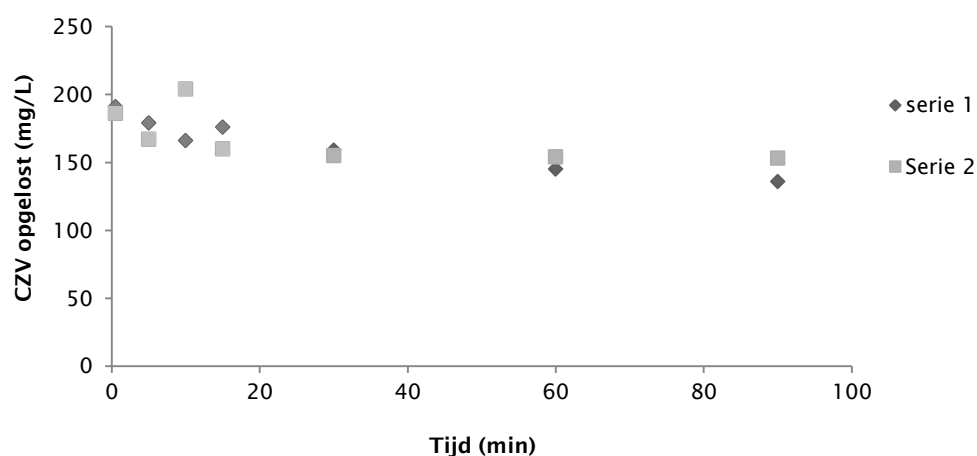
In Figuur 6.2 staan de gemeten concentraties opgelost CZV gedurende de tijd van de batchexperimenten met beluchting van het A-trap toevoer slibmengsel op RWZI Dokhaven. In de eerste minuten nam de opgelost CZV-concentratie snel af, waarna deze gedurende de rest van de batchexperimenten vrij stabiel bleef.



FIGUUR 6.2 OPGELOST CZV CONCENTRATIE IN A-TRAP TOEVOER SLIBMENGSEL RWZI DOKHAVEN, ALS FUNCTIE VAN DE TIJD ONDER AEROBE OMSTANDIGHEDEN; 7 MEI 2013.

serie 1					serie 2				
tijdstip	temperatuur	pH	DO	CZV opgelost	tijdstip	temperatuur	pH	DO	CZV opgelost
min	graden	-	mg/L	mg/L	min	graden	-	%	mg/L
0,5				248	0,5				236
5	16,9	7,57	6,7	144	5	16,8	7,51	6,45	145,6
10	16,9	7,7	6,78	142,4	10	16,8	7,63	6,61	146,4
15	16,9	8,18	6,92	185,6	15	16,9	8,01	6,54	168
30	17	8,31	7,05	188	30	17	8,21	7,61	175,2
60	17,5	8,33	7,3	140	60	17,3	8,3	7,54	159,2
90	17,7	8,49	7,75	172,8	90	17,3	8,44	7,63	148

Figuur 6.3 laat de afname van opgelost CZV zien in de aerobe activiteitstesten op RWZI Nieuwveer.

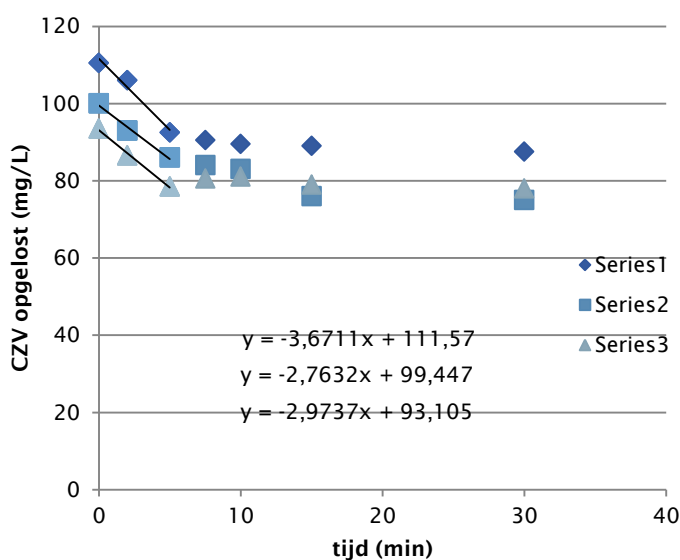


FIGUUR 6.3 OPGELOST CZV CONCENTRATIE IN MENGSEL VAN INFLUENT EN A-TRAP RETOURLIB OP RWZI NIEUWVEER ALS FUNCTIE VAN DE TIJD ONDER AEROBE OMSTANDIGHEDEN; 5 JUNI 2013.

serie 1					serie 2				
tijdstip	temperatuur	pH	DO	CZV opgelost	tijdstip	temperatuur	pH	DO	CZV opgelost
min	graden	-	mg/L	mg/L	min	graden	-	%	mg/L
0,5	16,1	7,43	2,04	191	0,5	16,1	7,46	3,05	186
5	16,1	7,49	2,36	179	5	16,1	7,48	2,65	167
10	16	7,74	3,48	166	10	16	7,7	3,82	
15	16	7,84	3,59	176	15	16	7,87	3,65	160
30	15,9	7,86	3,85	159	30	15,9	7,87	4,1	155
60	15,9	8,03	4,41	145	60	15,9	8,04	4,48	154
90	15,9	8,1	4,18	136	90	15,9	8,1	4,32	153

Later, begin 2014, zijn enkele activiteitstesten herhaald om meer te weten te komen over de afnamesnelheid in de eerste 10 minuten.

De volgende figuur laat de opgelost CZV afname zien in activiteitstest met influent en slib op RWZI Nieuwveer.

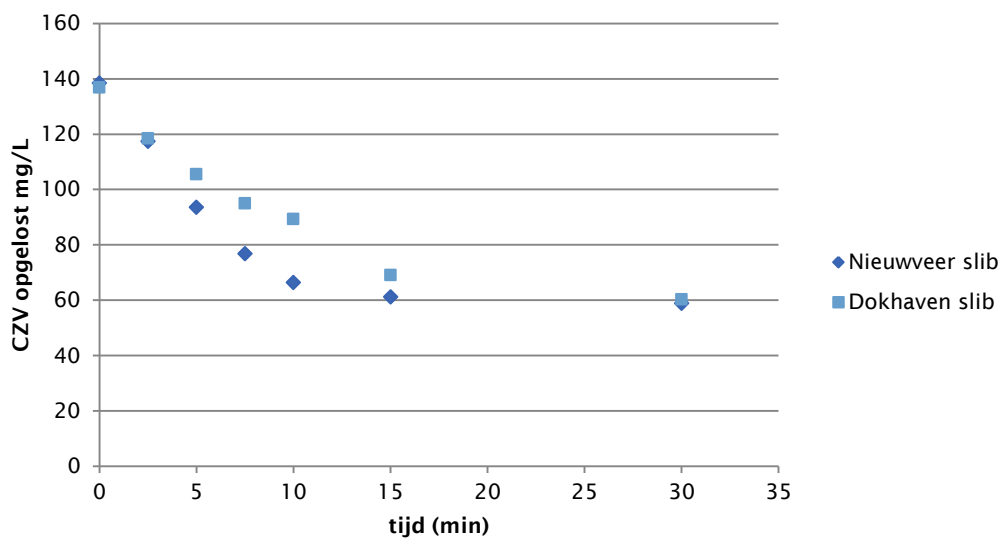


FIGUUR 6.4 OPGELOST CZV CONCENTRATIE IN MENGSEL VAN INFLUENT EN A-TRAP RETOURSILB OP RWZI NIEUWVEER ALS FUNCTIE VAN DE TIJD ONDER AEROBE OMSTANDIGHEDEN; 20 JANUARI 2014, TEMP 10 °C EN DO 0,6 MG/L.

T	R1	R2	R3
min	CZV opgelost (mg/L)	CZV opgelost (mg/L)	CZV opgelost (mg/L)
0	110,5	100	93,5
2	106	93	86,5
5	92,5	86	78,5
7,5	90,5	84	80,5
10	89,5	83	81
15	89	76	79
30	87,5	75	78

	mgCZV/L/min	DS (g/L)	mgCZV/gDS/min	gCZV/gDS/d
activiteitsberekening: serie 1	3,6711	4,1	0,885135624	1,27
serie 2	2,7632	4,0	0,682672941	0,98
serie 3	2,9737	3,8	0,791560432	1,14
				1,13

Als laatste is er nog een test gedaan met A-trap retourslib van RWZI Dokhaven en influent van RWZI Nieuwveer. Deze test is op RWZI Nieuwveer uitgevoerd.



FIGUUR 6.5 OPGELOST CZV CONCENTRATIE IN MENGSEL VAN INFLUENT EN A-TRAP RETOURSLIB (NIEUWVEER OF DOKHAVEN SLIB) OP RWZI NIEUWVEER ALS FUNCTIE VAN DE TIJD ONDER AEROBE OMSTANDIGHEDEN; 27 JANUARI 2014.

reactor	1	2	3	4
slib	nieuwveer	nieuwveer	Dokhaven	Dokhaven
0	145	131,8	140,2	133,4
2,5	120,8	113,8	123,6	113,2
5	87,8	99,2	105,6	105,2
7,5		76,8	90,4	99,4
10	73,6	59,2	89,2	
15	69,8	52,4	63,2	74,8
30	63,6	54	57,2	63,2

Tussen T 2.5 -5 zijn de volgende temp, p H en DO waarden gemeten.

temp	9,6	9,7	9,7	9,7
pH	7,64	7,84	7,65	7,69
DO	0,65	0,68	0,65	0,66

activiteitberekening Nieuwveer:				
	mgCZV/L/min	DS (g/L)	mgCZV/gDS/min	gCZV/gDS/d
serie 1	7,168	3,8	1,9070826	2,7
serie 2	7,288	4,0	1,8208620	2,6
				2,7
activiteitberekening Dokhaven:				
	mgCZV/L/min	DS (g/L)	mgCZV/gDS/min	gCZV/gDS/d
serie 1	5,408	2,0	2,667946667	3,8
serie 2	4,4	1,9	2,294322132	3,3
				3,6



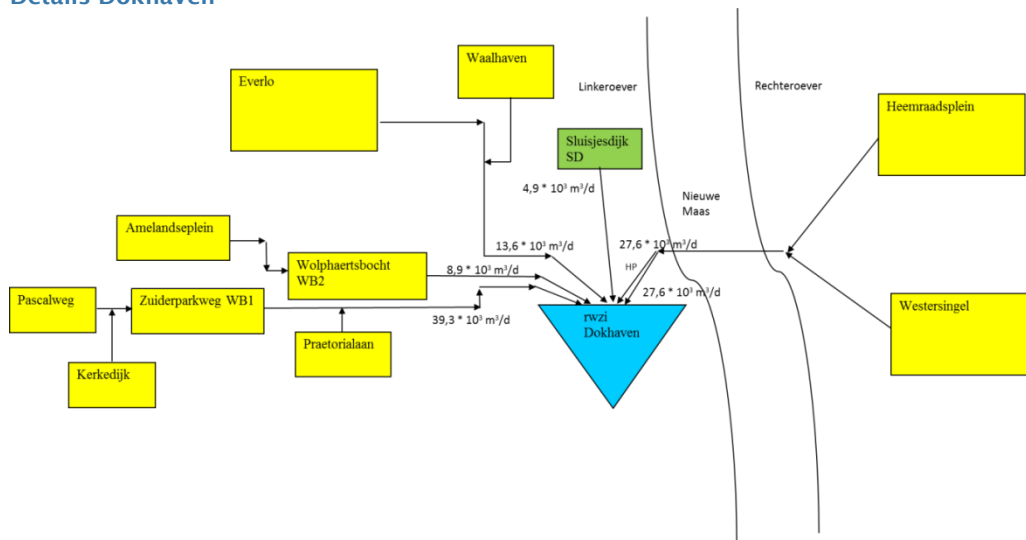
## Bijlage IV

Gegevens van de rioolstelsels

### Rioolstelsel globaal in beeld van RWZI Dokhaven, Nieuwveer, Utrecht en Garmerwolde

	<b>Dokhaven</b>	<b>Nieuwveer</b>	<b>Utrecht</b>	<b>Garmerwolde</b>
km's netwerk	Afvalwater van omringende stad en havens. Verste gemaal is Kerkedijk op zo'n 8 km. Schatting afstand andere gemalen hemelsbreed: Zuiderparkweg (4 km) Wolphaertsbocht (1,5 km) Waalhaven (4 km) Everlo (4 km) Sluisjesdijk (0,2 km) Heemraadsplein (2,5 km) Westersingel, centrum (4 km)	Afvalwater van Breda (70%) en 10 omliggende kernen. De langste leiding is 14,8 km uit Rijsbergen en deze ontvangt afvalwater van nog andere langere leiding.	Afvalwater uit de stad Utrecht. Het verste punt is hemelsbreed 8 km (van RWZI tot Utrecht Zuid).	Afvalwater van de gemeenten Groningen en Ten Boer. Hoofdpersleiding 7,5 km lang
Aantal gemalen	Zes influentpijpen bij influentgemaal Dokhaven: Zuiderparkweg WB1 (4 gemalen) Wolphaertsbocht WB2 (2 gemalen) Everlo en Waalhaven (2 gemalen) Sluisjesdijk SD (1 gemaal) Heemraadplein (1 gemaal) (rechteroever) Westersingel (1 gemaal) (rechteroever)	Het afvalwater komt uit vijf aanvoerstrengen. Er zijn 28 gemalen.	Er zijn drie aanvoerstrengen met een aantal tussengemalen (21)	Er zijn 3 hoofdpersleidingstelsels
Verblijftijd in riool	De ochtendpiek qua belasting is rond 12:00 uur. Er is dus vertraging van een paar uur, 3 - 5 uur. Daarnaast wordt er gestuurd op gelijkmatige aanvoer.	De ochtendpiek qua belasting is rond 11:00 uur. De verblijftijd in het stelsel varieert enorm, van 3,3 uur voor het afvalwater uit de stad Breda, tot wel > 24 uur voor het afvalwater uit Rijsbergen/Zundert.	De ochtendpiek qua belasting is rond 11:00 uur. Er is dus vertraging van een paar uur, 3 - 4. Gemiddeld zal de verblijftijd zo'n 5 - 6 uur zijn.	Persleidingnet met een verblijftijd van ongeveer 28 uur (sterke verzuring in zomerperiode, in winter minder). De ochtendpiek qua belasting is rond 12:00 uur.
Vrij-verval of persleiding	Vanaf gemalen allemaal persleiding	Er zijn 18 transportleidingen, waarvan 3 vrij verval (68% van totaal), en een leiding voor het afvoeren van het effluent	100% vrij verval	100% persleidingen.
% industriële lozingen	Waalhaven is grotendeels industrieel; gemaal Waalhaven (nr 37) is 3,1% van totaal influentdebiet	8% industrieel afvalwater; voornaamste grote lozer is Ardo (conserve) met 11.500 i.e. (ca 3% aanvoer) vanuit Zundert (persleiding van 6,7 km en 14,8 km lang)	Er is geen industrie van betekenis.	11% Industrie

### Details Dokhaven



Gemiddelde debieten uit 2012

## Details Garmerwolde

### Hoofdrioolstelsel rwzi Garmerwolde situatie 2000

	naar	diam m	lengte m	inh m3
RPG's gebied Dijkshorn	GW	0,388	13.058	1.540
RPG Lewenborg	GW	0,700	3.430	1.320
RPG Damsterdiep	GW	1,800	7.507	19.103
<b>totaal</b>	<b>GW</b>	<b>1,080</b>	<b>23.995</b>	<b>21.963</b>

DWA-prop afgeleid uit een first flush meting in 2000 **32.000**  
 sec persleidingen + verloren berging door bijv inslagpeilen pompen 10.037

### Uitbreiding persleidingsysteem

	w/a	m	m	m3
RPG Stadspark	2009			3.893
RPG Selwerd	2014			1.831
RPG Haren	2010	0,6	3.250	918
<b>Totaal nw primaire persleidingen</b>				<b>6.642</b>
voorliggende sec persleidingen + vervalbergings prop (aanname)				3.321

**Primaire persleidingen v/a 2014** **28.605**  
 DWA-prop situatie w/a 2014 (aanname) 41.963

## Bijlage V

### Ontwerpgegevens en uitvoering A-trap en tussenbezinktank

#### Ontwerpgegevens i.e.

RWZI	Jaartal 2-traps	Groote ontwerp (i.e. a 150 g TZV)	Belasting gemeten 2010 (i.e. a 150 g TZV)	Denitrificatie	P-verwijdering	Effluenteisen nutriënten
Nieuwveen, Breda	1992	439.733	335.512	A trap, RF 1,6 en anoxische zone B trap	chemisch, Fe(II)SO <sub>4</sub>	N: 10 mgN/L P: R > 75%, 2 mgP/L
Dokhaven, Rotterdam	1988	564.000	405.080	A trap, RF 0,58	chemisch, Fe(III)Cl <sub>3</sub>	N: R > 75%: 21 mgN/L P: R > 75%: 2 mgP/L
Utrecht	1976	480.533	405.602	A trap, RF 0,33 en anoxische zone B trap met MeOH	chemisch, Fe(III)ClSO <sub>4</sub>	N: 10 mgN/L P: 1 mgP/L
Garmerwolde, Groningen	2006	375.161	Niet bekend	A trap, RF 0,53 en anoxische zone B trap	chemisch, Fe(III)Cl <sub>3</sub>	N: 15 mgN/L P: 1,4 mgP/L gedurende 10 etmalen

#### Ontwerpdebieten DWA

Debieten in m <sup>3</sup> /h	Dokhaven	Garmerwolde	Nieuwveen	Utrecht
Aanvoer afvalwater	9.100	2.200	3.500	2.700
Recirculatie effluent	2.900	2.450	6.500	900
Subtotaal	12.000	4.650	10.000	3.600
A-trap retourslib	3.000	900	8.000	3x630
Totaal door A-trap	15.000	5.550	18.000	5.490

#### Dokhaven

DWA ontwerp is 9.100 m<sup>3</sup>/h aanvoer, echter installatie wordt bedreven op een "constant" debiet (aanvoer + effluent recirculatie) van 12.000 m<sup>3</sup>/h. Gemiddeld debiet aanvoer op jaarbasis is circa 5.000 m<sup>3</sup>/h en recirculatie effluent is 3.200 m<sup>3</sup>/h. RWA ontwerp is 19.000 m<sup>3</sup>/h. Vanaf 2013: effluentrecirculatie: 2 pompen van 3.500 m<sup>3</sup>/h afhankelijk van NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> gehalte. In winter maximaal 1 pomp.

Garmerwolde

Uitgangspunten voor realisatie Nereda, DWA 2.200 m<sup>3</sup>/h, effluent recirculatie circa 90-130% winter/zomer DWA. Met effluent recirculatie worden korte RWA-NH<sub>4</sub>-aanvoerpieken uitgevlakt. RWA ontwerp is 12.600 m<sup>3</sup>/h.  
DWA influent/effrecirculatie: juli 2012 = 2.100/2.800 m<sup>3</sup>/h nov 2012 = 2.400/2.100 m<sup>3</sup>/h.

Nieuwveer

Wordt bedreven met een "constant" debiet (aanvoer + effluent recirculatie) van 10.000 m<sup>3</sup>/h. Bij DWA wordt meer effluent gerecirculeerd. Het maximum hydraulische ontwerp debiet is 16.500 m<sup>3</sup>/h, maar vanwege beperking in lozing effluent is het maximum debiet in de praktijk circa 13.000 m<sup>3</sup>/h. Gemiddeld wordt er 3.500 m<sup>3</sup>/h afvalwater aangevoerd en 6.500 m<sup>3</sup>/h effluent gerecirculeerd.

Utrecht

Heeft een maximum hydraulische debiet (aanvoer + effluent recirculatie) van 13.500 m<sup>3</sup>/h.

**Uitvoering A-trap**Dokhaven

8 langwerpige bassins met continue beluchting met fijne bellenbeluchting. Totaal volume 4.800 m<sup>3</sup>.

Garmerwolde

3 omgebouwde bezinkers waarin door plaatsing van tussenschotten een A-trap (2 secties) en een tussenbezinktank zijn gerealiseerd. Beluchting met fijne bellenbeluchting. In de A-trap liggen drie sectoren beluchters. Sectie 1 facultatief belucht of gemengd + de binnenste sector van sectie 2 is facultatief aan bij een laag zuurstof gehalte, de buitenste sector is altijd aan (= umwalsung als binnenste sector uit staat). Totaal volume 2.760 m<sup>3</sup>.

Nieuwveer

1 bassin waarbij de A-trap in 3 secties is opgedeeld. Sectie 1 waarin geen beluchting plaats vindt, alleen menging. Sectie 2 waarin facultatief wordt belucht of gemengd, sturing op zuurstofconcentratie 1,5 mg/l. Sectie 3 waarin continue wordt belucht, sturing op zuurstofconcentratie 2 mg/l. Beluchting door fijne bellenbeluchting. Totaal volume 3.500 m<sup>3</sup>.

Utrecht

2 nagenoeg rechthoekige bassins, elk opgesplitst in 4 compartimenten, waarvan compartiment 1 alleen gemengd en compartimenten 2 - 4 facultatief minimaal worden belucht met puntbeluchting. Totaal volume 3.750 m<sup>3</sup>.

**Beluchting**

Bij RWZI Dokhaven en RWZI Garmerwolde plaatbeluchters van Bosman, bij RWZI Nieuwveer membraanbuisbeluchters van GVA en bij RWZI Utrecht een drietal puntbeluchters per A-trap bekken

Fijne bellenbeluchting

	Plaatbeluchting	Membranbuisbeluchting
Bellen met diameter	circa 3 mm	max 2 mm
Stijgsnelheid bellen	circa 0,3 m/s	max 0,2 m/s
Diameter onafhankelijk van luchtdebiet door systeem		

Luchtdebieten in Nm <sup>3</sup> /h	min	max	gemiddeld
Dokhaven	2.800	12.800 (350/1.600 per tank)	8.000 – 9.600
Garmerwolde	900	3.000	?
Nieuwveer	2.500	12.000	6.000
waarvan	40% sectie 2 en 60% sectie 3		

#### Puntbeluchters Utrecht

Compartiment 1	Hyperbole menger, 2 kW, continue
Compartiment 2 – 4	Puntbeluchters, 75 kW per stuk om beurten, discontinue, 10 min beluchter compartiment 2, 10 min uit, 10 min beluchter compartiment 3, 10 min uit, 10 min beluchter compartiment 4, 10 min uit
Toerental (LT/HT)	30/40 rpm

#### **Retourslib**

##### Dokhaven

Regeling	3.000 m <sup>3</sup> /h continu. Bij RWA (Q <sub>in</sub> >12.000 m <sup>3</sup> /h worden ze opgetoerd tot max. 5.000 m <sup>3</sup> /h.
----------	---

##### Garmerwolde

Aantal pompen	3 stuks (1 per TBT) elk 300 m <sup>3</sup> /h
Regeling	vast maximaal debiet

##### Nieuwveer

Aantal vijzels	7 stuks elk 1.150 m <sup>3</sup> /h
Regeling	vast (maximaal) toerental

##### Utrecht

Aantal pompen	4 stuks 210 m <sup>3</sup> /h en 4 stuks 420 m <sup>3</sup> /h (per TBT, aantal TBTs=3)
Regeling	3 setpoints, afhankelijk van aantal influent pompen in bedrijf:
Setpoint 1 (DWA)	3 retourslibpompen van 210 m <sup>3</sup> /h in bedrijf
Setpoint 2	3 retourslibpompen van 420 m <sup>3</sup> /h in bedrijf
Setpoint 3 (RWA)	3 pompen van 210 m <sup>3</sup> /h en 3 pompen van 420 m <sup>3</sup> /h in bedrijf

#### **Overgang van A-trap naar TBT**

##### Dokhaven

Overloop vanuit elke A-trap met verdeelwerk naar een leiding met een diameter van 750 mm uitkomend in verdeelwerk van TBT. Snelheid in leiding is 1,5 m/s. Hoge turbulentie door relatief kleine diameter.

##### Garmerwolde

Overloop vanuit A-trap via tussenschotten naar TBT. Diameter tussenschotten 10,29 en 10,41 m. Afstand tussen schotten is circa 0,12 m. Snelheid tussen de schotten is 0,1 m/s. Zeer lage turbulentie.

##### Nieuwveer

Overloop vanuit de A-trap met verdeelwerk naar 7 leidingen met een diameter van 1.000 mm. Snelheid in leidingen is 0,9 m/s.

### Utrecht

Overloop vanuit beide A-trappen met één verdeelwerk naar 3 leidingen met een diameter van 1.800 mm. Doorvoer naar verdeelwerk bestaat uit 100 ronde gaten met een diameter van 400 mm, gevolgd door 6 overstortgoten naar de 3 leidingen (2 goten per leiding). Snelheid door gaten is 0,11 m/s. Snelheid in leidingen is 0,175 m/s. Lage turbulentie door relatief grote diameter.

### **Chemicaliëndoseringen**

#### Dokhaven

De dosering van  $\text{Fe(III)Cl}_3$  vindt plaats in begin van de A-trap.

#### Garmerwolde

De dosering van  $\text{Fe(III)Cl}_3$  vindt plaats in de centrale toevoer (onbelucht) naar elke A-trap. Coagulant en flocculant dosering.

#### Nieuwveer

De dosering van  $\text{Fe(II)}_2(\text{SO}_4)_3$  vindt plaats aan het eind van sectie 2 van de A-trap.

#### Utrecht

De totale dosering van  $\text{Fe(III)ClSO}_4$  t.b.v. P-verwijdering vindt plaats in de verdeelgoot voor de twee secties van de A-trap. Menging vindt plaats in compartiment 1 van de A-trap.

### **Uitvoering TBT**

#### Dokhaven

8 langwerpige tussenbezinktanks met een lengte van 60,65 meter, een breedte van 13,07 meter en een waterhoogte van 2,6 m. Snelheid in TBT is 0,018 m/s.

#### Garmerwolde

Buitenste ring van omgebouwde bezinker. Binnen diameter 10,4 meter, buiten diameter 24,1 meter. Waterhoogte aflopend van 3,15 naar 2,00 meter (binnen naar buiten).

#### Nieuwveer

6 langwerpige tussenbezinktanks met een lengte van 61 meter, een breedte van 15,25 meter en een waterhoogte van 2,88 m. Snelheid in TBT is 0,016 m/s.

1 ronde tussenbezinktank met een diameter van 36 meter en een waterhoogte aflopend van 3,80 naar 2,80 meter van binnen naar buiten.

#### Utrecht

9 langwerpige tussenbezinktanks met een lengte van 51,3 meter, een breedte van 13,0 meter en een waterhoogte van 2,5 m. Snelheid in TBT is 0,005 m/s.

### **Berekende turbulenties in de verschillende onderdelen**

Waar mogelijk is op verschillende punten in de zuivering het Reynolds getal berekend om te bepalen of in bepaalde delen hoge turbulenties voorkomen.

Het Reynolds getal is berekend met de formule:

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu}$$



Met		
P	=	dichtheid van water in kg/m <sup>3</sup>
V	=	snelheid in m/s
D <sub>n</sub>	=	hydraulische diameter in m
μ	=	viscositeit in Pa/s

Bij een open goot is D<sub>n</sub> gelijk aan het doorstroomde oppervlak gedeeld door de bevochtigde omtrek, dus breedte \* hoogte / (breedte + 2\* hoogte).

	Dokhaven	Garmerwolde	Nieuwveen	Utrecht
Doorstroming A-trap	58.000	ntb	450.000	40.000
Effect beluchting in A-trap	74.000	ntb	540.000	ntb
Overgang A-trap verdeelwerk	-	28.000	-	48.000
Door leidingen naar TBT	1.200.000	nvt	1.030.000	350.000
Doorstroming TBT	39.000	ntb	39.000	9.500

Ntb=niet te bepalen i.v.m. ronde dimensionering

### Sturing op DS gehalte in A-trap

	Dokhaven	Garmerwolde	Nieuwveen	Utrecht
DS gehalte in A-trap (DWA)	1,8 g/L	1 g/L	2,5 g/L	1,5 g/L

### Indikkers

#### Dokhaven

Er zijn bandindikkers op proef geweest. Nu ijzerdosering bij de primair slibindikker.

#### Garmerwolde

Gravitaire primair slibindikkers met cascade beluchting. Zoveel mogelijk maatregelen om redox hoog te houden. Bij RWA aanvoer wordt er PE gedoseerd.

#### Nieuwveen

Sinds eind 2012 zijn er bandindikkers met minimale PE dosering voor het primair slib.

#### Utrecht

Gravitaire indikkers.

## Bijlage VI

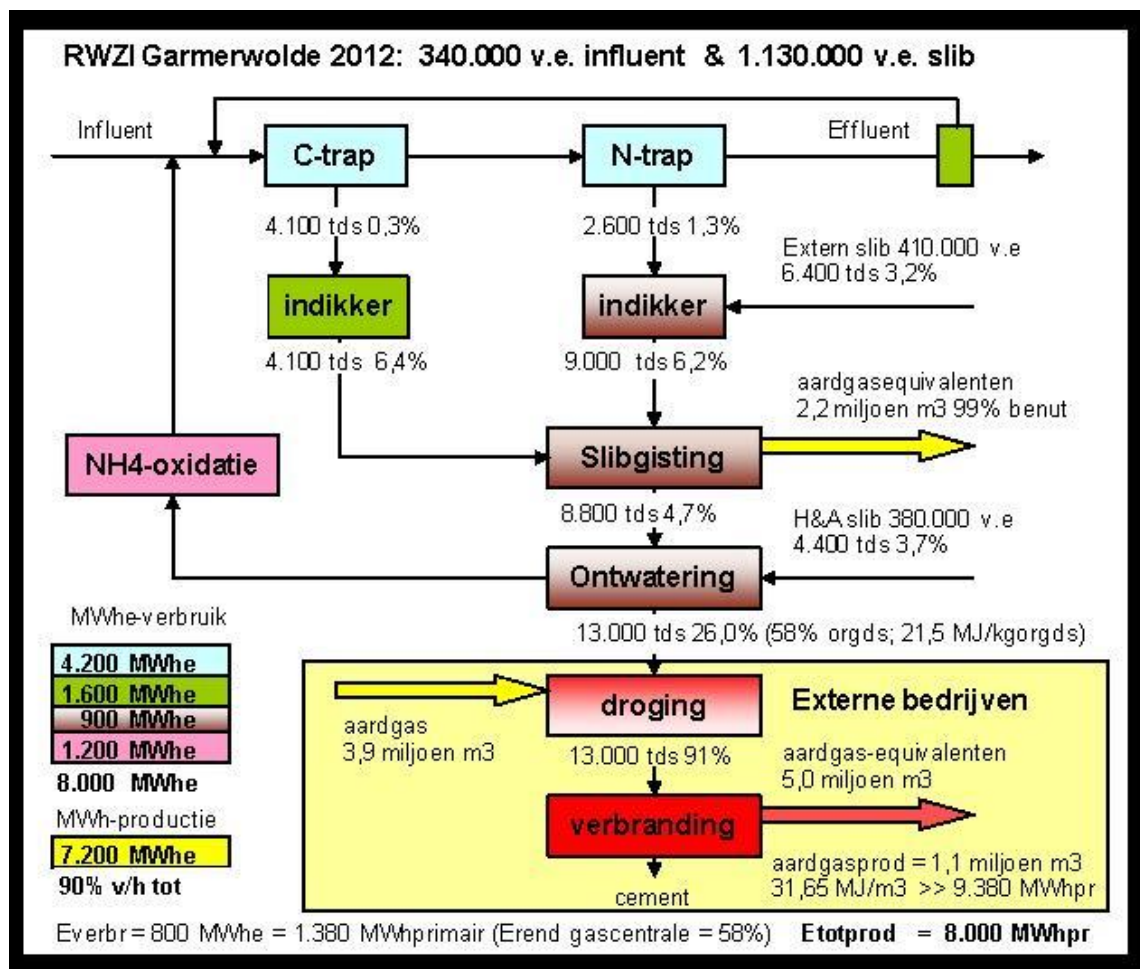
### Onderzoek RWZI Garmerwolde

Door Willy Poeisz, per email d.d. 17 mei 2013:

De slibproductie van de C-trap stijgt de afgelopen jaren.  
De toename van de C-trapproductie is het resultaat van:

1. Het aanleggen van persleidingen (= kortere rioolwaterverblijftijd + minder riooloverstorten).
2. Het verlagen van de effluentcirculatie (= minder slib naar N-trap).
3. Het verbeteren van de slibhuishouding in de C-trap (software, procescontrole).
4. Het verbeteren van de slibindikking (PE-dosering + procescontrole = minder overstortend slib).

De trend van de stijgende C-trap productie heeft vrijwel zeker de stijgende trend in de koekds% van onze slibontwatering tot gevolg gehad. Mede hierdoor heeft de opvolgende slibverwerking een positief energie saldo dat overeen komt met 1,1 miljoen m<sup>3</sup> aardgas, zoals uit de onderstane figuur blijkt.



De stijgende trend in C-trap productie zet zich in 2013 door.  
Dit komt doordat de effluentcirculatie dit jaar niet of nauwelijks in bedrijf geweest is.  
De RWZI zit op dit moment in een ombouw- en uitbreidingsfase.

De bestaande 3 straten worden nu 1 voor 1 geoptimaliseerd:

- 1) C-trap: Optimalisatie slibhuishouding (= retourslib wordt voorzien van frequentie regeling + debietmeting) + groot onderhoud (= zand verwijderen + kapotte beluchtingsplaten vervangen) + ds-meting.
- 2) C-trap indikker: Overloop wordt voorzien van troebelheidsmeter.
- 3) N-trap: Beluchtingsplaten bijleggen + waterkolom met 10-20 cm verhogen + beluchting door lucht inslag in toevoer N-trap beperken (= optimalisatie voordennitrificatie N-trap).

De RWZI wordt met een Nereda installatie uitgebreid. Deze installatie is ontworpen voor de verwerking van 40% van de influentaanvoer. De Nereda installatie wordt in juni 2013 opgestart.

In het ontwerp wordt er vanuit gegaan dat direct na opstart de effluentcirculatie niet meer nodig is. De effluentcirculatie blijft voorlopig echter wel standby.

Van begin dit jaar wordt het slib dat tijdens RWA in de influentberging wordt opgevangen, niet meer via de C-trap afgevoerd. Het slib dat tijdens RWA in de influentberging wordt verzameld wordt nu met een PE-dosering direct naar de C-trap indikker gepompt. Deze pompactie wordt handmatig pas gestart nadat de slibhuishouding in C-trap zich van de RWA herstelt heeft en slibspui van de C-trap tijdens de opvolgende periode van verdunde aanvoer

uitgezet kan worden.

De PE-dosering is noodzakelijk omdat het aangerotte slib vanuit de influentberging slechte bezink-indikeigenschappen heeft.

Dit in combinatie met het feit dat de effluentcirculatie niet of nauwelijks gedraaid heeft, maakt dat de RWZI op dit moment een overschot aan elektriciteit produceert, zoals uit de onderstaande grafiek blijkt.

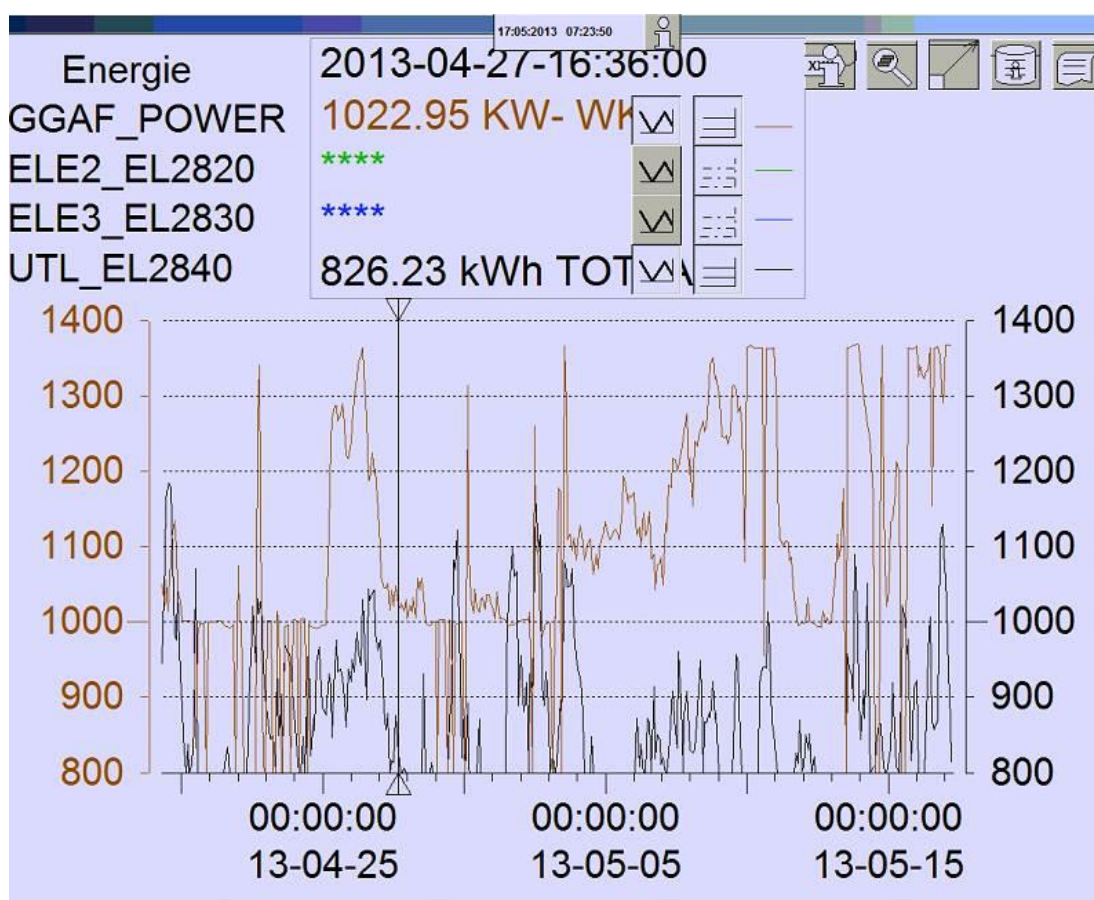
In deze grafiek wordt het kWh verbruik/productie van de laatste 28 dagen gepresenteerd.

Roodbruin = productie kWh WKK installatie.

Zwart = kWh-verbruik RWZI -tot.

NB: De externe slibaanvoer naar de gisting is in deze periode ook hoger dan normaal. Met de stijgende temperatuur wordt op de buiten- RWZI's op steeds lagere slibleeftijd aangestuurd.

De  $N_{\text{tot}}$ -effluentkwaliteit is op dit moment 15-20 mgN/L.



## Bijlage VII

### Aanvullende berekeningen effect A-trap op biogasproductie e.a.

Toevoer van RWZI Dokhaven bevat relatief meer opgelost CZV dan de toevoer van bijvoorbeeld RWZI Utrecht en RWZI Nieuwveer (zie Tabel 3.6). De A-trap op RWZI Utrecht verwijdert hierdoor vooral gesuspendeerd CZV en de verwijdering van opgelost CZV (27%) draagt maar voor zo'n 5% bij aan de totale CZV verwijdering in de A-trap. Ook al zou de verwijdering van opgelost CZV worden verhoogd naar zo'n 60%, wat op RWZI Dokhaven wordt behaald<sup>5</sup>, dan stijgt het percentage totale CZV verwijdering van 5 naar 11% van de totale CZV verwijdering. Focussen op de biologische activiteit van het A-trap slib lijkt op RWZI Utrecht weinig meerwaarde te hebben. Op RWZI Nieuwveer draagt de verwijdering van opgelost CZV ook voor zo'n 5% bij aan de totale CZV verwijdering in de A-trap (zie Tabel 3.6). Hier lijkt een verbetering van biologische activiteit en verwijdering van opgelost CZV wel meerwaarde te hebben en kan de verwijdering van opgelost CZV bijdragen tot 19% aan totaal CZV verwijdering wanneer de verwijdering van opgelost CZV wordt verhoogd van 15% naar 60%. Sinds kort wordt er op RWZI Nieuwveer minder effluentrecirculatie toegepast (3.000 m<sup>3</sup>/h i.p.v. ca. 7.500 m<sup>3</sup>/h), daarmee is de retourvracht inert CZV meer dan gehalveerd (was eerst >50%, zie rapport WP1 (de Graaff and Roest, 2012)). Dit zal een positief effect hebben op het opgelost CZV verwijderingspercentage aannemende dat de vracht verwijderd CZV hetzelfde blijft. Het wordt aanbevolen om de verwijdering van opgelost CZV in de nieuwe situatie opnieuw te bepalen zoals dat is gedaan in WP1.

Onderstaande tabel laat zien dat het verhogen van de hoeveelheid CZV naar de gisting al bij lage percentages een significant effect heeft op de biogasproductie. Er is berekend hoeveel 1% extra verwijdering naar groei van slib aan gasproductie oplevert. Hierbij is gebruik gemaakt van een yield van de biomassa groei van 0,6 kg VSS/kg CZV omgezet en deze biomassa bevat 1,5 kg CZV/kg VSS. Vervolgens wordt deze biomassa voor 50% afgebroken in de gisting en dit levert een 0,63 m<sup>3</sup> biogas per kg CZV omgezet op (zie uitgangspunten onder de tabel).

<sup>5</sup> 60% verwijdering lijkt maximaal haalbaar voor rwzi Dokhaven, uitgaande van de samenstelling van opgelost CZV in de toevoer (70% uit influent, 16% effluent (voornamelijk inert) en 14% sluisjesdijk retour(voornamelijk inert)) en dat deel (max 10%) van het influent opgelost CZV ook inert is. Getallen uit rapport WP1.

RWZI	kg CZVtotaal /jaar in toevoer	1 % groei naar slib (kgCZV/jaar)	kg VSS/j voor in gisting (1,5 gCZV/gVSS en yield 0,6 VSS/kgCZV)	50% afbraak in gisting, kg CZV-CH4/jaar	m3 biogas	% van totale biogasproductie
Utrecht	15.000.000	150.000	135.000	67.500	42.260	0,9%
Nieuwveer	20.000.000	200.000	180.000	90.000	56.347	1,8%
Dokhaven	20.000.000	200.000	180.000	90.000	56.347	1,3%

\*  $4 \text{ gCH}_4\text{CZV/gCH}_4$ ; dichtheid methaan  $0,67 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$  bij  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  en  $1 \text{ atm}$   $\rightarrow 0,38 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg CZV}$  omgezet; biogassamenstelling 60% methaan  $\rightarrow 0,63 \text{ m}^3 \text{ biogas/kg CZV}$  omgezet.

De volgende tabel geeft de vuilbelasting ten opzichte van de biogasproductie weer. Doordat er op alle locatie extern slib wordt behandeld, zijn deze getallen moeilijk te vergelijken.

RWZI	vuilbelasting (i.e. 150 g TZV)	m <sup>3</sup> biogas	m <sup>3</sup> biogas/i.e.		
Utrecht	393.020	4.526.473	11,5	getallen 2012	extern slib: circa 1/3 van de totale vracht
Nieuwveer	319.081	3.148.780	9,9	getallen 2013	extern slib: 1.630 van de 4.906; circa 1/3
Dokhaven	412.252	4.214.081	10,2	getallen 2013	extern slib: 40%

In onderstaande tabel staan de vrachten opgelost CZV in toevoer naar de A-trap en in het influent wat laat zien dat RWZI Dokhaven relatief veel opgelost CZV ontvangt uit voornamelijk het influent.

rwzi	vuilbelasting (i.e. 150 g TZV)
Utrecht	393020
Nieuwveer	319081
Dokhaven	412252

Dokhaven: vier monsters gedurende vier weken; Nieuwveer: 20 monsters in periode van vijf weken; Utrecht: 7 monsters in periode van 2 weken.