

Anaerobe voorbehandeling van afvalwater HAK, Giessen

Rapportage pilot test 2013

Document nr:	140401.bkn
Project nr:	T921
Versie:	1
Datum:	27 januari 2014
Client:	VIGEF/HAK bv
Contact Triqua:	Jan Brinkman, Hans Ramaekers, Arnaud Duine

Triqua International bv
Vadaring 7
NL-6702 EA Wageningen
P.O. Box 132
NL-6700 AC Wageningen
T +31 317 466644
F +31 317 466655
info@triqua.nl
www.triqua.nl

Inhoudsopgave

1	Introductie	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	Doelstellingen pilotonderzoek	3
2	Afvalwater	4
3	Beschrijving proefopstelling	5
3.1	Achtergrond UASB-techniek	5
3.2	Proefopstelling	5
4	Verloop van de test	7
5	Bedrijfsvoering	8
5.1	Algemeen	8
5.2	pH Beheersing	8
5.3	Temperatuurbeheersing	10
6	Resultaten en discussie	11
6.1	CZV-concentraties, -belasting en -verwijdering	11
6.2	Stikstof en Fosfaat	13
6.3	Slibhoeveelheid en -activiteit in de UASB	14
6.4	Biogashoeveelheid en –samenstelling	16
7	Evaluatie en samenvatting	17

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Triqua International BV heeft in opdracht van de VIGEF een pilotschaalttest uitgevoerd met de anaerobe zuivering van afvalwater uit de groenteverwerkende industrie. De test werd uitgevoerd bij HAK BV in Giessen, waar groente en fruit worden verwerkt. Het hierbij geproduceerde afvalwater wordt momenteel behandeld in een conventionele aerobe zuivering met puntbeluchting (oppervlakte 50 m x 80 m, diepte 4,5 m; effectief volume ongeveer 12.700 m³). Voorafgaand aan de zuivering wordt het water door een trilzeef ontdaan van zo veel mogelijk zwevende delen. Slib en effluent worden gescheiden in een bezinkbak (diameter 21 m, diepte 3 m). Het effluent wordt hierna geloosd op het riool. Deze afvalwaterzuivering is volledig overkapt en wordt afgezogen om geuroverlast naar de naastgelegen woonwijk te voorkomen.

HAK is van plan om op termijn de overkapping te vernieuwen. Een andere optie zou kunnen zijn de afvalwaterzuivering om te bouwen naar een systeem met anaerobe voorbehandeling; een vernieuwing van de overkapping zou hierbij overbodig zijn. Daarnaast wordt in anaerobe behandeling biogas geproduceerd, zal bespaard worden op beluchting en zal een kleiner oppervlak nodig zijn.

De bedrijfsvoering van de pilot installatie was in handen van eigen personeel van HAK en van Remondis Aqua bv te Geldermalsen, dat gespecialiseerd in operationeel beheer en het bedrijven van waterzuiveringen in de industrie en meerdere industriële waterzuiveringen in eigen beheer heeft. De door de bedrijfsvoerders verzamelde monsters van influent, effluent, slib en biogas van de pilot-installatie werden geanalyseerd door Opure te Ede, dat een laboratorium heeft en gespecialiseerd is in anaerobe waterzuivering. Triqua International BV te Wageningen, dat gespecialiseerd is in testen en realisatie van industriële waterzuiveringen heeft de bedrijfsvoerders technologisch begeleid en de rapportage verzorgd.

1.2 Doelstellingen pilotonderzoek

In het pilotonderzoek is onderzocht wat voor zuiveringsrendement behaald kan worden met de anaerobe zuivering van afvalwater vanuit de groenteverwerkende industrie, met als voorbeeld HAK Giessen. Het functioneren van het systeem is beoordeeld aan de hand van de volgende parameters:

- effluentkwaliteit en CZV verwijdering;
- slibaangroei en flexibiliteit;
- biogasproductie (hoeveelheid en samenstelling);
- N- en P balans; behoefte aan eventuele nutriëntendosering van het proces;
- pH stabiliteit en loogbehoefte;
- mogelijke invloed van bijvoorbeeld:
 - discontinue lozen (bijv. wisseling naar zeer lage belasting en pieklozing);
 - calamiteit met room.

Momenteel wordt het effluent van de waterzuivering op het riool geloosd. Mogelijk kan het afvalwater zo ver gezuiverd worden dat lozing op oppervlaktewater toegestaan wordt.

Op basis van de testresultaten kan een full scale installatie ontworpen worden en een goede inschatting worden gemaakt van investeringskosten. Daarnaast kan op basis van de testresultaten een nauwkeuriger inschatting gemaakt worden van de operationele kosten en biogasbaten.

2 Afvalwater

Het afvalwater geproduceerd door HAK Giessen wordt als volgt gekarakteriseerd:

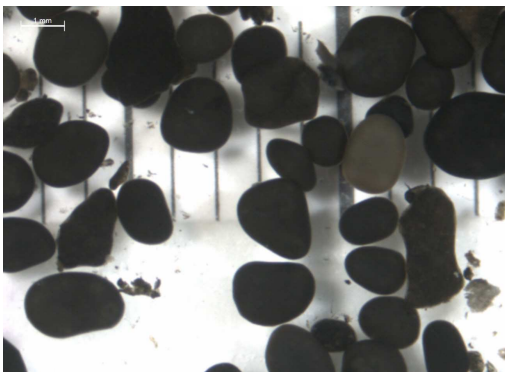
- afvalwaterproductie gemiddeld 2.000 m³/d*, piek 4.000 m³/d (na reductie van waterverbruik door HAK met 20%);
- productie gedurende 5 dagen per week, 52 weken per jaar;
- gemiddelde CZV-concentratie 1.850 mg/L;
- CZV-vracht 3.600 kg/d*, piek 12.500 kg/d;
- verwachte biogasopbrengst gemiddeld 960 m³/d, met pieken van >3.000 m³/d;
- temperatuur <20 – 55 °C;
- pH 5 – 12;

3 Beschrijving proefopstelling

3.1 Achtergrond UASB-techniek

In anaerobe afvalwaterzuivering wordt chemische energie (aanwezig als CZV) omgezet in biogas (voornamelijk methaan en koolstofdioxide). Hierbij wordt energie bespaard: er is minder energie nodig voor de beluchting en methaan, een energiebron, wordt geproduceerd, welke kan worden gebruikt voor de productie van warmte en/of electriciteit. Daarnaast produceren anaerobe systemen minder (spui)slib, tijdens perioden van stilstand kan het slib lang bewaard worden bij lage belasting en temperatuur. Ook nemen anaerobe systemen minder oppervlakte in beslag.

Triqua International heeft veel ervaring met anaerobe systemen, o.a. ook door de samenwerking met Opure B.V. Gezamenlijk worden ruim 100 anaerobe zuiveringen begeleid. De upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactor met korrelslib (zie onderstaande foto) is de meest toegepaste anaerobe technologie. Deze technologie wordt veel toegepast voor industrieel afvalwater. Het anaerobe korrelslib proces heeft zich bij veel industrieën al bewezen, wereldwijd draaien meer dan 1000 van dergelijke installaties op commerciële schaal.



3.2 Proefopstelling

Het pilotonderzoek is uitgevoerd in een 3 m³ grote UASB-reactor (diameter 1 m, hoogte 4,5 m; fig. 1). De reactor is gevoed worden met afvalwater (0 - 400 liter per uur) wat ingenomen wordt na de trilzeven, waarbij met multiboxen/een kleine buffer, een voorbezinking en buffer wordt gerealiseerd. Om ophoping van bezonken vaste stof in de voorbezinking / buffer te voorkomen is vanuit de multiboxen periodiek sediment afgepompt retour naar de afvalwaterput.

De reactor wordt verwarmd tot 35 °C. Een container bevat de apparatuur, instrumentatie, automatisering en apparatuur voor automatische monsternamen. De monsters worden koud opgeslagen voor analyse.

De installatie bestaat uit:

- Trilzeef (bestaand)
- Buffer, bestaande uit 2 vaten, totale inhoud ca. 2 m³;
- UASB reactor, inhoud ca. 3 m³;
- Verwarming;

- pH-correctie; natronloogvat en doseerpomp op basis van in line pH meting in de recirculatieleiding. De pH is gecontroleerd op 6,9;
- Geautomatiseerde monsternamepompen + gekoelde opslag voor influent- en effluentmonsters;
- Afvoerslang voor effluent naar bestaande put voor afvalwater.



*Figuur 1. Impressie van de UASB pilot installatie bij HAK Giessen.
 Boven: de buiten opgestelde UASB reactor
 Onder: de container met influentvaten, monstername en biogasafvoer*

4 Verloop van de test

Vanaf 31 mei tot en met 13 december 2013 heeft bij HAK Giessen de in hoofdstuk 3 beschreven pilot UASB installatie gedraaid. Tabel 1 geeft de verschillende fasen tijdens de uitgevoerde test weer.

Tabel 1. Fasering pilot onderzoek anaerobe zuivering bij HAK Giessen, 2013

	Start	Eind	Toelichting
Opbouw/opstart	31-05	17-06	Inbedrijfname en technische optimalisatie van met name: <ul style="list-style-type: none"> • Loogdosering (aanvankelijk lucht aanzuig/onregelmatige aanvoer), • Voorkomen verstopping warmtewisselaar, • Dompelpomp verzorgt continue toevoer naar influentvat .
Duurproef	18-06	20-09	Langdurig en continu draaien van de instalatie: <ul style="list-style-type: none"> • Opvoeren volumetrische belasting reactor van 0,5 tot ca 5 kg CZV/m³/d • Monitoring influent- en effluentkwaliteit • Groot aantal verschillende soorten groenten/fruit verwerkt • Beperkte technische optimalisaties: <ul style="list-style-type: none"> ○ groter loogvat; ○ afpompen sediment uit influentvat
Flexibiliteitstest 1	16-10	28-10	Heropstart tijdens appelcampagne na enkele weken stilstand, wisselende belastingen (2 -9 kg CZV/m ³ /d)
Flexibiliteitstest 2	20-11	13-12	Heropstart na enkele weken stilstand: <ul style="list-style-type: none"> • Overbelasting tijdens verwerking rode bieten en appels (15-20 kg CZV/m³/d). • Op 11 december toevoeging roomcharge 5 liter 35 % vet room op 1 m³ afvalwater
Stilstandsperiodes tussendoor:			
<ul style="list-style-type: none"> • Na duurproef • Tussen beide flexibiliteitstesten 	21-09 29-10	15-10 19-11	

Het functioneren van het systeem is beoordeeld worden aan de hand van de volgende parameters:

- effluentkwaliteit (CZV, N en P);
- slibaangroei, -activiteit en flexibiliteit van het biologische proces;
- biogasproductie (hoeveelheid en samenstelling);
- mogelijke invloed van bijvoorbeeld:
 - discontinue lozen (bijv. wisseling naar zeer lage belasting en pieklozing);
 - appelcharges
 - calamiteit met room.

5 Bedrijfsvoering

5.1 Algemeen

Tijdens het eerste deel van de duurproef is de volumetrische belasting op de pilot langzaam verhoogd door het influentdebiet te verhogen. De belasting is verhoogd van 0,5 kg TCZV/m³·d bij de opstart, tot 1 – 2 kg TCZV/m³·d omstreeks 21 juni, tot 4 - 5 kg TCZV/m³·d omstreeks 26 juli. De variatie in de belasting werd veroorzaakt door een dagelijks wisselende afvalwatersamenstelling; het influentdebiet werd hier niet op aangepast.

Eind juli is een extra pomp geïnstalleerd voor het op tijdbasis afpompen van bezinksel dat zich onder in het influent vat ophoopte. Dit bezinksel is teruggevoerd naar de afvalwaterput en wordt dus niet in de UASB mee-behandeld.

In de periode daarna (augustus/ september) bleken de CZV concentraties in het influent zodanig laag te zijn, meestal circa 1.000 mg/l of nog iets lager dat het UASB proces tegen zijn hydraulische grenzen aan liep (300-400 l/h), waardoor kon de CZV belasting niet verder worden opgevoerd.

Op 20 september is de duurproef zoals gepland beëindigd in afwachting van de appelcampagne. De installatie is daarbij compleet stilgezet, waarbij de reactor afkoelde tot daggemiddelde buitentemperatuur (circa 11 °C, begin oktober).

Tijdens de eerste flexibiliteitstest met de verwerking van appels in oktober fluctueerde de CZV belasting tussen de 2,5 en de 9 kg CZV/m³/d, vanwege de sterk wisselende CZV gehalten in het influent.

Aan het begin van de tweede flexibiliteitstest in november trad een overbelasting op vanwege zeer hoge CZV concentraties in het afvalwater, waarna bij lagere belastingen her-opgestart is. Op 13 december is de test beëindigd

Om mechanische problemen te voorkomen zijn tijdens het bedrijf regelmatig doseer- en monsternameslangen gereinigd dan wel vervangen en is de warmtewisselaar regelmatig gereinigd.

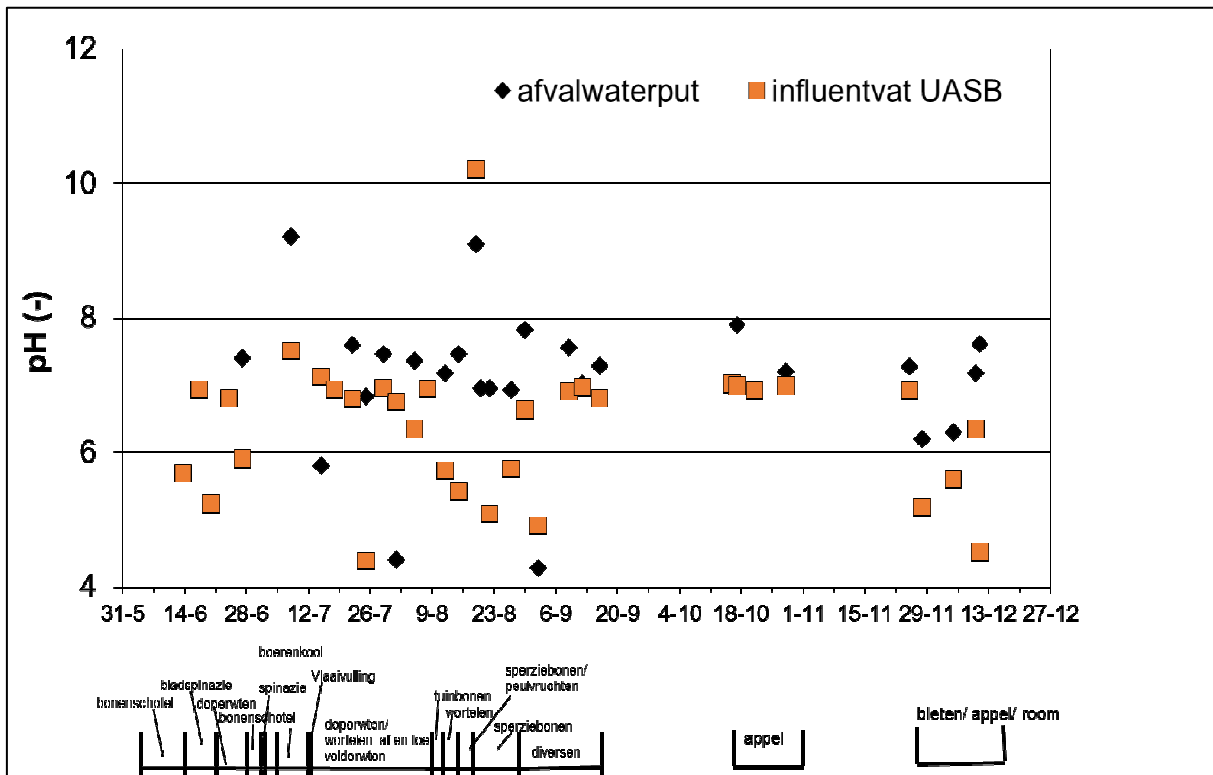
5.2 pH Beheersing

Op 23 juli was de pH in de reactor laag, nl. 5,0. De pH-sturing door loogdosering was stilgevallen door de vorming van een luchtbel in de slang waardoor natronloog aan de reactor wordt gedoseerd. De slangen zijn gereinigd of vervangen en de aansluiting, waardoor mogelijk valse lucht wordt aangezogen, zijn nagelopen. Er is geen effect waargenomen van deze onderbreking op de CZV-omzetting en biogasproductie van de reactor (zie hoofdstuk 6).

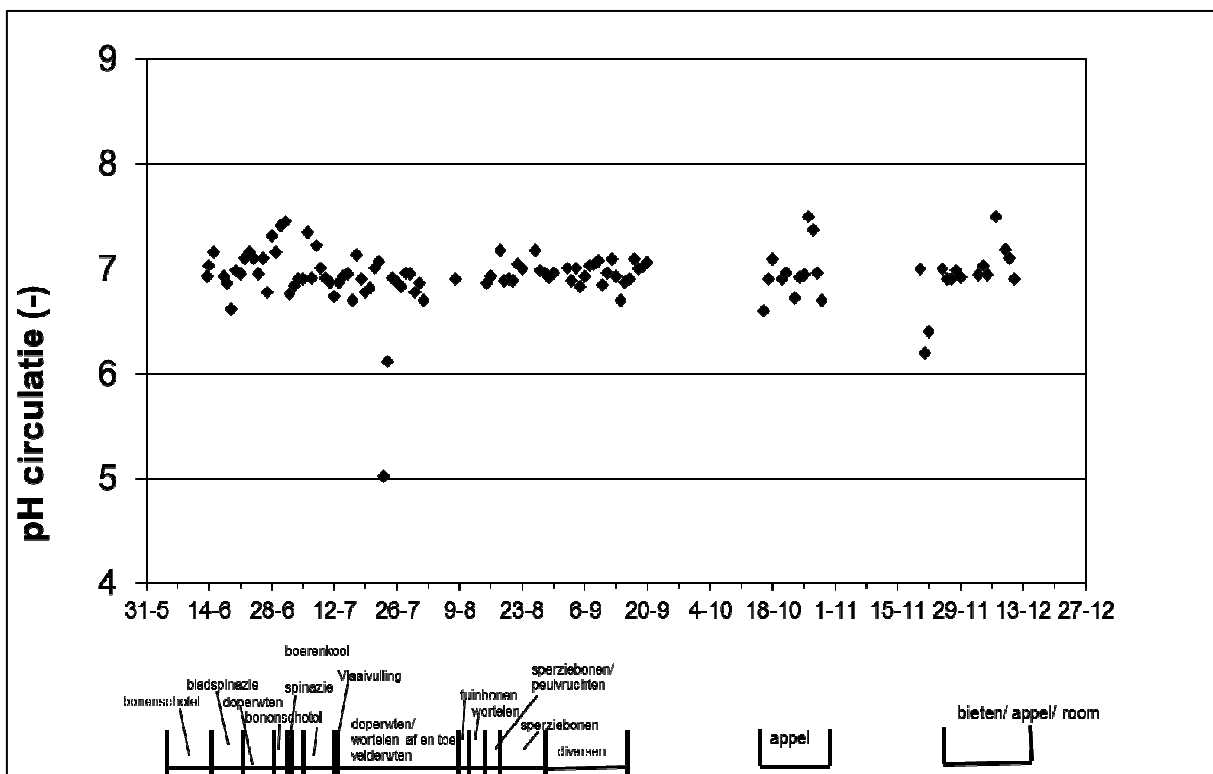
De pH van de ruwe toevoer fluctueert tussen de 4,4 en de 10,2 met een gemiddelde van 7,1. Gemiddeld verzuurt dit in het influentvat tot 6,4 (zie figuur 2), doordat hier al anaerobe biologische omzettingen van organische verontreinigingen naar vetzuren als azijnzuur en propionzuur gaan optreden.

De pH in de reactor werd op een setpoint van 7 gehouden door een geautomatiseerde loogdosering. Op 23 juli functioneerde de loogdosering niet vanwege een luchtbel in de aanvoer slang en daalde de pH gedurende 2 dagen tot 5,0, respectievelijk 6,1 (zie figuur 3).

Op 21 en 22 november, tijdens de overbelasting met rode bieten afvalwater kan de pH dosering de pH daling tijdelijk niet bijhouden. De pH daalt naar 6,2 (21-11) respectievelijk 6,4 (22-11) en herstelt daarna in circa 2 dagen.



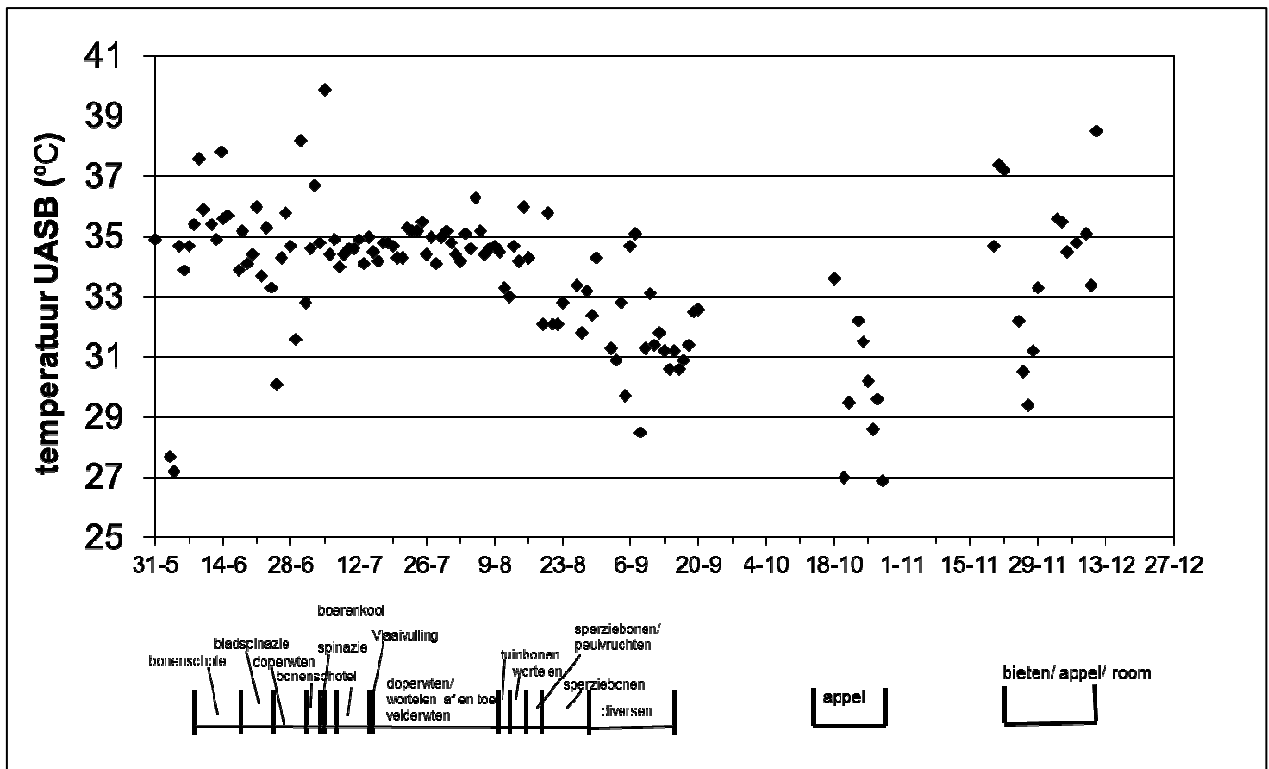
Figuur 2. pH in toevoer



Figuur 3. Verloop pH in reactor/ recirculatieleiding

5.3 Temperatuurbeheersing

De temperatuur werd tijdens het proces geregeld met behulp van een thermostaat, een warmte wisselaar in de recirculatie en een boiler. Tot 20 augustus werd de temperatuur geregeld op een setpoint van 35 °C, daarna op 32 °C. Tijdens de laatste duurproef , die plaatsvond in november/ december is het temperatuursetpoint weer opgevoerd naar 35 °C om te vergaande afkoeling van het systeem te voorkomen. In de praktijk bleef de temperatuur redelijk goed op setpoint +/- 2 °C, met enkele uitschieters naar minimaal 27 en maximaal 39 °C (figuur 4). De uitschieters omlaag waren het gevolg van storingen aan de verwarming, die door de bedrijfsvoerders van Remondis Aqua binnen enkele uren werden verholpen, de uitschieters omhoog waren het gevolg van het feit dat het afvalwater soms gedurende een langere periode circa 40 °C was. De temperatuur van het ruwe afvalwater bleek in tijdens het onderzoek te variëren tussen de 20 en de 40 °C, echter op 3 juli wordt een uitschieter van 63 °C gerapporteerd met blancheerwater.



Figuur 4. Beheersing en verloop van temperatuur in de UASB

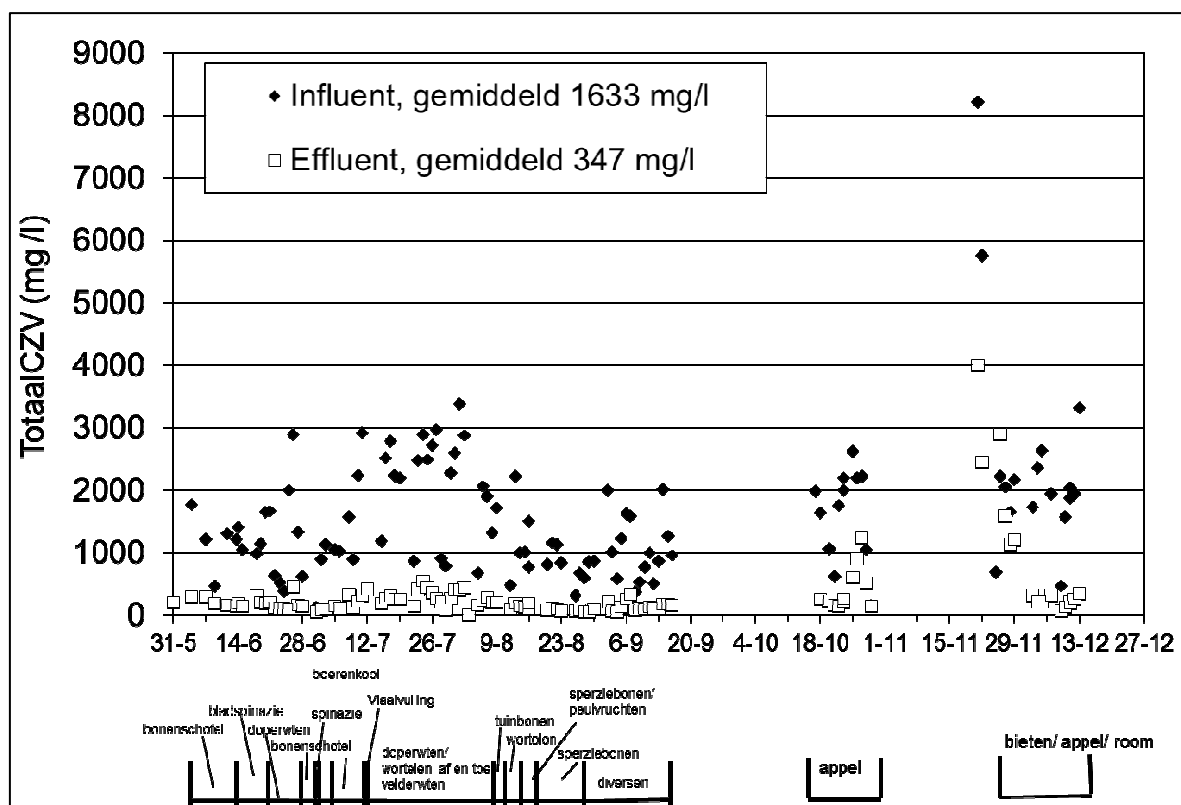
6 Resultaten en discussie

6.1 CZV-concentraties, -belasting en -verwijdering

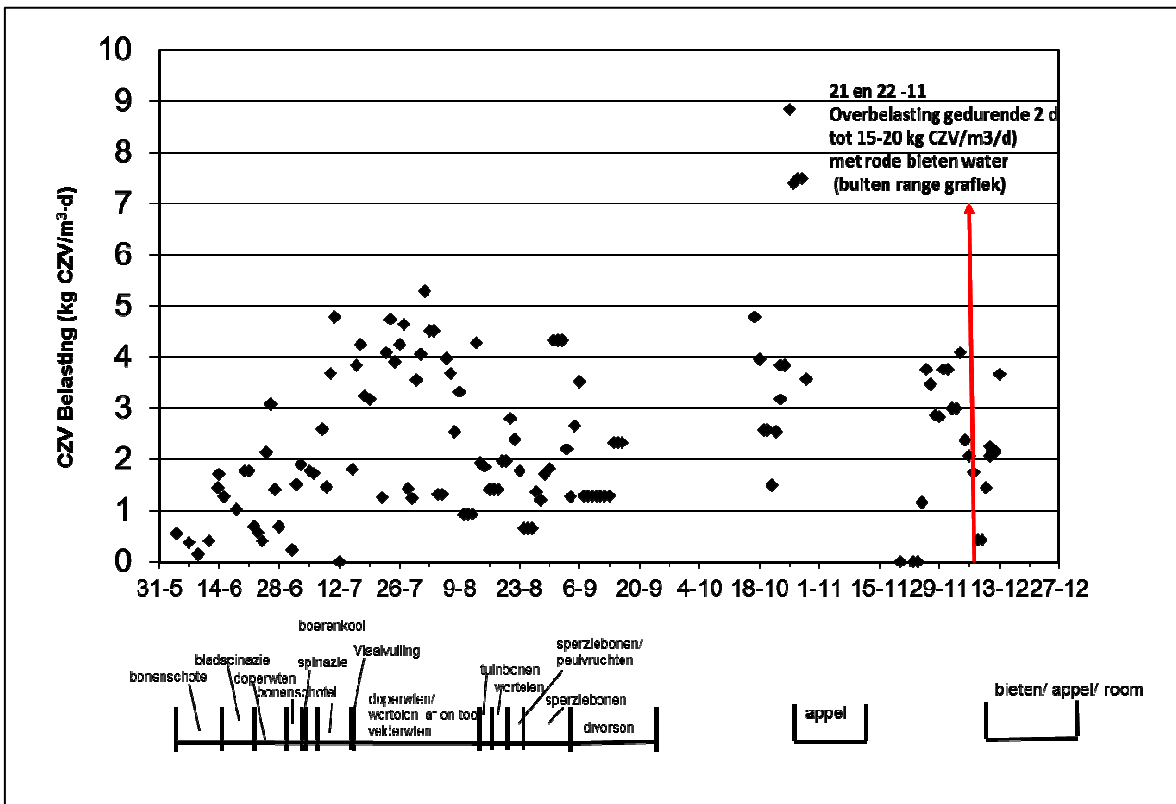
Hoewel de CZV concentraties en daarmee de volumetrische belasting op de UASB reactor sterk fluctueren (figuur 5 en 6) is de TCZV verwijdering (figuur 7) doorgaans constant en hoog, 75 tot 90 % bij volumetrische belastingen tot circa $5 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ en sterk variërende influent CZV concentraties. CZV gefiltreerd aan in- en effluent UASB is regelmatig geanalyseerd tussen 15 juli en 20 november. Vrijwel alle CZV in het influent bestaat uit CZV-gefiltreerd, het zwevende stof gehalte van het te behandelen afvalwater is zeer laag.

Er treden twee situaties op waarbij het rendement tijdelijk lager is:

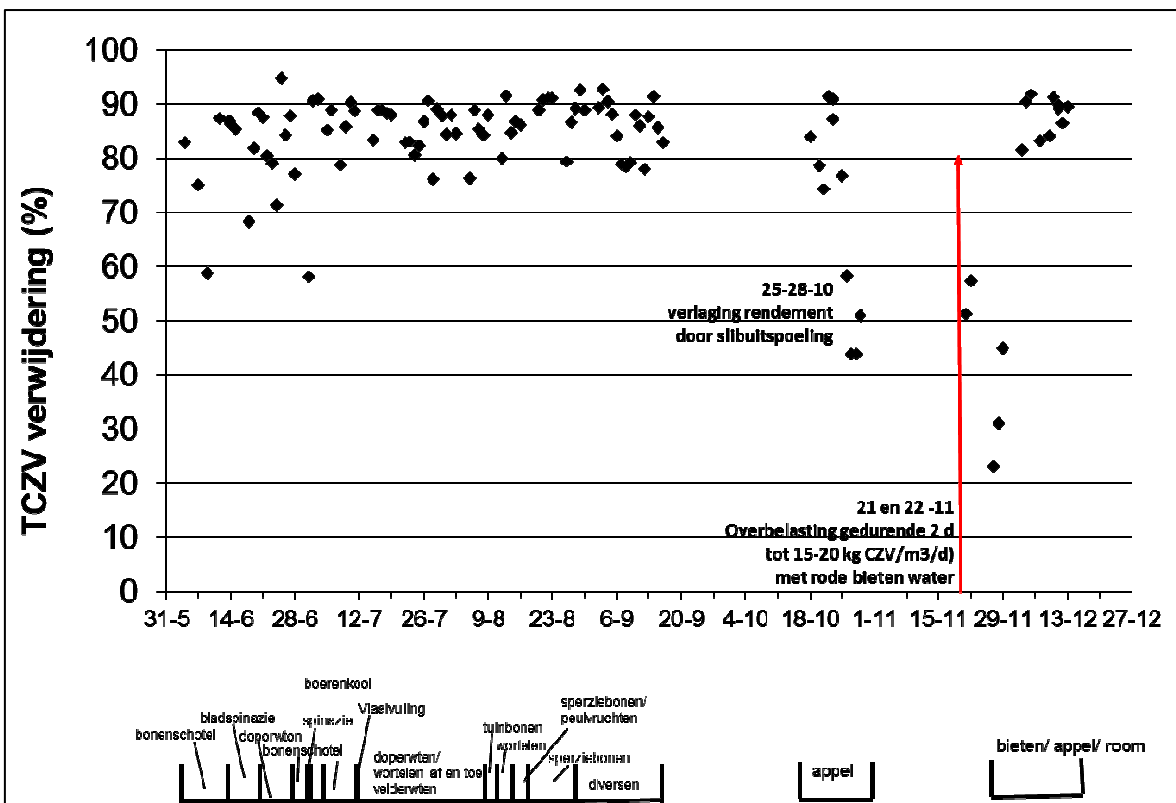
- Tijdens de laatste week van de appelcampagne eind oktober treedt een verlaging van het rendement op, tot 40 – 60 % bij belastingen van $7\text{-}8 \text{ kg COD/m}^3/\text{d}$. Dit hangt samen met tijdelijke toename van de uitspoeling van vlokkelig slib met het effluent;
- Bij de heropstart van de reactor op 21 en 22 november met rode bieten afvalwater blijkt het afvalwater met $4\text{-}8 \text{ g CZV/l}$ zeer geconcentreerd. Dit leidt tot een volumetrische belasting van $15 \text{ tot } 20 \text{ kg CZV /m}^3/\text{d}$. Dit heeft een duidelijk negatief effect op het rendement, gedurende een kleine week. Daarna herstelt het rendement zich weer naar de oorspronkelijke waarden. Als de overbelasting is opgeheven herstelt het CZV rendement zich binnen een week. De test met toevoeging van een charge van 5 liter slagroom met vetpercentage 35 % ineens lijkt op korte termijn geen invloed te hebben op het CZV verwijderingsrendement. Ook visueel is geen verslechtering geconstateerd van de effluentkwaliteit na de roomtoevoeging, er spoelde niet meer zwevende stof en/of slibkorrels uit dan in de periode daarvoor.



Figuur 5. In- en Uitgaande CZV concentraties



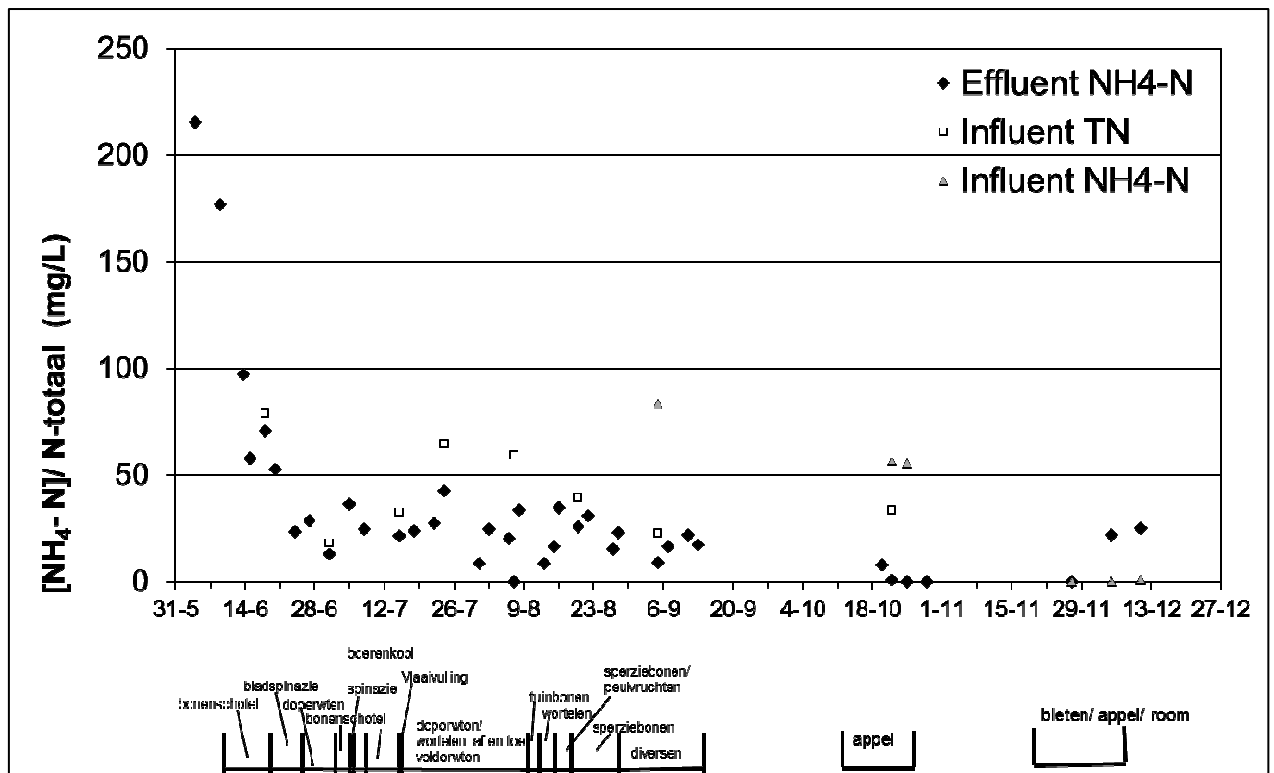
Figuur 6. Volumetrische belasting CZV op UASB reactor



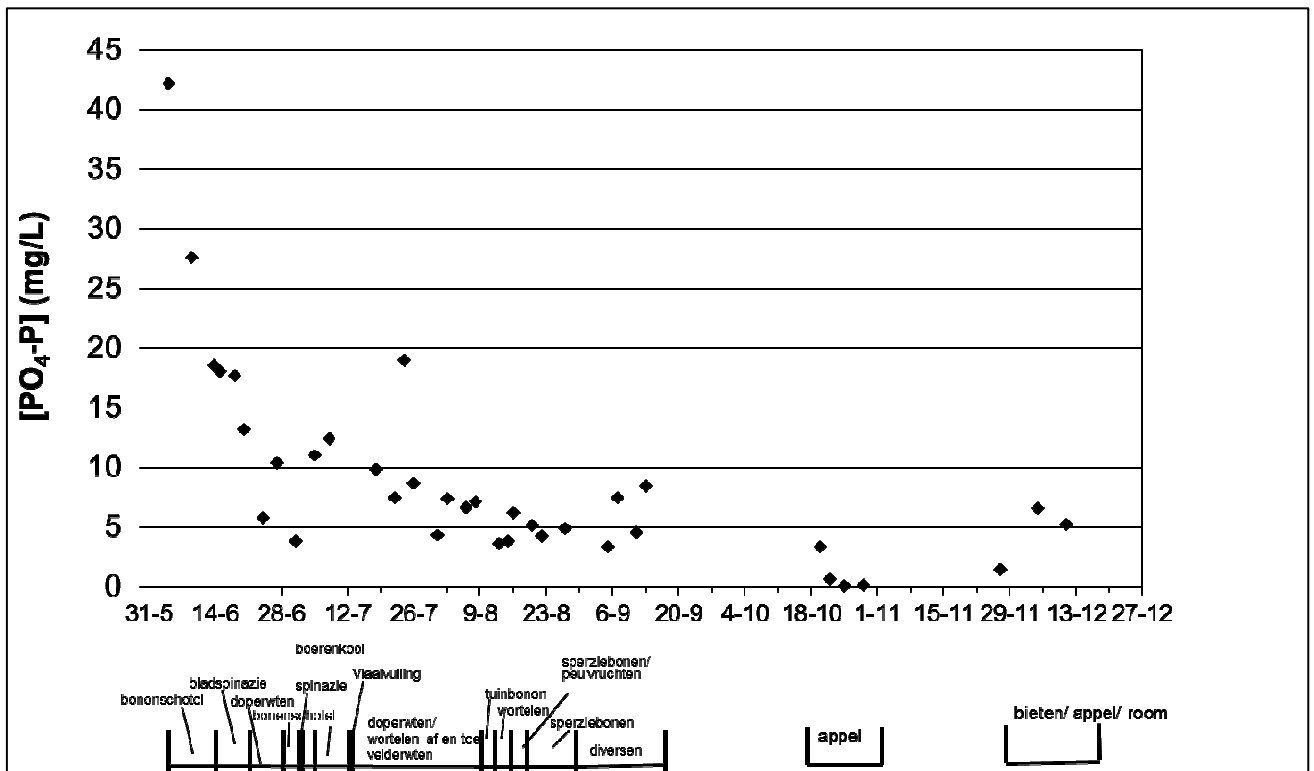
Figuur 7. Verwijderingsrendement totaal CZV

6.2 Stikstof en Fosfaat

N en P zijn tijdens de test niet gedoseerd. De concentratie in het effluent tijdens de eerste run (tot eind september) wijzen er niet op dat N en P dosering nodig is (figuur 8 en 9). Echter tijdens de toevoer van afvalwater van de appelverwerking in oktober dalen de effluentconcentraties N en P scherp, $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P} < 1 \text{ mg/l}$ eind oktober. Tegelijk hiermee daalt het rendement op CZV, waarschijnlijk veroorzaakt nutriëntentekort mede de verminderde slibactiviteit, (zie paragraaf 6.3).



Figuur 8. Verloop van de gemeten stikstofgehalten in toevoer en effluent

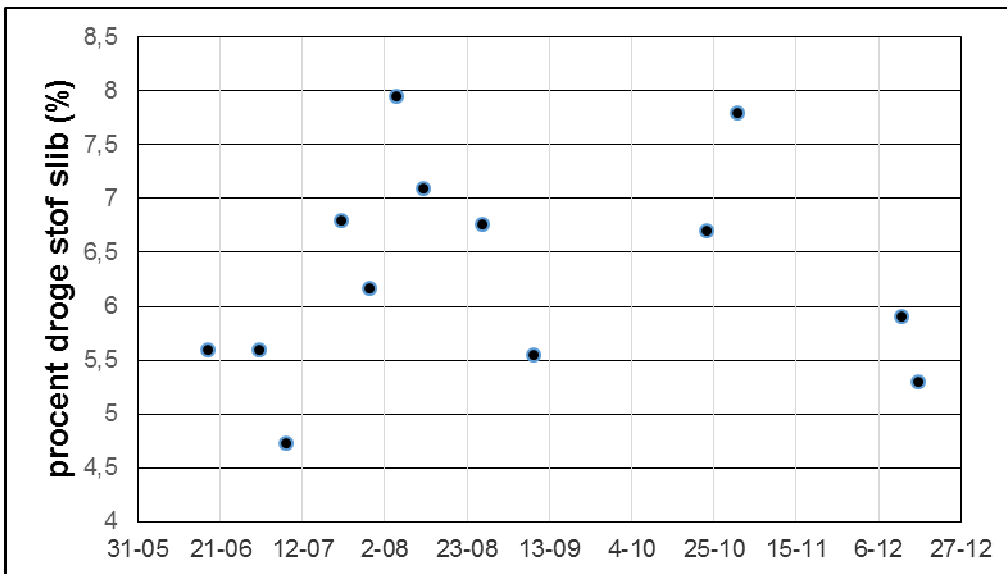


Figuur 9. Verloop van het gemeten fosfaat-P gehalte (alleen effluent)

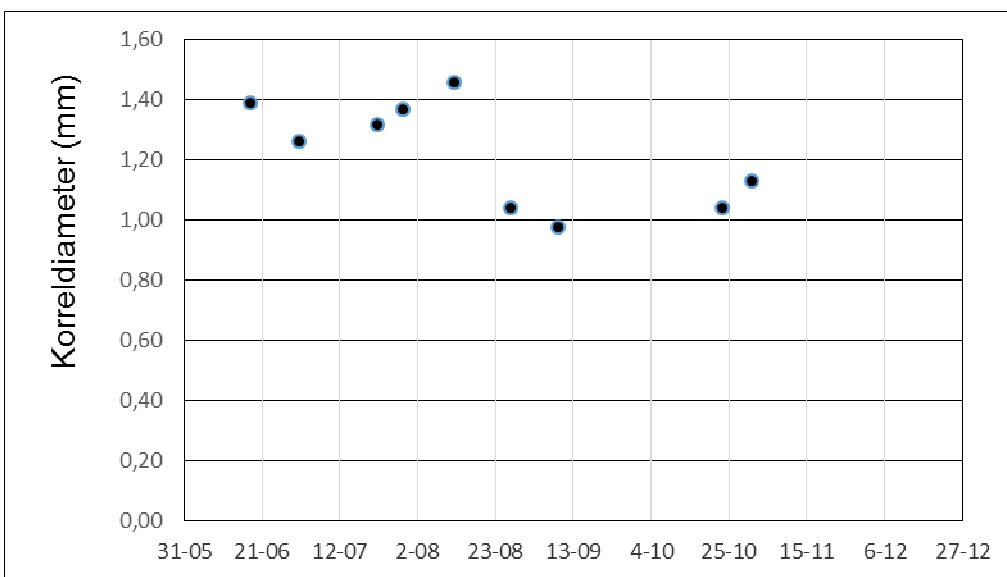
6.3 Slibhoeveelheid en -activiteit in de UASB

Het slibvolume in de reactor varieert beperkt, de slibbedhoogte is 2-2,5 m. Het droge stofgehalte varieert tussen de 4,7 en de 8 % (figuur 10). Een grote uitspoeling van slibvlokken of -korrels via het effluent is niet geconstateerd.

De gemiddelde diameter van de slibkorrels blijft tijdens de eerste run de eerste 2 maanden 1,2 – 1,4 mm (figuur 11), maar neemt daarna af tot circa 1 mm gedurende de rest van de test. De korrels zijn ook zichtbaar kleiner echter de bezinkbaarheid van het slib blijft echter goed.



Figuur 10. Verloop Droge stofgehalte UASB slib (1 meter reactorhoogte)



Figuur 11. Verloop gemiddelde korrel diameter UASB slib (1 meter reactorhoogte)

6.4 Biogashoeveelheid en –samenstelling

Tabel 2 geeft een overzicht over de variatie van de biogas samenstelling tijdens de test.

	Gemiddelde	Minimum – Maximum
Methaan, CH ₄ (vol %)	75,7	59,1 – 85,6
Kooldioxide, CO ₂ (vol %)	17,6	8,8 – 36,5
Waterstofsulfide, H ₂ S (ppm)	393	291 – 550

De biogasproductie bedraagt over de gehele onderzoeksperiode gemiddeld 0,44 m³ per m³ afvalwater bij een gemiddelde CZV in de toevoer van 1633 mg/l en 347 mg/l in het effluent van de UASB. Het grootste deel van de verwijderde CZV (80-90%) wordt dus omgezet naar biogas.

De waterstofsulfidegehalten in het biogas zijn niet extreem hoog, maar voor de meeste biogastoepassingen dient wel verwijdering van H₂S plaats te vinden. Een actief koolfilter volstaat hiervoor.

7 Evaluatie en samenvatting

CZV omzetting

De CZV-omzetting is doorgaans goed met een gemiddeld rendement van 80 %. De anaerobe afbreekbaarheid van het afvalwater is constant en zeer goed.

Biogas

De biogasproductie bedraagt gemiddeld $0,44 \text{ m}^3/\text{m}^3$ afvalwater bij een ingaande CZV van 1633 mg/l. Het biogas is met circa 75 % methaan goed bruikbaar voor warmteproductie en/of electriciteitsopwekking. Doorgaans dient het biogas hiervoor ontvochtigd en eventueel op druk gebracht te worden. Vanwege de significante waterstofsulfidegehalten moet een actief koolfilter worden voorzien.

Chemicaliënverbruik

Nutriëntdosering is tijdens het dagelijkse bedrijf niet nodig, echter bij de verwerking van appels en andere fruitsoorten is tijdelijk nutriëntdosering nodig.

NaOH (33 %) wordt wel regelmatig verbruikt, de hoeveelheid varieert met de pH van de aanvoer en het CZV gehalte.

Calamiteit met room

De plotselinge toevoeging van room (5 liter met 35 % vet op 1 m^3 afvalwater) heeft op de korte termijn geen zichtbare gevolgen voor het anaerobe proces ten aanzien van korrelstabiliteit en CZV verwijdering.

Procesontwerp en -bedrijfsvoering

Het proces is robuust ten aanzien van onderbrekingen in de voeding. Lange stilstanden kunnen goed gehanteerd worden, maar langdurig een te lage belasting ($< \text{ca. } 3 \text{ kg CZV}/\text{m}^3/\text{d}$) kan tot gevolg hebben dat op lange termijn de activiteit en kwaliteit van het korrelslib afneemt en moet vermeden worden.

Het proces kan stabiel en continu goed werken echter heeft hiertoe een goed doordacht ontwerp en goede bedrijfsvoering (sturing en procesanalyse) nodig.