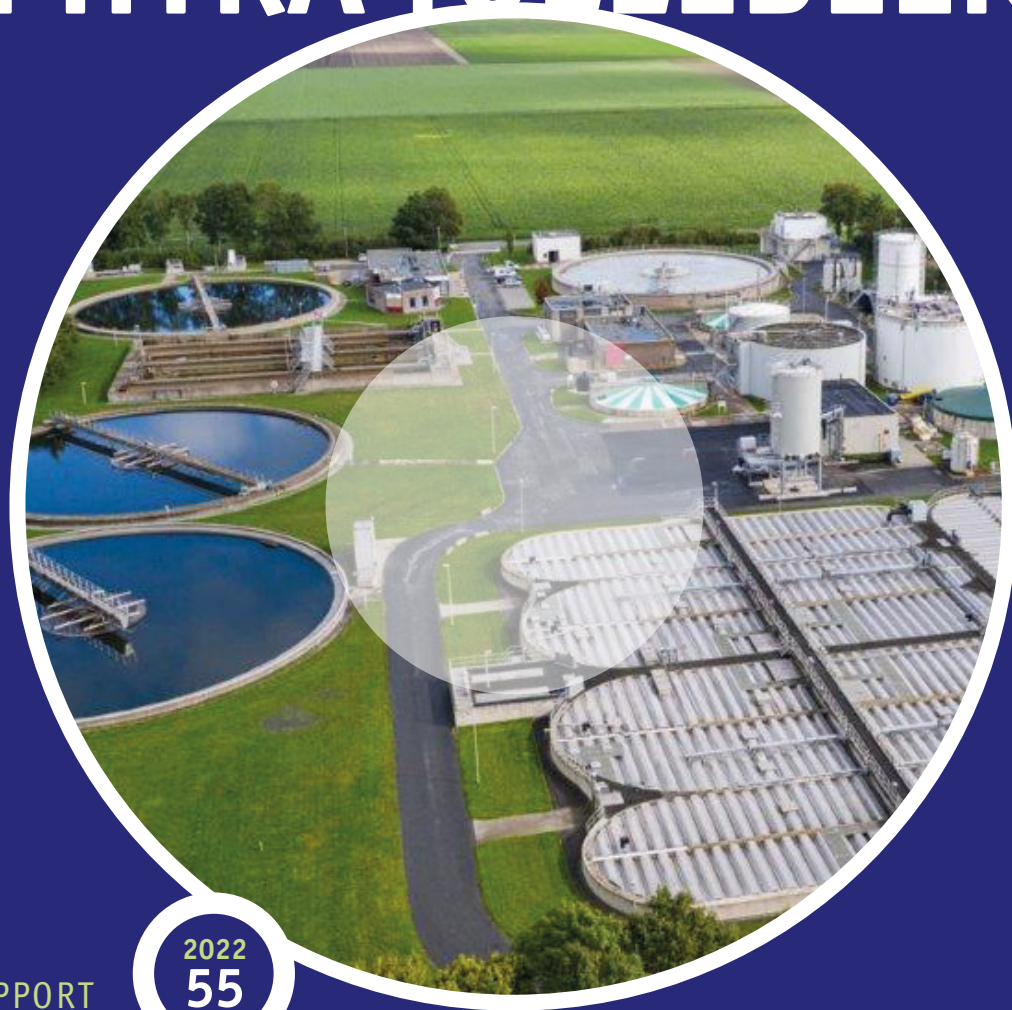


stowa



DEMONSTRATIE ONDERZOEK EPHYRA TOLLEBEEK



RAPPORT

2022
55

DEMONSTRATIE ONDERZOEK EPHYRA TOLLEBEEK

RAPPORT

2022

55

ISBN 978.94. 6479.008.5



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS André Visser
David Berkhof

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ben Roelfzema – Waterschap Drents Overijsselse Delta
Chris Kaper – Waterschap Zuiderzeeland
Alex Sengers – Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Alexander Hendriks - Waterschap Rijn en IJssel
Merle de Kreuk - TUDelft
Willy Poiesz – Waterschap Noorderzijlvest
Chris Reijken – Waternet
Roger Vingerhoeds - Waterschap Brabantse Delta
Cora Uijterlinde – STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2022 55
ISBN 978.94. 6479.008.5

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

GOEDE RESULTATEN MET EPHYRA® OP RWZI TOLLEBEEK

Nederland staat voor de grote opgave om in 2050 energieneutraal te zijn. Waterschappen zullen onder andere aan deze doelstelling bijdragen middels het verbeteren van de energie efficiëntie, een combinatie van energiebesparing en opwekken van duurzame energie. Het vergisten van slib waarbij biogas wordt geproduceerd draagt hieraan bij. Diverse onderzoeken richten zich dan ook op de ontwikkeling van technologieën om de slibgisting te optimaliseren en zo kosteneffectief de biogasproductie te verhogen. Twee voorbeelden zijn de Ephyra® en Themista® technologie; beiden zijn op praktijkschaal toegepast in het kader van een LIFE-project in samenwerking met Waterschap Zuiderzeeland en Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpernerwaard.

Ephyra® maakt bij slibgisting gebruik van horizontale compartimentering. In tegenstelling tot conventionele installaties, bestaat de Ephyra® propstroominstallatie uit drie of vier compartimenten verdeeld over afzonderlijk tanks of geïntegreerd in één tank. Omdat de verschillende processen bij anaerobe afbraak van organische stoffen zijn gescheiden, is de verblijftijd van de Ephyra® installatie aanzienlijk korter; vaak slechts zes tot acht dagen. Dit betekent dus een kleinere en goedkopere installatie.

In dit demonstratie onderzoek op de rwzi Tollebeek is de werking van de Ephyra® nader onderzocht. De totale slibafbraak in Ephyra® plus navergister was conform wat voor deze technologie verwacht wordt.

Op de rwzi Tollebeek was de totale verblijftijd in de Ephyra® plus navergister gemiddeld 17,5 dag. De gemiddelde omzettingssnelheid van organische stof was circa 40% hoger dan in een conventionele installatie met eenzelfde verblijftijd.

De exacte ontwerp verblijftijd is afhankelijk de locatie en project specifieke eisen. Met dit demonstratie onderzoek is de introductie van de Ephyra® technologie als slibgistingstechnologie voltooid. Ephyra is geschikt voor het optimaliseren van zowel bestaande als nieuwe slibgistinginstallaties.

Slib is een belangrijk thema voor de waterschappen. Met de verwerking van slib zijn enerzijds hoge kosten gemoeid. Anderzijds, slib biedt ook diverse kansen voor productie van duurzame energie en grondstoffenterugwinning, om zo mede de ambities van de watersector in Nederland in te vullen. Ontwikkeling van nieuwe technologieën zoals de in dit rapport beschreven Ephyra® technologie blijft nodig om te komen tot een duurzame slibverwerking.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

INNOVATIES IN SLIBGISTING

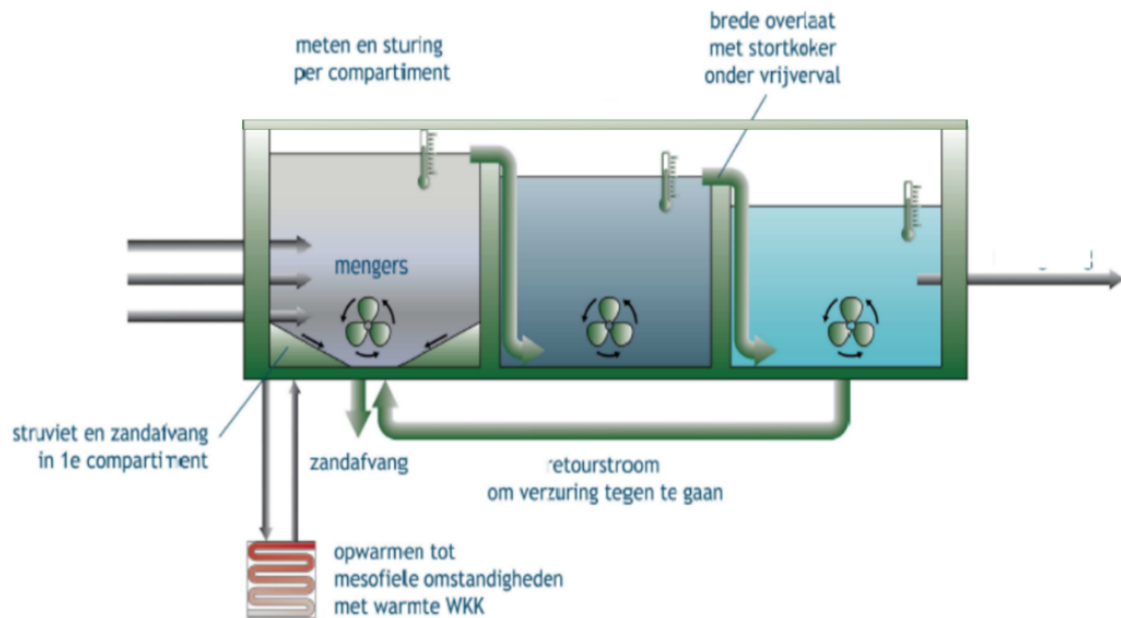
Sinds 2010 is er bij de waterschappen een hernieuwde aandacht voor slibgisting om zo de energieneutraliteit te vergroten, potentiële grondstoffen terug te winnen, en de kosten voor slibverwerking te verlagen. Royal HaskoningDHV heeft in dit kader de Ephyra® en Themista® ontwikkeld. Ephyra® wordt sinds november 2017 op praktijkschaal op de rwzi Tollebeek toegepast. Themista® wordt op de rwzi Kralingseveer toegepast.

Als onderdeel van de introductie, optimalisatie, kennisvergaring en de kennisverspreiding van de Ephyra® technologie is aan de praktijkinstallatie van Tollebeek aanvullend demonstratieonderzoek verricht. Dit rapport omschrijft de resultaten van het verrichte demonstratie onderzoek.

EPHYRA® TECHNOLOGIE

De Ephyra® technologie is in de basis het toepassen van 2, 3 of 4 reactoren in serie. Door toepassen van de serieschakeling is er (hydraulisch) een verschuiving van een volledig gemengde reactor naar een propstroomconfiguratie. Kenmerkend voor Ephyra® is de recirculatiestroom van de laatste naar de eerste reactor, en het gegeven dat korte verblijftijden - tot 6 à 8 dagen - kunnen (maar niet hoeven) worden toegepast. Het Ephyra® principe is in Figuur 1 weergegeven.

FIGUUR 1 PRINCIPE EPHYRA® TECHNOLOGIE



ONDERZOEKSPROGRAMMA

Het programma bestond uit de volgende metingen/testen verricht aan steekmonsters van verschillende slibben op Tollebeek.

- Primair en spuislib Tollebeek, extern slib Lelystad, slib van de Ephyra® compartimenten en navergister
 - Droge stof en organische droge stof metingen: prestatie gisting, karakterisatie afbraak

- CZV totaal en opgelost en vetzuren: prestatie gisting, karakterisatie afbraak
- NKj en PO₄-P: balansen en karakterisatie afbraak
- Viscositeit
- EPS
- Microbiële analyse
- Uitgegist Slib Ephyra® en navergister
 - Restvergistbaarheid
 - Ontwateringseigenschappen.

PRESTATIE SLIBGISTING TOLLEBEEK 2017 – 2020

De prestatie van de slibgisting is samengevat in Tabel 1. De gemiddelde ODS afbraak was 50-60%. Circa 75-80% hiervan werd in Ephyra® afgebroken. De overige 20-25% in de navergister. De verblijftijd in Ephyra® was gemiddeld 7,5 dag en varieerde van 6 tot 9 dagen. Een verblijftijd van 7,5 dag wordt in een conventionele gisting niet toegepast omdat de gisting dan instabiel is. De totale verblijftijd in de Ephyra® plus navergister was gemiddeld 17,5 dag. Voor een conventionele gisting zou bij een verblijftijd van 17,5 dag en gegeven de slibsaamenstelling op Tollebeek, een ODS afbraak van ca 40 tot 45 % worden verwacht. Dit is aanzienlijk lager dan de gemeten prestatie op Tollebeek.

TABEL 1

BEDIJFSVOERING EN PRESTATIE SLIBGISTING TOLLEBEEK (2017-2020)

parameter		waarde	eenheid
Ephyra®	verblijftijd	6 – 9	dag
	belasting	4 – 7	kg ODS/m ³ .d
Ephyra® + navergister	verblijftijd	14 - 21	dag
	belasting	2-4	kg ODS/m ³ .d
slibsamenstelling ingaand slib			
Primair slib :secundair slib		30:70 tot 50:50	[-]
rendementen			
Ephyra®	DS	30 – 40	%
	ODS	40 - 50	%
Ephyra® + navergister	DS	40 – 47	%
	ODS	50 -60	%
Biogas	Ephyra	4.109	m ³ /d
	navergister	806	m ³ /d

RESULTATEN ONDERZOEK

De belangrijkste resultaten van het verrichtte demonstratie onderzoek zijn:

- Er zijn slechts geringe verschillen waargenomen tussen de 3 compartimenten van Ephyra®. Ook de microbiële analyse gaf aan dat de slibsaamenstelling in de drie compartimenten vergelijkbaar was. Dit is in tegenspraak met eerder verricht pilot onderzoek en labonderzoek bij de TU-Delft waar wel verschillen zijn gevonden. Het waargenomen geringe verschil in de drie compartimenten op Tollebeek hangt mogelijk samen met een zekere natuurlijke recirculatie die optreedt vanwege de aanwezigheid van “gaten” in de muren tussen de 3 compartimenten. De mate waarin deze recirculatie plaatsvindt is echter onbekend. In hoeverre de Ephyra® reactor op Tollebeek zich als een propstroomreactor gedroeg is dan ook niet eenduidig aan te geven.
- De gemeten afbraak en biogasproductie aan de praktijkinstallatie voor zowel Ephyra® als de navergister komen goed overeen met de resultaten uit het verleden op zowel lab en pilotschaal. De gemiddelde DS en ODS afbraak is zoals ook gegeven in Tabel 1. De gemeten CZV afbraak kwam hiermee overeen.
- De gemeten verdeling in afbraak van DS, ODS en CZV is bij benadering:

- | | | |
|--|--------------|-----|
| - Na het eerste compartiment van Ephyra [®] | % van totaal | 65 |
| - Na het tweede compartiment van Ephyra [®] | % van totaal | 70 |
| - Na het derde compartiment van Ephyra [®] | % van totaal | 75 |
| - Na de navergister | % van totaal | 100 |
- Het bleek niet mogelijk een goed onderscheid te maken tussen de mate waarin de verschillende slibsoorten (primair en spuislibben) afbreken.
 - De gemeten omzettingssnelheden zijn hoog in het eerste compartiment van Ephyra[®] (6-7 kg ODS/m³.d). In de overige delen van Ephyra[®] en de navergister zijn de snelheden aanzienlijk lager (circa 0,5 kg ODS/m³.d). Gelet op de gehele installatie (verblijftijd 17,5 dag) was de omzettingssnelheid ca 1,3 tot 1,5 kg ODS/m³.d. Voor een conventionele installatie met eenzelfde verblijftijd zou een snelheid van 0,9 à 1,1 kg ODS/m³.d. worden verwacht.
 - Het verder vergisten van slib na Ephyra[®] in de navergister leidt niet tot beter ontwaterbaar slib. De ontwateringseigenschappen voor slib na Ephyra[®] en de navergister was vergelijkbaar.
 - Zowel bij Ephyra[®] vergist slib en uitgegist slib na de navergister was een restvergistbaarheid aanwezig. Deze is na de navergister wel sterk (met meer dan 50%) afgenomen.

CONCLUSIE

- Het demonstratie onderzoek heeft de goede, stabiele werking van Ephyra[®] technologie bevestigd. Verwijderingsrendementen na Ephyra[®] en de navergister waren in overeenstemming met eerdere resultaten en conform verwachtingen. Wel bleek de verschillen tussen de drie Ephyra[®] compartimenten veel geringer dan verwacht.
- Voor nieuwe Ephyra[®] systemen wordt voor het ontwerp uitgegaan van een verblijftijd van 6 tot 15 dagen. De gekozen verblijftijd is hierbij project specifiek. Een langere verblijftijd kan hierbij worden uitgevoerd door na de Ephyra[®] een navergister te plaatsen zoals in Tollebeek en Sleeuwijk. Een andere optie is om de verblijftijd van de Ephyra[®] vergister zelf te verhogen.

DE STOWA IN HET KORT

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

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

DEMONSTRATIE ONDERZOEK EPHYRA TOLLEBEEK

INHOUD

	SAMENVATTING DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	EPHYRA® TECHNOLOGIE	2
3	EPHYRA® PRAKTIJK ONDERZOEK TOLLEBEEK	4
	3.1 Ephyra® installatie op Tollebeek	4
	3.2 Onderzoeksopzet	4
4	RESULTATEN ONDERZOEK	6
	4.1 Prestatie slibgisting Tollebeek 2018 – 2020	6
	4.1.1 2018	6
	4.1.2 2019-2020	9
	4.2 Analyses en metingen aan slibgisting Tollebeek	11
	4.2.1 Drogestof (DS) en organische drogestof (ODS)	11
	4.2.2 CZV	16
	4.2.3 Vetzuren	19
	4.2.4 Stikstof en fosfaat	20
	4.2.5 EPS	22
	4.2.6 Restvergistbaarheid	24
	4.2.7 Slibviscositeit	24
	4.2.8 Slib Ontwateringseigenschappen	26
	4.2.9 Microbiële slibanalyse	27
4.3	Evaluatie resultaten onderzoek	27

5	CONCLUSIES	29
BIJLAGE A1	RESULTATEN DS EN ODS METINGEN	30
BIJLAGE A2	RESULTATEN CZV, N EN P METINGEN	31
BIJLAGE A3	RESULTATEN VETZUURMETINGEN	32
BIJLAGE A4	RESULTATEN EPS	35
BIJLAGE A5	RESULTATEN VISCOSITEITSMETINGEN	36
BIJLAGE A6	RESULTATEN RESTVERGISTBAARHEID	37
BIJLAGE A7	RESULTATEN SLIBONTWATERINGSEIGENSCHAPPEN	38
BIJLAGE A8	RESULTATEN MICROBIËLE SLIBANALYSE	39

1

INLEIDING

De ontwikkeling van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) tot Energie en Grondstoffenfabriek (EFGF) heeft geleid tot een nieuwe interesse in slibgisting en slibverwerking. Om de EFGF-doelstellingen te verwezenlijken is behoefte aan nieuwe, innovatieve slibtechnologieën zoals Ephyra[®], Themista[®], Thermische Druk Hydrolyse (TDH) en thermofiele gisting. Een belangrijk doel bij deze nieuwe technologieën zijn meer slibafbraak en meer biogasproductie in een robuuste en kosteneffectieve installatie.

Ephyra[®] is een door Royal HaskoningDHV ontwikkelde technologie die gestart is in 2010. Na uitgebreid lab- en pilotonderzoek is in 2017 de eerste Ephyra[®] praktijkinstallatie op Tollebeek gerealiseerd. Deze installatie is in november 2017 in bedrijf genomen.

Als onderdeel van de introductie, optimalisatie, kennisvergaring en de kennisverspreiding van de Ephyra[®] technologie wordt aan de praktijkinstallaties aanvullend demonstratieonderzoek verricht. Dit rapport omschrijft de resultaten van het verrichte demonstratieonderzoek op Tollebeek.

Hoofdstuk 2 geeft een uitgebreide beschrijving van de Ephyra[®] technologie. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het verrichte onderzoek. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten gegeven van het onderzoek. In hoofdstuk 5 worden de belangrijkste conclusies samengevat.

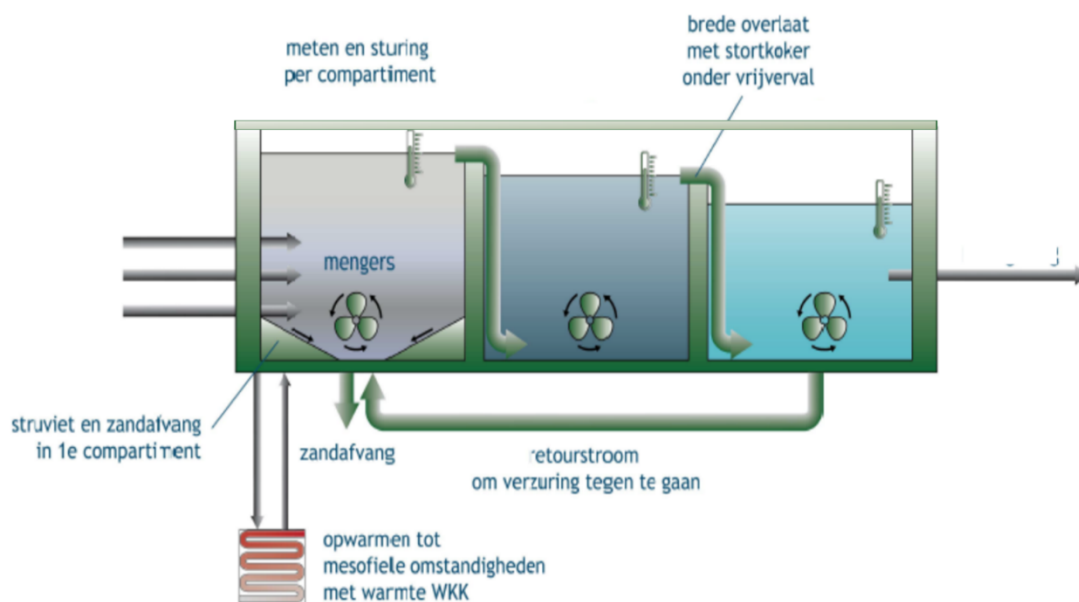
2

EPHYRA[®] TECHNOLOGIE

Het Ephyra[®] concept is afgeleid van de verticale propstroomvergisting die in Duitsland wordt toegepast. Het oorspronkelijke Duitse concept is technisch en regeltechnisch aangepast, en verder geoptimaliseerd om de systeemstabiliteit, robuustheid, bedrijfsvoering, onderhoud en de systeemprestaties verder te verbeteren.

Het technologisch principe van het Ephyra[®] concept bestaat uit een aantal in serie geschakelde reactoren (zie Figuur 2). Hierdoor ontstaat een propstroomkarakter in plaats van een volledige gemengde reactor zoals die doorgaans bij slibgisting wordt toegepast.

FIGUUR 2 PRINCIP EPHYRA[®]. HIER BESTAAT EPHYRA[®] UIT 3 REACTOREN IN SERIE DIE ALS 3 COMPARTIMENTEN IN 1 TANK IS UITGEVOERD

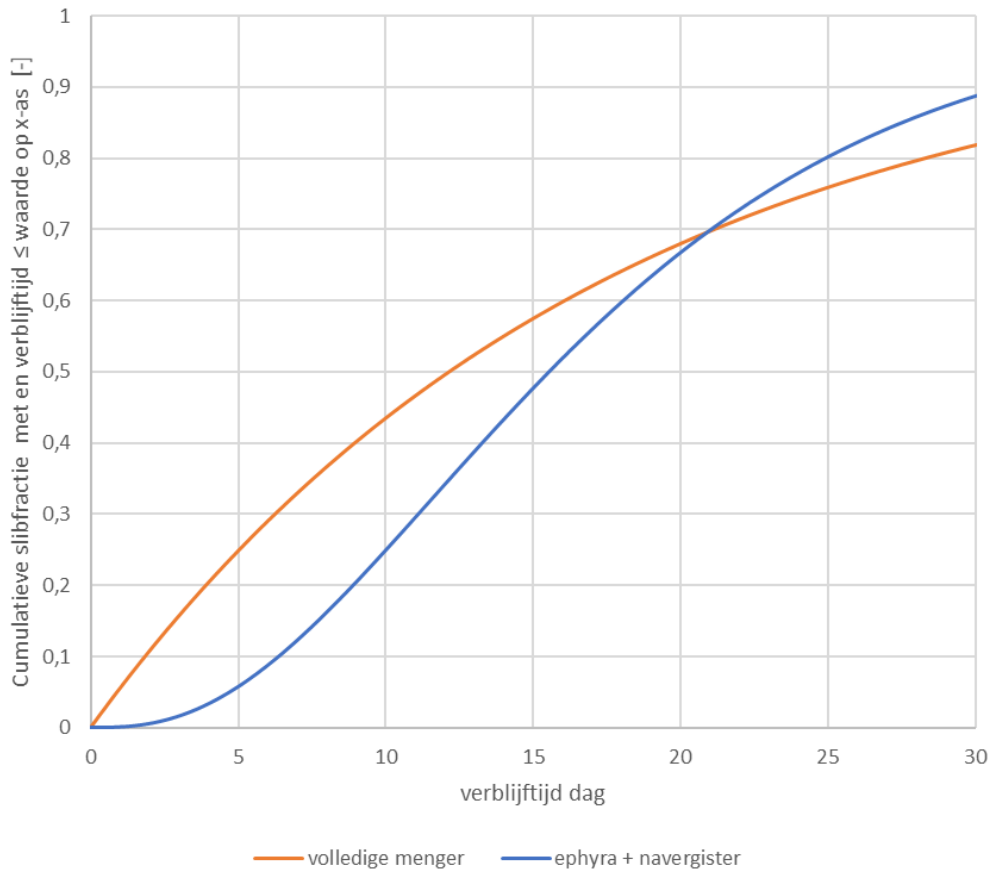


Het aantal reactoren in serie dat bij Ephyra[®] wordt toegepast is, afhankelijk van de specifieke locatie, 2 tot 4. Bij Ephyra[®] systemen kunnen indien gewenst ook korte verblijftijden tot gemiddeld 6,5 – 7,5 dagen worden toegepast. De gekozen ontwerpverblijftijd is afhankelijk van de specifieke locatie. Ook kan Ephyra[®] worden gevolgd door een nagisting om zo een nog verdergaande slibafbraak te realiseren. De keuze hiervoor is wederom locatie-specifiek.

Door het propstroomkarakter van Ephyra[®] zijn er minder kortsluitstromingen dan bij een volledig gemengde reactor. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3. Hieruit blijkt dat bij een volledige menger een aanzienlijke grotere fractie van het slib een kortere verblijftijd heeft dan voor de Ephyra[®] configuratie. Met name slib met een korte verblijftijd kan gezien worden als een kortsluitstroming. Het resultaat dat er bij Ephyra[®] minder kortsluitstromingen optreden is dat in Ephyra[®] meer slibafbraak plaatsvindt.

FIGUUR 3

VERBLIJFTIJDSSPREIDING IN EEN VOLLEDIG GEMENGDE REACTOR EN EEN EPHYRA® VERGISTER INCLUSIEF NAVERGISTER WAARBIJ DE THEORETISCHE VERBLIJFTIJD (VOLUME/DEBIET) 17,5 DAGEN BEDRAAGT. OP DE Y-AS STAAT DE CUMULATIEVE SLIBFRACTIE DIE EEN VERBLIJFTIJD HEEFT GELIJK OF KORTER DAN DE OVEREENKOMSTIGE WAARDE OP DE X-AS



Hiernaast is de hypothese dat door toepassing van in serie geschakelde reactoren met een korte verblijftijd, de verschillende stappen van het gistingproces gescheiden van elkaar plaatsvinden. Bij de traditionele volledig gemengde gisting verlopen de verschillende deelprocessen gelijktijdig, en is er sprake van suboptimale condities voor elk deelproces. Met de gekozen propstroomconfiguratie bij Ephyra® is er minder onderlinge beïnvloeding van de deelprocessen, waardoor het mogelijk is de deelprocessen onafhankelijk van elkaar te optimaliseren. Het resultaat is dan een hogere slibafbraak en biogasproductie.

3

EPHYRA[®] PRAKTIJK ONDERZOEK TOLLEBEEK

3.1 EPHYRA[®] INSTALLATIE OP TOLLEBEEK

De slibgisting op Tollebeek bestaat uit een in 2017 gerealiseerde Ephyra[®] vergister en een oudere bestaande vergister die nu dienst doet als navergister. De Ephyra[®] vergister heeft een volume van 1.500 m³ en bestaat uit 3 in serie geschakelde compartimenten van ieder 500 m³, gebouwd als taartpunten in één tank. Ieder compartiment wordt mechanisch gemengd en is voorzien van een niveaumeting, een temperatuurmeting, en een pH meting. De drie compartimenten hebben een gezamenlijke gasdome voor de aflat van biogas. Ephyra[®] vergist slib wordt naar de navergister gepompt. Dit is de oude bestaande vergister op Tollebeek met een volume van 2000 m³. Vanuit de navergister wordt het slib opgeslagen in een slibbuffer. Vanuit hier wordt het ontwaterd met een schroefpers en opgeslagen in een slibsilo.

3.2 ONDERZOEKSOPZET

Het demonstratieonderzoek richtte zich - naast het verder volgen van de prestatie van Ephyra[®] - op:

- Karakteriseren Ephyra[®] compartimenten en navergister
- Karakteriseren van de slibafbraak
- Vaststellen restvergistbaarheid
- Slibviscositeit
- Slibontwateringseigenschappen

Het doel was om de resultaten van de onderzoeken om te zetten naar ontwerpcriteria en – parameters, en om mogelijke optimalisaties van de bedrijfsvoering na te gaan. Naast verblijftijd en belasting is ook de fractie slibafbraak van primair en secundair slib een belangrijke parameter bij het ontwerp, om zo de voorspelde slibafbraak en biogasproductie goed te kunnen vaststellen. Aangezien de ratio primair-secundair slib sterk kan variëren kan ook de biogasproductie en mate van slibafbraak sterk variëren. Door de slibafbraak algemeen, per compartiment en in de navergister te karakteriseren kan mogelijk een voorspelling over de slibafbraak worden gegeven inclusief waar deze afbraak plaatsvindt. Bij toepassen van Ephyra[®] kan ook een navergister worden toegepast om het slib verder af te breken en extra biogas te produceren. Het is nog onduidelijk wat de gewenste of optimale afmetingen (verblijftijd) van een navergister zijn. Om hierop antwoord te krijgen kan de restvergistbaarheid van uitgest Ephyra en navergister slib worden getest. Naast de potentiële restvergistbaarheid is hierbij ook van belang hoe snel dit restant wordt vergist; dit bepaalt mede de gewenste verblijftijd in een eventuele navergister. Verder is het van belang de ontwaterbaarheid van het slib in relatie tot de gistingstijd te bepalen. Ook dit zal de gewenste verblijftijd van de navergister of een Ephyra[®] vergister mede bepalen. Een belangrijk aspect bij ontwerp van slibgisting en Ephyra[®] is de menging en warmte-inbreng om de gisting op temperatuur te houden. Het benodigde mengvermogen en type menging en de warmtewisselaar karakteristieken om de gisting te verwarmen zijn afhankelijk van de viscositeit van het slib. Omdat de mate van slibafbraak door de verschillende Ephyra[®] compartimenten anders is zal ook de slibviscositeit anders zijn. Het meten van de viscositeit geeft informatie

over de relatie tussen mate van slibafbraak (DS concentratie) en viscositeit voor een conventionele- en een Ephyra® gisting.

Om bovengenoemde punten te onderzoeken zijn de volgende metingen/testen verricht aan steekmonsters van de volgende slibben:

- Primair slib, spuislib Tollebeek, extern slib Lelystad, slib Ephyra® compartimenten en navergister
 - Droge stof en organische droge stof metingen: prestatie gisting, karakterisatie afbraak
 - CZV totaal en opgelost en vetzuren: prestatie gisting, karakterisatie afbraak
 - NKj en PO₄-P: balansen en karakterisatie afbraak
 - Viscositeit
 - EPS
 - Microbiële analyse
- Uitgelist Slib Ephyra® en navergister
 - Restvergistbaarheid
 - Ontwateringseigenschappen.

4

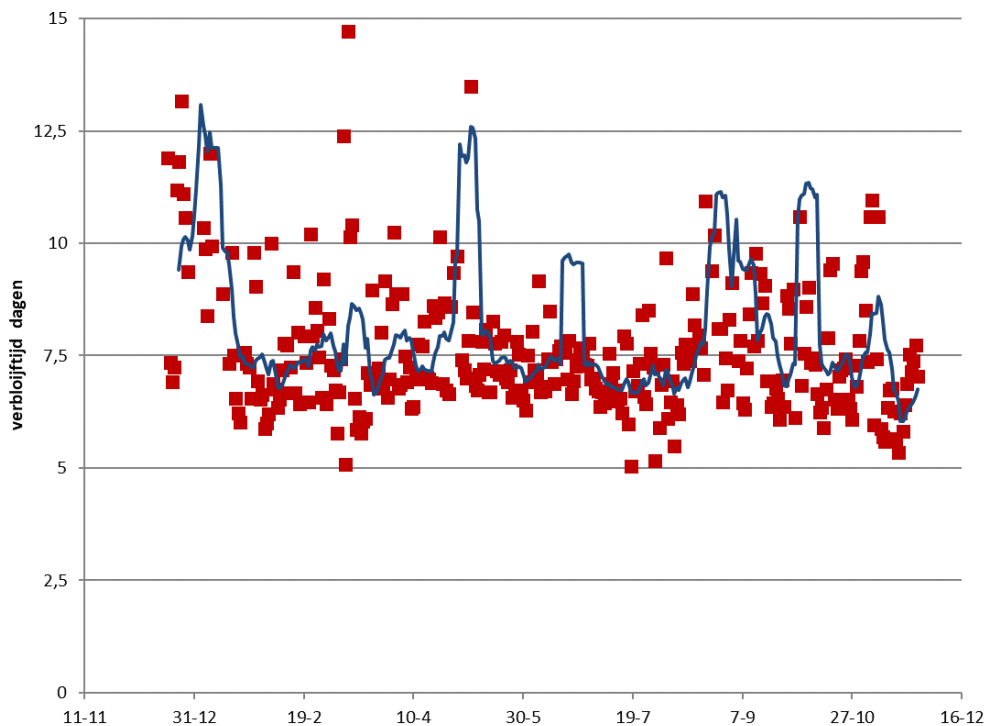
RESULTATEN ONDERZOEK

4.1 PRESTATIE SLIBGISTING TOLLEBEEK 2018 – 2020

4.1.1 2018

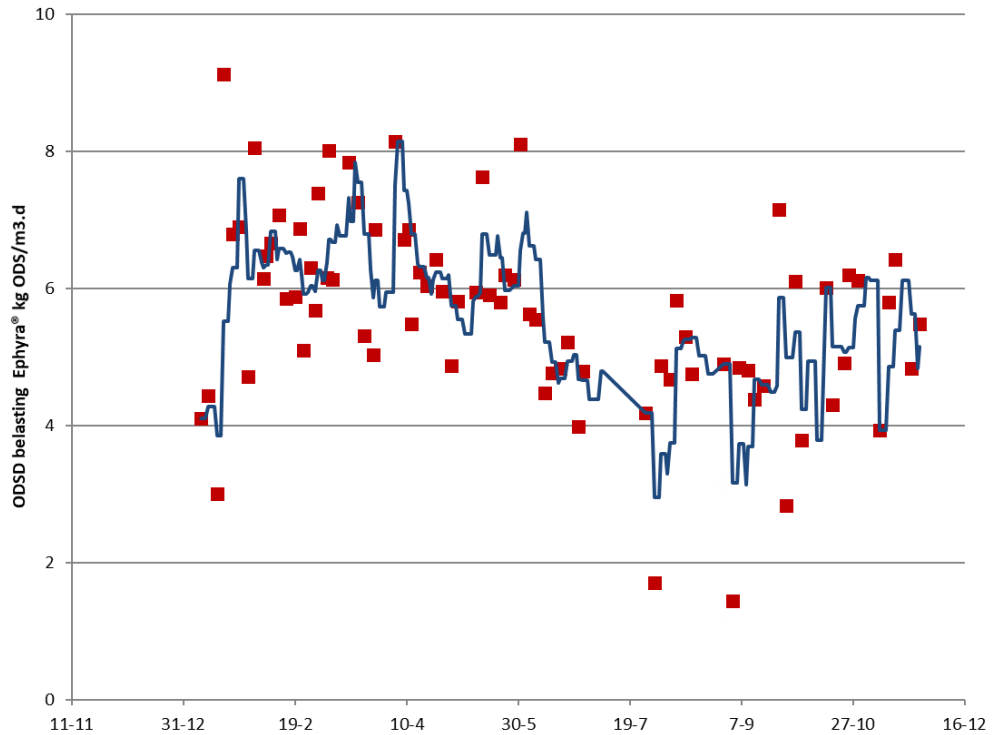
De Ephyra® gisting op Tollebeek is in november 2017 opgestart met primair- en secundair slib van de zuivering van Tollebeek. Hierbij werd Ephyra® vanaf de eerste dag volledig belast. Vanaf januari 2018 werd de gisting ook gevoed met extern slib uit Lelystad. De verblijftijd in de Ephyra® gisting in 2018 is gegeven in Figuur 4.

FIGUUR 4 VERBLIJFTIJD IN EPHYRA® REACTOR IN 2018 PER DAG IN ROOD. DE BLAUWE LIJN IS HET VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELDE VAN 10 WAARNEMINGEN. DAAR WAAR HET GEMIDDELDE HOGER IS DAN INDIVIDUELE WAARDEN KOMT DIT DOORDAT HIER OOK WAARDES WAREN HOGER DAN 15 DAGEN

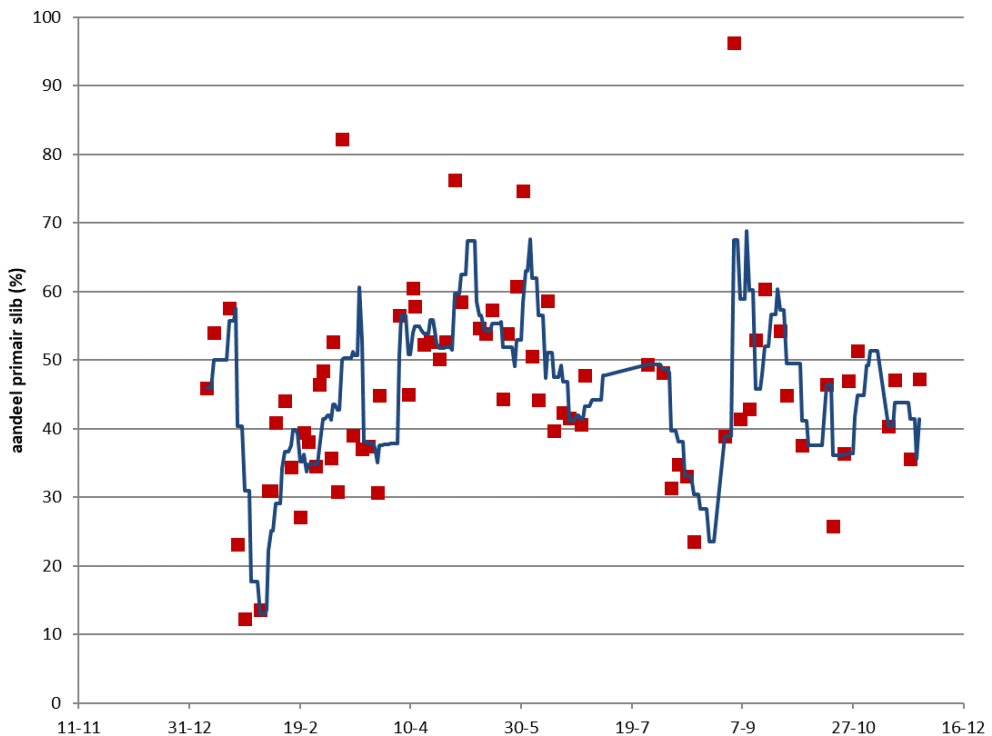


De gemiddelde verblijftijd in 2018 was circa 7,8 dag. Inclusief de navergister wordt dit 18,4 dag. De organische stof (ODS) belasting in Ephyra® (gemiddelde waarde 5,8 kg ODS/m³.d) is gegeven in Figuur 5. Het aandeel primair slib (op basis van kg DS) in het te vergisten slib is gegeven in Figuur 6. Het gemiddeld aandeel was 45,5%.

FIGUUR 5 ORGANISCHE DROGESTOF (ODS) BELASTING EPHYRA® 2018. DE BLAUWE LIJN IS HET VOORTSCHRJDEND GEMIDDELDE VAN 10 WAARNEMINGEN

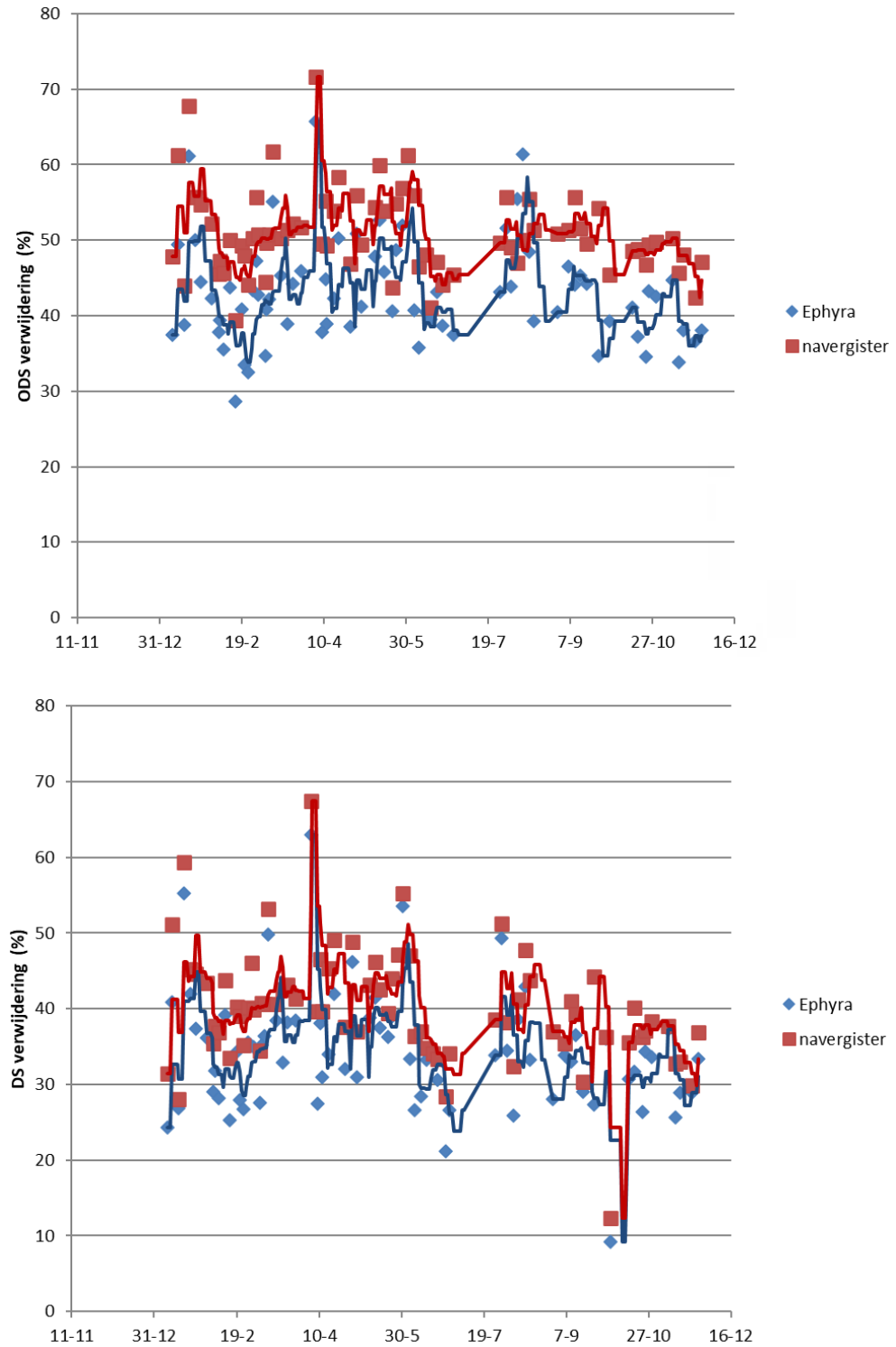


FIGUUR 6 AANDEEL PRIMAIR SLIB (OP BASIS VAN TONNEN DS) IN SLIBTOEVOER NAAR EPHYRA®. DE BLAUWE LIJN IS HET VOORTSCHRJDEND GEMIDDELDE VAN 10 WAARNEMINGEN



De prestatie van Ephyra® is aan de hand van de ODS verwijdering gegeven in Figuur 7. Hierbij is ook aangegeven wat de ODS verwijdering is na de navergister (Ephyra® + navergister).

FIGUUR 7 ODS EN DS VERWIJDERING NA EPHYRA® EN NA DE NAVERGISTER. DE LIJNEN ZIJN DE VOORTSCHRIJDENDE GEMIDDELDE VAN 10 OPEENVOLGENDE WAARNEMINGEN



De gemiddelde DS en ODS verwijdering in Ephyra[®] bedroeg respectievelijk 34,5 en 43,5%. Na de navergister was dit 40 en 51%. Het aandeel van Ephyra[®] in de totale slibafbraak en biogasproductie bedroeg gemiddeld:

- DS verwijdering 86%
- ODS-verwijdering 85%
- Biogas productie 82%

De massabalans over het systeem op basis van gemiddelde gemeten waardes in 2018 is als volgt:

• Aanvoer Ephyra [®]	primair slib	5.004 kg DS/d	4.063 kg ODS/d
•	spuislib	3.105 kg DS/d	2.067 kg ODS/d
•	extern slib	3.179 kg DS/d	2.253 kg ODS/d
•	totaal	11.209 kg DS/d	8.564 kg ODS/d
• Uitgegist slib Ephyra [®]		7.140 kg DS/d	4.712 kg ODS/d
• Uitgegist slib navergister		6.512 kg DS/d	4.153 kg ODS/d
• Biogas Ephyra [®]		3.910 m ³ /d	
• Biogas navergister		895 m ³ /d	

Op basis van het geproduceerde biogas en uitgaande van 1,6 g CZV/g ODS is de berekende omzetting in Ephyra[®] 4.190 kg ODS/d en in de navergister 960 kg ODS/d. De gemeten omzetting bedraagt 3.852 en 653 kg ODS/d. De berekende waarden zijn hoger. Dit hangt waarschijnlijk samen met de gehanteerde CZV waarde van de organische stof in het slib. De resultaten in de praktijkinstallatie in 2018 stemmen goed overeen met de eerdere resultaten in een op Tollebeek uitgevoerde pilot studie zoals gerapporteerd in het rapport “Toepassing van nieuwe gistingconcepten Ephyra[®] en Themista[®], STOWA 2016-34”

4.1.2 2019-2020

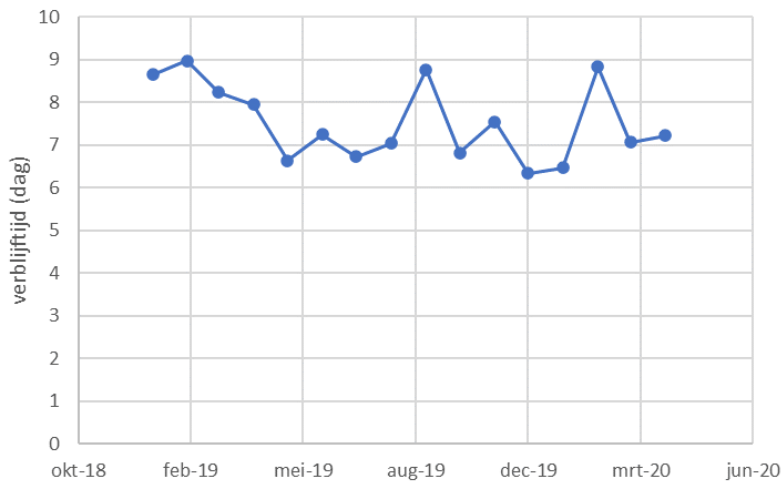
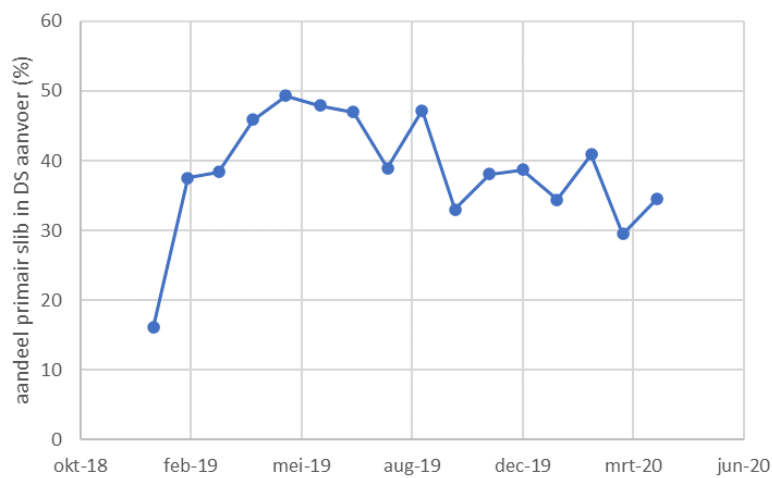
De resultaten in 2019 en 2020 zijn gegeven in de Figuur 8, Figuur 9 en Figuur 10. De resultaten zijn in overeenstemming met de resultaten van 2018. Samenvattend is de prestatie van de gisting op Tollebeek:

- Verblijftijd Ephyra[®] 6,5 tot 9 dagen
- DS verwijdering in Ephyra[®] 37,5%. Na de navergister wordt dit 44%.
- Percentage DS afbraak in Ephyra[®] is 85% van het totaal. Biogasproductie is 84% van het totaal.

Een samenvatting van de bedrijfsvoering en de prestatie van de Ephyra[®] is gegeven in Tabel 2.

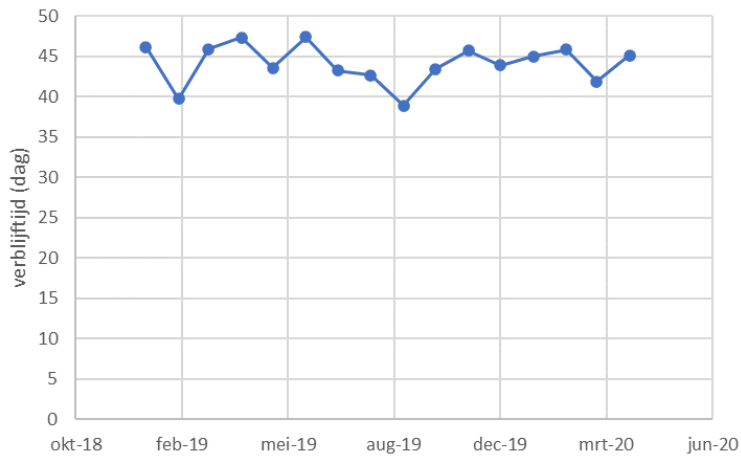
TABEL 2 **BEDRIJFSVOERING EN PRESTATIE SLIBGISTING TOLLEBEEK (2017-2020)**

parameter		waarde	eenheid
Ephyra®	verbliftijd	6 – 9	dag
	belasting	4 – 7	kg ODS/m ³ .d
Ephyra® + navigister	verbliftijd	14 – 21	dag
	belasting	2-4	kg ODS/m ³ .d
slibsamenstelling ingaand slib			
Primair slib :secundair slib		30:70 tot 50:50	[-]
rendementen			
Ephyra®	DS	30 – 40	%
	ODS	40 – 50	%
Ephyra® + navigister	DS	40 – 47	%
	ODS	50 -60	%
Biogas	Ephyra	4.109	m ³ /d
	navigister	806	m ³ /d

FIGUUR 8 **MAANGEMIDDELTE VERBLIJFTIJD IN EPHYRA® (DAGEN)**FIGUUR 9 **MAANGEMIDDELTE AANDEEL PRIMAIR SLIB (OP BASIS VAN TONNEN DS) IN SLIBTOEVOER NAAR EPHYRA®**

FIGUUR 10

MAANDGEMIDDELTE DS AFBRAAK GEMETEN NA DE NAVERGISTER



De ODS afbraak in de gisting op Tollebeek bedroeg 40 tot 50% na Ephyra® (verblijftijd 7,5 dag) en 50 tot 60% na de naverregister (verblijftijd 17,5 dag). Voor een conventionele gisting zou bij een verblijftijd van 17,5 dagen en gegeven de slibsamenvorming op Tollebeek, een ODS afbraak van ca 40 tot 45 % worden verwacht.

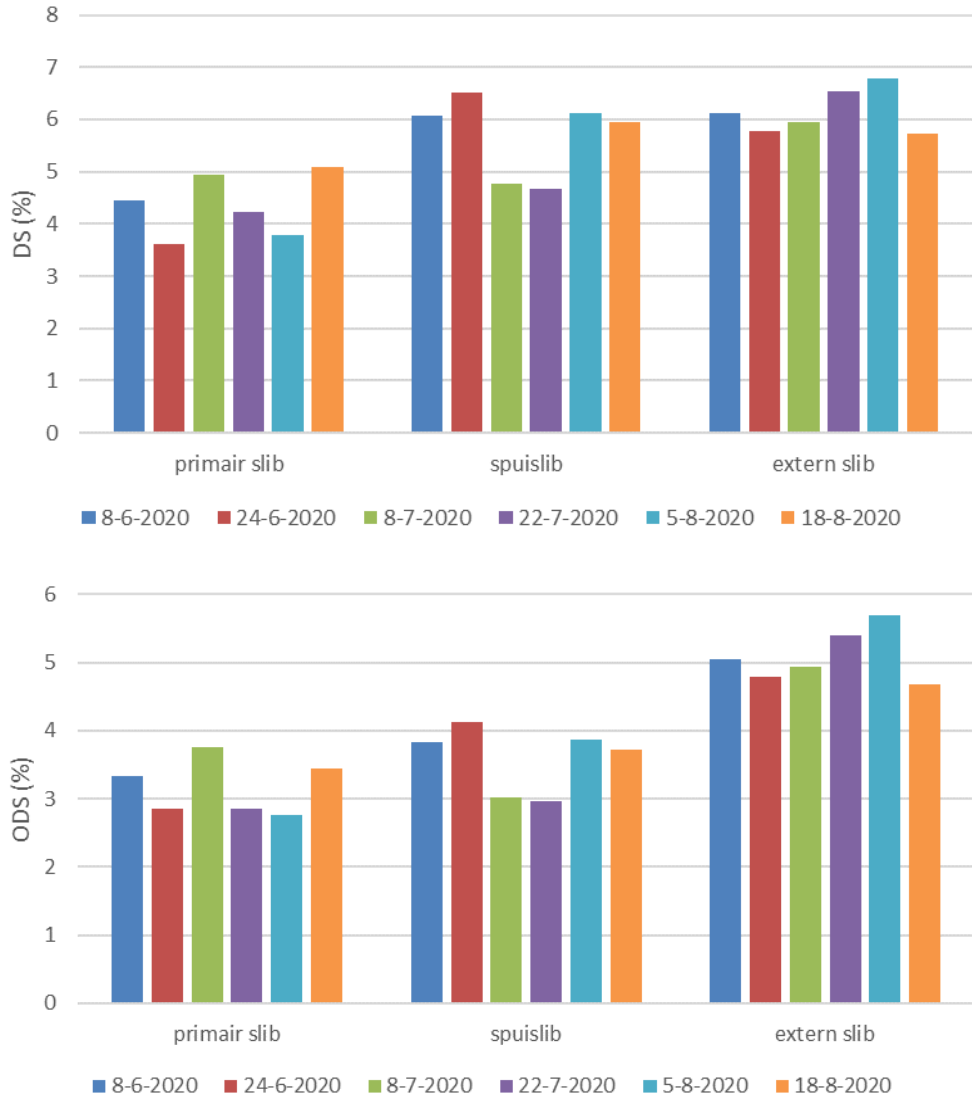
4.2 ANALYSES EN METINGEN AAN SLIBGISTING TOLLEBEEK

4.2.1 DROGESTOF (DS) EN ORGANISCHE DROGESTOF (ODS)

Op 8 juni, 24 juni, 7 juli, 22 juli, 5 augustus en 18 augustus 2020 zijn er monsters genomen van de slibtoevoer, de Ephyra® compartimenten en uitgegist slib van de naverregister. De resultaten zijn gegeven in Figuur 11 en Figuur 12.

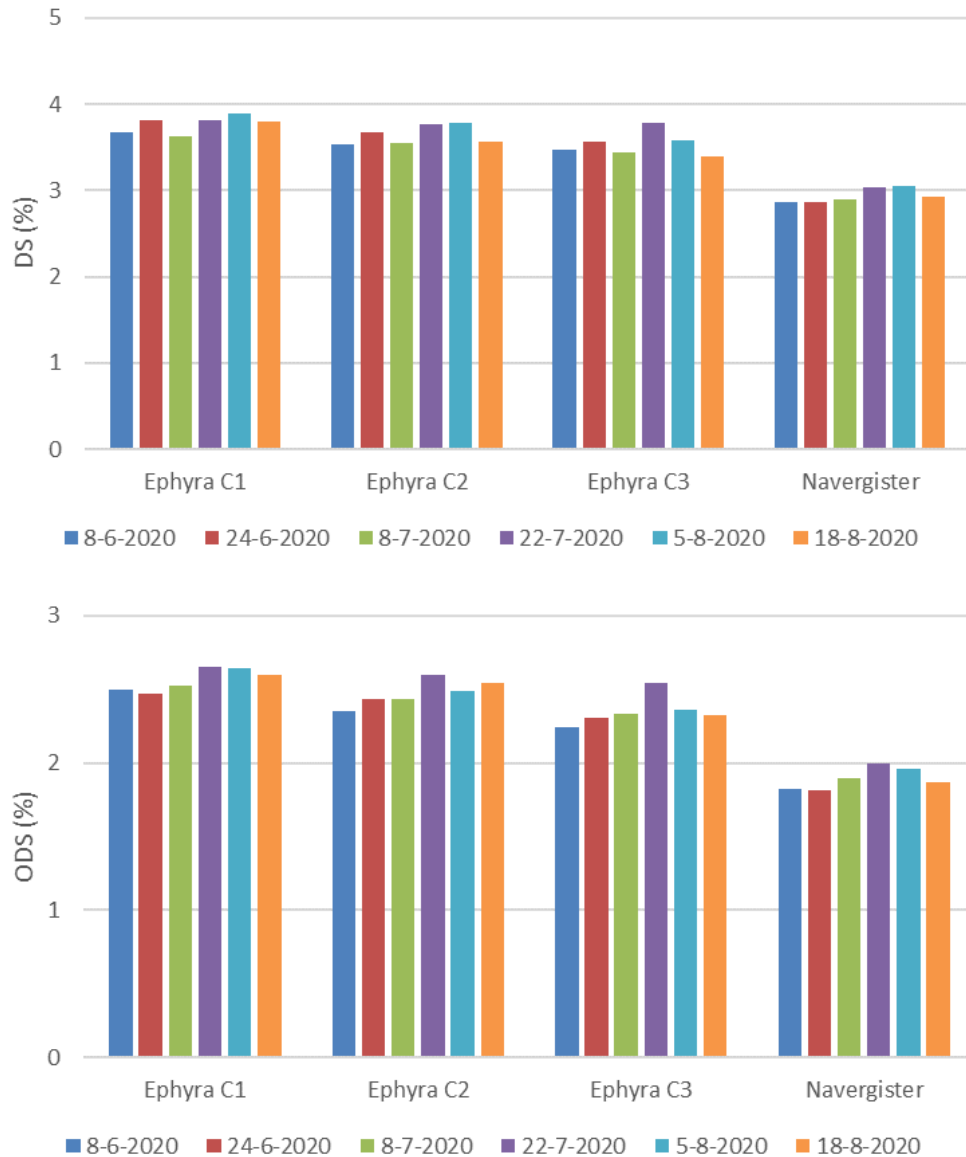
FIGUUR 11

DS EN ODS CONCENTRATIES IN SLIBTOEVOER EPHYRA® PRIMAIR EN SPUISLIB TOLLEBEEK EN EXTERN SLIB LELYSTAD



FIGUUR 12

DS EN ODS CONCENTRATIES IN EPHYRA® COMPARTIMENTEN (C1, C2 EN C3) EN NA DE NAVERGISTER (NV)

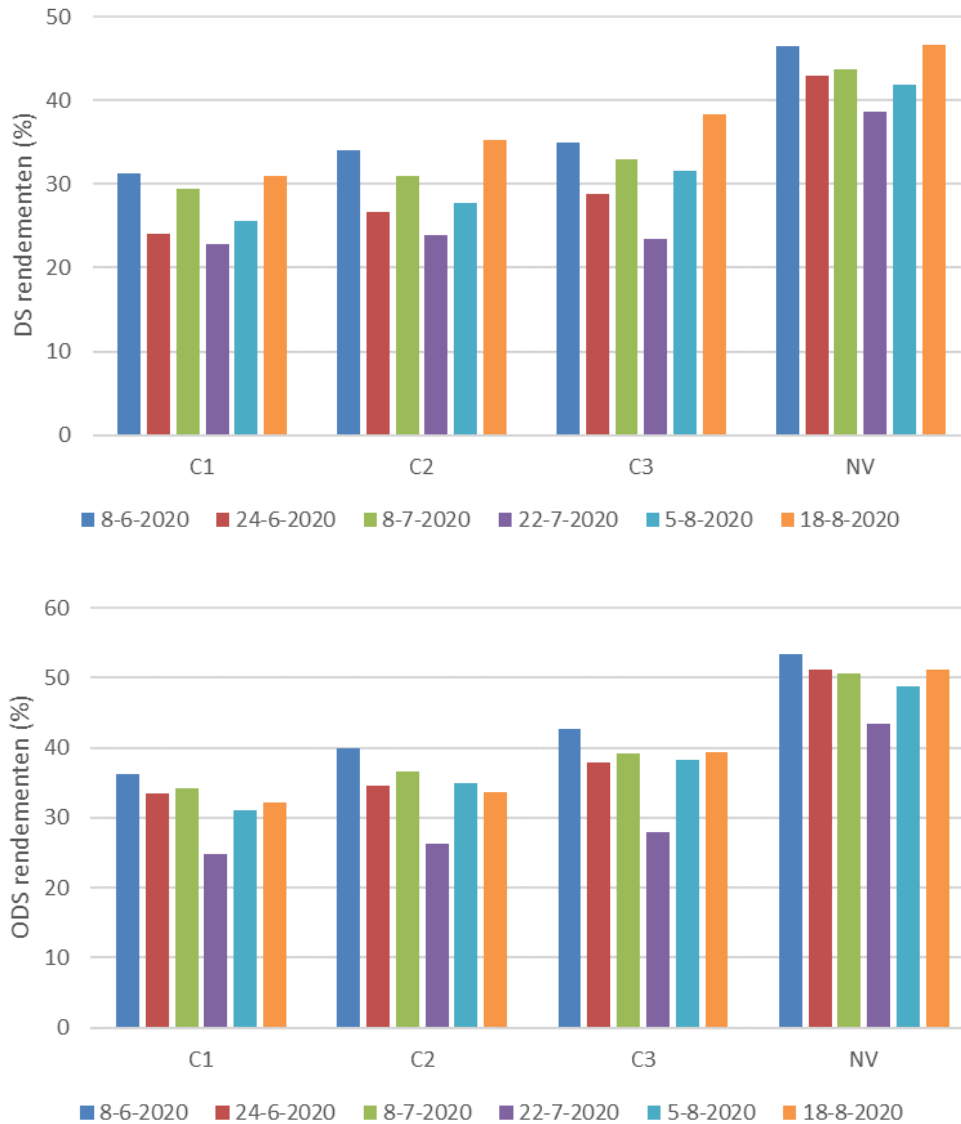


Opvallend zijn de lagere DS concentraties in het spuislib van Tollebeek op 8 en 22 juli, aangezien dit slib ingedikt is met een bandindikker. Ook is de concentratie afname over de 3 Ephyra® compartimenten gering. Dit is ook terug te zien in de berekende verwijderingsrendementen (zie Figuur 13).

Het waargenomen geringe verschil in de drie compartimenten C1, C2 en C3 in Ephyra® hangt mogelijke samen met een zekere natuurlijke recirculatie vanwege de aanwezigheid van "gaten" in de muren tussen de 3 compartimenten. De mate waarin deze recirculatie plaatsvond is echter onbekend.

FIGUUR 13

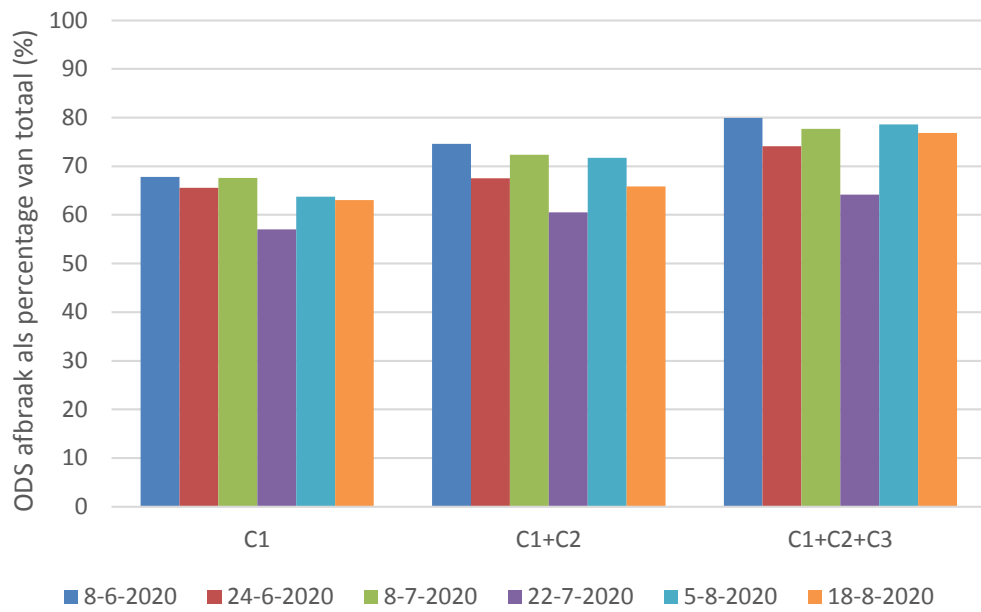
DS EN ODS VERWIJDERINGSRENDEMENTEN IN EPHYRA® (NA C1, C2 EN C3) EN NA DE NAVERGISTER (NV)



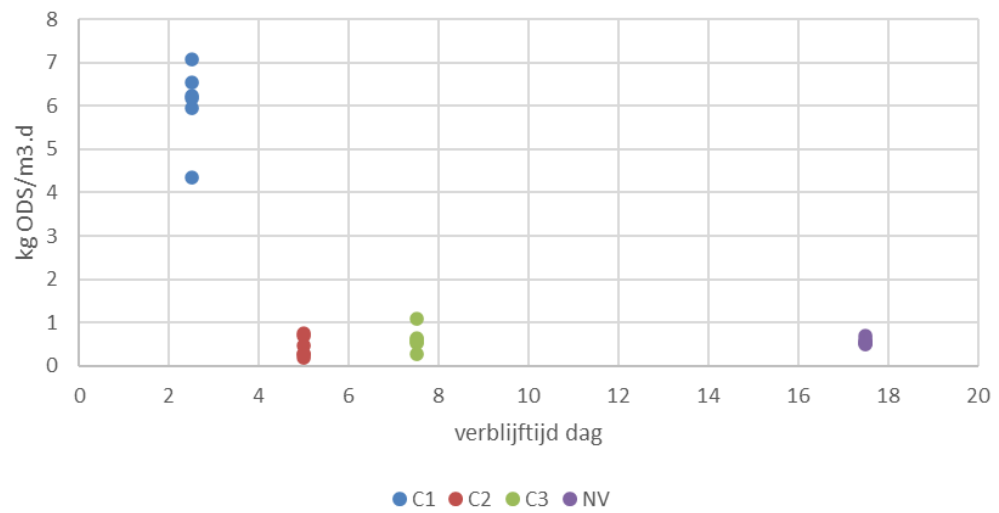
Het aandeel van de 3 Ephyra® compartimenten in de totaalafbraak is geïllustreerd in Figuur 14. Hieruit blijkt dat al in het eerste compartiment – dus na 2,5 dag verblijftijd – al ca 65% van de totale ODS afbraak is gerealiseerd. Na de gehele Ephyra® (7,5 dag verblijftijd) is dit toegenomen tot ca 75%. Dit is eigenlijk een geringe toename van ca 2% ODS afbraak per dag verblijftijd. De overige 25% wordt verwijderd in de navergister; gelet op de verblijftijd is dit circa 2,5 % ODS per dag verblijftijd. De gemeten 75% is iets lager dan het gemiddelde in 2019-2020.

Vanuit de rendementen en de belasting kan de ODS omzettingssnelheden worden berekend. Deze is gegeven in Figuur 15. Het is te zien dat de omzettingssnelheden na het eerste Ephyra® compartiment snel dalen en daarna vrij constant blijft. Als gekeken wordt naar de gehele installatie bedroeg de omzettingssnelheid ca 1,3 tot 1,5 kg ODS/m³.d. Voor een conventionele installatie met eenzelfde verblijftijd en ingaande slibsamenvesteling zou een snelheid van 0,9 à 1,1 kg ODS/m³.d. worden verwacht.

FIGUUR 14 HET AANDEEL IN DE TOTALE ODS AFBRAAK VAN DE GISTING GEREALISEERD IN DE EPHYRA® (C1, C1+C2 EN C1+C2+C3) COMPARTIMENTEN



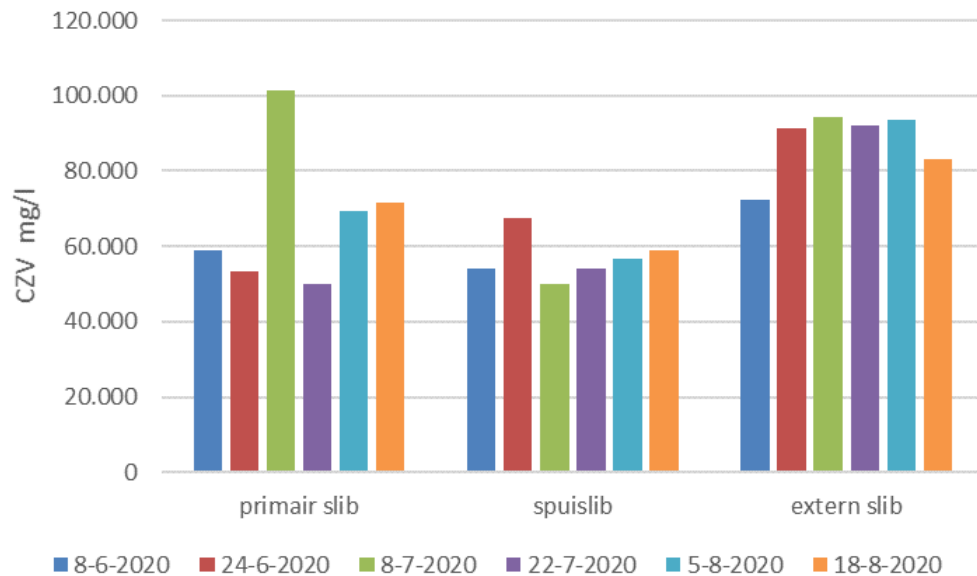
FIGUUR 15 BEREKENDE OMZETTINGSNELHEDEN IN EPHYRA® (C1, C2 EN C3) EN DE NAVERGISTER (NV)



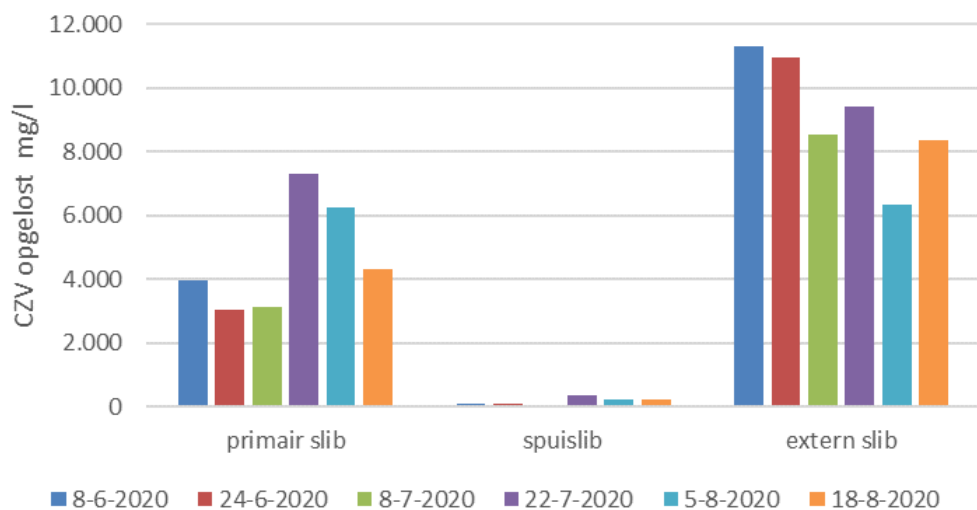
4.2.2 CZV

De CZV concentratie van de verschillende slibstromen die worden vergist zijn gegeven in Figuur 16 en Figuur 17.

FIGUUR 16 TOTAAL CZV IN PRIMAIR SLIB, SPUISLIB EN EXTERN SLIB. PRIMAIR EN SPUISLIB TOLLEBEEK EN EXTERN SLIB LELYSTAD



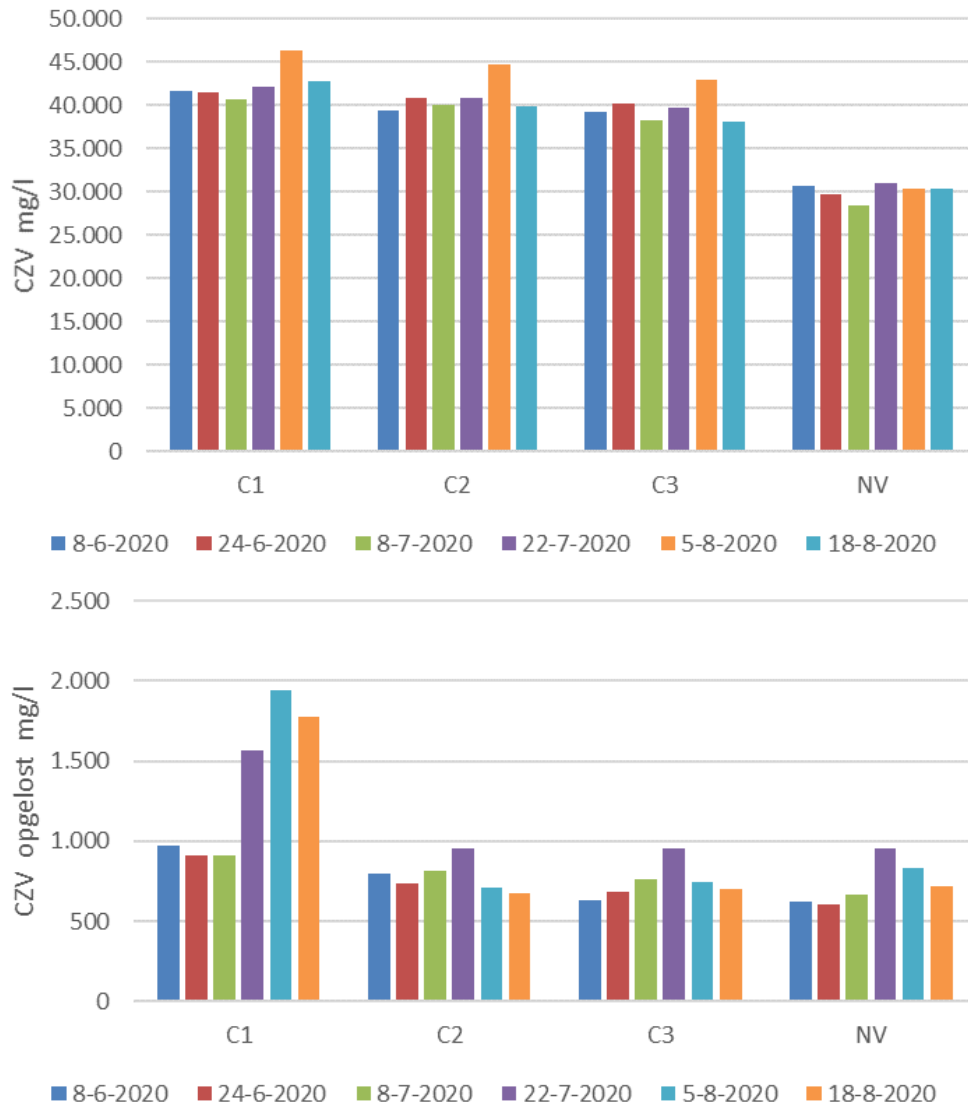
FIGUUR 17 TOTAAL EN OPGELOST CZV IN PRIMAIR SLIB, SPUISLIB EN EXTERN SLIB. PRIMAIR EN SPUISLIB TOLLEBEEK EN EXTERN SLIB LELYSTAD



De hoge CZV concentratie van het primair slib op 8 juli kan niet direct verklaard worden. Het slib was niet echt dikker (zie ook Figuur 11) en ook de opgeloste CZV was niet bijzonder hoog. De berekende CZV-ODS ratio bedraagt 2 g CZV/g ODS. Dit is vrij hoog. De CZV concentraties in de verschillende delen van de gisting zijn gegeven in Figuur 18.

FIGUUR 18

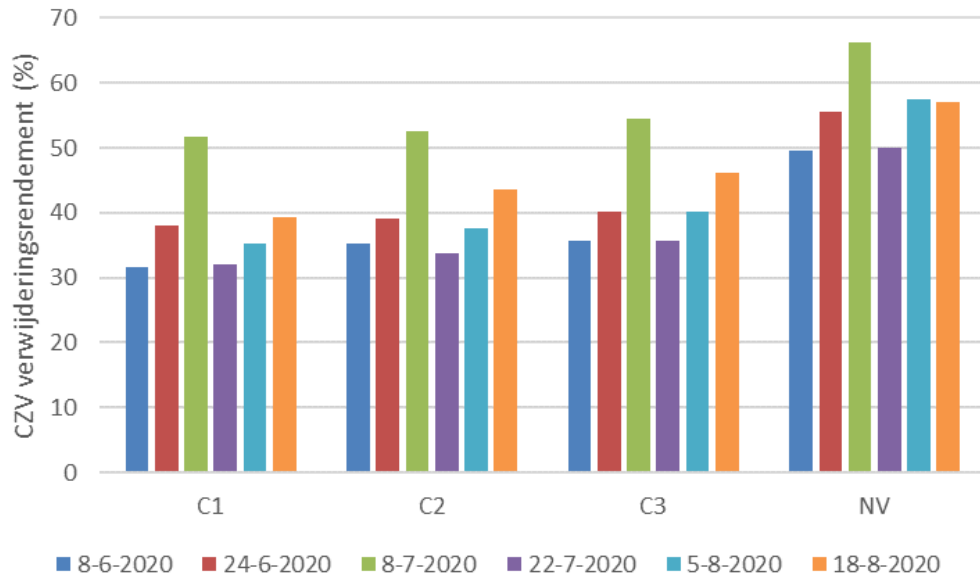
OPGELOST CZV IN DE EPHYRA® COMPARTIMENTEN (C1, C2 EN C3) EN DE NAVERGISTER (NV)



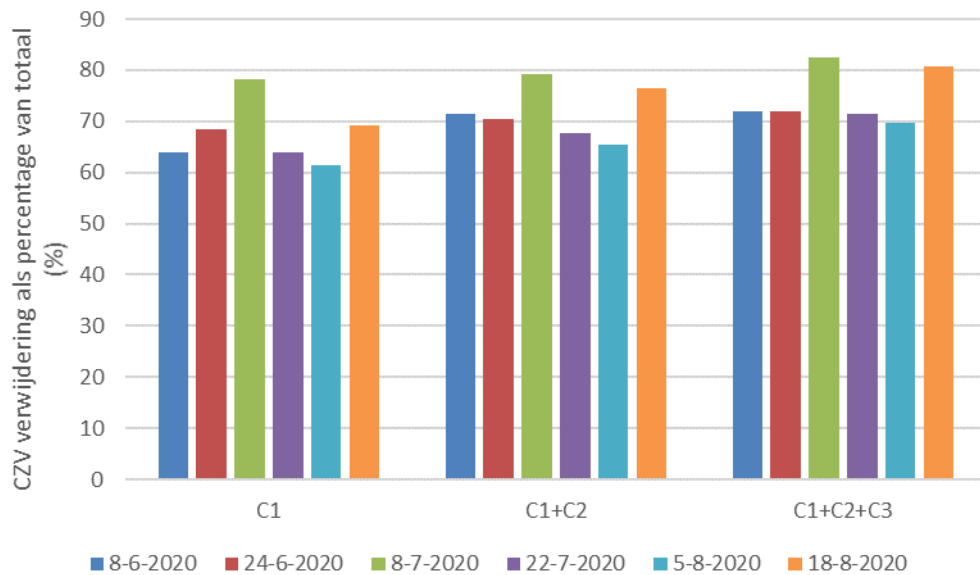
Het beeld komt overeen met wat ook in de DS en ODS metingen werd gevonden. De totale CZV afname na compartiment 1 is relatief gering. Wel is voor de waardes op 22 juli, 5 augustus en 18 augustus de opgeloste CZV in C1 hoger. Dit duidt op hydrolyse en zuurvorming die hier optreedt. In de volgende compartimenten wordt de opgeloste CZV weer verwijderd. De CZV rendementen zijn gegeven in Figuur 19. Het aandeel in Ephyra® van de totale CZV afbraak in de gisting (Ephyra® + naverger) is gegeven in Figuur 20.

Bij benadering geldt dat ca 65% van de totale CZV afbraak al wordt gerealiseerd in het eerste compartiment C1. Na het derde compartiment is dat ca 72%. Dit komt overeen met 1,4% CZV per dag verblijftijd. Bij de naverger is dit 2.8%. Het algehele beeld is dat de afbraak-snelheden in het eerste compartiment van Ephyra® hoog liggen waarna de afbraak langzaam verder loopt. Hierbij moet wel worden aangetekend dat het derde compartiment hydraulisch is verbonden met het eerste compartiment. In welke mate een “natuurlijke recirculatie” van het derde naar het eerste compartiment het beeld beïnvloedt is onduidelijk omdat de mate waarin deze recirculatie optreedt onbekend is.

FIGUUR 19

CZV VERWIJDERINGSRENDEMENTEN IN EPHYRA® EN DE NAVERGISTER (NV)


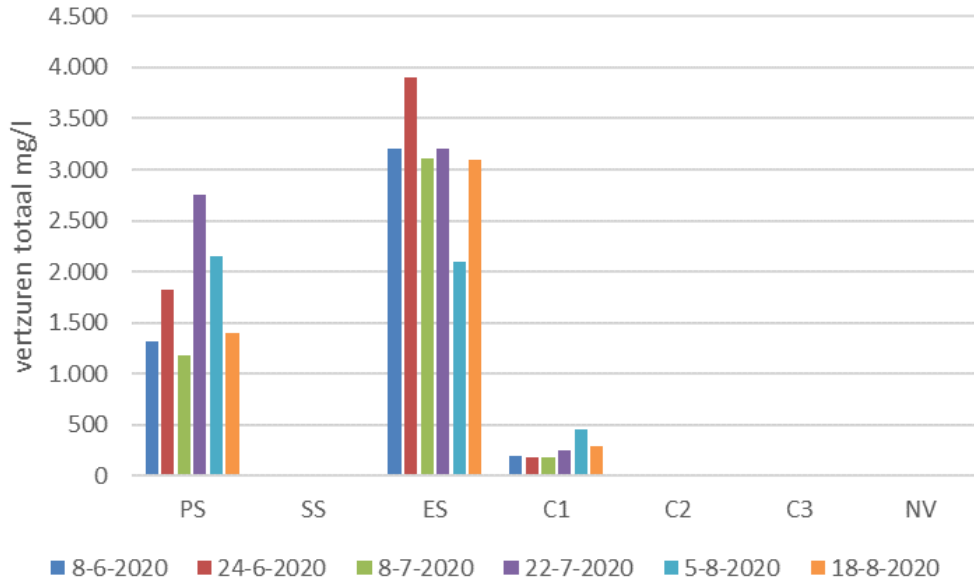
FIGUUR 20

HET BEREKENDE AANDEEL VAN DE TOTALE CZV AFBRAAK IN DE GISTING GEREALISEERD IN DE EPHYRA® NA C1, C1+C2 EN C1+C2+C3. DE BEREKENING IS GEBASEERD OP DE TOTAAL CV METINGEN BIJ DE VERSCHILLENDE PROCESONDERDELEN


4.2.3 VETZUREN

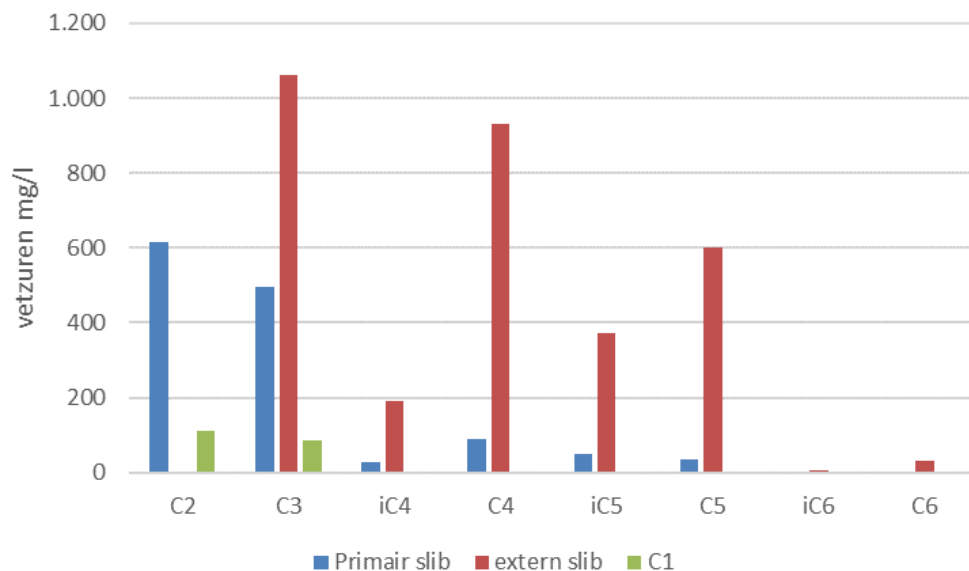
De vetzuurconcentraties zijn gegeven in Figuur 21. Het blijkt dat na het 1^{ste} compartiment (C1) van Ephyra[®] er nagenoeg geen vetzuren meer aanwezig zijn.

FIGUUR 21 ±TOTALE VETZUURCONCENTRATIES (SOM VAN C2 TOT EN MET C6) VOOR PRIMAIR SLIB (PS), SPUISLIB TOLLEBEEK (SS), EXTERN SLIB (ES), DE EPHYRA[®] COMPARTIMENTEN (C1, C2, C3) EN DE NAVERGISTER (NV)



Een "typische" verdeling van de vetzuren voor het primair en extern slib is gegeven in Figuur 22.

FIGUUR 22 VETZUURCONCENTRATIES IN PRIMAIR EN EXTERN SLIB EN HET EERSTE EPHYRA[®] COMPARTIMENT C1 OP 06/08/2020. IN HET SPUISLIB VAN TOLLEBEEK WAREN NAGENOEG GEEN VETZURENAANWEZIG. X-AS: C2 = AZIJNZUUR, C3 = PROPIONZUUR, C4=BOTERZUUR, C5=VALERIAANZUUR C6 = CAPRONZUUR. I = ISO



Opmerkelijk is het ontbreken van azijnzuur in het extern slib; de reden hiervoor is onbekend. In het eerste Ephyra[®] compartiment is circa 100 mg/l azijnzuur (C2) en 85 mg/l propionzuur (C3) aanwezig. Boterzuur (C4) en/of hogere vetzuren zijn hierin niet aanwezig/gemeten. De praktijkinstallatie Ephyra[®] wijkt hierbij af van wat indertijd in pilot installatie werd gevonden, namelijk dat na Ephyra[®] nog steeds 2 g/l vetzuren (voornamelijk propionzuur) aanwezig was, die vervolgens in de navergister werd verwijderd¹. Dit verschil hangt mogelijk samen met de

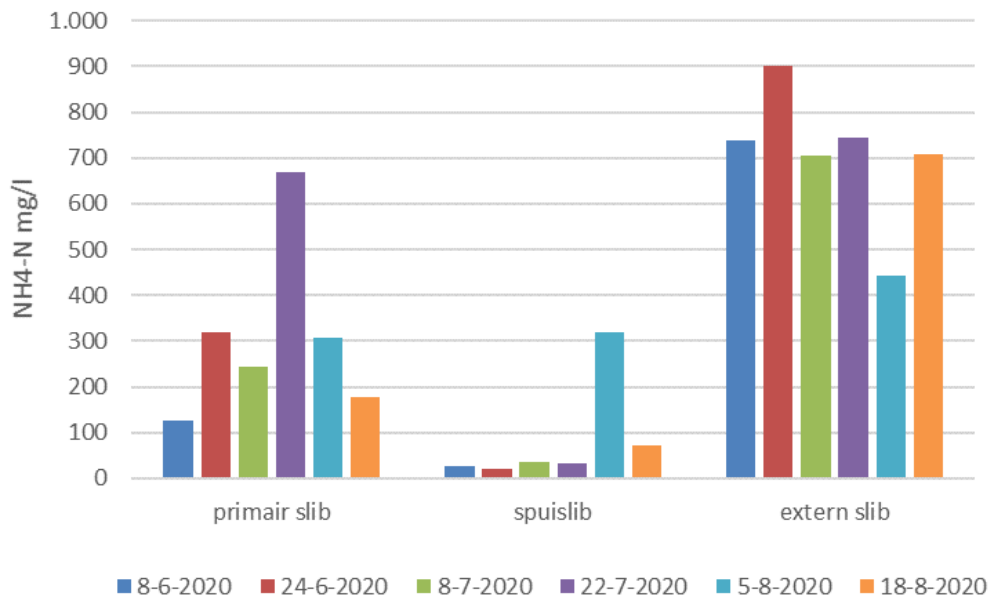
1 Toepassing van nieuwe gistingsconcepten Ephyra[®] en Themista[®], STOWA 2016-34

pH gradiënt tussen de verschillende compartimenten die in de pilot installatie en navergister aanwezig was. In de praktijkinstallatie was de pH min of meer constant. De fasenscheiding zoals geobserveerd in de pilot was niet zo aanwezig in de praktijkinstallatie. De eerder genoemde mogelijke natuurlijke recirculatie in Ephyra® speelt hierbij mogelijk een rol.

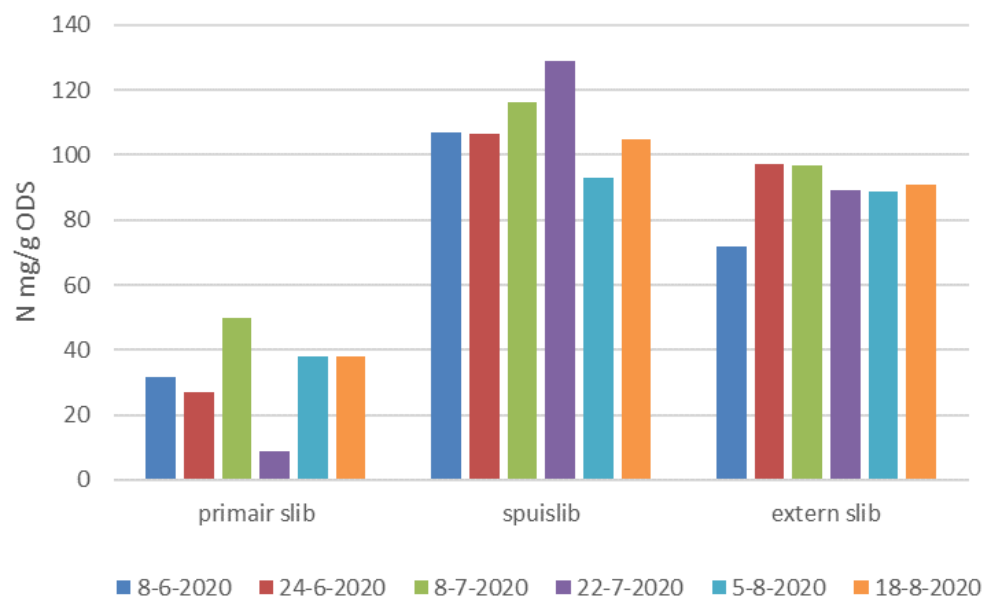
4.2.4 STIKSTOF EN FOSFAAT

De ammoniumconcentraties in de Ephyra® toevoerslibben zijn gegeven in Figuur 23. De hoge concentratie in het externe slib geeft aan dat hierin al ODS is afgebroken waarbij NH_4 vrijgekomen is; dit stemt ook overeen met de hogere gemeten opgeloste en vetzuren. De berekende N-gehalten van de organisch stof in de verschillende slibben zijn gegeven in Figuur 24.

FIGUUR 23 AMMONIUMCONCENTRATIES IN PRIMAIR SLIB, SPUISLIB EN EXTERN SLIB



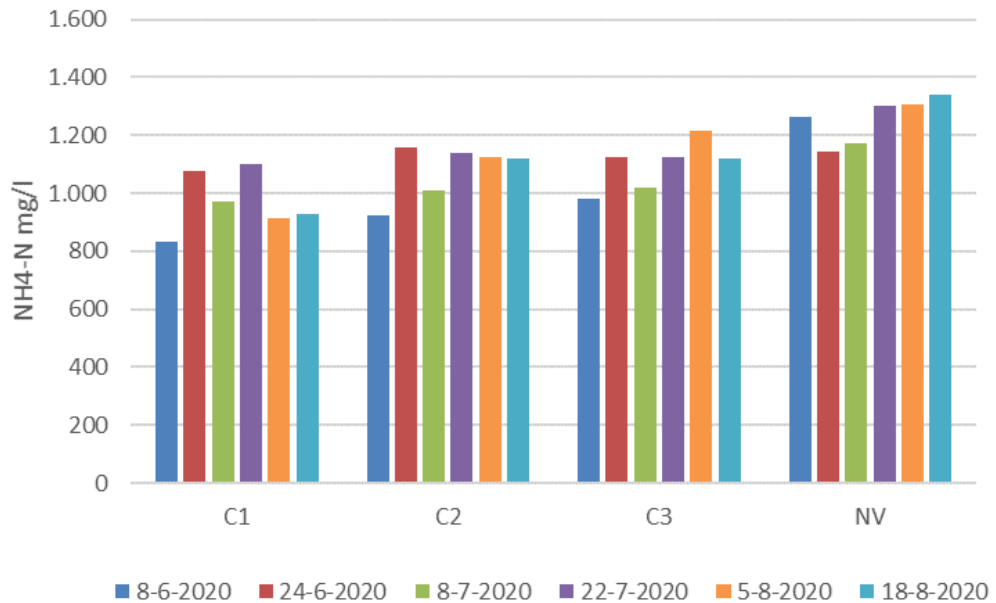
FIGUUR 24 STIKSTOFGEHALTES (NKJ) IN DE ORGANISCHE STOF BIJ PRIMAIR SLIB, SPUISLIB EN EXTERN SLIB



Zoals verwacht is het stikstofgehalte het laagst bij primair slib. De stikstofconcentraties in de verschillende reactoren van de slibgisting is geïllustreerd in Figuur 25.

FIGUUR 25

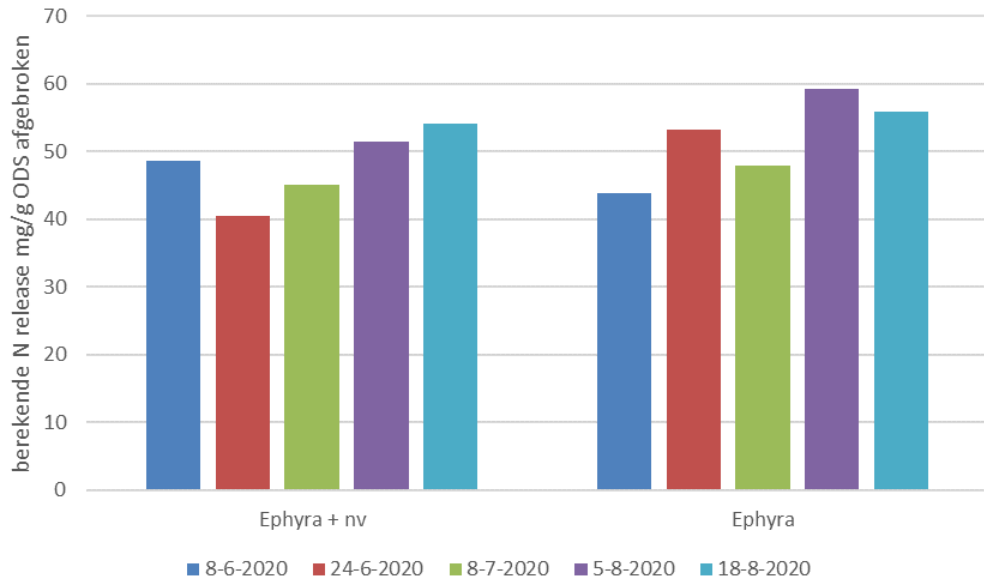
AMMONIUMCONCENTRATIES IN EPHYRA® (C1, C2, C3) EN DE NAVERGISTER (NV)



In het algemeen zien we een toename van de ammoniumconcentraties met de hoogste concentraties in de navergrister. Dit is ook logisch omdat door de slibafbraak ammonium vrijkomt. Op basis van de data kon echter geen goede schatting worden gemaakt welk deel van de slibafbraak afkomstig zou zijn van primair slib en welke deel van de twee type spuislibben. De geschatte vrijgekomen stikstof per gram ODS afgebroken is gegeven in Figuur 26.

FIGUUR 26

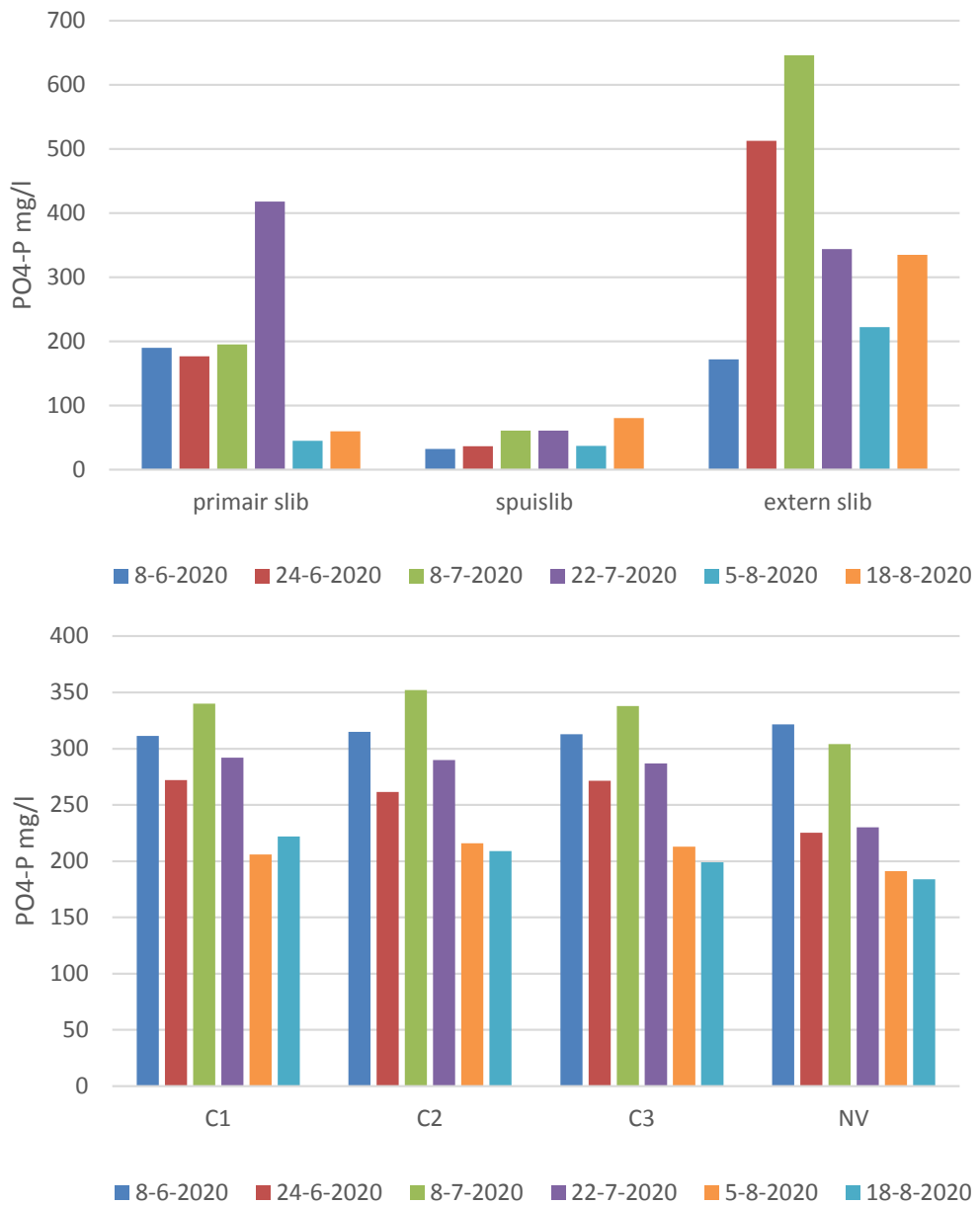
BEREKENDE AFGIFTE STIKSTOF DOOR ODS AFBRAAK IN SLIBGISTING TOLLEBEEK



De fosfaatconcentraties zijn gegeven in Figuur 27.

FIGUUR 27

TOTAALFOSFAATCONCENTRATIES IN PRIMAIR SLIB, SPUISLIB EN EXTERN SLIB EN IN EPHYRA® (C1, C2, C3) EN DE NAVERGISTER (NV)



De duidelijke toename van ammonium van Ephyra® naar de vergister is niet aanwezig voor de fosfaatconcentraties. Dit heeft ermee te maken dat een aanzienlijk deel van het fosfaat aanwezig is als polyfosfaat dat al direct vrijkomt onder anaerobe omstandigheden. Dit verklaart mede de hoge fosfaatconcentraties in het externe slib.

4.2.5 EPS

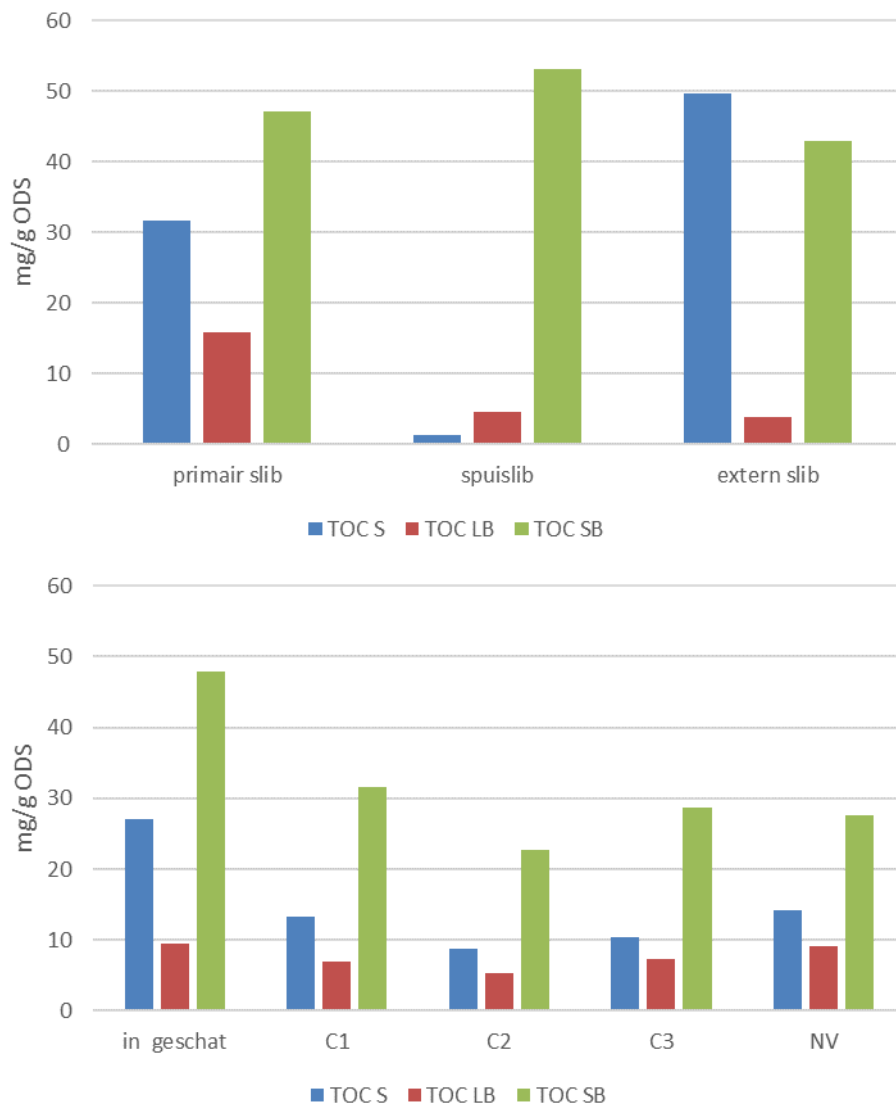
De resultaten van de EPS metingen aan het primair slib, het spuislib en het extern slib van Lelystad zijn gegeven in Figuur 28.

FIGUUR 28

RESULTATEN EPS METINGEN VOOR PRIMAIR SLIB, SPUISLIB, EXTERN SLIB, DE EPHYRA® REACTOREN (C1, C2, C3) EN DE NAVERGISTER (NV)

TOC = TOTAL ORGANIC CARBON, S = "SLIJM", LB = "LOS GEBONDEN", SB = "STEVIG GEBONDEN".

IN GESCHAT = DE GESCHATTE WAARDES IN DE AANVOER

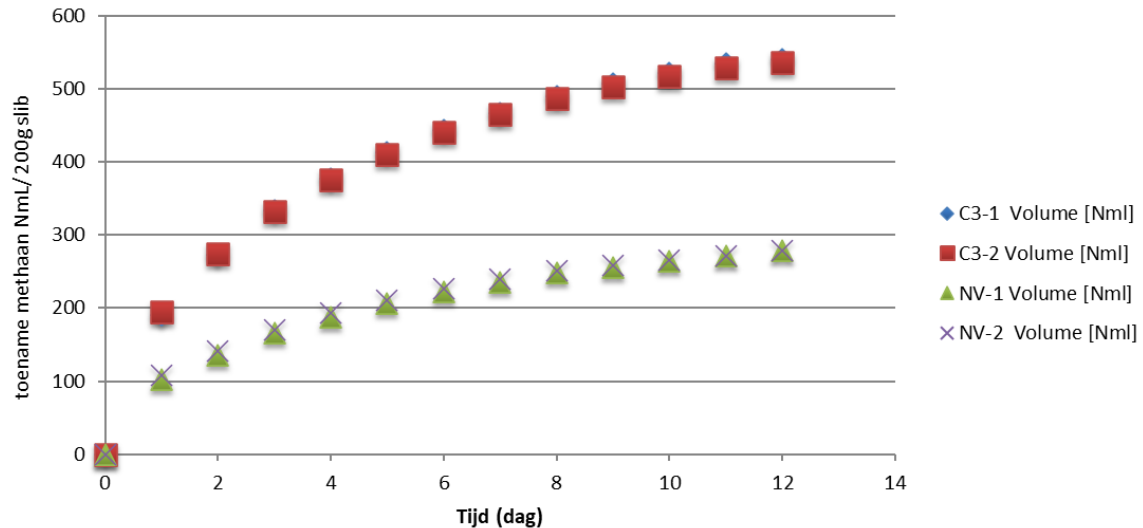


Het slijmerige type EPS zit voornamelijk in het primair slib en het externe slib van Lelystad dat duidelijk een ander karakter heeft dan het spuislib van Tollebeek. Tijdens vergisting neemt de concentratie van het aandeel slijm en "stevig gebonden" EPS significant af. De verschillen tussen de Ephyra® en de navergister zijn gering. Hetzelfde geldt voor de Ephyra® compartimenten. Dit zou erop kunnen duiden dat wat betreft de EPS, de ontwateringseigenschappen van het Ephyra® vergiste slib en het slib na de navergister min of meer gelijk zijn.

4.2.6 RESTVERGISTBAARHEID

Een typisch verloop van de meting van restvergistbaarheid is gegeven in Figuur 29. Een lagere restvergistbaarheid na de navergister ligt in de lijn der verwachting. Tabel 3 vat de belangrijkste resultaten van de drie metingen samen

FIGUUR 29 CUMULATIEVE METHAANPRODUCTIE TIJDENS TEST VAN DE RESTVERGISTBAARHEID MET UITGEGIST SLIB EPHYRA® (C3) EN DE NAVERGISTER (NV)



TABEL 3 RESULTATEN RESTVERGISTBAARHEID. UIT DE METHAANPRODUCTIE IS MET DE CZV WAARDE VAN SLIB (G CZV/G ODS) DE HOEVEELHEID OMGEZETTE ODS TIJDENS DE RESTVERGISTBAARHEIDSTEST BEREKEND. HIERMEE IS DAN WEER DE POTENTIËLE ODS AFBRAAK INCL. RESTVERGISTING BEPAALD

		8 juni	8 juli	22 juli
Ephyra vergist slib				
restvergistbaarheid	ml CH ₄ /l	2.279	2.560	2.688
ODS omgezet	mg ODS/l	3.779	4.546	5.033
gemeten ODS afbraak na Ephyra®	%	42,7	39,3	27,9
potentiële ODS afbraak incl. restvergisting	%	52,4	51,1	42,2
navergister vergist slib				
restvergistbaarheid	ml CH ₄ /l	1.526	1.489	1.391
ODS omgezet	mg ODS/l	2.638	2.907	2.643
gemeten ODS afbraak na navergister	%	53,4	50,5	43,4
potentiële ODS afbraak incl. restvergisting	%	60,2	58,1	50,9

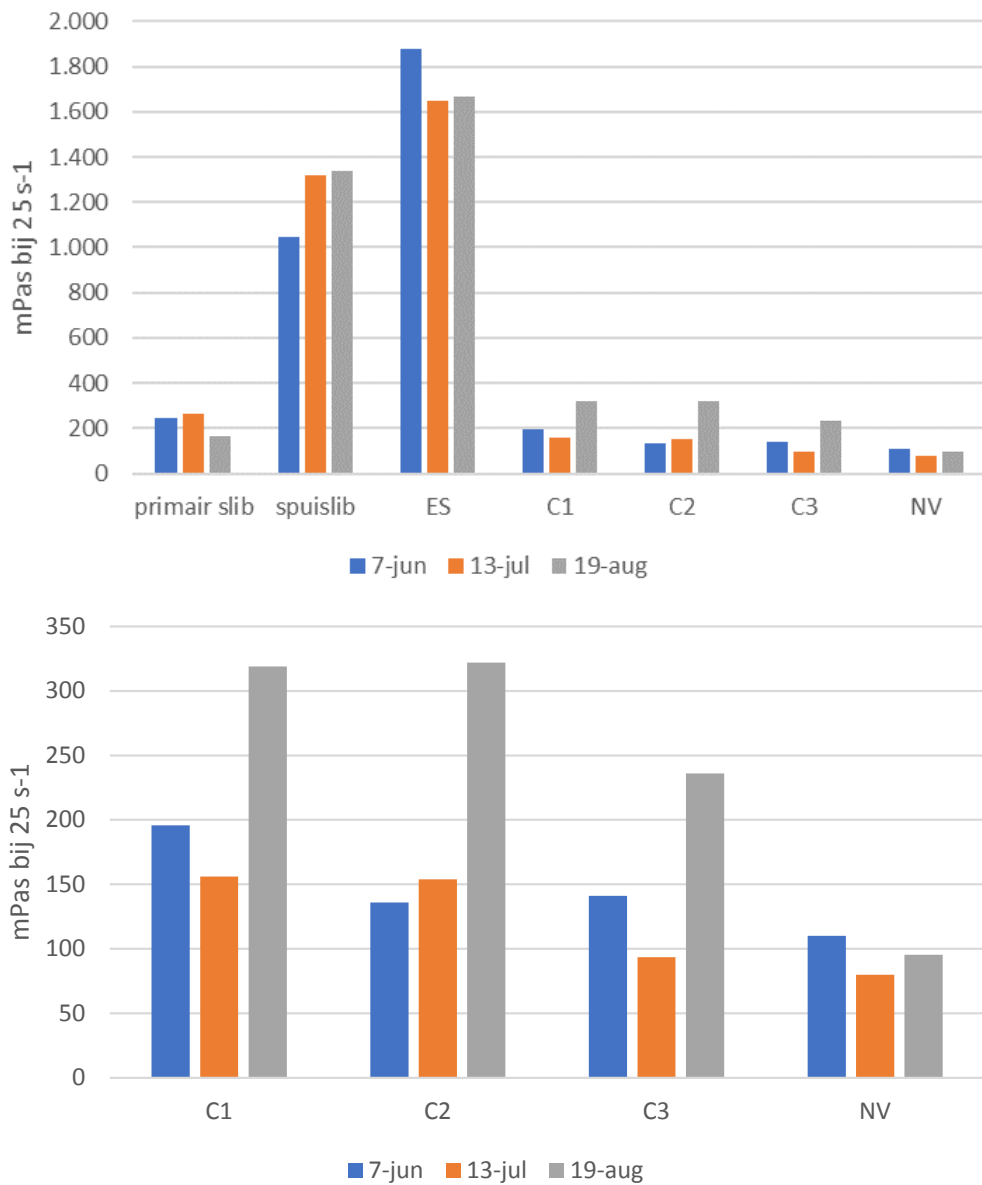
Het is te zien dat de potentiële afbraak op basis van de gerealiseerde afbraak plus wat uit de restvergistbaarheid volgt toeneemt in de navergister. Dit is enigszins vreemd; een verklaring is nog niet voorhanden. Wel kan uit Figuur 29 worden afgeleid dat de methaanproductie nog niet volledig was afgelopen. Ook komt de potentiële afbraak na Ephyra® redelijk goed overeen met het gemeten rendement in de navergister.

4.2.7 SLIBVISCOSITEIT

De viscositeit van slib is onder ander van belang voor het dimensioneren van pompen, mengers en ook warmtewisselaars. De resultaten van de viscositeitsmetingen zijn gegeven in Figuur 30.

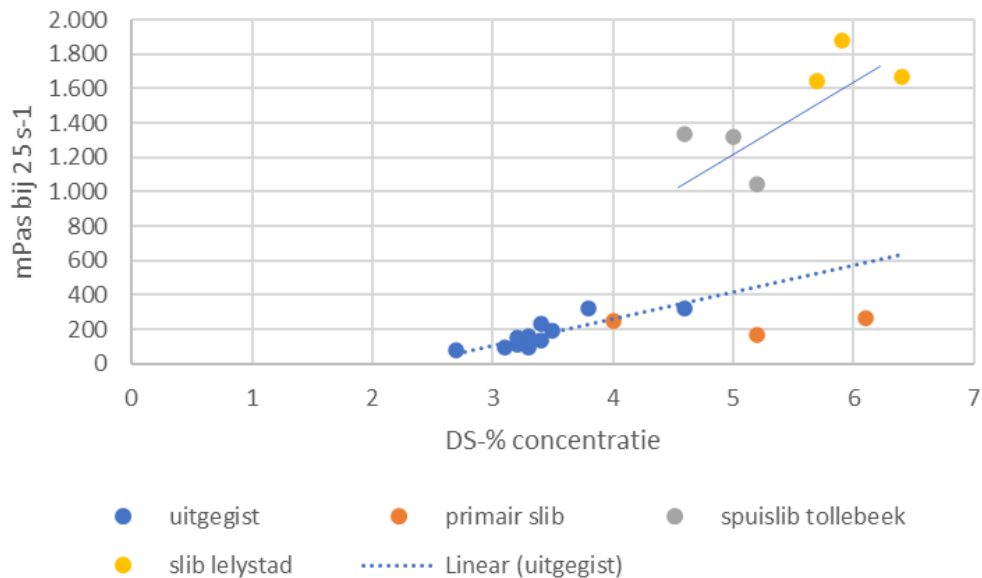
FIGUUR 30

GEMETEN VISCOSITEIT BIJ CA 25 S⁻¹ IN DE SLIBTOEVOER, DE EPHYRA® COMPARTIMENTEN C1, C2 EN C3 EN DE NAVERGISTER (NV) ES= EXTERN SLIB



De hoogste viscositeit is gemeten voor het externe slib van Lelystad. Dit slib was ook het meest "slijmerig". De lage waarde voor het primair slib is enigszins verwonderlijk. De verschillen tussen de Ephyra® compartimenten zijn gering hoewel er wel een licht dalende trend waarneembaar is. De verdere DS afbraak in de navergister zorgt voor een verdere daling. De relatie tussen concentratie en viscositeit is gegeven in Figuur 31. Het positieve effect van vergisten op de viscositeit is duidelijk zichtbaar.

FIGUUR 31

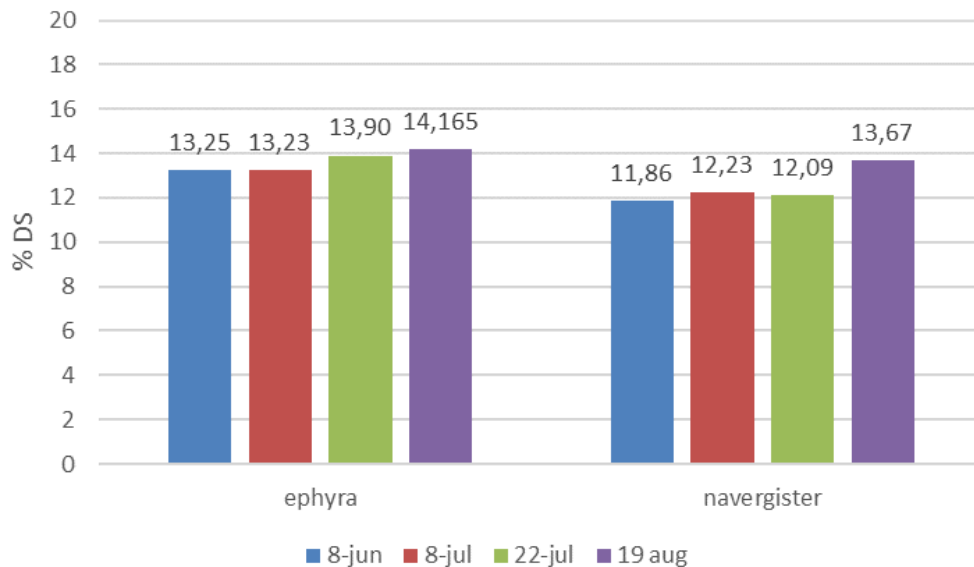
GEMETEN VISCOSITEIT BIJ CA 25 S⁻¹ IN DE SLIBTOEVOER, DE EPHYRA® COMPARTIMENTEN EN DE NAVERGISTER

4.2.8 SLIB ONTWATERINGSEIGENSCHAPPEN

De ontwateringseigenschappen zijn gemeten met de Mareco filterpers. Figuur 32 geeft de resultaten. Opmerkelijk is dat het slib uit de navergister niet beter ontwatert dan het slib uit Ephyra®. Blijkbaar leidt de extra ODS afbraak in de navergister niet tot een betere ontwatering. Wel kan opgemerkt worden dat de droge stof resultaten laag waren. Dit heeft mogelijk te maken met de perstijd.

FIGUUR 32

DROGE STOF SLIBKOEK NA PERSING IN MARECO FILTER PERS. DE PE DOSERING BEDROEG STEEDS 18 G/KG DS



4.2.9 MICROBIËLE SLIBANALYSE

Aan de verschillende slibben van de Ephyra® installatie op Tollebeek is een microbiële slibanalyse uitgevoerd om te kijken of en zo ja welke verschillen er tussen de slibben zijn. In bijlage A8 zijn de resultaten gegeven. De belangrijkste bevindingen zijn:

- Voor de PCA (principle component analyse) en de predominante bacterie-types in het slib zijn er verschillen gevonden tussen het type voedingslib (primaair slib, spuislib en extern slib) en het voedingslib en het slib in de vergister.
- Er zijn geen wezenlijke verschillen gevonden tussen het slib van de verschillende Ephyra® compartimenten (C1, C2 C3) onderling en met het slib uit de navergister. Dit geldt voor de PCA, het dominante type bacterie, en de typen methaanbacteriën in het slib. Deze resultaten stemmen niet overeen met de eerdere bevindingen in de pilot installatie van Tollebeek en de proefinstallatie op lab schaal bij de TU-Delft.

De resultaten van de microbiële analyse geven een zelfde beeld als voor de andere parameters. De verschillen tussen de drie compartimenten van Ephyra® zijn gering; de microbiële samenstelling van het slib in de verschillende onderdelen is vergelijkbaar.

4.3 EVALUATIE RESULTATEN ONDERZOEK

Uit het onderzoek blijkt dat er slechts geringe verschillen gevonden zijn tussen de 3 in serie geschakelde Ephyra® compartimenten. Dit is enigszins in tegenspraak met de pilot installatie waarin wel verschillen in de daarin aanwezige 4 compartimenten werd geconstateerd. Echter, de gemeten vetzuurconcentraties en opgeloste CZV laten wel zien dat deze in het eerste compartiment iets hoger zijn. De gemeten slibafbraak in Ephyra® bij de gehanteerde gemiddelde 7,5 dag verblijftijd stemt overeen met eerdere lab en pilot testen uitgevoerd op Tollebeek. Verder blijkt dat door toepassen van een navergister, in dit geval de al bestaande vergister op Tollebeek, er nog eens (relatief) 25% extra slib kan worden afgebroken. Het gemeten ODS rendement na Ephyra® en de navergister bedroeg circa 40-45% en 50-55%. De extra ODS afbraak in de navergister werd gerealiseerd door de verblijftijd van het gehele systeem te verhogen van 7,5 naar 16,5 dag. Of en in welke mate dit effect ook al na een verhoging van 7,5 dagen na kortere verblijftijden dan 16,5 dag optreedt kan niet uit dit onderzoek worden afgeleid. Standaard Chen en Hashimoto modelberekeningen zoals die in Nederland worden toegepast geven aan dat bij verblijftijden hoger dan 15 dagen er relatief weinig extra afbraak optreedt. Bij verblijftijden korter dan 10 dagen beginnen de rendementen relatief sterk te dalen. De optimale verblijftijd voor een goede stabiele slibafbraak in combinatie met een niet te grote (en daardoor dure) slibgisting ligt voor het Ephyra® systeem tussen de 12 en 15 dagen.

Zowel de CZV, DS en ODS metingen laten hoge omzettingssnelheden in het eerste Ephyra® compartiment zien. In de overige Ephyra® compartimenten en de navergister zijn deze aanzienlijk lager en relatief constant. Dit komt ook overeen met het gegeven dat een aanzienlijk deel van de slibafbraak (circa 60 tot 75%) al in het eerste compartiment plaatsvindt, dus in de eerste 2,5 dag. De verdere afbraak in de Ephyra® reactor, dus de overige 2 compartimenten, is gering. In de navergister vind nog wel een verdere afbraak plaats met een omzettingssnelheid die min of meer gelijk is aan die gemeten in de 2 laatste compartiment van de Ephyra® reactor. Zoals eerder aangegeven bestaat het vermoeden dat door de aanwezigheid van gaten in de scheidingsmuren tussen de compartimenten, inclusief een verbinding tussen het laatste en eerste compartiment, er al een zekere mate van recirculatie van het derde naar het eerste compartiment optreedt. In welke mate dit daadwerkelijk optreedt is onbekend.

De resultaten van de stikstof en fosfaat metingen laten inderdaad de verwachte release van deze componenten tijdens de gisting zien. Het bleek echter niet mogelijk om hieruit een onderscheid te kunnen maken in welke mate de verschillende slibben (primair en spuislib van Tollebeek en Lelystad) afbreken en kon worden aangegeven welk deel van de ODS afbraak afkomstig is van welk slib. De gangbare parameters voor primair en secundair slib uit het model van Chen en Hashimoto (maximale afbraak en afbraakconstante) worden daarom blijvend toegepast.

Met betrekking tot de slibontwateringseigenschappen laten de EPS metingen en de ontwateringstesten zien dat het extra vergisten in de navergister met de bijbehorende slibafbraak niet leidt tot een beter ontwaterbaar slib. Dit betekent dat de verwachting zou zijn dat het drogestof gehalte van ontwaterd slib na de navergister in dezelfde orde van grootte zullen liggen. De belangrijkste toegevoegde waarde van de navergister is dus een verdere slibafbraak met bijbehorende biogas productie.

De restvergistbaarheid testen laten zien dat deze na de navergister lager is dan na Ephyra® maar nog steeds in belangrijke mate aanwezig. Opvallend is dat de potentiële, zijnde gemeten afbraak plus de restvergistbaarheid, na de navergister hoger is dan na de Ephyra®. Hiervoor is geen verklaring gevonden.

5

CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies uit het demonstratie onderzoek zijn:

- De gemeten afbraak en biogasproductie aan de praktijkinstallatie voor zowel Ephyra[®] als de navergister stemmen goed overeen met de resultaten uit het verleden op zowel lab en pilotschaal.
- De ODS afbraak in de gisting op Tollebeek bedroeg 40 tot 50% na Ephyra[®] (verblijftijd 7,5 dag) en 50 tot 60% na de navergister (verblijftijd 17,5 dag). Voor een conventionele gisting zou bij een verblijftijd van 17,5 dagen en gegeven de slibsamenstelling op Tollebeek, een ODS afbraak van ca 40 tot 45 % worden verwacht; dit is aanzienlijk minder dan gemeten na de Ephyra[®] plus navergister op Tollebeek.
- De gemeten verdeling in afbraak van DS, ODS en CZV is bij benadering

- Na het eerste compartiment van Ephyra [®]	% van totaal	65
- Na het tweede compartiment van Ephyra [®]	% van totaal	70
- Na het derde compartiment van Ephyra [®]	% van totaal	75
- Na de navergister	% van totaal	100
- De gemeten omzettingssnelheden zijn hoog in het eerste compartiment van Ephyra[®] (6-7 kg ODS/m³.d) In de overige delen van Ephyra[®] en de navergister zijn de snelheden aanzienlijk lager (circa 0,5 kg ODS/m³.d). Gelet op de gehele installatie (verblijftijd 17,5 dag) was de omzettingssnelheid ca 1,3 tot 1,5 kg ODS/m³.d. Voor een conventionele installatie met eenzelfde verblijftijd zou een snelheid van 0,9 à 1,1 kg ODS/m³.d. worden verwacht.
- Als op Ephyra[®] korte verblijftijden worden toegepast is het toepassen van een extra navergister zinvol om nog meer slib af te breken en biogas te produceren. Gelet op kosten, slibafbraak en biogasproductie lijkt een totale verblijftijd tussen 12 en 15 dagen optimaal.
- Het bleek niet mogelijk onderscheid te maken tussen de mate waarin de verschillende slibsoorten (primair en spuislibben) afbreken
- Het verder vergisten van slib na Ephyra[®] in de navergister leidt niet tot beter ontwaterbaar slib.
- Ook bij Ephyra[®] vergist slib met en zonder navergister blijft er rest vergistbaarheid aanwezig. Deze is na de navergister wel sterk afgenomen.
- Voor het doorberekenen van een Ephyra[®] gisting kan het model van Chen en Hashimoto worden gebruikt.

Voor nieuwe Ephyra[®] systemen wordt voort het ontwerp uitgegaan van een verblijftijd van 6 tot 15 dagen. De gekozen verblijftijd is hierbij project specifiek. Een langere verblijftijd kan hierbij worden uitgevoerd door na de Ephyra[®] een navergister te plaatsen zoals in Tollebeek en Sleeuwijk. Een andere optie is om de verblijftijd van de Ephyra[®] vergister zelf te verhogen.

BIJLAGE A1

RESULTATEN DS EN ODS METINGEN

	DS-%					
	8-6-2020	24-6-2020	8-7-2020	22-7-2020	5-8-2020	18-8-2020
primair slib	4,46	3,60	4,93	4,24	3,78	5,08
spuislib	6,06	6,51	4,77	4,68	6,13	5,94
extern slib	6,11	5,77	5,95	6,55	6,78	5,73
Ephyra C1	3,68	3,81	3,63	3,82	3,89	3,79
Ephyra C2	3,53	3,68	3,54	3,76	3,78	3,57
Ephyra C3	3,48	3,57	3,44	3,78	3,58	3,39
Navergister	2,87	2,86	2,89	3,03	3,04	2,93

	ODS-%					
	8-6-2020	24-6-2020	8-7-2020	22-7-2020	5-8-2020	18-8-2020
primair slib	3,33	2,85	3,76	2,86	2,77	3,44
spuislib	3,84	4,12	3,03	2,96	3,87	3,72
extern slib	5,04	4,78	4,94	5,39	5,68	4,68
Ephyra C1	2,49	2,47	2,53	2,65	2,64	2,60
Ephyra C2	2,35	2,43	2,43	2,60	2,49	2,54
Ephyra C3	2,24	2,31	2,33	2,54	2,36	2,33
Navergister	1,82	1,81	1,90	1,99	1,96	1,87

BIJLAGE A2

RESULTATEN CZV, N EN P METINGEN

	CZV Totaal mg/l					
	8-6-2020	24-6-2020	8-7-2020	22-7-2020	5-8-2020	18-8-2020
primair slib	59.132	53.475	101.387	50.104	69.218	71.515
spuislib	53.996	67.335	49.918	54.220	56.899	58.915
extern slib	72.247	91.323	94.353	91.987	93.608	83.116
Ephyra C1	41.605	41.537	40.634	42.057	46.369	42.805
Ephyra C2	39.355	40.794	39.987	40.901	44.652	39.846
Ephyra C3	39.204	40.209	38.251	39.729	42.904	38.076
Naviger	30.710	29.756	28.446	30.927	30.441	30.358
	CZV opgelost mg/l					
	8-6-2020	24-6-2020	8-7-2020	22-7-2020	5-8-2020	18-8-2020
primair slib	3.988	3.045	3.130	7.310	6.260	4.340
spuislib	85	101	72	342	222	248
extern slib	11.291	10.942	8.550	9.440	6.320	8.380
Ephyra C1	970	913	911	1.570	1.940	1.780
Ephyra C2	795	734	816	958	714	672
Ephyra C3	631	684	762	954	744	698
Naviger	620	608	671	956	832	722
	NH4-N mg/l					
	8-6-2020	24-6-2020	8-7-2020	22-7-2020	5-8-2020	18-8-2020
primair slib	125	321	244	670	306	178
spuislib	27	20	36	33	320	73
extern slib	738	902	704	744	444	708
In estimate	250	377	298	498	346	280
Ephyra C1	834	1.075	972	1.100	916	928
Ephyra C2	926	1.157	1.010	1.138	1.122	1.118
Ephyra C3	981	1.125	1.020	1.124	1.214	1.120
Naviger	1.263	1.145	1.170	1.302	1.306	1.340
	PO4P					
	8-6-2020	24-6-2020	8-7-2020	22-7-2020	5-8-2020	18-8-2020
primair slib	190	176	195	418	45	59
spuislib	32	36	61	61	37	80
extern slib	172	512	646	344	222	335
In estimate	139	219	269	293	88	135
Ephyra C1	311	272	340	292	206	222
Ephyra C2	315	262	352	290	216	209
Ephyra C3	313	271	338	287	213	199
Naviger	322	225	304	230	191	184

BIJLAGE A3

RESULTATEN VETZUURMETINGEN

C2 = azijnzuur, C3 = propionzuur, C4 = boterzuur, C5 = valeriaanzuur, C6 = capronzuur, i = iso
C1, C2 C3 bij Ephyra zijn 1^{ste}, 2^{de} en 3^{de} compartiment

Batch 1 06/08/2020 all waarden in mg/l									
naam	C2	C3	i-C4	V4	IC5	C5	IC6	C6	Totaal
primair slib	621,5	503,7	28,4	93,4	50,1	37,9	0,0	0,0	1.335,0
	606,9	490,0	28,2	90,3	48,6	36,7	6,3	0,0	1.307,0
spuislib	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
extern slib	0,0	1.071,0	195,4	936,4	375,4	608,6	8,4	33,4	3.228,7
	0,0	1.049,1	190,8	923,9	368,1	595,1	8,3	33,0	3.168,3
ephyra C1	108,7	85,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	193,7
	111,7	86,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	198,6
ephyra C2	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9
	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2
ephyra C3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Naverregister	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Batch 2 05/24/2020 all waarden in mg/l									
naam	C2	C3	i-C4	V4	IC5	C5	IC6	C6	Totaal
primair slib	759,5	571,5	63,4	198,1	130,2	69,8	10,4	4,2	1.807,2
	775,1	582,8	64,1	200,2	132,2	71,0	12,2	4,2	1.841,6
spuislib	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
extern slib	0,0	1.300,6	256,4	1.098,8	492,4	743,6	14,9	51,2	3.957,8
	0,0	1.262,4	248,5	1.067,4	477,5	727,2	18,5	49,7	3.851,1
ephyra C1	121,4	62,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	183,9
	122,4	62,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	185,3
ephyra C2	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4
	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1
ephyra C3	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2
	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9
Naverregister	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2

Batch 3 07/08/2020, all waarden in mg/l									
naam	C2	C3	i-C4	V4	IC5	C5	IC6	C6	Totaal
primair slib	0,0	660,7	48,6	226,0	93,8	97,6	13,0	4,2	1.143,8
	0,0	700,8	51,8	239,1	99,5	102,7	12,1	4,4	1.210,2
spuislib	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
extern slib	0,0	1.098,2	188,1	836,8	356,5	570,0	31,0	37,8	3.118,4
	0,0	1.089,5	186,2	829,3	353,7	569,3	43,3	37,6	3.108,9
ephyra C1	131,1	47,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	178,6
	132,5	49,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	182,1
ephyra C2	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9
	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
ephyra C3	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3
Navergister	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Batch 4 07/22/2020, alle waarden in mg/l									
naam	C2	C3	i-C4	V4	IC5	C5	IC6	C6	Totaal
primair slib	0,0	1.136,0	148,9	641,5	296,2	447,5	30,4	22,6	2.723,0
	0,0	1.147,0	149,1	648,8	298,5	451,2	56,2	23,2	2.774,0
spuislib	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
extern slib	0,0	1.111,5	187,2	848,0	360,1	581,6	29,7	34,7	3.152,7
	0,0	1.150,5	192,2	873,4	368,7	599,2	36,1	35,7	3.255,7
ephyra C1	182,7	61,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	244,5
	185,1	62,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	247,8
ephyra C2	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9
	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5
ephyra C3	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8
	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4
Navergister	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Batch 5 08/05/2020 alle waarden in mg/l									
naam	C2	C3	i-C4	V4	IC5	C5	IC6	C6	Totaal
primair slib	0,0	1.051,0	80,8	592,2	147,6	255,2	4,3	8,2	2.139,4
	0,0	1.055,1	81,2	595,7	149,1	257,3	19,7	8,3	2.166,5
spuislib	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
extern slib	0,0	739,9	122,9	569,1	238,0	383,9	21,7	20,7	2.096,2
	0,0	732,4	122,0	565,6	237,3	382,1	29,3	21,0	2.089,7
ephyra C1	384,5	55,2	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	448,1
	385,4	55,3	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	448,9
ephyra C2	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ephyra C3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Navergister	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Batch 6 08/18/2020 alle waarden in mg/l									
naam	C2	C3	i-C4	V4	IC5	C5	IC6	C6	Totaal
primair slib	0,0	862,0	56,9	340,9	93,3	12,1	38,2	7,2	1.410,6
	0,0	862,4	56,9	339,4	93,2	15,2	17,7	6,0	1.390,8
spuislib	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
extern slib	0,0	1.182,4	182,3	790,3	346,2	534,0	7,7	29,7	3.072,7
	0,0	1.176,5	181,8	788,4	346,3	533,5	53,4	30,1	3.110,0
ephyra C1	267,0	28,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	295,4
	261,4	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	288,4
ephyra C2	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ephyra C3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Navergister	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

BIJLAGE A4

RESULTATEN EPS

	TOC slijm mg TOC/g VS					
	8-jun	24-jun	8-jul	22-jul	5-aug	18-aug
primair slijb	29,85	34,72	32,05	31,62	29,79	32,32
spuislijb	2,48	0,81	1,35	0,86	1,35	0,79
extern slijb	57,44	69,39	47,33	43,67	41,06	39,50
schatting in	28,53	33,21	26,66	25,40	24,07	24,66
Ephyra C1	14,83	12,99	14,05	12,85	12,05	12,62
Ephyra C2	12,96	8,66	8,39	7,04	8,73	6,64
Ephyra C3	13,40	10,84	10,31	8,44	10,10	8,89
Naverregister	16,29	11,27	14,76	14,34	14,41	14,43

	TOC los gebonden mg TOC/g VS					
	8-jun	24-jun	8-jul	22-jul	5-aug	18-aug
primair slijb	10,28	18,47	20,21	17,47	11,30	17,29
spuislijb	4,84	4,32	4,41	4,77	4,34	4,82
extern slijb	5,29	3,55	3,26	3,50	3,26	3,75
schatting in	7,40	10,49	11,23	10,17	7,20	10,16
Ephyra C1	9,73	6,65	6,71	6,60	6,07	6,28
Ephyra C2	10,11	5,04	4,06	4,33	4,13	3,97
Ephyra C3	11,52	6,48	6,07	6,31	6,48	6,59
Naverregister	15,88	6,72	8,09	7,75	8,27	7,73

	TOC vast gebonden mg TOC/g VS					
	8-jun	24-jun	8-jul	22-jul	5-aug	18-aug
primair slijb	38,03	53,24	50,53	54,68	42,95	42,97
spuislijb	53,58	52,34	50,55	56,82	50,22	54,79
extern slijb	48,71	46,19	39,13	50,07	39,13	34,40
schatting in	45,36	51,20	47,69	54,17	44,18	44,37
Ephyra C1	30,76	31,46	30,78	32,90	34,76	29,28
Ephyra C2	22,67	23,93	22,49	23,68	22,72	21,23
Ephyra C3	28,56	33,89	27,11	29,72	26,72	26,39
Naverregister	28,93	28,41	28,76	25,65	26,87	27,23

BIJLAGE A5

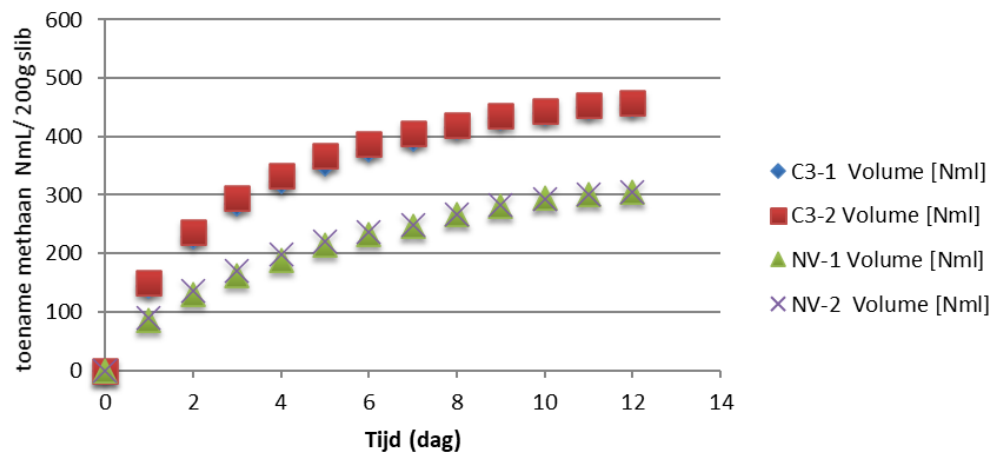
RESULTATEN VISCOSITEITSMETINGEN

	viscositeit 25 S-1			DS-%		
	7-jun	13-jul	19-aug	7-jul	13-jul	19-aug
primair slib	248	262	166,3	4	6,1	5,2
spuislib	1043	1321	1337	5,2	5	4,6
Extern slib	1880	1645	1665	5,9	5,7	6,4
Ephyra C1	195,8	156	319	3,5	3,3	4,6
Ephyra C2	136	154	322	3,4	3,2	3,8
Ephyra C3	141	93,5	236	3,3	3,3	3,4
Naverqister	110	80	95	3,2	2,7	3,1

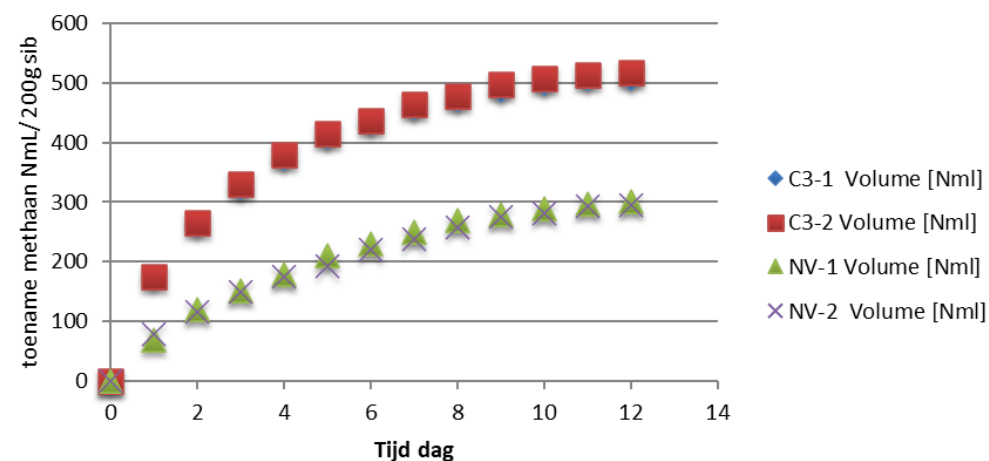
BIJLAGE A6

RESULTATEN RESTVERGISTBAARHEID

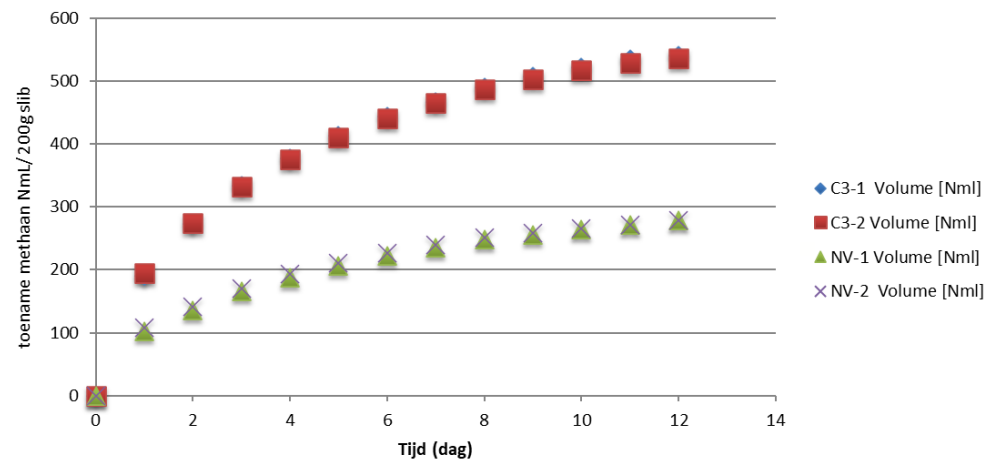
8-6-2020



8-7-2020



22-7-2020



BIJLAGE A7

RESULTATEN

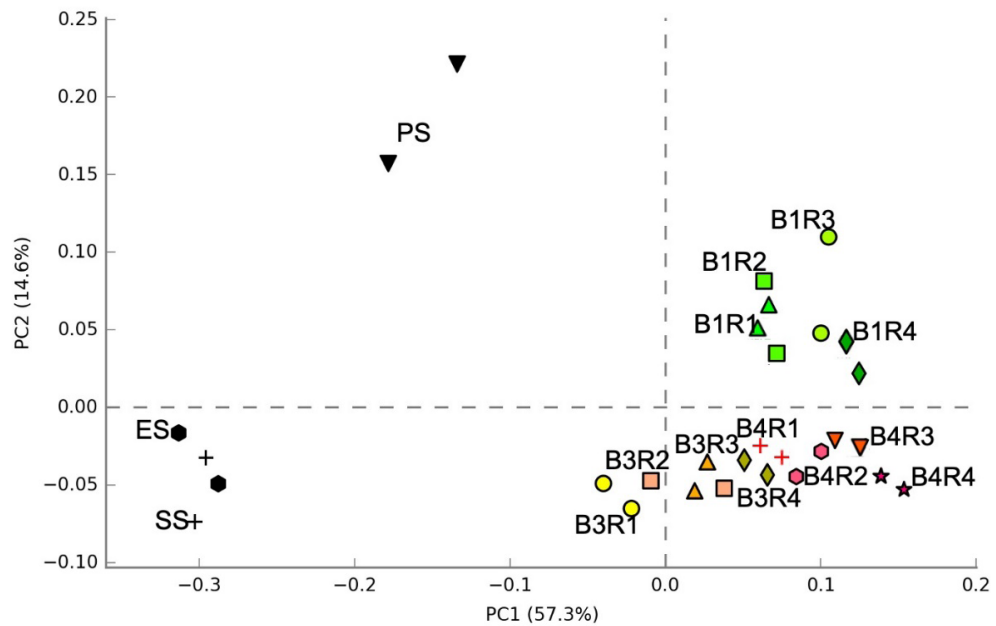
SLIBONTWATERINGSEIGENSCHAPPEN

	% DS	
	ephyra	navergister
8-jun	13,2	11,9
8-jul	13,2	12,2
22-jul	13,9	12,1
8-jun	14,7	
8-jul	16,1	18,9
19-aug	14,2	13,7

BIJLAGE A8

RESULTATEN MICROBIËLE SLIBANALYSE

FIG. 1 PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS (PCA). ALL SAMPLES WERE MEASURED IN DUPLICATE. PS: PRIMARY SLUDGE, SS: SECONDARY SLUDGE, ES: EXTERNAL SLUDGE, B1, B3 AND B4: SAMPLES OBTAINED AT THE BATCH 1, 3 AND 4, RESPECTIVELY. R1, R2, R3 AND R4: REACTOR 1, 2, 3 AND THE POST DIGESTER, RESPECTIVELY

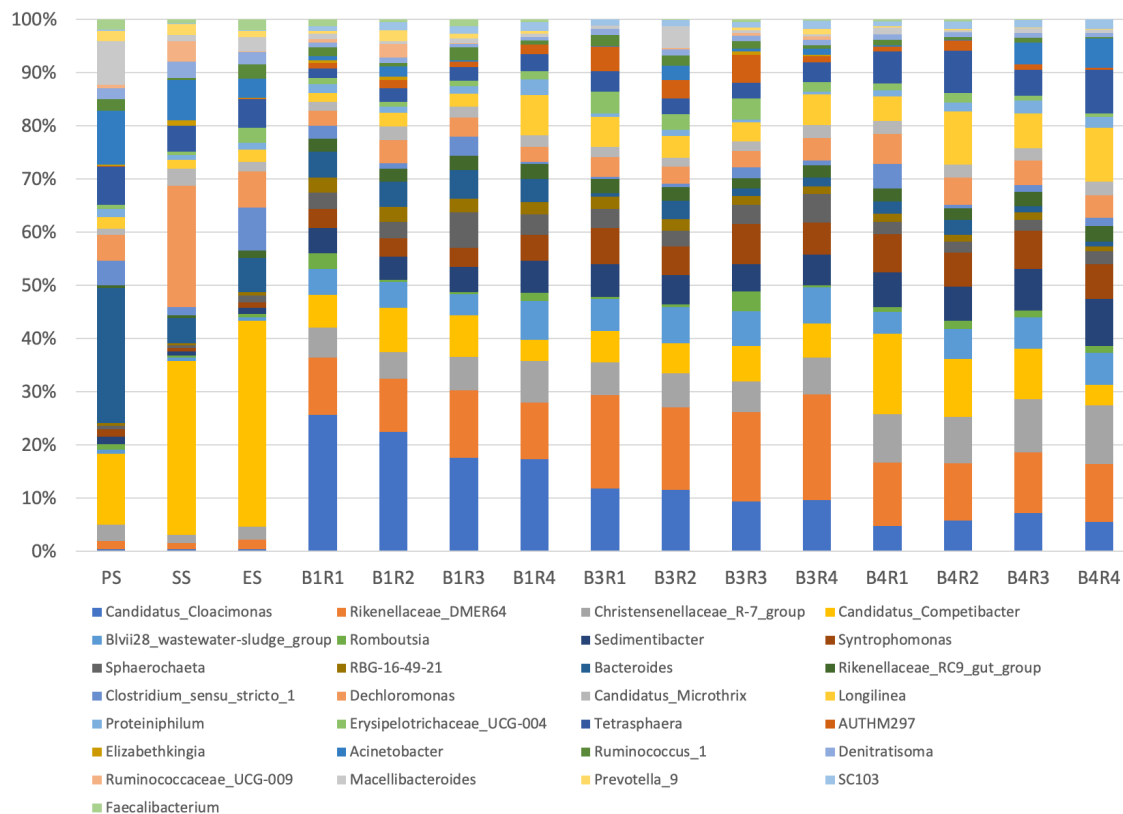


Main results:

PS, SS and ES showed large differences in microbial structure compared to the samples from the digester system.

It seems that the microbial community of digesters from Batch 1 slightly differed from that of the other batches, implying that the operational performance of Batch 1 might be different. The distances between R1 and R2 and R3 in each batch were rather close with each other, meaning that these reactors shared a similar microbial community. A longer distance i.e. a distinct microbial structure between R4 and other reactors was expected, due to a relative long sludge retention time applied in R4. However, R4 lumped together with other samples from the same batch, which indicated that the microbial composition in R4 was also similar as other reactors.

FIG. 2 RELATIVE ABUNDANCE OF TAXA RELATED TO THE DOMINATED BACTERIA OF INTEREST (TOP 30 SPECIES THAT PRESENTED IN BOTH FEEDING AND REACTORS) AT THE GENUS LEVEL



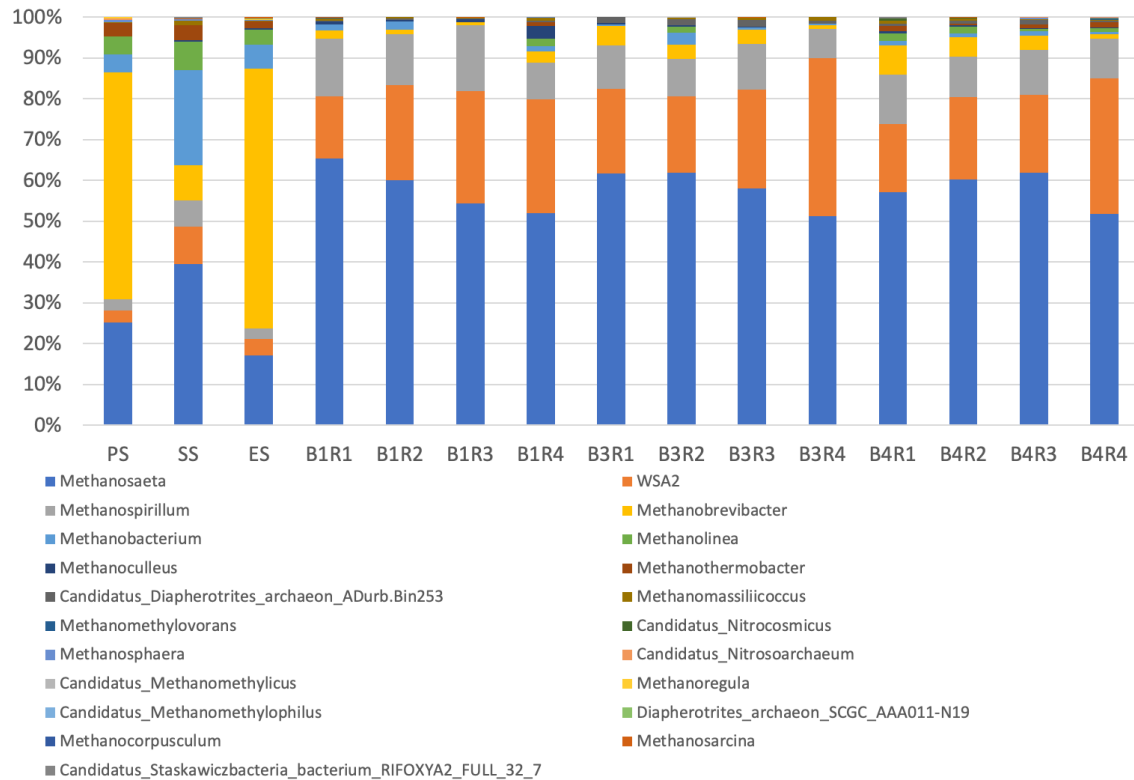
Main results:

Genus that governed the phosphorus removal (*Candidatus_Competibacter*) and denitrification (*Dechloromonas*) were dominated in SS and ES. Interestingly, approximately 10% of genus related to *Candidatus_Competibacter* was also found in the primary sludge, which was not expected. Possibly the sample has been polluted with other types of raw sludge when it was sampled. This needs a careful check.

The microbial population in R1 to R4 were predominated by the fermentative bacteria, such as *Candidatus_Cloacimonas* and *Rikenellaceae_DME464*. This shows obvious structural changes in bacteria between the raw sludge and the digestate sludge of the reactor system.

It can be clearly seen that the microbial structure in the digestate sludge of R1, R2, R3 and R4 from the same batch was similar with each other. This was different than what we found in the lab-scale cascade system at TU Delft, which a clear shift in microbial structure was found. We doubted that there might be too much mixing between the reactors.

FIG. 3 SPECIES TAXONOMY OF METHANOGENIC COMMUNITIES AT THE GENUS LEVEL



Main results:

The relative abundance of acetoclastic methanogen *Methanosaeta* accounted for more than 50% in all samples obtained from reactors. This genus has a very low growth rate and is sensitive to the operational environment such as pH or organic intermediate. Therefore, it usually can be washed out or inhibited in high-loaded systems or reactors with short sludge retention time, which was predominated by hydrogenotrophic methanogens instead (See our manuscript attached). However, only a small fraction of hydrogenotrophic methanogen was observed in our case (*WSA2*, *Methanospirillum* and *Methanobrevibacter* etc.). This indicates that the actual sludge retention time in these reactors might be much longer than the designed value that was usually caused by non-negligible “dead zones”.