



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Måling af lattergasemission fra Skanderborg Centralrenseanlæg

MUDP Rapport

November 2020

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Ditte Krogh Bak, DHI

Sara Letholm Skaarup, Skanderborg Forsyning

Jens Munk-Poulsen fra Skanderborg Forsyning
er fagansvarlig og projektleder.

ISBN: 978-87-7038-245-8

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

Indledning	4
1. Anlægsbeskrivelse Skanderborg Centralrenseanlæg	5
2. Lattergassensorer, placering, dataopsamling og databehandling	6
2.1 Placering af sensorer	6
2.2 Idriftsættelse af onlinemåling, måleperiode og dataflow	7
2.3 Vedligehold, kalibrering og datavalidering	7
2.4 Økonomiske udgifter forbundet med sensorer	8
3. Resultater	9
3.1 Resultater for hele måleperioden	9
3.2 Særlige fokusperioder	10
4. Kommentar til resultater og observationer	15
4.1 Lattergasproduktion, denitrifikation og/eller nitrifikation	15
4.2 Beluftningsstrategi	15
4.3 Øget belastning	16
5. Konklusion	17
Bilag 1. Nitrous oxide emission calculation (PDF)	18

Indledning

Det er Skanderborg Forsyningsvirksomheds målsætning at være CO₂-neutral i 2030. Beregninger af det samlede CO₂-fodaftryk viser, at lattergasemissionen udgør ca. 50% af den samlede CO₂-belastning. Formålet med dette projekt er at kvantificere lattergasbidraget til CO₂-aftrykket mere præcist via online N₂O-monitering.

Nærværende projekt er gennemført som en del af MUDP's program: "Tilskud til måling og forsøg med reduktion af lattergas MUDP 2018". Der er opnået støtte til etablering af 2 stk. lattergassensorer samt etablering af luftflowmåling på luftforsyningsrøret til procestanken for at opnå den bedst mulige estimering af lattergasemissionen. Der er desuden ydet støtte til, at nyt udstyr tilsluttes det eksisterende SRO-anlæg, samt til opsætning af system til dataopsamling og rapportering i DIMS.CORE.

Skanderborg Forsyningsvirksomhed med projektleder Jens Munk Poulsen er hovedansøger til projektet og har udført projektet med DHI som underrådgiver. Der er givet tilsagn til projektet per 08.03.2018. Projektet er oprindeligt planlagt til afslutning per 01.07.2019. Projektperioden er forløbet fra februar 2018 til maj 2020. Afslutning og afrapportering er udskudt til 01.07.2020.

1. Anlægsbeskrivelse

Skanderborg Centralrenseanlæg

Skanderborg Centralrenseanlæg er et recirkulationsanlæg med to parallelle linjer opbygget i hver sin proces tank. Procestankene består af en ydre tank og en indre tank. Den indre tank er en DN-tank, og den ydre er en N/DN-tank, hvor der er installeret bundbeluftning i ca. halvdelen af tanken. Graden af denitrifikation i den ydre tank varierer afhængigt af belastning og beluftningsniveauet. Indløbsflowet fordeles ligeligt mellem de to proceslinjer. Lattergasmåling er udelukkende foretaget i proceslinje 2. Et luftfoto af anlægget er vist i Figur 1.

Styring af beluftningen i proceslinje 1 foregår i EnviStyr ud fra online måling af $\text{NH}_4\text{-N}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$ målt med ionselektive elektroder fra WTW samt måling af opløst ilt. En tilsvarende styring var implementeret i proceslinje 2 indtil 11-06-2019, hvor den blev erstattet af en styring baseret på måling af iltkoncentration i offgas med en OXxOFF måler fra Stjernholm. I denne styring indgår samtidig måling af $\text{NH}_4\text{-N}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$ med ionselektive elektroder.



Figur 1: Skanderborg Centralrenseanlæg

2. Lattergassensorer, placering, dataopsamling og databehandling

2.1 Placering af sensorer

Der er placeret to stk. *N20 Wastewater System* sensorer fra Unisense Environment i proceslinje 2 N/DN-tank. Den ene befinder sig i den beluftede zone og anvendes til udledningsberegning. Den anden sensor er placeret ved udløbet fra N/DN tanken, hvor der ikke beluftes. Sensoren placeret ved udløbet anvendes ikke i emissionsberegningerne. Placering af målerne er vist på Figur 2 og Figur 3.



Figur 2: Placering af lattergasmåler 1 og lattergasmåler 2



Figur 3: Placering af lattergassensor 1 i den ikke-beluftede-zone og lattergassensor 2 i den beluftede-zone

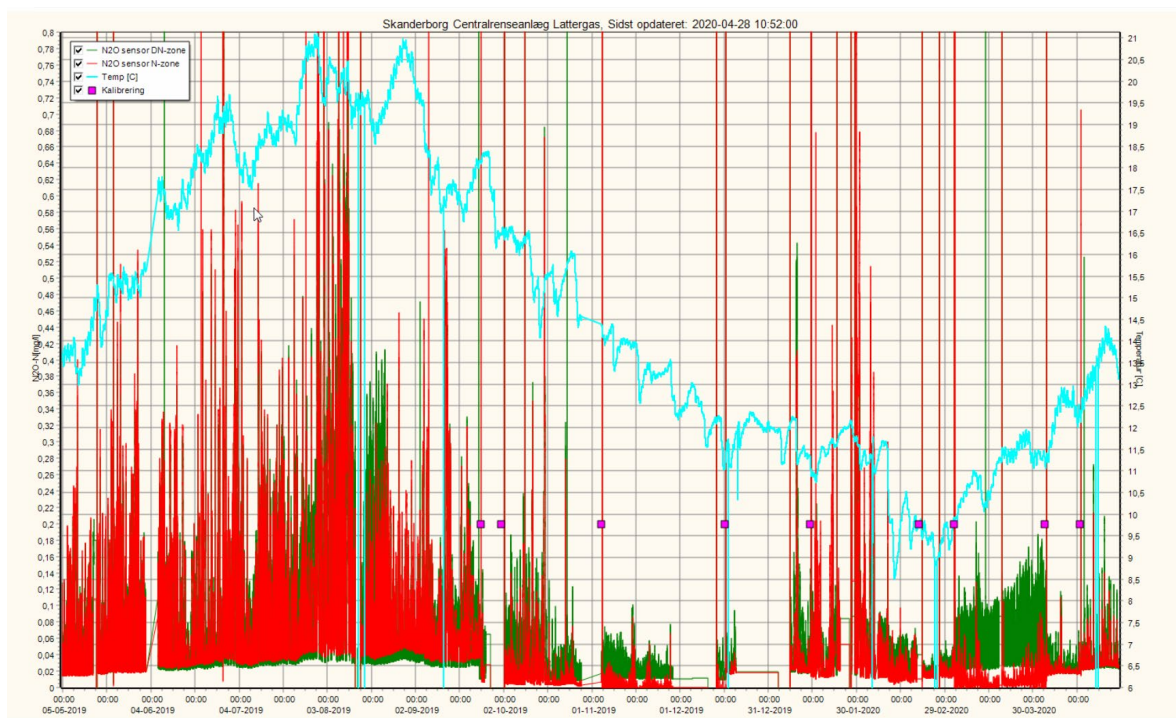
Det var planen, at den sensor, der er placeret i udløbet fra procestank 2, skulle flyttes til den beluftede zone i procestank 1 for at få en opgørelse over den totale lattergas-udledning fra begge procestanke. Dette er ikke nået inden for nærværende projekt, og det antages derfor, at udledningen fra procestank 1 er identisk med den fra procestank 2 på trods af forskellig styring af de to tanke.

2.2 Idriftsættelse af onlinemåling, måleperiode og dataflow

Sensorerne er indkøbt og opsat i januar 2019. Måleperioden strækker sig fra 05-04-2019 frem til 24-04-2020. Før måleperioden er sensorerne kalibreret, og dataopsamling i eksisterende SRO-system etableret. Der er etableret kommunikation mellem DIMS.CORE og SRO systemet via et datalink. I DIMS.CORE logges onlineværdier af lattergaskoncentrationer, luftflow til procestank 2 samt temperatur i procestank 2. Ud fra disse onlineværdier beregnes lattergas-emissionen. Den beregnede emission skrives tilbage til SRO systemet, så denne konstant er tilgængelig for medarbejdere ved Skanderborg Forsyningsselskab.

2.3 Vedligehold, kalibrering og datavalidering

Sensorerne er som udgangspunkt kalibreret en gang månedligt under hele måleperioden og derudover efter behov. Nedenstående figur viser en kurve over rådata for lattergasmåleren. Den grønne kurve viser de målte værdier for N₂O sensoren i DN-zonen, den røde kurve viser værdier for N₂O sensoren i N-zonen, og den blå kurve viser vandtemperaturen. Kalibreringsdatoerne er markeret med lyserød. De månedlige kalibreringer er ikke registreret for første del af måleperioden og fremgår derfor ikke af kurven. Under denne periode er kalibrering varetaget af Unisense med en fast aftale om månedlig vedligehold og kalibrering.



Figur 4: Lattergas rådata, kalibreringstidspunkter og temperaturmåling

Da sensorerne er kalibreret af Unisense i første del af måleperioden og af Skanderborg Forsyningsselskab i anden halvdel af perioden, kan det være svært at sammenligne resultaterne. Der er sket en stor 0-punktsforskydning efter overtagelse af Skanderborg Forsyningsselskab, og samtidig er variationen på signalet mindre. Generelt har vedligehold og kalibrering af sensorerne krævet meget tid og voldt mange problemer.

Outliers og perioder, hvor sensoren ikke er vedligeholdt tilstrækkeligt, er frasorteret. Dette gælder blandt andet ved ferie, helligdage og sygdom, hvor det ikke har været muligt at vedligeholde sensorerne tilstrækkeligt. Kriterierne for at frasortere data er konstante værdier, negative værdier og urealistisk høje værdier.

Sensordata er behandlet med et eksponentialfilter med en alpha-værdi på 0,9 inden beregning af lattergasemission.

2.4 Økonomiske udgifter forbundet med sensorer

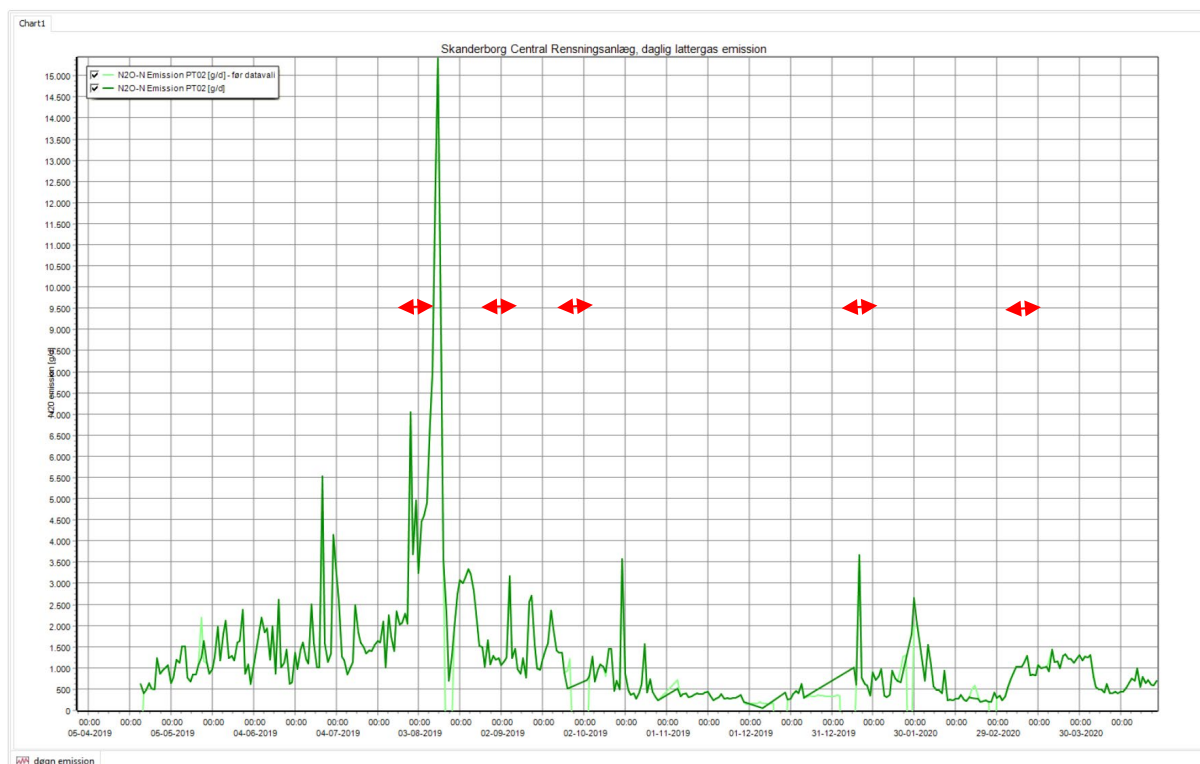
De økonomiske udgifter forbundet med indkøb, opsætning og drift af sensorer er listet i Tabel 1.

Tabel 1: Udgifter forbundet med sensorer

Udgift	DKK
Indkøb af udstyr	119.344
Opsætning af udstyr	33.982
Online dataopsamling i SRO	23.995
DIMS.CORE dataopsamling	26.800
DHI (underleverandør)	146.086
Arbejdstimer, SKF, drift og vedligeholdelse	93.872
Total	444.079

3. Resultater

Lattergasemissionen er beregnet ud fra onlinemåling af lattergaskoncentration, temperatur og luftflow til procestanken samt inputværdier for areal af beluftsingsfelt, diffusordybde og voluminer samt generiske konstanter. En gennemgang af metoden for beregning af udledning er vedlagt som bilag 1. Beregnede døgnemissioner fra procestank 2 er vist i Figur 5. Den mørkegrønne kurve viser emissionen efter datavalidering, mens den lysegrønne viser data før datavalidering.



Figur 5: Døgnemission af lattergas fra PT02. De 5 fokusperioder er markeret med rød.

3.1 Resultater for hele måleperioden

I Tabel 2 er de gennemsnitlige emissioner og nøgletal for hele måleperioden vist. Nøgletallene er beregnet som en total emission fra begge proceslinjer med en antagelse om identiske linjer med identisk belastning.

Tabel 2: Middel-, minimums- og maksimumværdier for emissions-nøgletal

	N2O-N emission [kg/d]	N2O-N af TN fjernet [%]	COD/N [-]
Middel	2,6	1,2	8,7
Maksimum	30,8	5,4	17,9
Minimum	0,1	0,0	4,1

Af Tabel 2 ses en meget stor forskel i emission fra 0,1 kg/dag til 30,8 kg/dag. Beregninger på døgnbasis for hele måleperioden er vedlagt som bilag 2.

Med en middel udledning af lattergas på 2,6 kg/dag totalt for Skanderborg Centralrenseanlæg opnås en årlig udledning på 0,94 t N2O-N svarende til 280 t CO2 med en omregningsfaktor på

298 t CO₂/t N₂O (IPCC 2013 - Chapter 8, table 8,7). Det samlede CO₂-regnskab for Skanderborg Centralrenseanlæg var i år 2019 1377 t CO₂, hvor lattergas var estimeret til at bidrage med 513 t CO₂ svarende til 37 %. En lattergasemission på 280 t CO₂ svarer til 20% af den samlede CO₂-udledning fra Skanderborg Centralrenseanlæg i 2019.

3.2 Særlige fokusperioder

Der er udvalgt fem perioder, som der er særlig opmærksomhed omkring. Fokusperioderne er valgt ud fra ændringer i styringsstrategi, særlige hændelser og årstidsvariation. Minutdata for disse perioder er vedlagt som bilag 3-7. I Tabel 3 er de fem fokusperioder beskrevet, og gennemsnit for emissionsberegninger og onlinesensorer vist.

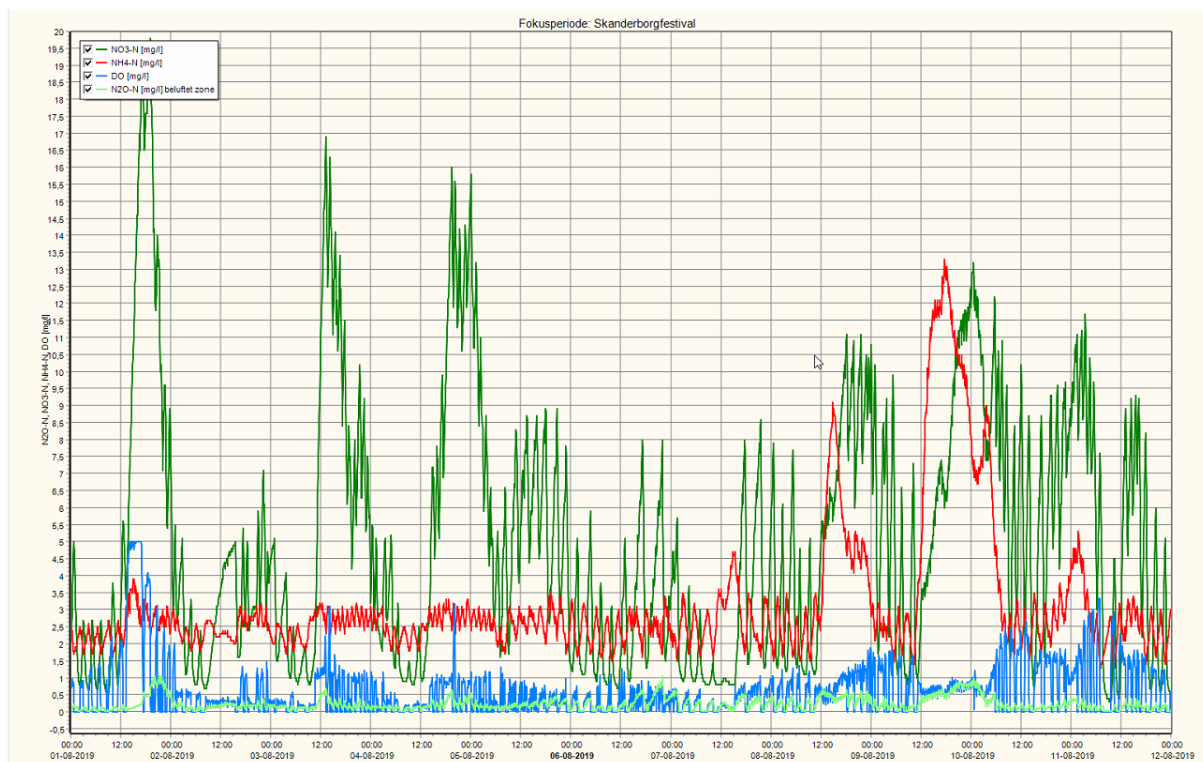
Tabel 3: Perodespecifikation samt middelværdier for lattergasemission og sensorværdier

Periode	Perodespecifikation	PT02 Emis- sion [kg/d]	Udløb flow [m ³ /h]	PT02 Temp [C]	PT02 NH ₄ -N [mg/l]	PT02 NO ₃ -N [mg/l]	PT0 DO [mg/l]
02.06.2019 – 10.06.2019	Beluftning efter ionselektive elektroder	1,71	162	17,1	1,82	1,79	0,34
02.07.2019 – 10.07.2019	Beluftning efter OxOFF, Sommer	1,99	160	18,1	2,27	1,27	0,23
01.08.2019 – 11.08.2019	Øget belastning under Skanderborg Festival	7,04	301	19,9	3,17	5,16	0,63
10.11.2019 – 20.11.2019	Beluftning efter OxOFF, Efterår	0,36	313	13,6	2,2	1,07	0,29
10.01.2020 – 20.01.2020	Beluftning efter OxOFF, Vinter	0,62	305	11,3	2,39	1,99	0,33

Af Tabel 3 ses en kraftigt forøget lattergasproduktion under Skanderborg Festival, hvor der produceres mellem 3 og 4 gange så meget lattergas som i fokusperioderne fra de to foregående måneder. Den øgede belastning under Skanderborg Festival ses samtidig tydeligt ud fra høje koncentrationer af ammonium og særligt nitrat samtidig med en højere iltkoncentration. Den hydrauliske belastning er også høj sammenlignet med de to forudgående fokusperioder.

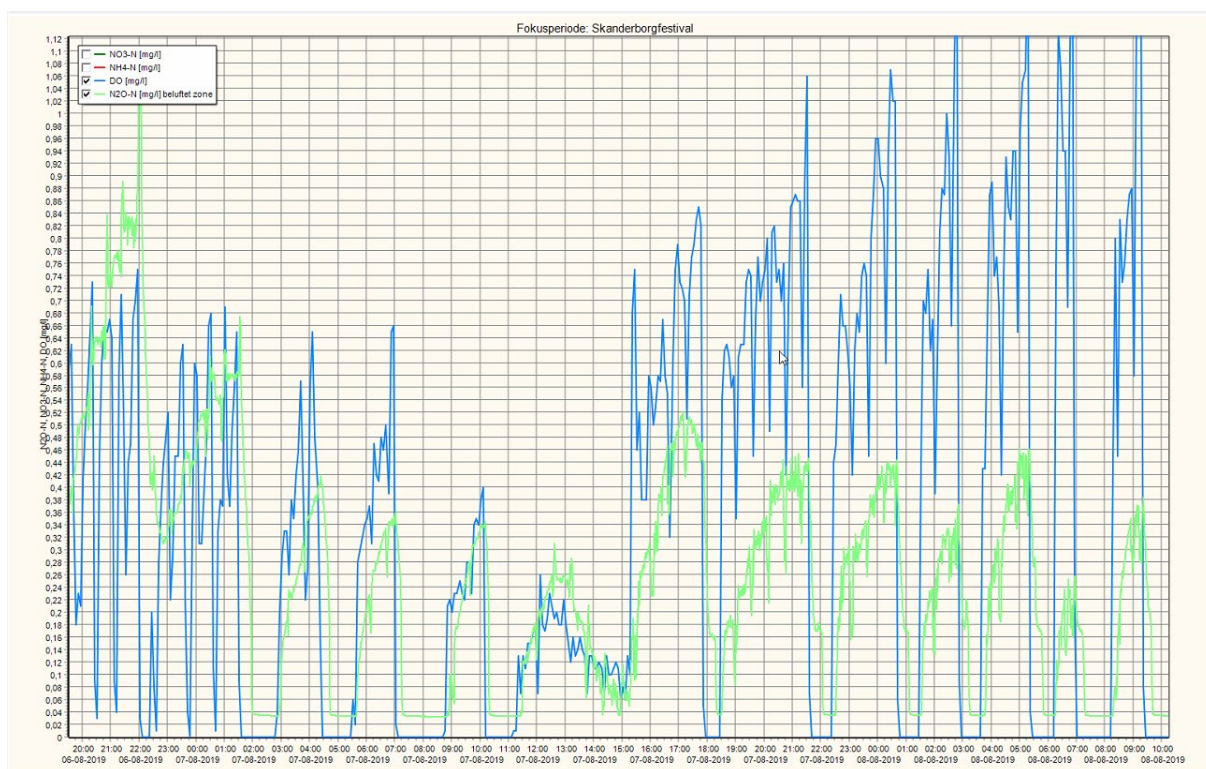
Af Tabel 3 ses det, at der forekommer en større hydraulisk belastning i efteråret og vinteren end om sommeren. Dette påvirker ikke de opnåede koncentrationer af ammonium og nitrat som under Skanderborg Festival og har umiddelbart heller ikke indflydelse på lattergasproduktionen. Af Tabel 3 ses en lav lattergasproduktion i efteråret og vinteren. Dette kan skyldes lave temperatur, men det er svært at sammenligne efterår og vinterperioden med de øvrige perioder, da vedligehold og kalibrering af sensorerne ikke er udført ens.

På Figur 6 er de målte koncentrationer af ammonium (rød), nitrat (grøn) og ilt (blå) sammenstillet med den målte lattergaskoncentration (lysegrøn) for fokusperioden ved Skanderborg Festival. Den øgede belastning giver sig udslag i høje koncentrationer af ammonium og særligt i høje koncentrationer af nitrat. I denne fokusperiode opnås de højest målte koncentrationer af lattergas på omkring 1 mg/l.

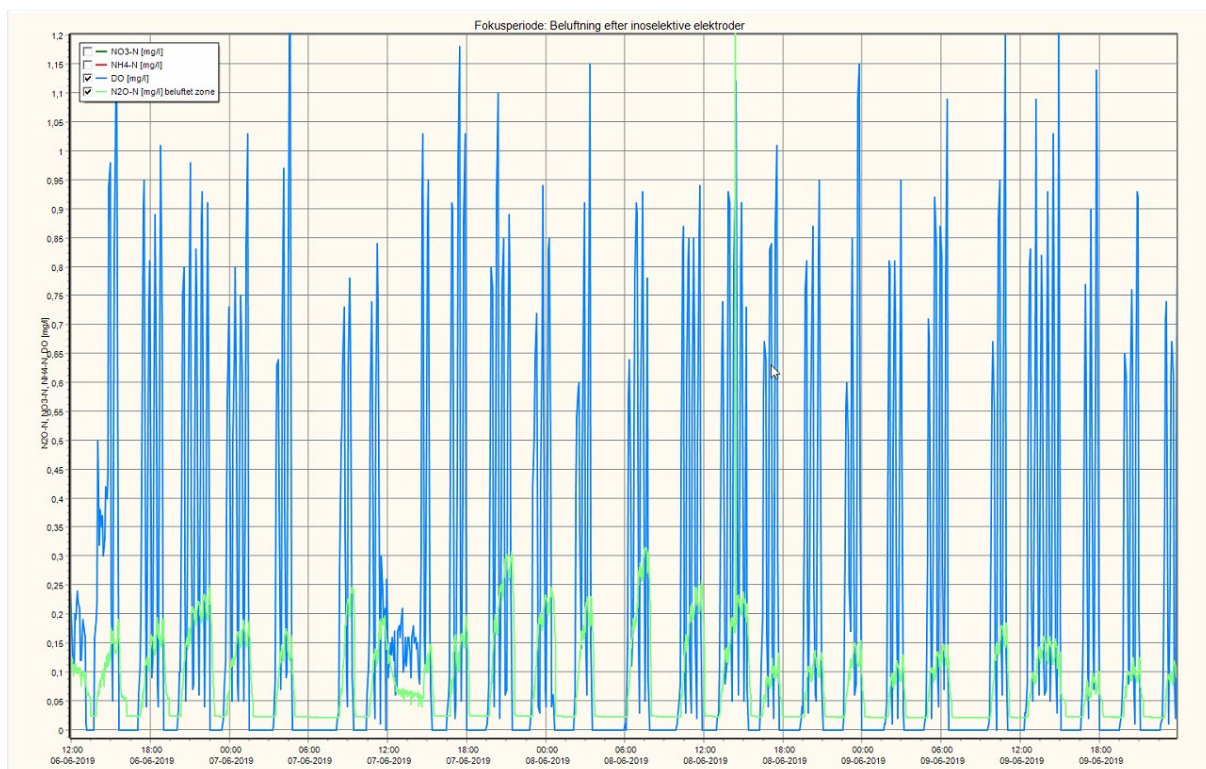


Figur 6: Sensordata for NH₄-N, NO₃-N, DO og NO₂-N målt under Skanderborg Festival

Ved sammenstilling af minutdata ses en sammenhæng mellem iltkoncentration og lattergaskoncentration. Hvis hovedet på lattergassensoren er i stykker, kan ilt fejlagtigt påvirke den målte lattergaskoncentration. Da lattergaskoncentrationen begynder at stige 10-15 minutter efter iltkoncentrationen, tyder det på, at sammenhængen ikke skyldes fejlmåling af ilt. Sammenhængen mellem lattergas og ilt er tydeliggjort ved at zoome ind på kurven, vist på Figur 7, hvor iltkoncentrationen er vist med blå og lattergaskoncentrationen med lysegrøn. Dette er ikke kun en tendens ved høj belastning; på Figur 8 ses samme tendens for første fokusperiode med normal belastning, ilt (blå) og lattergas (lysegrøn).



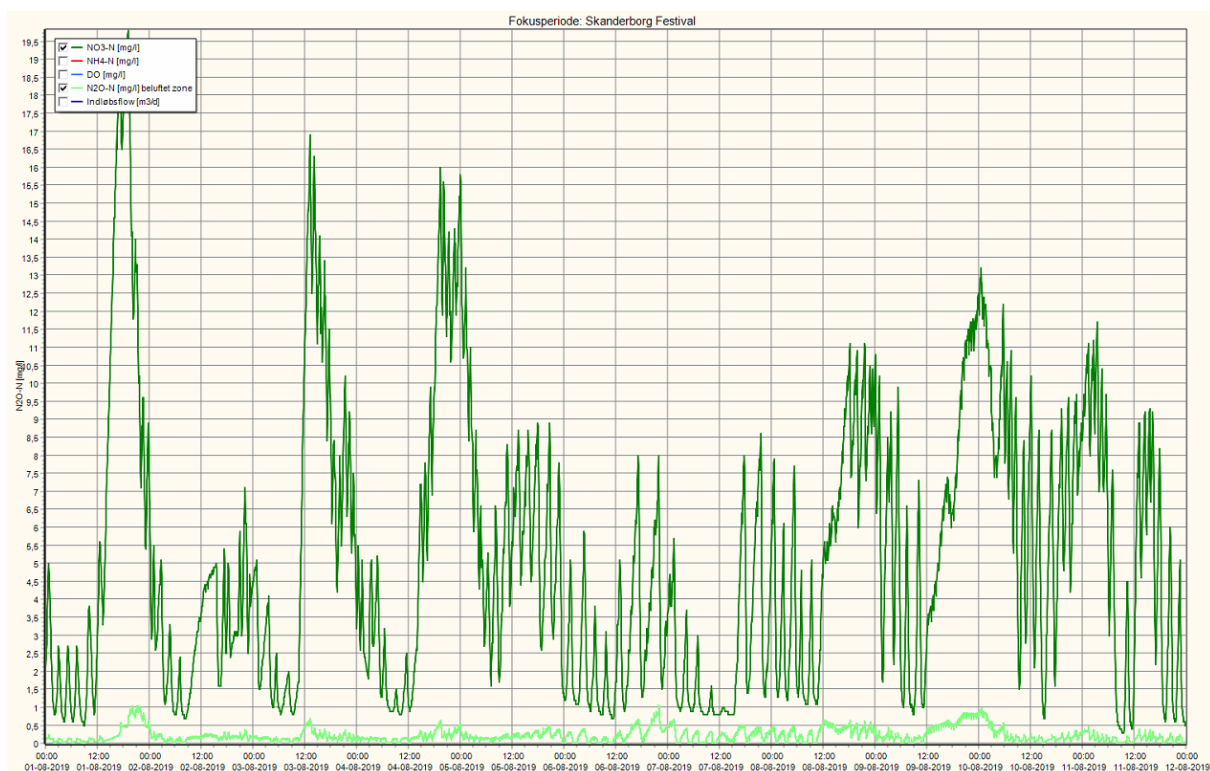
Figur 7: Sammenhæng mellem koncentration af opløst ilt og lattergas v. høj belastning



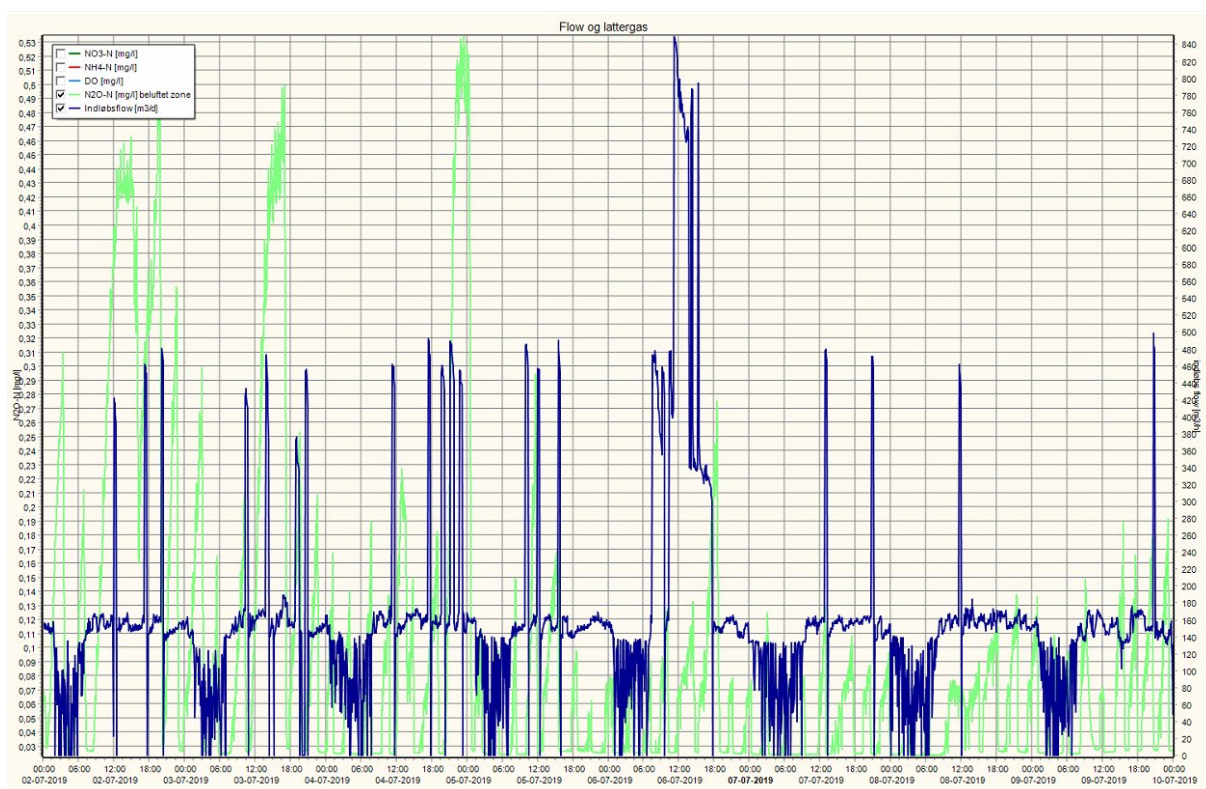
Figur 8: Sammenhæng mellem koncentration af opløst ilt og lattergas v. lav belastning

Sammenhæng mellem nitrat (grøn) og lattergas (lysegrøn) er vist i Figur 9. Der ses en tendens til øget lattergasproduktion ved øget nitratkoncentration. Den øgede nitratkoncentration er ofte et udtryk for øget belastning. Der er dog ikke observeret nogen sammenhæng mellem

det hydrauliske flow og lattergaskoncentrationen. Et eksempel på sammenstilling af flow (blå) og lattergaskoncentration (lysegrøn) er vis i Figur 10.



Figur 9: Nitrat og lattergas



Figur 10: Flow og lattergas

4. Kommentar til resultater og observationer

Ifølge Unisense Environment forekommer der typisk øget lattergasproduktion, når en eller flere af nedenstående forhold er til stede på anlægget:

- Lave iltkoncentrationer under nitrifikation, typisk under 0,5 mg/L
- NO₂-akkumulering under nitrifikation pga. ukomplet nitrifikation
- Lav COD/N ratio ved denitrifikation, typisk under 3,5-4
- Choktilførsel af NH₄⁺, typisk fra rejectvandspuls
- Ilt til stede under denitrifikation, typisk over 0,05 mg/L
- Kort slamalder, komplekst COD, bliver ikke brugt
- Lav temperatur, raterne på de mikrobielle processer er lave

4.1 Lattergasproduktion, denitrifikation og/eller nitrifikation

Af Tabel 2 fremgår et gennemsnitligt COD/N forhold på 8,7 og et minimumsforhold på 4,1, hvilket er tilstrækkeligt til at opnå en velfungerende denitrifikation uden stor produktion af lattergas.

Recirkulationsgraden ligger mellem 100 og 200% af indløbsflowet. Det lave recirkulationsflow kan gøre, at DN-tanken kan blive anoxisk ved lav belastning. Herved kan hydrolyse forekomme, hvilket kan øge mængden af let omsætteligt COD. Den lave recirkulation kan dog også gøre, at der ophobes ammonium i denitrifikationstanken ved lavt flow, som ved efterfølgende højt flow kan give en pludselig ammoniumbelastning.

Af resultaterne for fokusperioderne fremgår det af Tabel 3, at iltkoncentrationen under normale forhold altid ligger under 0,5 i gennemsnit. Når der beluftes efter en lav iltkoncentration, er der risiko for, at der forekommer ukomplet nitrifikation, og at der akkumuleres NO₂. Det fremgår af Figur 8 og Figur 9, at lattergaskoncentrationen stiger ved stigende iltkoncentration. Hæmning af den sekundære nitrifikation grundet lav iltkoncentration samt belastningsvariation vurderes til at være den primære kilde til lattergasemission under normale omstændigheder.

4.2 Beluftningsstrategi

Resultaterne for fokusperioden med beluftning efter ionselektive elektroder og den efterfølgende fokusperiode med beluftning efter OxOff viser ikke entydigt forskel i emissionen af lattergas grundet beluftningsstrategi. Af Tabel 3 ses, at der under beluftning efter ionselektive elektroder forekommer en lidt lavere gennemsnitlig udledning af lattergas end ved beluftning efter OxOff. Årsagen til dette kan være, at der med OxOff styring beluftes efter fuld udnyttelse af ilten og derfor opnås lavere iltkoncentrationer og større grad af ukomplet nitrifikation. Der er i første periode mere nitrifikation i N/DN-tanken, og det ses, at der opnås lavere ammoniumkoncentrationer og højere nitratkoncentrationer ved en højere gennemsnitlig iltkoncentration. Det er dog svært at sammenligne perioderne direkte grundet forskellige omstændigheder som temperatur og sensorvedligehold. Det vil være relevant at måle lattergaskoncentrationen både i procestank 1 og 2 samtidig. Herved kan de to styringer sammenlignes direkte med samme temperatur og samme belastning. Hvis det kan påvises, at der produceres mere lattergas ved den nye styringsstrategi, kan det undersøges, om den opnåede energibesparelse kompenserer for den øgede lattergasemission i CO₂-regnskabet.

4.3 Øget belastning

Resultaterne fra perioden under Skanderborg Festival med øget belastning viser en øget lattergasemission, hvilket ses tydeligt på Figur 5 og Tabel 3. Den pludselige høje belastning under Skanderborg Festival kan sammenstilles med stødvis belastning af rejectvand. Bakterierne er ikke vant til de nye forhold med høje ammonium- og nitratkoncentrationer, hvilket resulterer i en øget lattergasemission.

5. Konklusion

Ved ansøgning til dette projekt var det vurderet, at lattergas bidrog med ca. 50 % af den samlede CO₂-emission i 2018. Online-monitorering af lattergas har vist, at lattergas bidrager væsentligt mindre, med omkring 20% af den samlede emission fra Skanderborg Centralreanseanlæg.

Det vurderes, at produktionen af lattergas fortrinsvist sker ved hæmning af den sekundære nitrifikation under lav iltkoncentration. Ændringer i beluftsstrategien kan derfor overvejes. Der sker endvidere en kraftigt øget produktion i løbet af den særligt belastede periode under Skanderborg Festival. Det er svært at vænne bakterier til en pludselig tilførsel af ekstra ammonium. Dette vil dog ikke være et problem i 2020, men fremover kan man overveje at øge biomassen op til festivalen.

Bilag 1. Nitrous oxide emission calculation (PDF)

Nitrous oxide emission calculation

1 Profile

In order to report emission of nitrous oxide from the WWTP, a calculation has been made. This document describes the functionality of the nitrous oxide emission calculation.

The dissolved N₂O concentration and mixed liquor temperature are measured. Combined with diffuser depth, airflow to the tank, tank volume, aeration field size and volume of the aerated part of the tank, the temperature-compensated N₂O concentration in aerated and non-aerated tanks can be calculated.

Please note that this function only takes a single aerated volume into account. If the WWTP supports multiple sensors in multiple aerated N-tanks, this function should be instantiated for each area.

2 Emission calculations

2.1 Preprocessing input

Preprocessing of inputs takes into account which tank the sensor is allocated in. By communicating with the OPC server, the airflow measurement module is selected along with tank specific parameters.

QaS and **QaD** are calculated as m³/s and m³/d, respectively.

2.2 Input

The calculation takes account of four input process values and five input parameters.

y_N2O and **y_Tp** are process values, consisting of nitrous oxide sensor measurements and liquid temperature, respectively. As mentioned in 2.1, **QaS** and **QaD** are airflow measures recalculated to m³/s and m³/d, respectively.

Input parameters are **Ae_fs** which is the size of the aeration field in m², **Dr** which is the depth over the diffuser in the tank, **Vr** which is the aerated part of the tanks volume and **N2OMTCNA** which is the N₂O mass transfer coefficient from the non-aerated part of the tank. Finally, **Vol** is the total volume of the tank.

2.3 Output

A single output, **N2OEm**, is produced in [Ng/d], and stored in a time series.

3 List of variables

Name	Origin	Description	(default) Value	Units	Range
y_N2O	Input	Nitrous oxide measurement	---	g/m ³	0 ≤ ; > 10
y_Tp	Input	Mixed liquor temperature	---	C	0 ≤ ; ≥ 50
QaS	Input	Total airflow per second	---	m ³ /s	0 < ; ≥ ∞
QaD	Input	Total airflow per day	---	m ³ /d	0 < ; ≥ ∞
Ae_fs	Parameter	Aeration field size	---	m ²	0 < ; ≥ ∞
Dr	Parameter	Depth over the diffuser of the tank	---	m	0 < ; ≥ 20
Vol	Parameter	Volume of the tank	---	m ³	0 < ; ≥ 50000

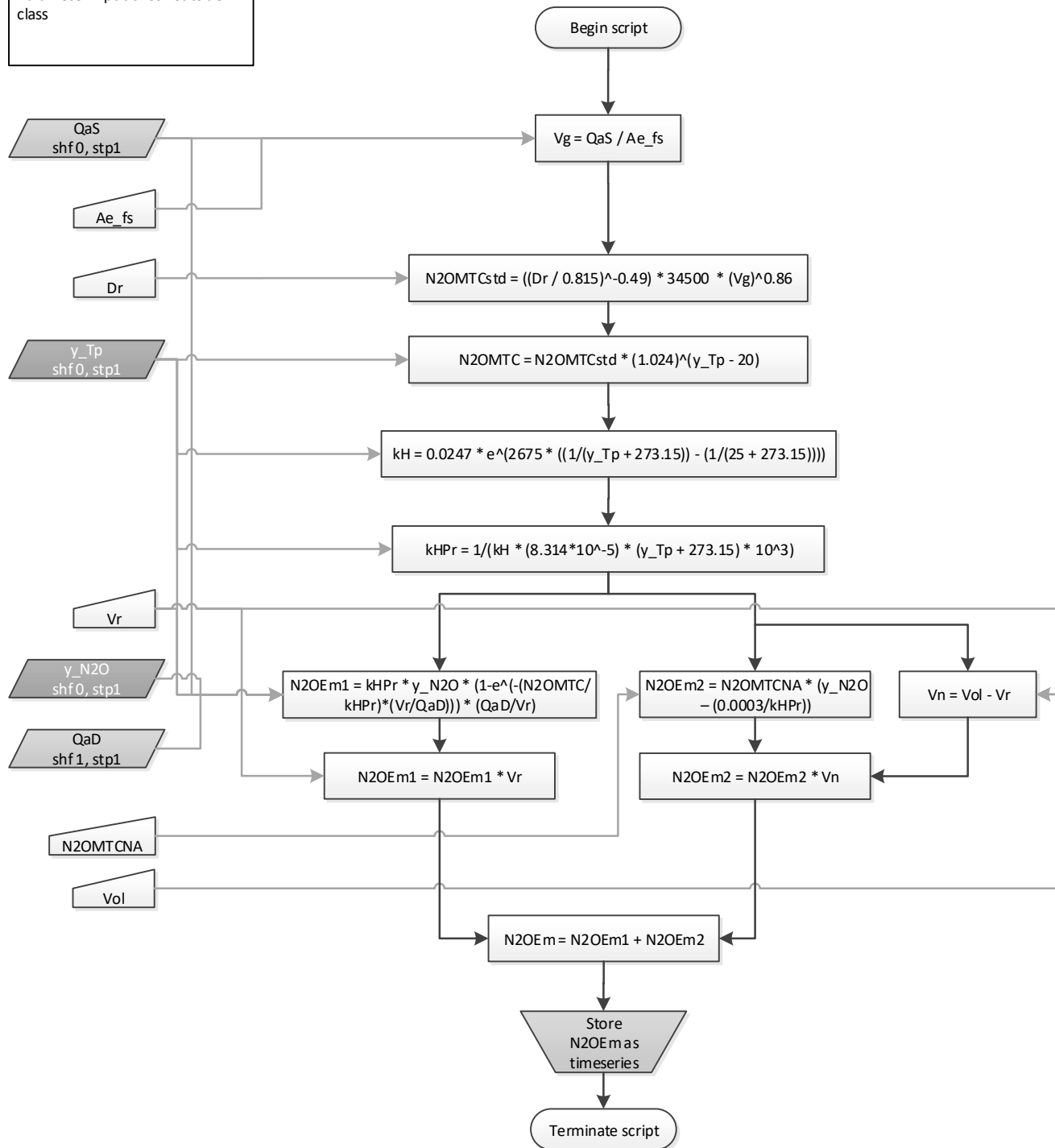
Vr	Parameter	Volume of the aerated part of the tank	---	m3	$0 < ; \geq \infty$
N2OMTCNA	Parameter	N2O mass transfer coefficient for non-aerated zones	2	d	$0 \leq ; \geq 10$
Vn	Internal	Volume of the non-aerated part of the tank	---	m3	---
Vg	Internal	Superficial gas velocity of the aerated tank	---	m/s	---
N2OMTCstd	Internal	N2O mass transfer coefficient at 20C	---	d	---
N2OMTC	Internal	N2O mass transfer coefficient temperature corrected	---	d	---
kH	Internal	Henry constant at std. temp.	---	---	---
kHPr	Internal	Henry constant temp. corrected	---	---	---
N2OEm1	Internal	Nitrous oxide emission rate – aerated zones	---	Ng/m3/d	---
N2OEm2	Internal	Nitrous oxide emission rate – non-aerated zones	---	Ng/m3/d	---
N2OEm	Output	Total nitrous oxide emission	0	Ng/d	$0 < ; \geq \infty$

4 Control chart

Nitrous Oxide Emission calculation

Calculation assumption

Execution frequency: 1/min
Parameter input check outside class



Måling af lattergasemission fra Skanderborg Centralrenseanlæg

Målingen af lattergasemissionerne på Skanderborg Centralrenseanlæg er gennemført i perioden fra 5. april 2019 til 24. april 2020. Formålet har været at kvantificere lattergasbidraget til CO₂-aftrykket mere præcist via online N₂O-monitoring.

Anlægget er recirkulerende med to parallelle linjer opbygget i hver sin procestank.

Procestankene består af en indre DN-tank og en ydre N/DN-tank, hvor der er installeret bundbeluftning i ca. halvdelen af tanken.

Online-monitoreringen har vist, at lattergas bidrager med omkring 20 % af den samlede emission fra renseanlægget, hvilket er væsentligt mindre end de 50 %, som Skanderborg Forsyning forventede.

Det vurderes, at produktionen af lattergas fortrinsvist sker ved hæmning af den sekundære nitrifikation under lav iltkoncentration. Ændringer i beluftningsstrategien kan derfor overvejes.

Der er endvidere registreret en kraftigt stigende produktion af lattergas i løbet af den særligt belastede periode under Skanderborg Festivalen. Derfor kan man fremover overveje at øge biomassen op til festivalen.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk