

FAC COMBI-CLEANER REDUCEREDE EFFEKTIVT AMMONIAK- OG LUGTEMISSIONEN I SLAGTEGRISESTALD

Pernille Lund Kasper, Anders Legaard Riis & Julie Krogsdahl Bache

^a SEGES Gris, Den rullende Afprøvning

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Afprøvning af en FAC Combi-Cleaner PE luftrensere viste, at ammoniakkoncentrationen blev reduceret med gennemsnitligt 97 % og lugtkoncentrationen med gennemsnitligt 79 % i den del af luften, som blev ledt gennem luftrenseren fra punktudsugningsanlægget.

Sammendrag

SKOV A/S og INNO+ har udviklet en kombineret kemisk og biologisk luftrensere med et syretrin til fjernelse af ammoniak og et biologisk trin til fjernelse af lugt fra punktudsugningsluft. Formålet med denne afprøvning var at teste effekten af luftrenseren på punktudsugningsluft fra en besætning med slagtegrise, samt dokumentere forbrug, stabilitet og omkostninger forbundet med driften af luftrenseren.

Resultaterne viste, at luftrenseren reducerede ammoniakkoncentrationen med 96,8 % og lugtemissionen med 79,3 % i den luft, der blev ledt ud via punktudsugningen. En anden afprøvning af samme luftrensesystem viste tilsvarende effekt med 94,6 % reduktion i ammoniak og 73,9 % i lugt [1].

Forbrugsomkostningerne til drift af luftrenseren blev beregnet til 3,3 DKK pr. produceret gris ved rensning af 10 % af den maksimale ventilationskapacitet via punktudsugningen. Heraf er værdien af ekstra kvælstof i gyllen fratrukket. Forbrugsomkostningerne fordeltes til vand, opbevaring og udbringning af lænsevand, syre, skumreducerende middel og el. Vandforbruget pr. produceret gris var 30,0 liter vand, hvoraf 9,8 liter blev lænset fra luftrenseren til gylleopbevaring. Syreforbruget udgjorde 0,8 kg svovlsyre pr. produceret gris. Energiforbruget udgjorde 2,5 kWh pr. produceret gris til rensere og 2,6 kWh til ventilation via luftrenseren. Hvis stalden skulle ventileres uden punktudsug og uden luftrensere, ville der skulle ventileres cirka $10 \text{ m}^3 \text{ gris}^{-1} \text{ time}^{-1}$ ekstra fra staldrummet, hvilket vil koste

cirka 0,7 kWh pr. produceret gris. Fratrækkes dette elforbrug til ventilation fås det ekstra elforbrug, det kræver at lede luften gennem punktudsug og luftrenseren, svarende til 1,9 kWh pr. produceret gris.

Den samlede nedetid for luftrenseren var 82 timer svarende til 1 % af den samlede driftstid.

Baggrund

Krav til griseproducenter om reduktion af både ammoniakbelastning af omkringliggende natur, lugtemission til nærliggende bebyggelse samt udledning af støv nødvendiggør effektive miljøteknologier, som kan behandle alle tre områder, mens der samtidig tages hensyn til økonomi og driftssikkerhed.

Luftrensning af ventilationsluften fra grisebesætninger med biologiske og kemiske luftrensere er en veletableret miljøteknologi. Blandt andet har Bioflex 2- og 3-trins biologiske luftrensere fra SKOV A/S været optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste siden 2015. Disse har været optaget med en renseseffekt på 88 % for ammoniak og 74 % for lugt [2], ved enten fuld eller delvis rensning af ventilationsluften. Indtil 2017 har disse teknologier ligeledes været godkendt til rensning af punktudsugningsluft, ledt ud via kanaler under dyrenes opholdszone. I 2017 blev denne kombination dog revideret, da forsøg har vist, at renseseffekten reduceres ved rensning af luft fra punktudsug [2]. Punktudsugning i forbindelse med luftrensning har en række fordele. Ved at opsamle luft direkte ved gylleoverfladen kan den mest forurenede luft opsamles i en relativt lille luftmængde. Man kan derved opnå høje rensningseffekter ved behandling af betydeligt mindre luftmængder, typisk kun 10 % af staldens maksimale ventilationsbehov. Samtidig vil luftmængde og belastning af luftrenseren ikke variere betydeligt imellem årstiderne. Dette forenkler dimensionering samt øger energi- og omkostningseffektivitet. Dog skal der tages højde for en anderledes luftsammensætning, hvor koncentrationen af både ammoniak og lugtstoffer er betydeligt højere end i den luft, der opsamles ved fuld- eller delventilation.

FAC Combi-Cleaner PE luftrenseren (FarmAirClean Combi-Cleaner Point Extraction) er udviklet af SKOV A/S og INNO+ til behandling af luft fra punktudsug. Luftrenseren består af tre trin. Et syretrin, et neutraliseringstrin samt et biologisk trin, som tilsammen reducerer både ammoniak, lugt og støv. Effektivitet, økonomi og driftssikkerheden af denne luftrenser blev i denne afprøvning testet, som et led i at få luftrenseren optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste. En tilsvarende luftrenser er testet i en anden afprøvning [1]. Tilsammen udgør disse tests en fuld test i henhold til VERA-protokollen for luftrensningsteknologier, hvor denne afprøvning fungerer som A-lokationstest.

Materialer og metoder

Afprøvningen blev foretaget i henhold til VERA-protokollen [3] og gennemført fra november 2018 til november 2019.

Besætning

Besætningen bestod af en slagtegrisestald etableret i 2018 med 8.256 stipladser fordelt på 12 sektioner og 3 buffer-/sygesektioner. Tre af de almindelige sektioner blev anvendt i afprøvningen. Grisene blev indkøbt ved cirka 30 kg og leveret til slagtning ved cirka 108 kg. Grisene blev indsat samtidigt i alle tre sektioner. Der blev indsat 21-25 grise pr. sti, hvilket efter 3-4 uger blev reduceret til 16 grise pr. sti. Hver sektion indeholdt 40 stier, svarende til 640 stipladser. Stierne var indrettet med 1/3 fast gulv og 2/3 spaltegulv med vådfodring i langkrybbe. Stierne målte 2,3 m x 5,0 m.

Der blev anvendt fasefodring, hvor fodersammensætningen i måleperioden gennemsnitligt var 16,7 % råprotein pr. FEsv fra 30-40 kg, 16,2 % råprotein pr. FEsv fra 40-60 kg og 15,7 % råprotein pr. FEsv fra 60-108 kg. Alle værdier lå indenfor VERA-protokollens grænser.

Stalden var udformet med diffust luftindtag, fire loftudsugninger og supplerende luftindtag via loftsventiler placeret ved bagvæggen i hver sti. Udsugningskapaciteten bestod af punktudsugning via punktudsugningskanal placeret under det faste gulv, og den resterende del af udsugningsbehovet blev dækket af loftsudsugninger.

Punktudsugningsluften fra tre sektioner blev samlet i en hovedkanal ved gavlen af staldbygningen, hvor der var tilkoblet en FAC Combi-Cleaner PE luftrensere fra SKOV A/S med en maksimal luftydelse på 19.200 m³ pr. time, svarende til 10 m³ pr. gris pr. time (10 % af maksimumventilationen).

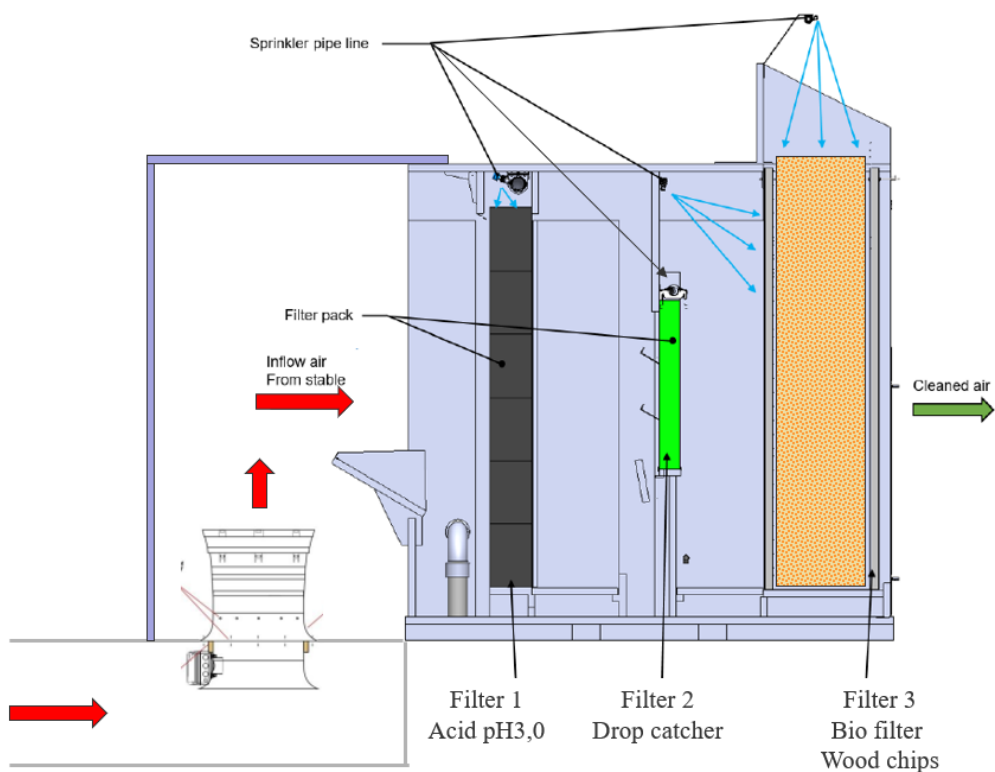
Luftrensere

FAC Combi-Cleaner PE luftrenseren består af tre filterelementer med tværgående flow. Det første element består af et pakkemateriale af plastik, som overrisles med svovlsyreholdigt vand. Dette trin er primært til frænsning af ammoniak, som ved lavt pH omdannes til ammonium (NH₄⁺) og dermed forbliver i væskefasen. Det andet trin består ligeledes af et filterelement i plastik. Her neutraliseres eventuelt medrevne syreholdige vanddråber, som udvaskes med rent vand. Det sidste trin er et biologisk aktivt filterelement bestående af et lag rodflis, som overrisles med vand. I dette trin overføres forskellige stoffer fra luften til en biofilm på rodtræet og nedbrydes. Dette tredje trin er primært til frænsning af lugtstoffer.

Der er to kar til recirkulering og lænsning af væske fra renseren. Kar 1 er placeret under syrefilteret og herfra recirkuleres væske til første filterelement. Svovlsyre tilføres kar 1 ud fra pH-regulering med et set-punkt på 3,0. Kar 2 er placeret under neutraliseringstrinet (filterelement 2) og forsyner overrislingsvand til neutraliseringstrin og biologisk filter. Der er overløb fra kar 2 til kar 1. Lænsning reguleres ud fra ledningsevne med et set-punkt på 180 mS/cm og påfyldning af vand reguleres med niveaumålere.

I denne afprøvning var filterelementerne 1, 2 og 3 dimensioneret med en dybde på henholdsvis 30, 15 og 70 cm. Luftrenseren, som indgik i denne test, var dimensioneret til en maksimal luftydelse på 19.200 m³ time⁻¹, svarende til en minimumopholdstid på 2,5 s (EBRT). Belastningen i filter 1 var maksimalt 5.548 m³ m⁻³ time⁻¹. Filter 1 har et specifikt overfladeareal på 80 m² m⁻³ og belastningen pr. m² bliver derved 69,3 m³ m⁻²time⁻¹. Belastningen i filter 2 var maksimalt 26.388 m³ m⁻³time⁻¹. Filter 2 har et specifikt overfladeareal på 270 m² m⁻³ og belastningen pr. m² er 97,7 m³ m⁻². Den maksimale belastning af filter 3 var 2.142 m³ m⁻³time⁻¹. Da det specifikke areal af filtermaterialet i filter 3 er ukendt, kan arealbelastningen for filter 3 ikke bestemmes. Designspecifikationer findes i Appendiks A1.

I forbindelse med luftrenseren var der et teknikrum, hvori styring, pumper, logbog, sikkerhedsudstyr m.v. var placeret. Der var desuden etableret et rum til syre og syrepumpe.



Figur 2. Skematisk tegning af FAC Combi-Cleaner PE luftrensere. Tegning lavet af Inno+ [4]

Gennemførelse

Besætningen blev i afprøvningsperioden (november 2018-november 2019) besøgt af en tekniker fra SEGES hver 14. dag, hvor der blev foretaget registreringer samt kontrolmålinger. Derudover blev der

gennemført to 8-ugers målekampanjer i henholdsvis sommer- og vinterperioden, hvor ammoniak og lugt blev målt kontinuerligt. Sommerkampagnen blev udført i perioden 28. maj 2019 til 16. juli 2019. Vinterkampagnen blev gennemført i perioden 8. februar 2019 til 28. marts 2019.

Målinger og registreringer

Målinger blev udført før og efter luftrenseren. Målepunkter var opsat med PTFE-slanger forsynet med et PTFE-filter (Whatman Polyvent 16, porrestørrelse 0,2 µm, Ø 50 mm) i sugepunktet. Luften blev trukket med PTFE-belagte membranpumper (Charles Austen Capex L2) til en målevogn placeret ved siden af luftrenseren. Efter luftrenseren var der opsat en presenning til opfangning af rensset luft for at forhindre opblanding med luftstrømme udefra. Målepunktet efter luftrenseren var opsat mellem filterelement 3 (biologisk filter) og presenningen (figur 3). Alle slanger mellem målepunkt og målevogn var opvarmet med varmekabler for at forhindre kondensering.



Figur 3. Opsætning af målepunkter efter filter

Ammoniak

Ammoniak blev målt kontinuerligt i de to 8-ugers måleperioder med en fotoakustisk gasmåler (INNOVA 1412i) forsynet med en 1309E multipoint-sampler (LumaSense Technologies A/S). Der blev foretaget fem gentagne målinger på hver kanal, hvoraf den sidst loggede værdi i hver målerunde blev anvendt.

I begge perioder blev ammoniak desuden bestemt med Cavity Ring Down Spectroscopy (Picarro G2103). Luften til Picarro-instrumentet blev tildelt via en VICI 10-vejs ventil. Der blev målt 5 minutter på hvert målepunkt og koncentrationen bestemmes som et gennemsnit af det 2. sidste halve minuts målinger.

Ved teknikerbesøg blev koncentrationen af ammoniak kontrolmålt med sporgasrør (Kitagawa 105 SD).

Lugt og svovlbrite

Lugt og svovlbrite blev bestemt med et PTR-TOF-MS 1000-instrument (Proton-Transfer-Reaction-Time-of-Flight-Mass-Spectrometry, Ionicon Analytik G.m.b.H). PTR-MS-instrumentet var tilkoblet en opvarmet ventilboks (40 °C) og hvert målepunkt blev målt med ventilskifte hvert 10. minut. Derudover blev der i hver målerunde målt på et filter med aktivt kul (Supelpure hydrocarbon trap) til bestemmelse af den instrumentelle baggrund. Transmission og svovlbritekorrektur er bestemt hver 14. dag i forsøgsperioden. Indstillinger for instrumentet i måleperioden samt resultater fra seneste kvalitetsvurdering er vedlagt i Appendiks A4. Detektions- og kvantifikationsgrænsen blev defineret som henholdsvis 3 og 10 gange standardafvigelsen på en blindprøve.

Lugtreduktionen over filteret blev bestemt med "OAV metoden". I denne metode antages det, at lugtbidragene fra de enkelte lugtstoffer er additive [5] og et samlet lugttal (SOAV) kan angives ved summen af OAV (Odor Activity Values) for hvert enkelt stof. OAV er givet ved lugtstoffernes koncentration divideret med lugttærskelværdien, som bestemmes med dynamisk olfaktometri. Metoden er godkendt af Miljøstyrelsen til dokumentation af lugtreducerende miljøteknologier til teknologilisten [6] og den dertilhørende protokol blev fulgt i denne test [7].

Svovlbrintekonzentrationen blev kontrolmålt ved teknikerbesøg med Jerome 631 XE. Der blev foretaget fire registreringer efter hinanden i hvert målepunkt, hvoraf den første måling blev kasseret. Der blev regnet et gennemsnit af de resterende tre målinger.

Støvmålinger

Støvmålinger blev udført i henhold til MEL-02 [8]. Der blev udtaget prøver i både sommer- og vinterkampagnen. Prøverne blev sendt til Teknologisk Institut for analyse, hvor filtrene ligeledes blev indvejet før brug.

Luftydelse og tryktab

Luftydelsen på luftrenseren blev målt med Fancom AM-63 målevinger, der var kontrolmålt i målestand inden opsætning. Der var monteret en målevinge under alle tre ventilatorer, der trak luften ind i renseren. Luftydelse fra loftudsugning blev målt med Dynamic Air fra SKOV A/S. Der blev kontrolmålt med en kalibreret målevinge (Fancom AM-63). Der blev målt tryk over luftrenseren med Testo 435-4-multiinstrument.

Kuldioxid og lattergas

Kuldioxid og lattergas blev målt med fotoakustisk gasmåler (INNOVA 1412i) i forbindelse med sommer- og vinterkampagnen sammen med ammoniakmålingerne. Fremgangsmåden var den samme som for ammoniak. Ved teknikerbesøg blev koncentrationen af kuldioxid kontrolmålt med sporgasrør (Kitagawa 126 SF).

Temperatur og relativ luftfugtighed

Temperatur og relativ luftfugtighed blev registreret via Veng-system og kontrolmålt ved teknikerbesøg ved hjælp af et Testo 435-4-multiinstrument.

Forbrug

Der var opsat en elmåler til registrering af elforbrug for henholdsvis luftrenser og ventilation. Syreforbrug blev registreret ved måling af svind i opbevaringstankene. Vandtilførslen blev aflæst via vandure.

Læns- og procesvand

Mængden af læns- og procesvand blev aflæst via vandur. Der blev udtaget prøver af procesvandet fra både kar 1 og kar 2 i forbindelse med sommer- og vinterkampagnen. Prøverne blev analyseret for pH, ledningsevne, NH_4^+ , $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ og Total S hos Eurofins Agro Testing Denmark A/S.

Antal grise og vægt

Antal grise og vægt blev registreret via besætningsdata, samt visuel inspektion ved alle teknikerbesøg.

Gylle og svineri

Gylleniveau og svineri blev målt på alle besøgsdage. Svineri blev vurderet ud fra, om der var søle på det faste gulv. Gylleniveau blev målt med tommestok.

Løbende forsøgsmonitorering

Der blev løbende ført logbog over alle hændelser og besøg. Ligeledes blev driftstiden af luftrenseren registreret. Måleusikkerheder for instrumenter og analyser er vist i Appendiks A2.

Resultater og diskussion

Dataopgørelsen i det følgende indeholder alle måledage, som opfylder ventilationskravene opgivet i VERA-protokollen. Det vil sige, at der for sommerperioden er 50 % af måledagene, hvor ventilationsydelsen (inkl. punktudsug) er minimum 80 % af maksimumventilationen i minimum tre timer pr. døgn og for vinterperioden er der 50 % af måledagene, hvor ventilationsydelsen (inkl. punktudsug) er maksimum 30 % af maksimumventilationen i minimum 3 timer pr. døgn.

Ammoniak

Resultaterne fra målingerne af ammoniak i de to 8-ugers målekampagner er angivet i tabel 1. Resultaterne viser, at der blev opnået en gennemsnitlig ammoniakreduktion på 96,3 % i vinterperioden og 97,3 % i sommerperioden. Den samlede gennemsnitlige ammoniakreduktion lå på 96,8 %.

Ammoniakkoncentrationen i punktudsugningsluften var noget højere i sommerperioden. Årsagen til den højere koncentration er ikke fuldstændig belyst. Der er ikke signifikant forskel på gennemsnitligt antal eller vægt af grise i de to perioder, men årsagen kan hænge sammen en markant større grad af svineri på det faste gulv i sommerperioden (se Appendiks A3). Døgngennemsnit af reduktionen samt døgnmiddel af koncentrationen før og efter luftrenseren i de to perioder er angivet i Appendiks A5.

Tabel 1. Ammoniakkoncentration målt i sommer- og vinterperiode med Innova. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

Beskrivelse	Ammoniakkoncentration, ppm	
	Vinter*	Sommer**
N	36	37
Før luftrenser	10,97 ± 0,62	19,58 ± 1,7
Efter filter 2	0,83 ± 0,10	1,51 ± 0,37
Efter luftrenser	0,41 ± 0,03	0,52 ± 0,11
Reduktion, %	96,2	97,3
P-værdi*	<0,0001	<0,0001

*P-værdi er for sammenligningen af koncentration før og efter luftrenseren

* LOQ: 0,402

** LOQ 0,376

Til validering af koncentrationsmålinger med Innova er der desuden målt med Picarro G2103 [9]. Disse er vist i tabel 2

Tabel 2. Ammoniakkoncentration målt med Picarro. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

Beskrivelse	Ammoniakkoncentration, ppm	
	Vinter	Sommer
N	24	32
Før luftrenser	13,06* ± 0,82	-
Efter filter	0,95 ± 0,21	1,16 ± 0,26
Efter luftrenser	0,16 ± 0,068	0,29 ± 0,13

* Værdi overstiger måleområde for instrument

Det skal bemærkes, at koncentrationen målt før renseren overskrider måleområdet for Picarro instrumentet (>10 ppm), hvorfor beregningen af reduktion er usikker og derfor udeladt. Målingerne efter filteret indikerer dog at målingen med Innova kan være en smule overestimeret i dette punkt. Gennemsnitligt giver det en underestimering i den beregnede reduktion på 1-2 %.

Lugt

Tabel 3 viser reduktionen i SOAV. Den gennemsnitlige reduktion i lugt - beregnet som SOAV - er 79,3 %.

Tabel 3. SOAV og reduktion i SOAV i sommer- og vinterperiode. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

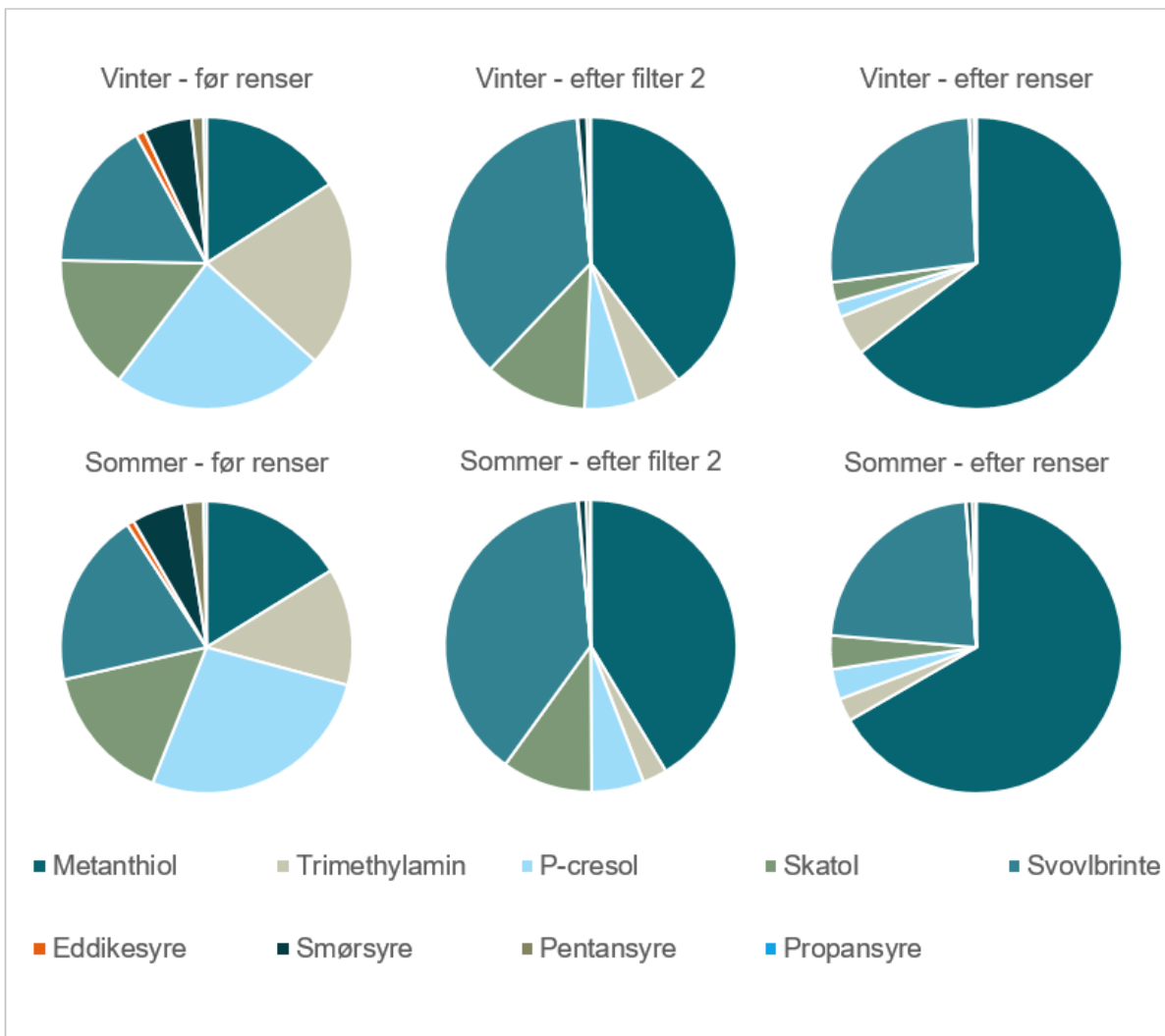
	N	SOAV før renser (-)	SOAV efter filter 2 (-)	SOAV efter renser (-)	Reduktion i SOAV efter renser %
Vinter	25	4360,6 ± 260,0	1745,4 ± 179,7	903,0 ± 128,1	79,3
Sommer	37	7631,5 ± 464,8	2941,3 ± 321,4	1579,7 ± 227,1	79,3

Koncentrationen af lugtstoffer er på samme måde som ammoniakkoncentrationen højere (~40 %) i sommerperioden. Der er dog ingen forskel på reduktionen i de to perioder.

Tabel 4 viser den gennemsnitlige reduktion i OAV for hvert enkelt lugtstof medtaget i beregningen af lugt, mens figur 3 viser de dominerende lugtstoffer i den beregnede SOAV-værdi før renseren, efter filter 2 og efter renseren. Koncentrationen af hvert enkelt lugtstof er angivet i Appendiks A6.

Tabel 4. Reduktion i OAV for hvert enkelt lugtstof inkluderet i SOAV. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

	Syovlbriite	Melanhiol	Trimethylamin	Eddikesyre	Smørsyre	Pentansyre	Propansyre	4-metylphenol	Skatol
Vinter Reduktion i OAV efter filter 2 %	12,7 ± 1,8	0,0 ± 0,5	90,2 ± 0,3	95,2 ± 0,3	92,6 ± 0,4	92,5 ± 0,4	92,1 ± 0,4	90,2 ± 0,5	69,7 ± 0,5
Vinter Reduktion i OAV efter luftreenser %	67,4 ± 1,0	16,1 ± 1,1	95,5 ± 0,2	98,5 ± 0,1	98,3 ± 0,2	96,1 ± 0,2	98,3 ± 0,1	98,5 ± 0,04	96,9 ± 0,1
Sommer Reduktion i OAV efter filter 2 %	23,2 ± 0,6	1,5 ± 0,5	92,0 ± 0,6	96,5 ± 0,4	94,4 ± 0,6	92,1 ± 0,4	93,4 ± 0,5	91,7 ± 0,5	74,9 ± 0,6
Sommer Reduktion i OAV efter luftreenser %	76,0 ± 0,5	14,8 ± 0,5	95,9 ± 0,6	98,3 ± 0,5	97,7 ± 0,7	96,1 ± 0,6	97,5 ± 0,6	97,4 ± 0,5	95,4 ± 0,6



Figur 4. Proportional fordeling af bidraget fra enkeltlugtstoffer inkluderet i SOAV før og efter luftrensning

Det fremgår af tabel 4, at en stor del af de opløselige lugtstoffer fjernes allerede før det biologiske filter, hvorimod svovlforbindelserne, som er relativt svært opløselige, hovedsagligt fjernes i det biologiske filter. Efter filteret er svovlforbindelserne dominerende med et bidrag på henholdsvis 89 % og 91 % af SOAV sommer og vinter.

Der blev ikke detekteret nogen betydelige biprodukter under målingerne.

Lattergas

Tabel 5 viser de registrerede koncentrationer af lattergas før luftrenseren, efter filter 2 og efter luftrenseren. Disse indikerer, at der kan være en lille stigning i lattergaskoncentrationen gennem filteret. Disse bør dog bekræftes med en anden målemetode, da Innova-målinger ved forskellig temperatur og fugtighed kan være behæftet med usikkerheder [9-12].

Tabel 5. Lattergaskoncentration målt i sommer- og vinterperiode med Innova. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

Beskrivelse	Lattergaskoncentration, ppm	
	Vinter	Sommer
N	36	37
Før luftrensere	0,32 ± 0,01	0,24 ± 0,006
Efter filter 2	0,34 ± 0,01	0,25 ± 0,009
Efter luftrensere	0,41 ± 0,02	0,33 ± 0,01
Reduktion, %	-27,1	-41,7
P-værdi*	<0,0001	<0,0001

*P-værdi er for sammenligningen af koncentration før og efter

Procesvand

Tabel 6 og 7 viser resultatet af analyserne af procesvandet fra kar 1 og kar 2 foretaget af Eurofins Agro Testing Denmark A/S.

Tabel 6. Analyse af procesvand fra henholdsvis kar 1 under syrefilter og kar 2 under neutraliserings- og biologisk filter udtaget i vinterperioden. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

	Kar 1	Kar 2
Antal målinger (N)	7	7
pH	2,7 ± 0,1	6,1 ± 0,3
Ledningsevne [mS/cm]	102,1 ± 23,9	40,4 ± 8,9
NH ₄ ⁺ -NH ₃ -N [g/L]	14,8 ± 5,3	4,8 ± 1,6
NO ₃ ⁻ -N [mg/L]	182,7 ± 93,1	84,6 ± 42,6
NO ₂ ⁻ -N [mg/L]	<0,015	0,5 ± 0,6
Total svovl [g/L]	21,9 ± 7,2	7,2 ± 2,1

Tabel 7. Analyse af procesvand fra henholdsvis kar 1 under syrefilter og kar 2 under neutraliserings- og biologisk filter udtaget i sommerperioden. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

	Kar 1	Kar 2
Antal målinger (N)	7	7
pH	2,7 ± 0,1	5,8 ± 0,3
Ledningsevne [mS/cm]	124,1 ± 27,4	48,1 ± 11,4
NH ₄ ⁺ -NH ₃ -N [g/L]	20,0 ± 5,2	6,9 ± 1,8
NO ₃ ⁻ -N [mg/L]	180,6 ± 101,0	74,6 ± 39,4
NO ₂ ⁻ -N [mg/L]	<0,015	2,4 ± 4,5
Total svovl [g/L]	29,7 ± 8,0	9,3 ± 2,3

Luftydelse og tryktab

Tabel 8 viser den gennemsnitlige luftydelse og tryktabet i vinter- og sommerperioden.

Tabel 8. Gennemsnitlig luftydelse i sommer- og vinterperiode. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

	Luftydelse [m ³ time ⁻¹]	Tryktab [Pa]
Vinter	18.191 ± 697	62,4 ± 18,5
Sommer	19.202 ± 018	68,9 ± 9,6

Den målte luftydelse ligger gennemsnitligt på 95 % og 100 % af den dimensionerede maksimale luftydelse. Den gennemsnitlige belægning pr. sektion var henholdsvis 633 grise i vinterperioden og 631 grise i sommerperioden.

Døgnmiddel for ventilationsydelsen i afprøvningsperioden fremgår af Appendiks A8.

Støv

Tabel 9 viser resultaterne fra støvmålingerne. Disse blev analyseret på Teknologisk Institut og udført i henhold til MEL-02 [8].

Tabel 9. Målte koncentrationer af støv i vinter- og sommerperioden

	Vinter	Sommer
Støv før renser, mg/m ³	1,73	1,50
Støv efter renser, mg/m ³	0,50	0,33
Reduktion, %	71,1	78,0

Temperatur og relativ luftfugtighed

Tabel 10 viser den gennemsnitlige temperatur og relative luftfugtighed i afprøvningsperioden.

Tabel 10. Gennemsnitlig temperatur og relativ luftfugtighed i sommer- og vinterperiode. Data er angivet med 95 % konfidensinterval

	Vinter	Sommer
Temperatur ude, °C	5,6 ± 1,7	17,6 ± 2,9
Temperatur stald, °C	17,3 ± 1,4	21,9 ± 1,9
Relativ luftfugtighed ude, %	88,5 ± 7,0	75,5 ± 6,2
Relativ luftfugtighed, %	90,4 ± 1,7	89,1 ± 2,8

Forbrug

Tabel 11 viser forbruget for luftrenseren gennem hele afprøvningsperioden. Forbrug pr. produceret gris er beregnet ud fra en produktion på 6.975 grise i de tre sektioner, som blev anvendt i testen.

Tabel 11. Gennemsnitligt forbrug igennem afprøvningsperioden (november 2018 – november 2019)

	Forbrug gennem testperiode	Forbrug pr. produceret gris
Vandforbrug, [m ³]	210	0,03
Vand, drænet [m ³]	68	0,01
Syreforbrug [kg]	5.233	0,8
Elforbrug – renser [kWh]	17.602	2,5
Elforbrug – ventilation [kWh]	13.361**	1,9
Skumreducerende middel [L]*	25	0,001

*Fatty alcohol alcoxylate (Brenntag N.V./B.V)

** Fratrullet 0,7 kWh pr. produceret gris til normal ventilation

Ved beregning af forbrug er forudsat en pris på vand på 5,0 DKK/m³, en pris på syre på 1,0 DKK/kg og en elpris på 0,75 DKK/kWh samt en pris på opbevaring og udbringning af lænsevand på 26,50 DKK/m³. Herved udgjorde de samlede forbrugsomkostninger 3,3 DKK/produceret gris. Denne pris er fratrukket værdien af ekstra kvælstof i gyllen, svarende til 7,00 DKK/kg N. Denne er estimeret til 1,4 DKK pr. produceret gris ud fra den beregnede reduktion i ammoniak og ventilationsydelsen.

Service og drift

I tabel 12 er logbogen for drift og service af luftrensere i afprøvningsperioden angivet.

Tabel 12. Servicebeskrivelse for afprøvningsperioden

Dato	Hændelse	Tid	Nedetid
15-11-2018	Service/Eftersyn	0,5	
19-11-2018	Service/Eftersyn	1,5	
23-11-2018	Service/Eftersyn	5	
26-11-2018	Service/Eftersyn	2	
29-11-2018	Service/Eftersyn	1,5	
07-12-2018	Service/Eftersyn	4,5	
18-12-2018	Service/Eftersyn	2,25	
19-12-2018	Service/Eftersyn	7,5	
04-01-2019	Service/Eftersyn	5,5	
11-01-2019	Service/Eftersyn	1,5	
22-01-2019	Service/Eftersyn	2	
23-01-2019	Service/Eftersyn	4	
24-01-2019	Service/Eftersyn	3	
31-01-2019	Service/Eftersyn	0,5	
06-02-2019	Service/Eftersyn	0,25	
20-02-2019	Service/Eftersyn	2	
27-02-2019	Service/Eftersyn	2,5	
28-02-2019	Service/Eftersyn	3	
08-03-2019	Service/Eftersyn	4,5	
11-03-2019	Service/Eftersyn	0,25	
17-03-2019	Service/Eftersyn/Alarm på grund af vandstand	1	24
18-03-2019	Service/Eftersyn	3,75	
20-03-2019	Service/Eftersyn	4,5	
25-03-2019	Service/Eftersyn	4,75	8
09-04-2019	Service/Eftersyn	1,25	
03-05-2019	Service/Eftersyn	3,5	
24-05-2019	Service/Eftersyn	3,5	
27-05-2019	Service/Eftersyn	0,5	
06-06-2019	Service/Eftersyn/Kondens ved syrepumpe	1,5	16
12-06-2019	Service/Eftersyn	0,75	
24-06-2019	Service/Eftersyn	5,5	
25-06-2019	Service/Eftersyn	6,5	
11-07-2019	Service/Eftersyn	1	
19-07-2019	Service/Eftersyn	0,75	
09-08-2019	Service/Eftersyn	0,5	
12-08-2019	Service/Eftersyn	5	
13-08-2019	Service/Eftersyn	4	
14-08-2019	Service/Eftersyn/Blokeret sensor	1,25	12
15-08-2019	Service/Eftersyn	0,25	
16-08-2019	Service/Eftersyn	3,5	
19-08-2019	Service/Eftersyn	2	
20-08-2019	Service/Eftersyn	3,5	
02-09-2019	Service/Eftersyn	1,25	

09-09-2019	Service/Eftersyn	1,25	
24-09-2019	Service/Eftersyn	0,5	
09-10-2019	Service/Eftersyn	2	
14-10-2019	Service/Eftersyn	3	
21-10-2019	Service/Eftersyn/Fejl på ventilation	2,75	24
23-10-2019	Service/Eftersyn	3	
07-11-2019	Service/Eftersyn	2,5	
13-11-2019	Service/Eftersyn	1	

Den samlede tid til tilsyn og service udgjorde i gennemsnit 2,5 timer om ugen i afprøvningsperioden. Den samlede nedetid for luftrenseren var 82 timer, svarende til 1 % af den samlede driftstid. Nedetiden bestod hovedsageligt af driftsstop på grund af fejl på sensorer, pumper og ventilation samt tid til udbedring.

Konklusion

FAC Combi-Cleaner PE luftrenseren fra SKOV A/S / Inno+ blev afprøvet igennem en 1-årig periode i henhold til VERA-protokollen [3]. Afprøvnningen blev gennemført i tre sektioner i en slagtegrisestald og inkluderede 1.920 stipladser, hvor punktudsugget, svarende til 10 m³ pr. gris pr. time (10 % af den maksimale ventilationsydelse), blev ledt igennem luftrenseren. Luftrenseren reducerede gennemsnitligt ammoniakkoncentrationen med 96,8 % i den del af luften, der blev ledt igennem luftrenseren. Lugtkoncentrationen - bestemt som SOAV - blev reduceret med 79,3 %.

Luftrenseren var dimensioneret til en luftydelse på 19.200 m³ time⁻¹. Gennem afprøvningsperioden var luftydelsen gennemsnitligt 18.697 m³ time⁻¹. Forbrugsomkostningerne til drift af luftrenseren blev beregnet til 3,3 DKK pr. produceret gris ved rensning af 10 % af den maksimale ventilationskapacitet via punktudsugningen. Heraf er værdien af ekstra kvælstof i gyllen fratrukket.

Forbrugsomkostningerne fordeltes til vand, opbevaring og udbringning af lænsevand, syre og el. Omkostningerne er uden arbejdstid, serviceomkostninger, vedligehold og landmandstilsyn. Nedetiden udgjorde cirka 1 % af driftstiden.

Referencer

- [1] Pernille Lund Kasper, Simon Wilhelm Yde Granath & Mai Britt Friis Nielsen (2021): Afprøvning af FAC Combi-Cleaner PE luftrenser i slagtegrisestald med 10 % punktudsug (B-test). Meddelelse nr. 1238, SEGES Gris.
- [2] Miljøstyrelsens Teknologiliste, 2021.
- [3] VERA Test Protocol for Air Cleaning Technologies, Version 2:2018-09.
- [4] <https://inno-plussystems.com/en/viking-adventures/>
- [5] Hansen, M.J.; Adamsen, A.P.S.; Wu, C.; Feilberg, A. (2021): Additivity between Key Odorants in Pig House Air. *Atmosphere* 2021, 12, 1008.
<https://doi.org/10.3390/atmos12081008>
- [6] <http://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2019/arp/lugtreduktion-fra-husdyr-bestemt-med-kemiske-maalinger>
- [7] Hansen, M.J. & Feilberg, A. (2019): A Protocol for Chemical Measurements of Odour in Relation to Abatement Technologies for Animal Production, Version 1.0.
- [8] Metodeblad nr. MEL-02:2017. Bestemmelse af koncentrationen af partikulært materiale (støv) i strømmende gas (www.ref-lab-dk).
- [9] Anders Peter Adamsen (2018): Måling af klimagasser fra stalde med infrarød fotoakustisk spektrometri. Intern rapport, SEGES.

- [10] Liu m.fl. (2020): Photoacoustic measurement with infrared band-pass filters significantly overestimates NH₃ emissions from cattle houses due to volatile organic compound (VOC) interferences, *Atmospheric Measurement Techniques*, 13, 259-272.
- [11] Rosenstock m.fl. (2013): Accuracy and precision of photoacoustic spectroscopy not guaranteed, *LETTER, Global Change Biology*, doi: 10.1111/gcb.12332.
- [12] Zhao m. fl. (2012): Estimation of the interference in Multi-Gas Measurements using infrared photoacoustic analyzers, *Atmosphere* 2012, 3, 246-265; doi:10.3390/atmos3020246.

Deltagere

Tekniker: Thomas Lund Sørensen

Andre: Kasper Balslev Sørensen, Simon Wilhelm Yde Granath

Afprøvning nr. 1587

NAV nr.: 1370

//MIHO//

Dyregruppe: Slagtegrise

Fagområde: Miljøteknologi

Nøgleord: Luftrensere, punktudsug, ammoniak, lugt

Appendiks

A1. Designparametre

Tabel A1.1: Designparametre for FAC Combi-Cleaner PE luftrensere

Parameter	
Dyregruppe	Slagtegrise
Vægt, kg	30–108
Maksimalt antal stipladser	1.920
Maksimalt luftflow, m ³ time ⁻¹	19.200
Opholdstid, minimum, s	2,5
Vandforbrug, liter	Koncentrationsafhængig
Lænevand, liter	Koncentrationsafhængig
Maksimalt tryktab, Pa	70
Syreforbrug, kg	Koncentrationsafhængig

Tabel A1.2: Designparametre for FAC Combi-Cleaner PE luftrensere

Filter	1. trin	2. trin	3. trin
Længde/bredde/højde, m	4,37 / 0,3 / 2,64	4,37 / 0,15 / 1,11	4,37 / 0,7 / 2,93
Overfladeareal, m ² m ⁻³	80	270	-
Belastning – frontareal, m ³ m ⁻² time ⁻¹	1.665	3.960	1.500
Belastning – filterareal, m ³ m ⁻² time ⁻¹	69,3	97,7	
Belastning – Volumen, m ³ m ⁻³ time ⁻¹	5.548	29.388	2142
Overrisling, m ³ t ⁻¹	11	6	20,7
Overrisling densitet, m ³ m ⁻² time ⁻¹	1,72	2,22	
Vandkar volumen, m ³			
pH interval	<3,0	7,0	6,0 - 7,0
Maksimal konduktivitet, mS/cm	180		

Appendiks

A2. Måleusikkerhed

Tablet A2.1: Usikkerhed for måleudstyr brugt under afprøvningen

Målemetode	Usikkerhed
NH ₃ – Kitagawa gas detektor 105SD	5 %
NH ₃ – INNOVA 1 LOQ	0,42
NH ₃ – INNOVA 3 LOQ	0,38
NH ₃ – INNOVA 4 LOQ	0,33
NH ₃ – Picarro	5 %
CO ₂ – Kitagawa gas detektor 126SF	10 %
H ₂ S – Jerome 631-XE	5 %
Støv – 24 timers måling	0,01 mg
Støv – 1 times måling	10 %
Luftflow – Fanco mælvinge	<10 %
Temperatur – Testo 435-4	0,3 °C
RH % - Testo 435-4	2 %
Tryktab – Testo 435-4	2 Pa
pH -	-
Konduktivitet – DS/EN 27888	15 %
Amoniak+ammonium-N - SM 17. ver. 4500	15 %
Nitrit-N - SM 17. ver. 4500	15 %
Nitrat-N – SM 17. ver. 4500	15 %
Total S – DS 259:2003, SM 3120/ICP-OES	30 %

Appendiks

A3. Staldregistreringer

Tablet A3.1. Staldregistreringer angivet som gennemsnit for de tre sektioner, som indgik i afprøvningen

Dato	Gns. Antal [stk.]	Gns. Vægt [kg]	Gns. Svineri* [-]	Gns. Gyllehøjde [cm]
28-11-18	603	45	7	17
19-12-18	581	68	5	9
10-01-19	569	90	3	5
23-01-19	188	61	0	19
07-02-19	701	37	1	5
18-02-19	696	38	0	14
25-02-19	696	45	1	20
04-03-19	605	53	1	25
11-03-19	601	61	0	32
20-03-19	599	69	0	17
25-03-19	598	73	0	22
01-04-19	596	80	0	29
12-04-19	596	89	0	37
30-04-19	547	95	4	17
15-05-19	795	31	1	10
27-05-19	652	35	1	19
03-06-19	648	38	2	24
11-06-19	647	45	11	11
17-06-19	645	54	18	17
25-06-19	644	62	13	24
01-07-19	600	69	15	28
08-07-19	599	77	12	16
17-07-19	583	82	17	25
14-08-19	632	29	2	17
28-08-19	700	31	23	23
10-09-19	576	48	15	17
12-09-19	576	56	13	19
23-09-19	575	73	7	14
07-10-19	687	82	7	9
21-10-19	679	98	15	16
14-11-19	854	28	0	14

* Vurdering af svineri på fast gulv (antal stier i sektionen)

Appendiks

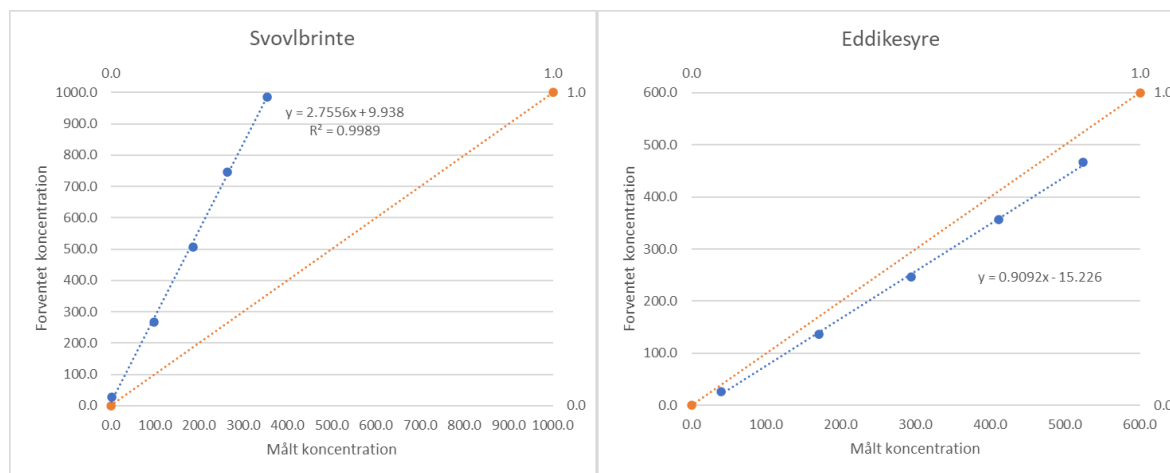
A4. PTR-MS

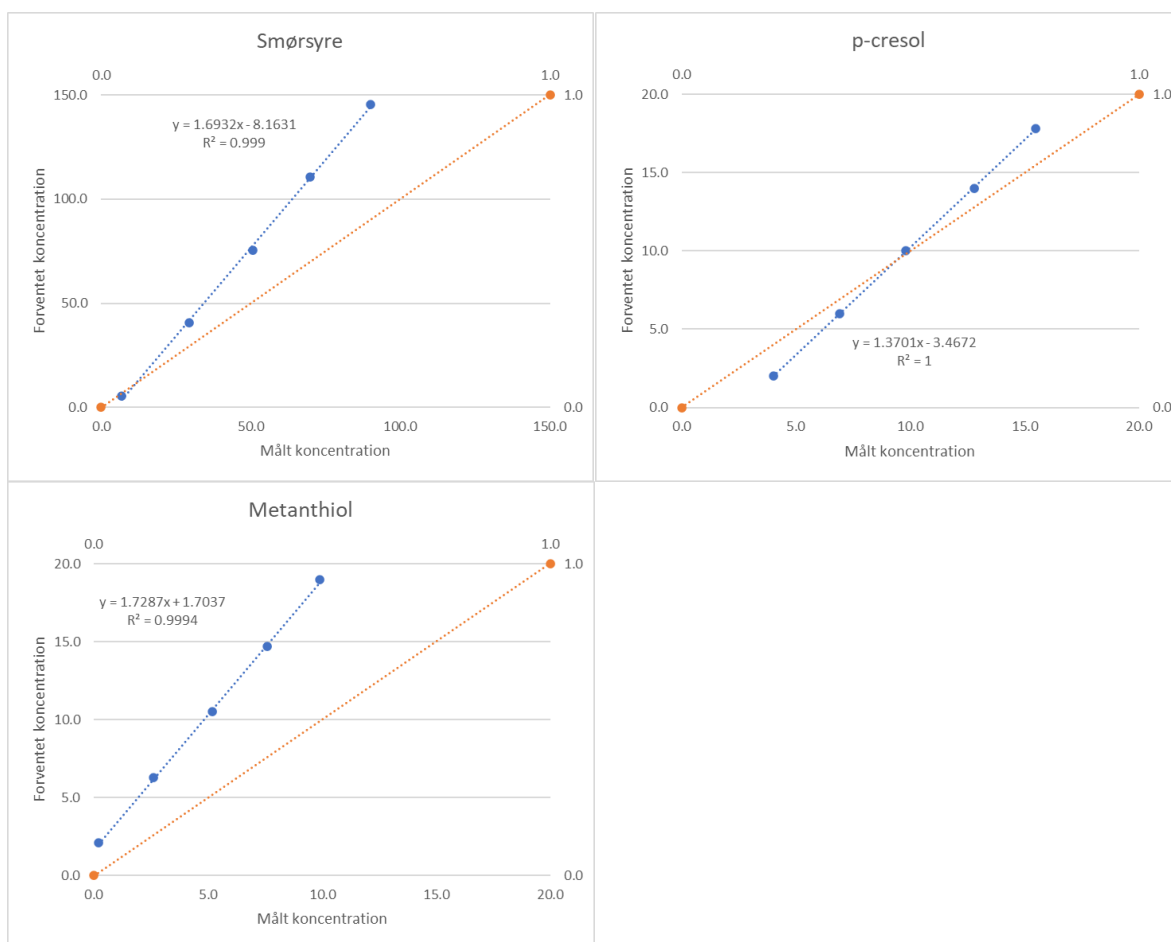
Tabel A4.1: Systemindstillinger for PTR-MS

Parameter	Indstilling
U drift	600
U dx	0,2
T drift, °C	80
P drift, mbar	2,3
E/N	136

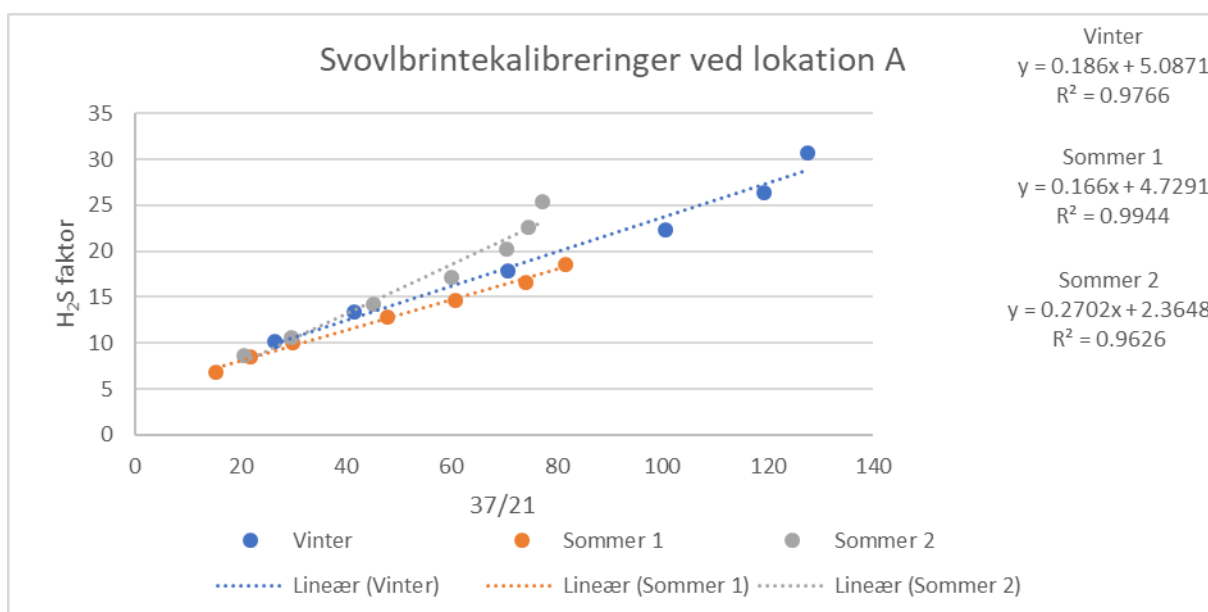
Tabel A4.2: Detektions- og kvantifikationsgrænse for PTR-TOF-MS

	Svovlbrinte	Metanhol	Trimethylamin	Eddikesyre	Smørsyre	Pentansyre	Propansyre	4-mety/phenol	Skatol
Detektionsgrænse Ppb	8,48	0,15	0,22	1,25	0,22	0,25	1,28	0,074	0,054
Kvantifikationsgrænse Ppb	28,3	0,5	0,73	4,16	0,73	0,83	4,27	0,25	0,18
Gennemsnitlig præcision, % (bestemt 2019)	7,7	8,7	-	2,1	3,2	-	-	4,4	-

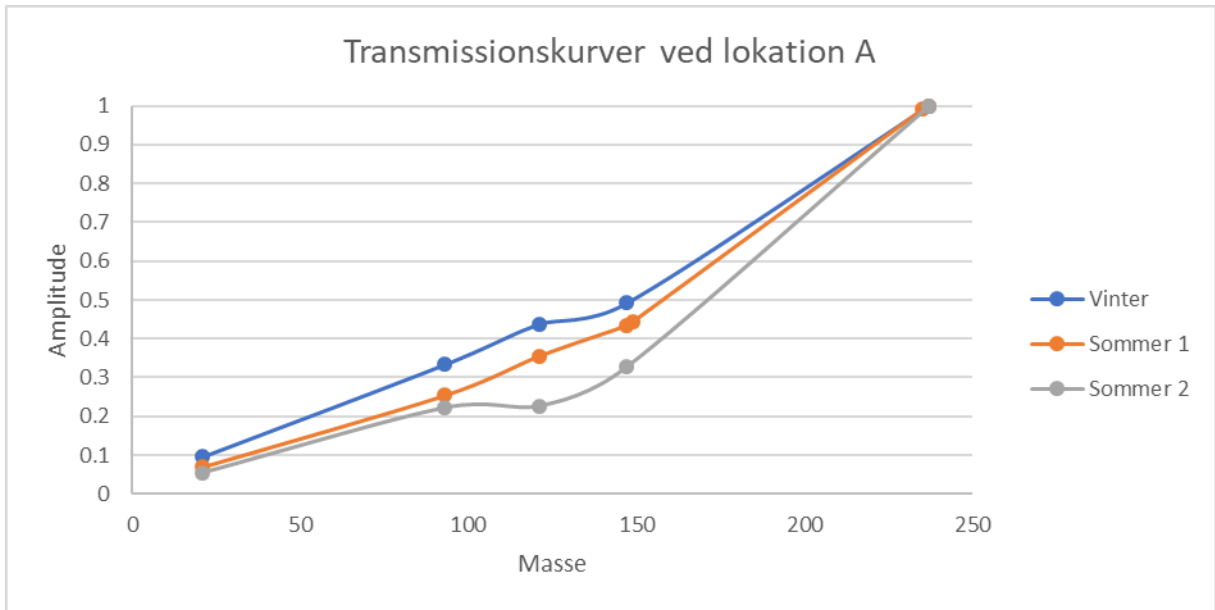




Figur A4.1 Nøjagtighed bestemt ved kvalitetsmålinger, maj 2019. Test af genfindning direkte med PTR-MS og gennem set-up (bestående af pumpe og opvarmet ventilboks)



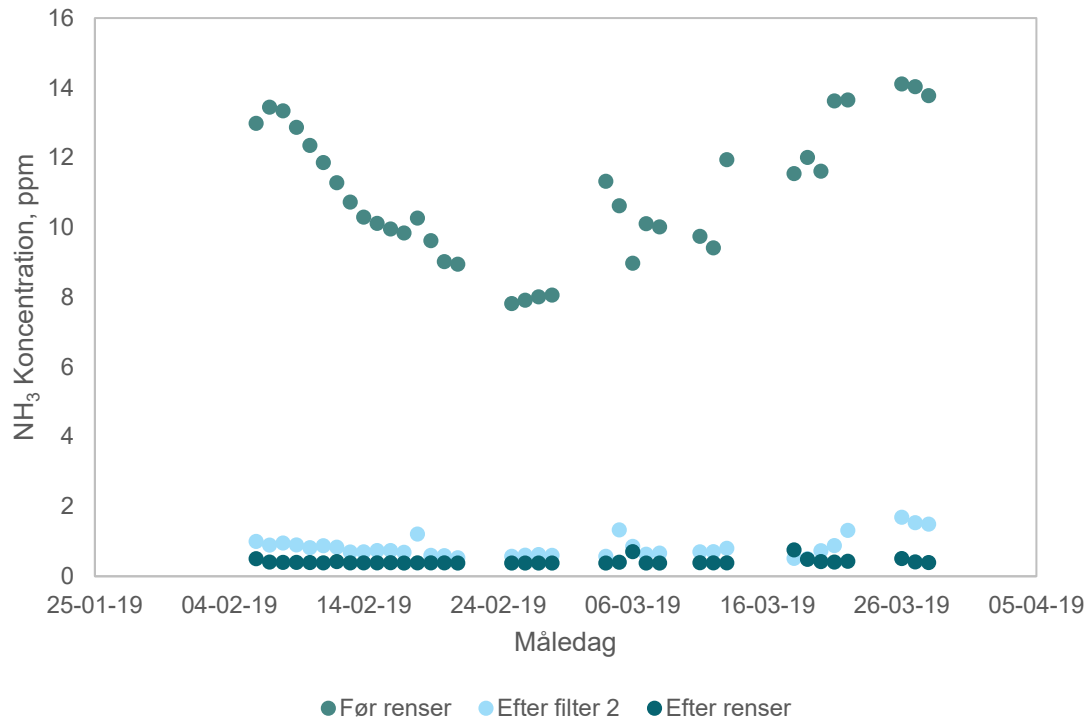
Figur A4.2 Svovlbrintekalibrering



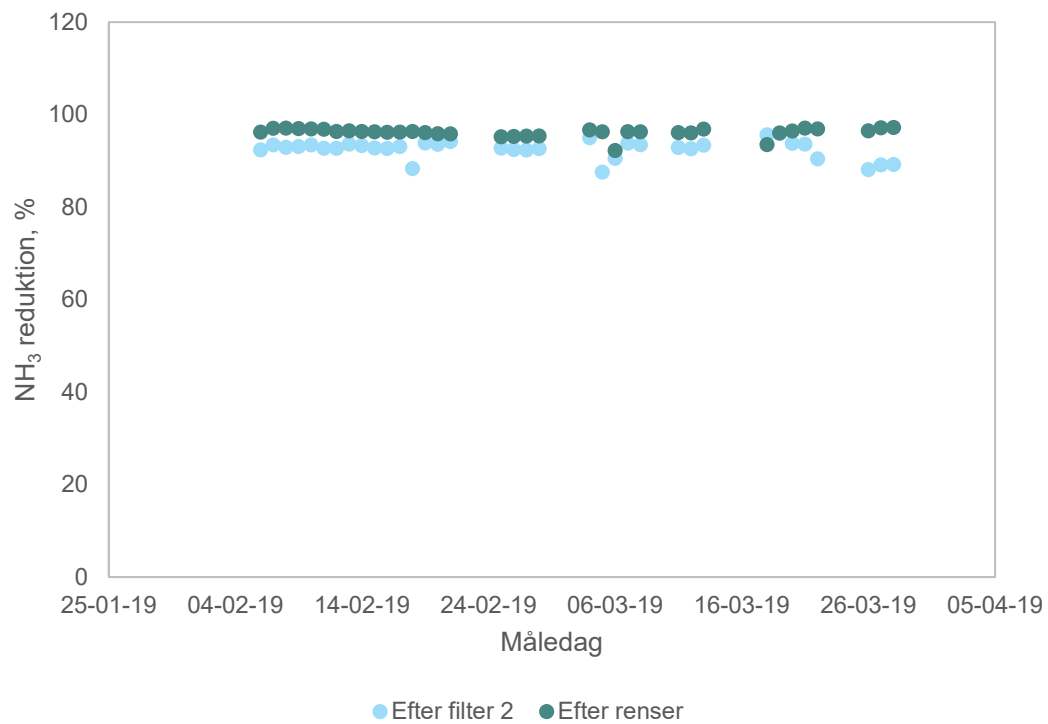
Figur A4.3 Transmission

Appendiks

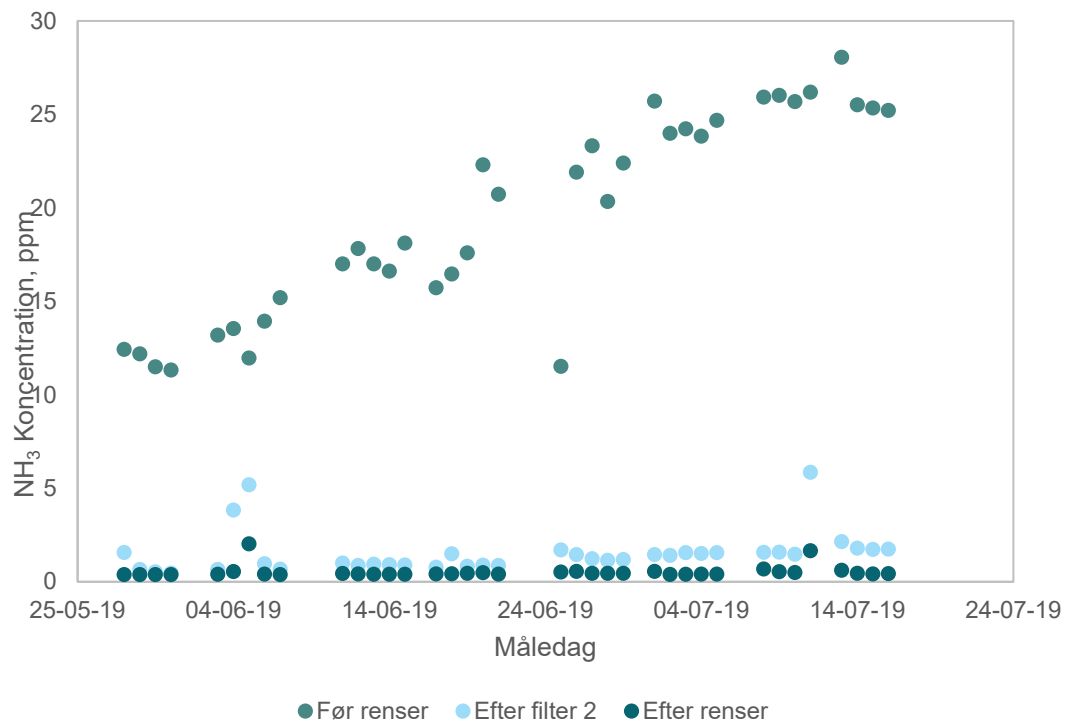
A5. Ammoniak



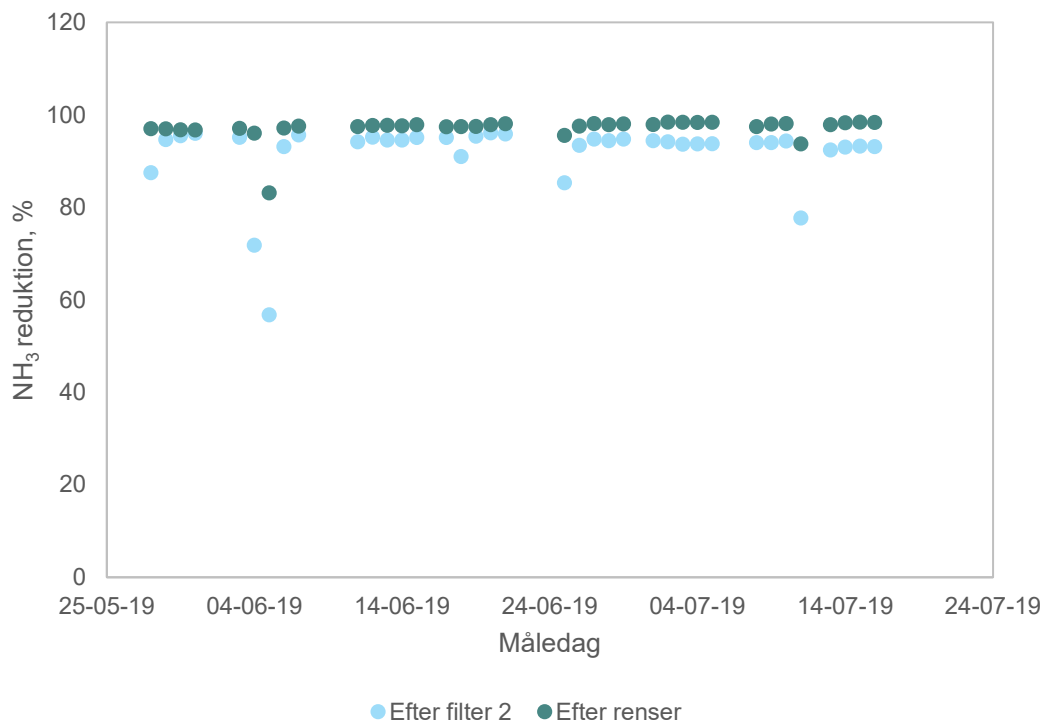
Figur A5.1 Døgnmiddel af ammoniakkoncentration før og efter luftrens i vinterperiode



Figur A5.2 Døgnmiddel af ammoniakreduktion i vinterperiode



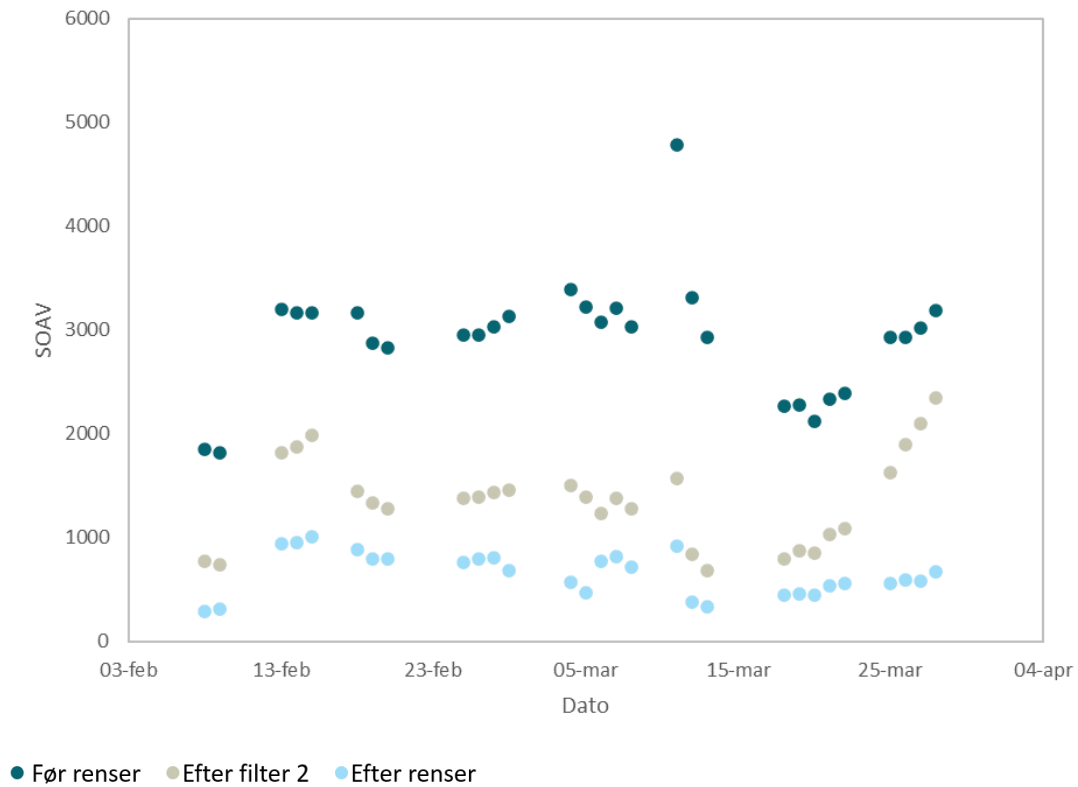
Figur A5.3 Døgnmiddel af ammoniakkoncentration før og efter luftrens i sommerperiode



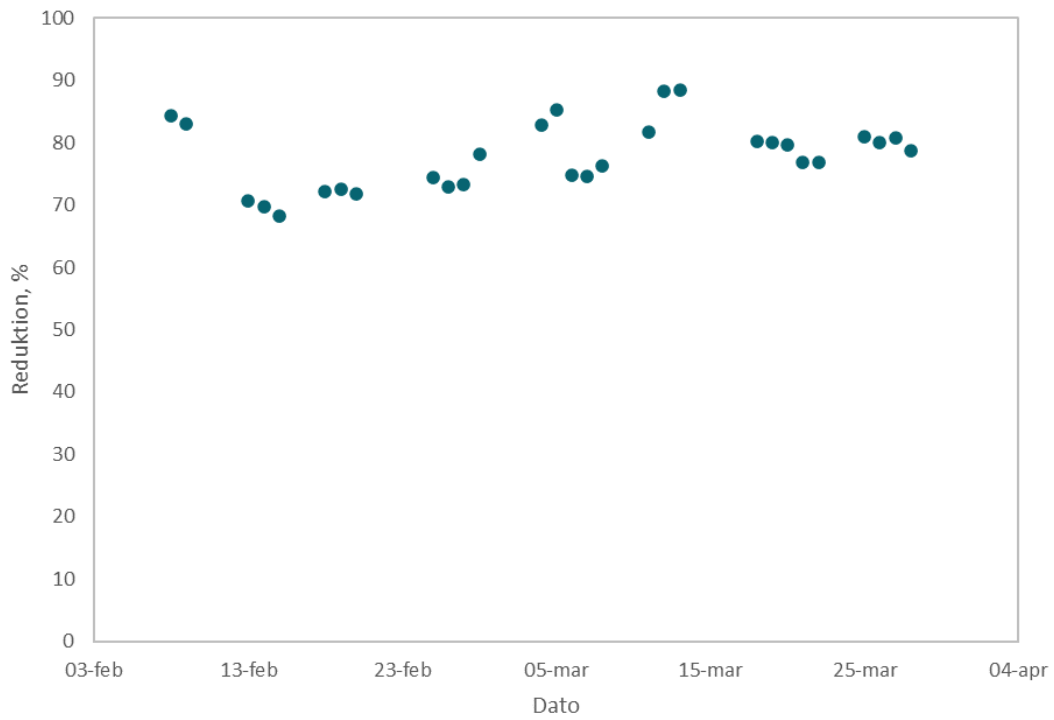
Figur A5.4 Døgnmiddel af ammoniakreduktion i sommerperiode

Appendiks

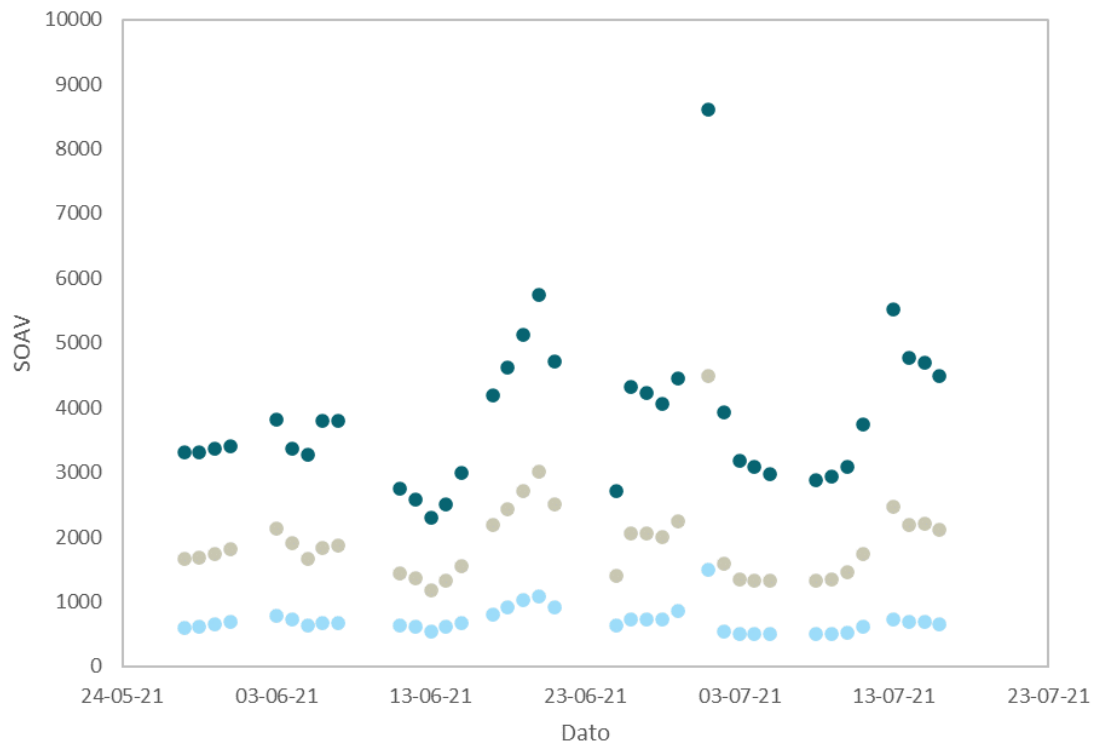
A6. Lugt



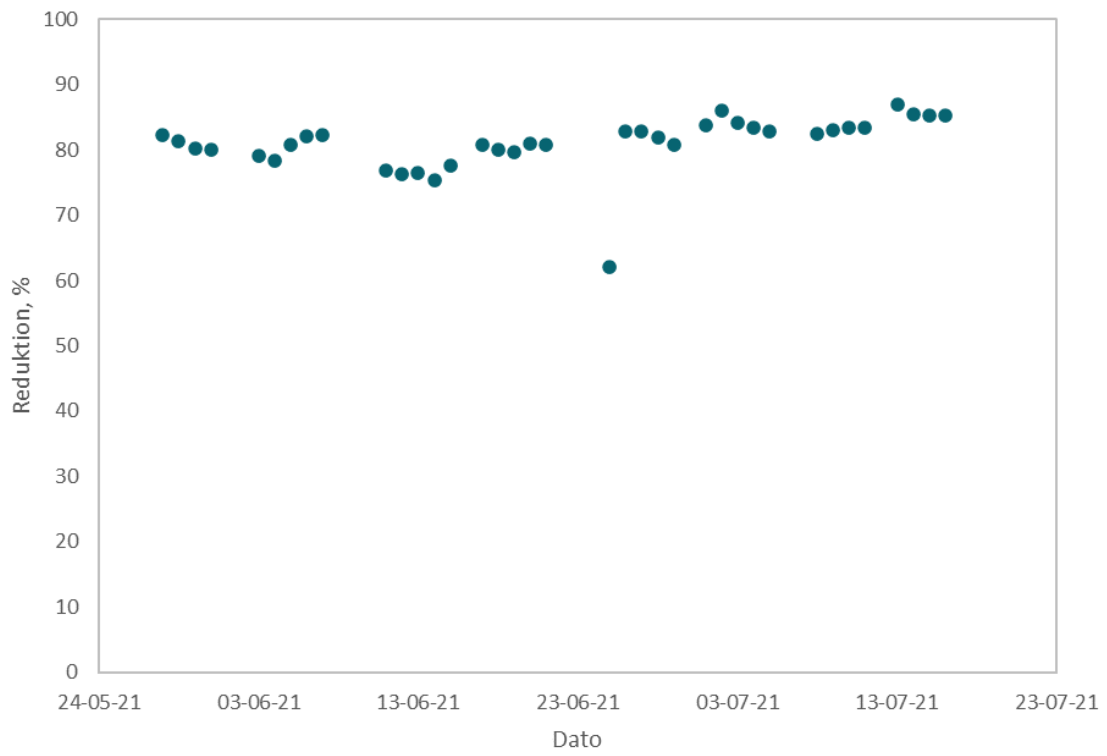
Figur A6.1 Døgnmiddel af SOAV før og efter luftrensere i vinterperiode



Figur A6.2 Døgnmiddel af reduktion i SOAV i vinterperiode



Figur A6.3 Døgnmiddel af SOAV før og efter luftrensere i sommerperiode



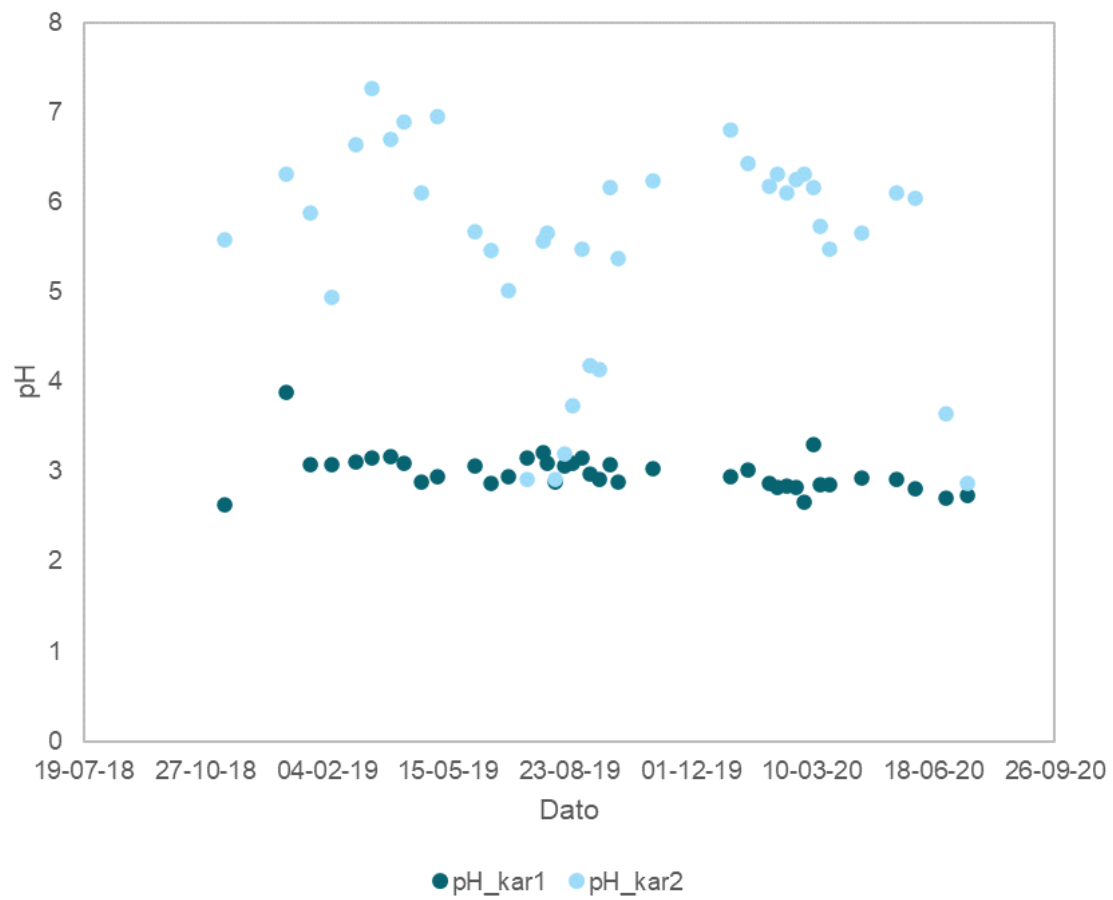
Figur A6.4 Døgnmiddel af reduktion i SOAV i sommerperiode

Tabel A6.1: Målte Koncentrationer af enkeltstoffer

	Syovlbrinte	Metanthiol	Trimetylamin	Eddikesyre	Smørsyre	Pentansyre	Propansyre	4-metylphenol	Skatol
Vinter Før renser (ppb)	582,0 ± 116,6	20,8 ± 2,2	72,4 ± 6,3	355,6 ± 28,9	53,8 ± 3,9	11,5 ± 0,9	82,9 ± 7,9	20,6 ± 1,8	2,0 ± 0,2
Vinter Efter filter 2 (ppb)	508,2 ± 93,9	20,8 ± 2,2	7,1 ± 0,7	17,1 ± 3,3	4,0 ± 0,8	1,2 ± 0,2	6,5 ± 1,0	2,0 ± 0,4	0,6 ± 0,06
Vinter Efter renser (ppb)	190,0 ± 40,3	17,5 ± 2,1	3,2 ± 0,3	5,2 ± 0,6	0,9 ± 0,09	0,5 ± 0,05	1,4 ± 0,2	0,3 ± 0,03	0,06 ± 0,009
Sommer Før filter (ppb)	1184,2 ± 145,0	37,1 ± 3,8	20,1 ± 0,8	139,3 ± 47,9	29,0 ± 8,7	6,5 ± 2,1	41,4 ± 13,7	11,4 ± 3,7	1,2 ± 0,4
Sommer Efter filter 2 (ppb)	536 ± 50,9	36,5 ± 3,7	4,2 ± 0,4	11,0 ± 3,0	3,2 ± 0,9	1,1 ± 0,9	4,0 ± 1,6	1,6 ± 0,8	0,4 ± 0,09
Sommer Efter renser (ppb)	128,1,7 ± 40,6	31,6 ± 3,6	3,4 ± 0,2	11,3 ± 0,6	2,7 ± 0,1	0,9 ± 0,04	2,8 ± 0,3	1,5 ± 0,04	0,3 ± 0,007

Appendiks

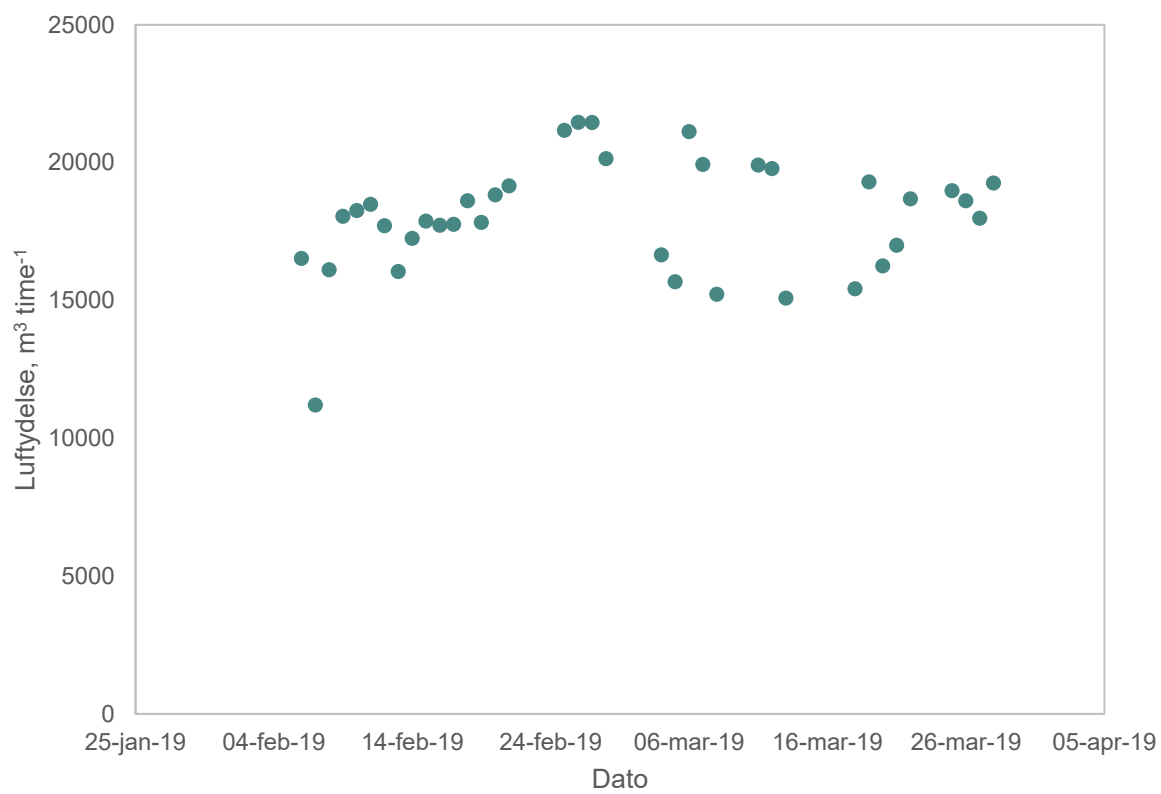
A7. pH



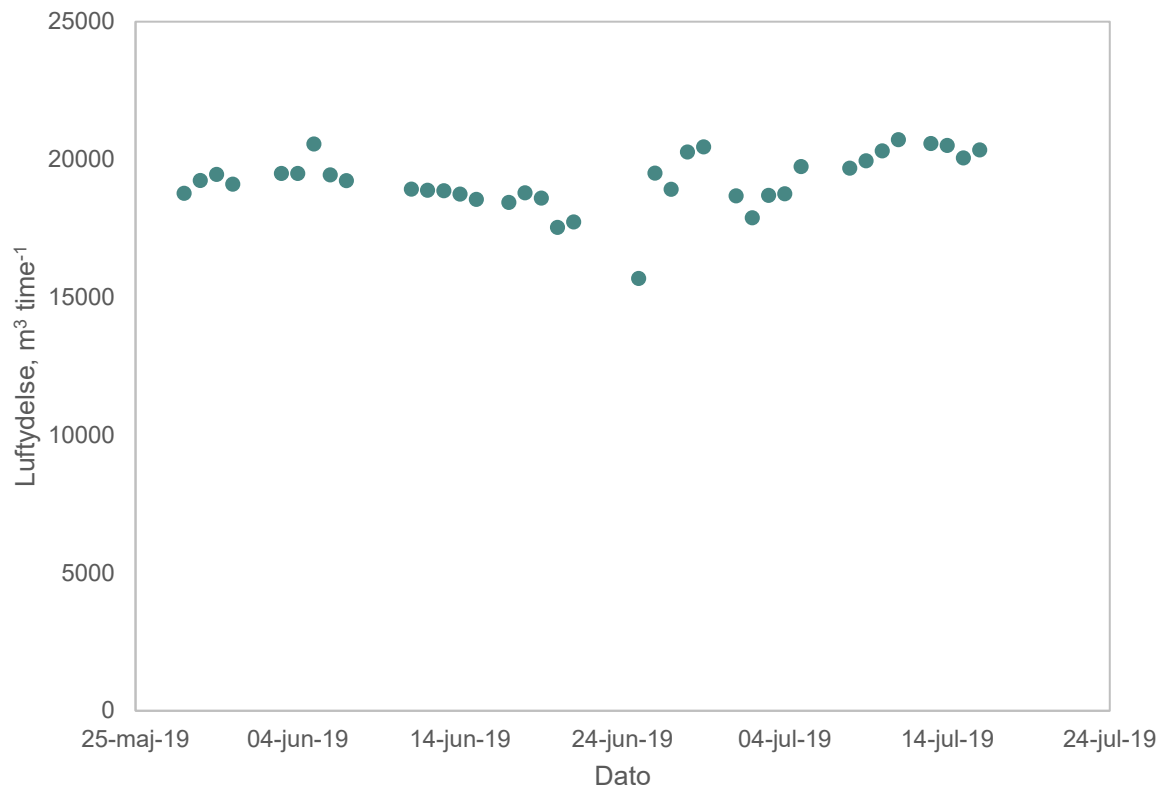
Figur A7.1 Døgnmiddel af pH i kar 1 og 2 i afprøvningsperiode

Appendiks

A8. Luftydelse



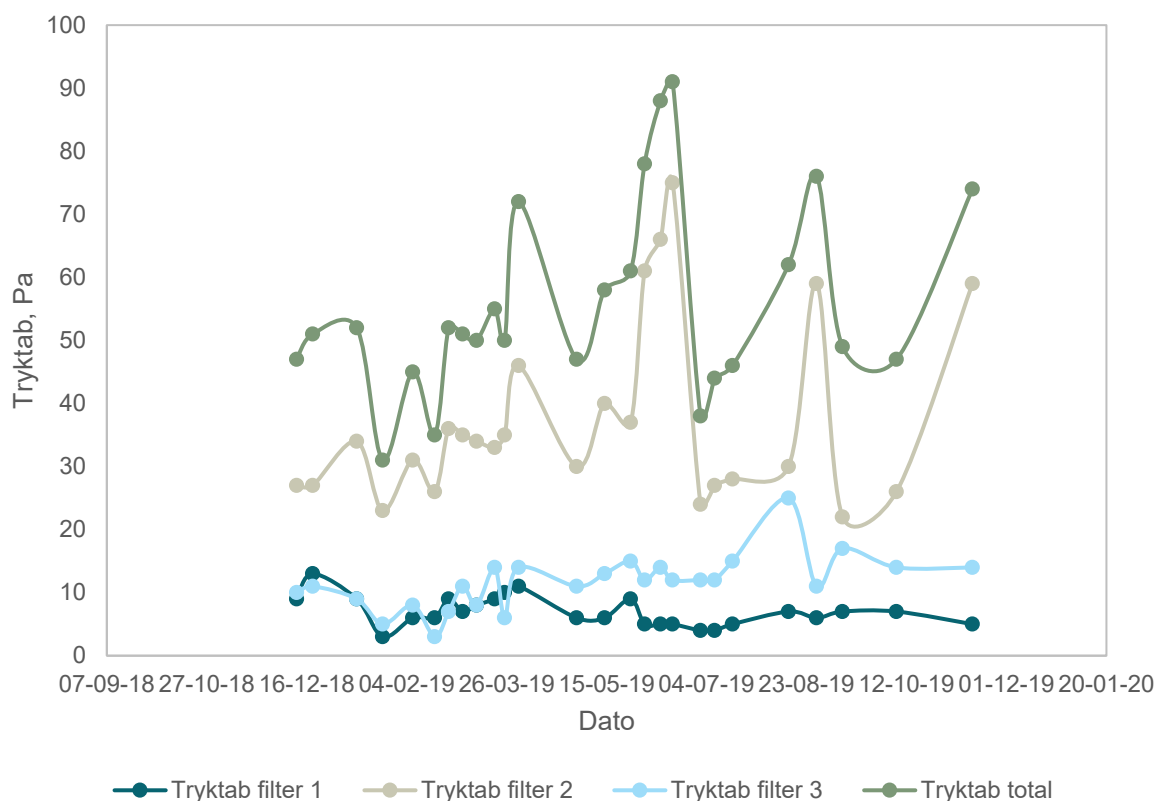
Figur A8.1 Døgnmiddel af luftydelse vinterperiode



Figur A8.2 Døgnmiddel af luftydelse sommerperiode

Appendiks

A9. Tryktab



Figur A9.2 Døgnmiddel af tryktab over filtre i hele afprøvningsperioden



Tlf.: 33 39 45 00

svineproduktion@seg.es.dk

Ophavsretten tilhører SEGES. Informationerne fra denne hjemmeside må anvendes i anden sammenhæng med kildeangivelse.

Ansvar: Informationerne på denne side er af generel karakter og søger ikke at løse individuelle eller konkrete rådgivningsbehov.

SEGES er således i intet tilfælde ansvarlig for tab, direkte såvel som indirekte, som brugere måtte lide ved at anvende de indlagte informationer.