

# Ammoniakemission fra teltoverdækkede gyllebeholdere

Pernille Lund Kasper, Michael Holm

---

## Hovedkonklusion

Emissionen af ammoniak fra fire teltoverdækkede gyllebeholdere blev bestemt over en periode på ét år. Emissionen af ammoniak fra to beholdere med kvæggylle blev bestemt til  $0,02 \pm 0,03$  og  $0,008 \pm 0,01$  kg  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ , mens der fra to beholdere med grisegylle blev bestemt en emission på  $0,0006 \pm 0,0005$  og  $0,05 \pm 0,03$  kg  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ . Alle beholdere havde en lav ammoniakemission svarende til henholdsvis 9%, 4%, 0,3% og 26% set i forhold til den nuværende fastsatte emission for teltoverdækkede gyllebeholdere på  $0,2$  kg  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ .

---

## Sammen drag

Ammoniakemissionen fra fire teltoverdækkede gyllebeholdere blev fulgt over en periode på ét år med fire måleperioder af ca.14 dages varighed for hver beholder. De fire gyllebeholdere bestod af to beholdere med kvæggylle og to beholdere med grisegylle.

Emissionen af ammoniak blev bestemt ved hjælp af sporgas-henfaldsmetoden (tracer-decay), hvor sporgassen (lattergas,  $\text{N}_2\text{O}$ ) blev tilsat under teltoverdækningen på gylletankene. Herefter blev det eksponentielle henfald i sporgaskoncentrationen som resultat af luftskiftet under dugen monitoreret og luftskiftet i beholderens headspace blev bestemt. Koncentrationen af ammoniak blev målt kontinuerligt med CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy, Picarro).

Der var forholdsvis stor forskel på emissionen fra de to beholdere med grisegylle. Dette antages at være et resultat af, at den ene beholder med grisegylle var forsynet med et tykt flydelag under teltdugen, som effektivt hindrede emissionen fra denne beholder. Dette skyldes formentligt at denne beholder modtog gylle fra en sobesætning, hvor der blev anvendt hjemmeblandet foder og en forholdsvis stor mængde strøelse i drægtighedsstalden, hvorved partikelstørrelsen i gyllen var større. Derudover blev der ved

analyse af gyllen fundet et niveau af total-N og NH<sub>3</sub>-N i denne beholder, som kun var ca. halvt så højt, som i den anden beholder med slagtegrisegylle.

Den gennemsnitlige årlige emission af ammoniak fra de to beholdere med kvæggylle blev bestemt til henholdsvis  $0,02 \pm 0,03$  og  $0,008 \pm 0,01$  kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>, mens der fra de to beholdere med grisegylle blev bestemt en emission på henholdsvis  $0,0006 \pm 0,0005$  og  $0,05 \pm 0,03$  kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>.

De fire beholdere undersøgt i denne rapport havde en lav ammoniakemission svarende til henholdsvis 9%, 4%, 0,3% og 26% set i forhold til den nuværende fastsatte emission for teltoverdækkede gyllebeholdere på 0,2 kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>.

## Indledning

NEC-direktivet forpligter medlemsstaterne til at reducere deres emissioner af luftforurenende stoffer herunder ammoniak fra og med 2020 og 2030. Danmark har forpligtet sig til at reducere ammoniakemissionen med 24% inden udgangen af år 2020. For at understøtte denne reduktion i udledningen af ammoniak, blev der nedsat et ekspertudvalg til at komme med forslag til, hvordan det vil være muligt at opfylde NEC-direktivets målsætninger omkring ammoniakreduktionen. I forbindelse med dette arbejde blev der afsat midler til at undersøge miljøeffekten af teknologier, der var tæt på at være modne til at kunne anvendes bredt i landbruget.

Efter et udbud fra Miljø- og Fødevareministeriet (MFVM) i maj 2020 skrev SEGES kontrakt med MFVM vedr. "Dokumentation af ammoniakfordampning fra teltoverdækkede gyllebeholdere". Indeværende rapport beskriver resultaterne opnået i dette arbejde.

## Introduktion

I henhold til husdyrbekendtgørelsen skal beholdere med flydende husdyrgødning være forsynet med tæt overdækning med henblik på at reducere lugt- og ammoniakemissioner. Overdækningen kan være et naturligt flydelag. Dannes der ikke naturligt flydelag er der krav om en anden form for fast overdækning, som kan bestå af flydedug, låg eller teltoverdækning.

Teltoverdækning dækker over tanke overtrukket med en overdækning bestående af kunststof, der spændes som et telt over gyllebeholderen fra en høj mast af træ, metal eller beton i beholderens midte. Teltoverdækning er i dag almindeligt udbredt og anvendes i stigende omfang, specielt i forbindelse med overdækning af svinegylle og afgasset gylle, da disse gylletyper har mindre tendens til at danne naturligt flydelag. Modsat vil der ofte forekomme tætte naturlige flydelag i beholdere med kvæggylle, hvor tørstofindholdet er højere. Det estimeres at 25-30% af beholdere med svinegylle har teltoverdækning, mens det for beholdere med kvæggylle antages at være omkring 10-15%.

Teltoverdækning antages at kunne begrænse emissionspotentialen for ammoniak betydeligt. Dette er et resultat af begrænset luftflow, hvorved der opnås en højere ammoniakkoncentration over gylleoverfladen. Herved forskubbes ligevægten mellem ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) i gyllen og ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) i luftfasen over gyllen, så en højere andel forbliver på  $\text{NH}_4^+$ -form. Teltdugen kan dog ikke tætnes fuldstændigt på grund af potentielt høje metankoncentrationer og dermed fare for selvantændelse. Teltdugen er derfor forsynet med små ventilationshuller i toppen af dugen, hvor et mindre luftflow kan cirkulere [1].



**Figur 1.** Eksempel på teltoverdækket gyllebeholder af typen undersøgt i denne rapport

Der er ikke gennemført nationale eller internationale undersøgelser, som bestemmer den faktiske emission fra teltoverdækkede gylletanke. De nuværende ammoniakemissionstal, som anvendes i miljøreguleringen af husdyr samt til DCE-beregning af den nationale ammoniakemission er derfor baseret på en teoretisk estimering. I denne forbindelse regnes der med en emission på 0,40 kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  pr  $\text{m}^2$  pr år for flydende gylle opbevaret i gylletanke med såkaldt tæt overdækning omfattende gylletanke med naturligt flydelag [3]. Denne emissionsværdi er fastlagt som et gennemsnit af den estimerede ammoniakflux fra

gylletanke med gylle fra alle dyrekategorier og staldtyper [2][5]. For såkaldt fast overdækning, herunder flydedug, betonlåg og teltoverdækning, anvendes en emissionsfaktor på 50% af emissionen fra gylletanke med tæt (naturligt) flydelag [4]. Teltoverdækkede gyllebeholdere tillægges således en ammoniakemission på 0,2 kg NH<sub>3</sub>-N pr m<sup>2</sup> pr år. Dette tal mangler dog at blive bekræftet af målinger under danske forhold.

## Materialer og metoder

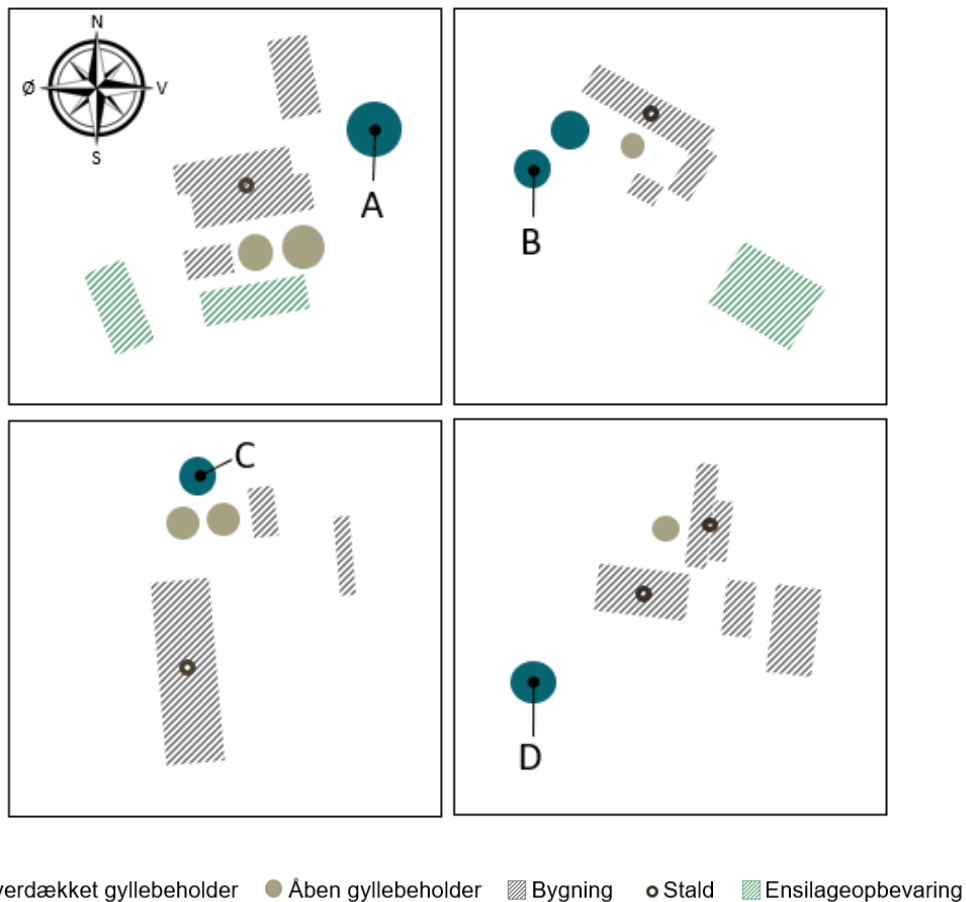
Der er udført målinger på 4 gyllebeholdere med teltoverdækning igennem en periode på ét år. Målingerne er så vidt muligt foretaget efter retningslinjerne i VERA "Test protocol for covers and other mitigation technologies for reduction of gaseous emissions from stored manure" [7]. Dog er der i disse målinger ikke inkluderet en referencebeholder (åben beholder) og i stedet for måling på én gyllebeholder i 30 dage er der målt på fire gyllebeholdere med 8 dages målinger per beholder, henholdsvis sommer, efterår, vinter og forår. Da protokollen primært er rettet mod målinger fra arealkilder, er den anvendte metode desuden ikke velbeskrevet i protokollen. Metoden som anvendes, er dog velkendt fra indeklimamålinger samt tidligere anvendt på teltoverdækkede gyllebeholdere i en rapport udført af Sveriges Landbrugsuniversitet [6]. Metoden er desuden godkendt af Miljøstyrelsens MELT-udvalg forud for målingerne.

### Gyllebeholdere

De 4 anvendte gyllebeholdere er beskrevet i tabel 1 og deres placering i forhold til stalde, større bygninger og andre gyllebeholdere på ejendommen er vist skematisk i figur 2.

**Tabel 1.** Beskrivelse af gyllebeholdere

Beholder	Dyretype	Volumen beholder m <sup>3</sup>	Volumen telt	Overfladeareal m <sup>2</sup>	Bemærkninger
A	395 malkekøer 58 kvier (Dansk Holstein)	5019	2390	1068	Græs- og majsensilage samt kraftfoder
B	285 malkekøer 188 kvier (Dansk Holstein)	3003	955	651	Græs- og majsensilage samt kraftfoder
C	1150 søer	2380	860	540	Hjemmeblandet foder
D	9500 prod. slagtegrise pr. år	3488	1580	812	Indkøbt pelleteret færdigfoder



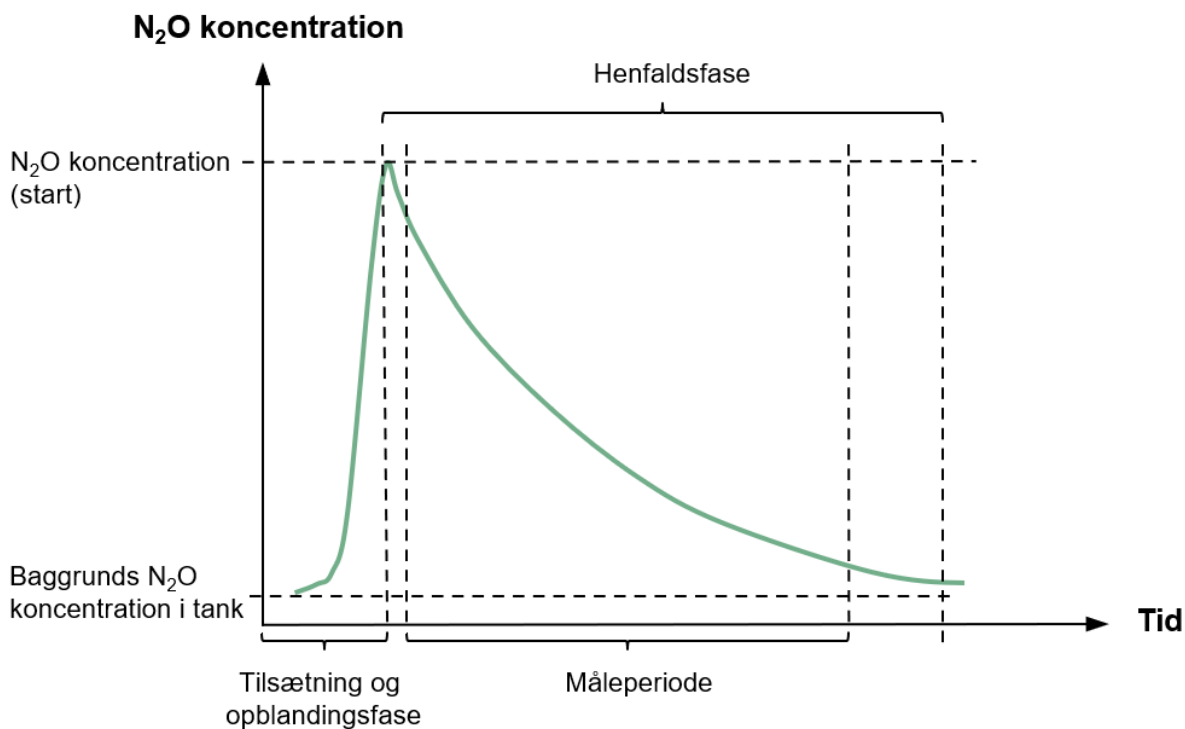
**Figur 2.** Skematisk fremstilling af placering af teltoverdækkede gyllebeholdere i forhold til bygninger og andre emissionskilder

De fire gylletanke er alle med fast teltdug, hvorpå der er monteret 3 – 4 udluftningsventiler, som sikrer at bl.a. koncentrationen af metan under teltdugen ikke bliver for høj og der derved dannes eksplosionsfare. Ventilernes antal og størrelse afhænger af gyllebeholderens størrelse.

### Måleperioder

Måleperioderne blev fordelt over året under hensyntagen til landmændenes normale procedure i forhold til tømning og fyldning af tankene. Hver måleperiode blev som udgangspunkt planlagt som en 14-dages periode med minimum 8-dages sporgasmåling. Dog blev måleperioderne i foråret generelt kortere end dette, da det var nødvendigt at planlægge uden om den normale tømning i marts/april. Således blev beholderne gennemsnitligt fulgt i en periode på 17 dage, mens den i foråret reduceres til 10 dage. For den ene kvæggyllebeholder (A) blev sommerperioden desuden udvidet til medio september. For kvæggyllebeholdere bliver der ofte kørt gylle ud løbende hen over foråret og sommeren i forbindelse med gylleudkørsel efter græsslet. Ud over den normale tømning i marts/april, køres der således gylle ud fra sidst i maj og indtil medio august. Fordelingen af måleperioderne er vist i Figur 3.





Figur 4. Princip i sporgas-henfaldsmetoden

Den generelle massebalance for beholderne er:

$$V \frac{d(C(t))}{dt} = Q(t) \cdot (C(t) - C(o)) \quad (1)$$

Hvor  $V$  er det effektive volumen ( $m^3$ ),  $Q$  er ventilationsraten ( $m^3 s^{-1}$ ) og  $C(t)$  er koncentrationen af sporgas i beholderen ( $m^3 m^{-3}$ ).

Luftskiftet bestemmes som:

$$N = \frac{\ln(C_0) - \ln(C_f)}{T} \quad (2)$$

Hvor  $N$  er luftskiftet ( $s^{-1}$ ),  $C_0$  er koncentrationen af sporgas i beholderen ved start af måleperioden ( $m^3 m^{-3}$ ),  $C_f$  er koncentrationen af sporgas i beholderen ved slutningen af måleperioden ( $m^3 m^{-3}$ ) og  $T$  er tidsintervallet mellem den første og sidste måling (s).

Ud fra luftskiftet kan ventilationsraten,  $Q$  (luftflowet ud af beholderen,  $m^3 time^{-1}$ ), bestemmes:

$$N = \frac{Q}{V} \quad (3)$$



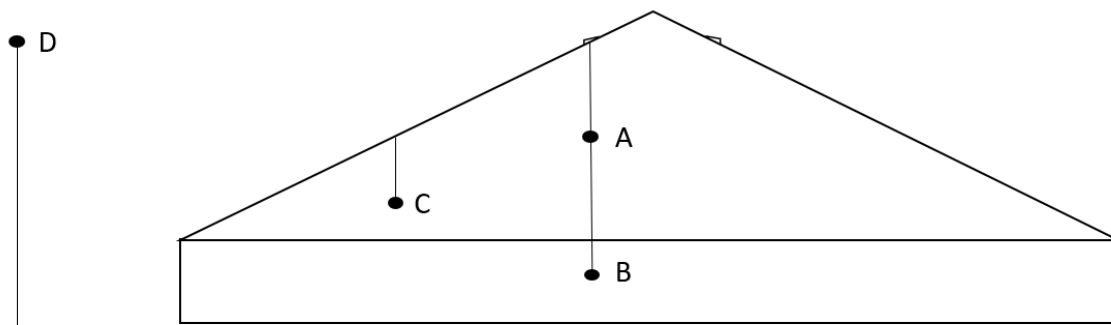
Dernæst kan ammoniakemissionen bestemmes som:

$$E_{NH_3} = Q \cdot C_{NH_3} \quad (4)$$

Til bestemmelse af ammoniakemissionen blev ventilationsraten beregnet på timebasis. Herved antages det at der bedre tages højde for døgnvariation i ammoniakemissionen, som ligeledes blev bestemt på timebasis. Datapunkter, hvor forskellen mellem det foregående målepunkt og det næste ikke oversteg 3 gange standardafvigelsen på måleudstyret blev dog udelukket, for at undgå forudsigelse af negative ventilationsrater på grund af små udsving i målingerne. I enkelte tilfælde, hvor ventilationsraten er stabil over en længere periode (2-3 timer) er disse derfor beregnet som et gennemsnit over perioden.

Som sporgas blev lattergas ( $N_2O$ ) anvendt, da denne kunne bestemmes med god nøjagtighed med det tilgængelige udstyr.  $N_2O$  har tidligere været anvendt som sporgas i andre sammenhænge, da den har en massetæthed, som er forholdsvis tæt på atmosfærisk luft. Der må dog i forbindelse med måling på gyllebeholdere tages højde for at der kan være en naturlig emission af  $N_2O$  fra eventuelle flydelag. Dybde og tæthed af flydelag afhænger af blandt andet gylle- og fodertype. Det naturlige niveau af  $N_2O$  fra hver beholder er i forbindelse med disse målinger bestemt i en periode ( $N > 2$  døgn) før emissionsmålingerne og der blev i alle tilfælde tilsat  $N_2O$  til et niveau som overstiger dette niveau betydeligt ( $> 200$  ppm). Hver tanks naturlige niveau af lattergas er i beregningerne trukket fra som baggrundsniveau og det antages at variationen i beholderens naturlige bidrag kan estimeres som negligibelt i måleperioderne. Det bør dog bemærkes at usikkerheden på målinger foretaget på beholdere med betydelig egenproduktion vil være større.

For at sikre vertikal og horisontal fordeling af sporgas blev 3 målepunkter monteret i hver beholder. Målepunkterne består af tre PTFE slanger henholdsvis 2 meter (A) og 6 meter (B) lodret under en af ventilåbningerne og et målepunkt vertikalt mellem disse to punkter, men midt imellem ventilåbning og beholderens side (C). Desuden måles baggrundskoncentrationen i udeluft i et målepunkt ca. 5 meter fra beholderen (D) (Figur 5). Udepunktet blev løftet  $\sim 5$  m over jorden for at opnå samme højde, som udluftningsventilerne på tankene.



Figur 5. Placering af målepunkter i tanke

Den nødvendige mængde sporgas blev beregnet ud fra headspace-volumenet af beholderne og tilsat under teldugen igennem en teflonslange. Opblanding af sporgas i beholderen blev opnået ved diffusion og naturlig konvektion i beholderen. Forceret opblanding af luften for at sikre homogenitet blev fravalgt for at undgå forstyrrelse af gylleoverfladen. Når sporgaskoncentrationen var ens i alle tre målepunkter blev måleperioden startet. Målingen blev stoppet, mens koncentrationen af sporgas stadig var over kvantifikationsgrænsen for måleudstyret ( $10 \times SD$ ) og det blev sikret at koncentrationen stadig var mere end 3 gange standardafvigelsen over den naturlige koncentration. Ren lattergas af medicinsk kvalitet (Air Liquide) blev brugt.

Ammoniak og lattergaskoncentrationer blev målt med CRDS (Picarro, Cavity Ring Down Spectroscopy, G2103 og G2508), som i nogle tilfælde blev suppleret af Innova (fotoakustisk infrarød detektor) til lattergasmålinger. For at opnå målbare koncentrationer, blev der opsat et fortyndingssystem med mass flow controllere (Bronkhorst) (Se evt. Appendiks A2). Disse blev flushet med prøveluft i en længere periode, før målinger (Første dags målinger efter opsætning er kasseret i alle tilfælde). Alle slanger var af PTFE og disse var forsynet med rørskåle og varmekabler mellem målevogn og tank, for at holde temperaturen over dugpunktet for ammoniak. Prøveluft fra tanken blev fortyndet 1:20 – 1:25 for at opnå koncentrationer, som kunne måles med høj præcision. Derudover blev alle slanger påført hydrofobe PTFE-filtre før pumper og måleinstrumenter. Der blev målt kontinuert på de 3 målepunkter i tanken og målepunktet ude vha. en VICI skifteventil, som skiftede hvert 10. minut for at sikre stabile koncentrationer. Hvert datapunkt består af  $>30$  koncentrationsmålinger inden for det sidste minut af en måling på et givent målepunkt. Fortyndingssystem og instrumenter blev tjekket løbende med certificeret standardgas med kendt koncentration. Koncentrationer i tank og ude (baggrund) blev verificeret med Kitagawa rør ved teknikerbesøg.

Der er i forbindelse med disse målinger udført kvalitetsforsøg, i mindre beholdere med forceret (kendt) ventilationsrate. Disse er angivet i appendiks A1. Der er ikke udført forsøg, som påviser stabiliteten af  $N_2O$  i tanken over en længere periode ( $N > 2d$ ). Det bør således noteres at en eventuel kemisk ustabilitet over længere tid, kan medføre at de heri angivne ammoniakemissioner er overestimerede.

Ideelt burde gyllebeholderne, der indgår i disse målinger være fritliggende og uden påvirkning fra omkringliggende emissionskilder. I praksis har det dog været svært at opfylde disse betingelser og beholdere anvendt til disse målinger ligger i alle tilfælde forholdsvis tæt på både stald og andre gyllebeholdere (Figur 2). Det betyder at luften, som omgiver gyllebeholderne vil være påvirket af disse kilder og ikke vil være helt fri for eksempelvis ammoniak. Det antages at dette kan have en mindre betydning for resultaterne af disse målinger, både idet at luften, som trænger ind i beholderen eventuelt kan give et bidrag til den samlede emission samt at fortyndingsluften ikke har været ren og derfor har givet et mindre varierende bidrag til de beregnede koncentrationer. Disse forhold er der ikke korrigeret for i de heri angivne resultater da disse bidrag antages at være negligeable. Det bør dog noteres at begge forhold kan bidrage til en mindre overestimering af emissionerne. Koncentrationen af  $NH_3$  og  $N_2O$  i udeluften

ses i tabel 2 og 3 i det følgende. Det noteres desuden at gylletank A og C ligger forholdsvist afskærmet til den ene side af det omkringliggende terræn.

## Resultater og diskussion

I alle måleperioder var der god overensstemmelse mellem koncentrationerne målt i de tre målepunkter i tankene. For CRDS (Picarro) målinger af  $\text{NH}_3$  var der en gennemsnitlig afvigelse mellem de tre målepunkter på < 8% taget over alle måleperioder, mens den for  $\text{N}_2\text{O}$  var på < 3% for både CRDS og Innova målinger. I enkelte perioder har én af måleslangerne været tilstoppet (da 6 m slangen kan komme under gylleoverfladen) og målingerne er fortsat med de resterende punkter. I alle måleperioder blev det også fundet at opblandingen af  $\text{N}_2\text{O}$  skete hurtigt og de tre målepunkter viste ens koncentrationer allerede inden for 1-2 timer efter tilsætning. Dette stemmer overens med erfaringerne i et lignende forsøg [6]. Derudover svarede det opnåede niveau af  $\text{N}_2\text{O}$  i tanken i alle tilfælde godt overens med det teoretisk beregnede niveau.

Der er i forbindelse med forsøgene udført 3 tilsætninger af  $\text{N}_2\text{O}$  til en pilotskalatank med forceret (kendt) flow på 61 L/min for at validere metode og sporgas. Tankene havde et volumen på 18,4 m<sup>3</sup> (Se eventuelt Appendiks A1). Der blev ved de tre kvalitetsmålinger bestemt et gennemsnitligt luftflow på 63.3 L min<sup>-1</sup>. Det svarer til en afvigelse på + 3.8%. Ud fra usikkerheden på målinger og bestemmelse af flow vurderes dette resultat at være tilfredsstillende.

Hver måleperiode bestod af > 2 dages forperiode, hvor tankens naturlige  $\text{N}_2\text{O}$  emission blev fulgt. Derefter fulgte > 8 dages måling med løbende tilsætning af  $\text{N}_2\text{O}$  og efterfølgende monitorering af  $\text{N}_2\text{O}$  og  $\text{NH}_3$  koncentration. Det naturlige bidrag af  $\text{N}_2\text{O}$  fra tanken samt den beregnede nedre grænse for  $\text{N}_2\text{O}$  tilsætning er vist i tabel 2. Det naturlige bidrag fra svinegyllebeholderne var betydeligt højere end det, der blev fundet fra kvægyllebeholderne og højest i beholderen med selvblandet foder, som danner det tykkeste flydelag. I alle beholdere blev det fundet at det naturlige niveau af  $\text{N}_2\text{O}$  forholdt sig stabilt i forperioden med relativt lave standardafvigelser.

**Tabel 2**  $\text{N}_2\text{O}$  niveau i forperiode samt standardafvigelse og minimum/maksimum værdi.  $\text{N}_2\text{O}$  sporgas nedre grænse for måling udgør  $\text{N}_2\text{O}$  niveau i forperiode plus 3 x standardafvigelsen.

Beholder	Periode	N døgn	$\text{N}_2\text{O}$ ude ±standardafvigelse ppm	$\text{N}_2\text{O}$ tank ±standardafvigelse ppm	Min/max $\text{N}_2\text{O}$ konc. i tank ppm	$\text{N}_2\text{O}$ sporgas nedre grænse ppm
A	Sommer	2	0,3±0,004	10,1±0,1	9,9/10,1	10,3
	Efterår	2	0,3±0,001	8,3±0,03	8,2/8,4	8,4
	Vinter	2	0,3±0,001	8,3±0,04	8,3/8,4	8,4
	Forår	2	0,3±0,002	8,3±0,5	8,2/8,3	8,4
B	Sommer	2	0,02±0,06	0,7±0,05	0,1/1,9	2,3
	Efterår	2	0,3±0,003	8,0±0,05	7,9/8,1	8,2
	Vinter	2	0,3±0,002	8,3 ±0,07	8,2/8,5	8,5

	Forår	2	0,3±0,04	9,2±0,5	8,3/10,1	10,8
C	Sommer	3	1,1±0,09	53,9±7,2	35,0/68,5	75,6
	Efterår	4	0,3±0,02	50,2±2,7	45,6/54,4	58,4
	Vinter	2	0,4±0,003	24,2±0,3	23,7/24,6	25,1
	Forår	3	1,0±0,2	37,8±5,6	33,3/47,0	54,6
D	Sommer	4	0,3±0,03	29,3±8,8	16,8/36,7	55,9
	Efterår	5	0,8±0,5	13,0±0,6	12,0/13,9	14,9
	Vinter	8	0,3±0,001	8,8±0,2	8,4/9,2	9,4
	Forår	2	0,3±0,02	7,0±0,3	6,2/7,5	8,0

Der var for hver tilsætning af N<sub>2</sub>O-sporgas et godt eksponentielt fit. Gennemsnitligt var korrelationskoefficienten  $0,97 \pm 0,01$ . Korrelationskoefficient samt N<sub>2</sub>O koncentration ved start og slut for hver N<sub>2</sub>O sporgastilsætning er vist i Appendiks A3.

Tabel 3 viser den opgjorte ammoniakemission fra hver tank i hver måleperiode. Tilsvarende opgørelse for hver enkelt tilsætning af sporgas findes i Appendiks A3.

**Tabel 3** Beregnede og målte parametre for hver måleperiode. Emissionsværdier (NH<sub>3</sub>-N Emission, kg m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>) er beregnet som gennemsnit af emissioner baseret på timeværdier af luftskifte og ammoniakemission (95%-konfidensinterval er angivet i parentes).

Sæson	Måleperiode	Måledage i alt* (døgn)	Måledage m. sporgas* (døgn)	NH <sub>3</sub> konc. i tank i måleperiode (ppm)	NH <sub>3</sub> konc. ude i måleperiode (ppm)	NH <sub>3</sub> konc i tank i perioder m. sporgas (ppm)	Gennemsnitligt eksponentielt fit	Ventilationsrate (m <sup>3</sup> time <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N Emission (kg m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup> )	
A	Sommer	07-09-2020-24-09-2020	17	13	50,2 (30,8)	0,6 (0,6)	55,4 (22,5)	0,98	213,2 (31,8)	0,059 (0,03)
	Efterår	30-10-2020-13-11-2020	14	8	2,9 (0,09)	1,8 (0,05)	2,7 (1,6)	0,99	207,2 (80,3)	0,0028 (0,003)
	Vinter	19-01-2021-29-01-2021	10	6	4,2 (2,7)	0,08 (0,03)	5,2 (1,9)	0,98	218,7 (39,9)	0,0060 (0,003)
	Forår	16-02-2021-01-03-2021	13	5	1,8 (0,7)	0,07 (0,04)	1,8 (0,2)	0,89	275,7 (150,3)	0,0026 (0,001)
B	Sommer	03-07-2020-17-07-2020	14	7	3,9 (2,1)	0,05 (0,01)	3,9 (0,4)	0,99	75,6 (5,6)	0,0025 (0,0002)
	Efterår	13-11-2020-07-12-2020	24	12	1,1 (0,9)	0,04 (0,02)	0,9 (0,9)	0,96	81,0 (18,1)	0,00050 (0,0003)
	Vinter	29-01-2021-08-02-2021	10	6	8,6 (7,3)	0,07 (0,03)	10,7 (5,7)	0,99	43,2 (10,5)	0,0037 (0,003)
	Forår	10-04-2021-21-04-2021	11	8	38,3 (23,4)	0,2 (0,05)	38,2 (16,5)	0,98	71,8 (7,0)	0,025 (0,008)
C	Sommer	29-07-2020-24-08-2020	26	5	1,7 (1,0)	0,07 (0,04)	1,6 (0,3)	0,96	79,7 (53,8)	0,0014 (0,001)
	Efterår	16-10-2020-30-10-2020	14	4	1,4 (1,5)	0,06 (0,06)	0,7 (0,09)	0,99	83,2** (-)	0,00051** (-)
	Vinter	05-01-2021-18-01-2021	13	7	0,4 (0,2)	0,03 (0,006)	0,4 (0,2)	0,99	43,1 (22,4)	0,00017 (0,0002)

D	Forår	01-03-2021- 11-03-2021	10	5	0,7 (0,4)	0,03 (0,01)	0,6 (0,4)	0,95	53,3 (30,1)	0,00039 (0,0004)
	Sommer	17-07-2020- 03-08-2020	17	7	73,8 (36,8)	0,2 (0,05)	74,8 (2,6)	0,97	129,1 (24,4)	0,070 (0,02)
	Efterår	24-09-2020- 15-10-2020	21	5	24,4 (12,2)	0,2 (0,1)	23,7 (3,4)	0,98	82,5 (15,5)	0,013 (0,004)
	Vinter	08-12-2020- 28-12-2020	20	5	51,8 (42,5)	0,1 (0,03)	60,8 (9,0)	0,96	162,3 (54,0)	0,062 (0,03)
	Forår	21-03-2021- 28-03-2021	7	4	41,2 (7,1)	0,3 (0,3)	42,7 (2,6)	0,99	220,5 (14,6)	0,060 (0,009)

\*Måledage bestemmes som hele døgn = 24 timer (inkluderer både dag- og natmålinger)

\*\* Baseret på en enkelt måleperiode

Fra værdierne i Tabel 3 beregnes den gennemsnitlige årlige emission af ammoniak fra de to beholdere med kvæggylle til henholdsvis  $0,02 \pm 0,03$  og  $0,008 \pm 0,01$  kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>, mens der fra de to beholdere med grisegylle beregnes en emission på henholdsvis  $0,0006 \pm 0,0005$  og  $0,05 \pm 0,03$  kg NH<sub>3</sub>-N m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>.

Der er forholdsvis stor forskel på emissionen fra de to beholdere med grisegylle. Dette antages hovedsageligt at være et resultat af at den ene beholder med grisegylle havde dannet et tykt flydelag under teltdugen, som effektivt hindrede emissionen fra denne beholder. Dette skyldes formentligt at denne beholder modtog gylle fra en sobesætning, hvor der blev anvendt hjemmeblandet foder og en forholdsvis stor mængde strøelse i drægtighedsstalden, hvorved partikelstørrelsen i gyllen var større. Der blev udtaget gylleprøver ved omrøring af tanke før udkørsel i forårsperioden. Analyse af gylleprøver (Appendiks A5) viste at niveauet af total-N og NH<sub>3</sub>-N i beholder C kun var ca. halvt så højt som de tilsvarende værdier for beholder D.

Tabel 4 viser de sekundære parametre registreret i hver måleperiode. En tilsvarende opgørelse for temperatur, fugt og vind for hver enkelt sporgastilsætning i måleperioderne findes i Appendiks A4.

**Tabel 4.** Sekundære parametre (Temperatur, relativ luftfugtighed, gylleniveau og pH i gylleoverflade) for hver måleperiode. Middelværdi med standardafvigelse og min/maks værdi i parentes.

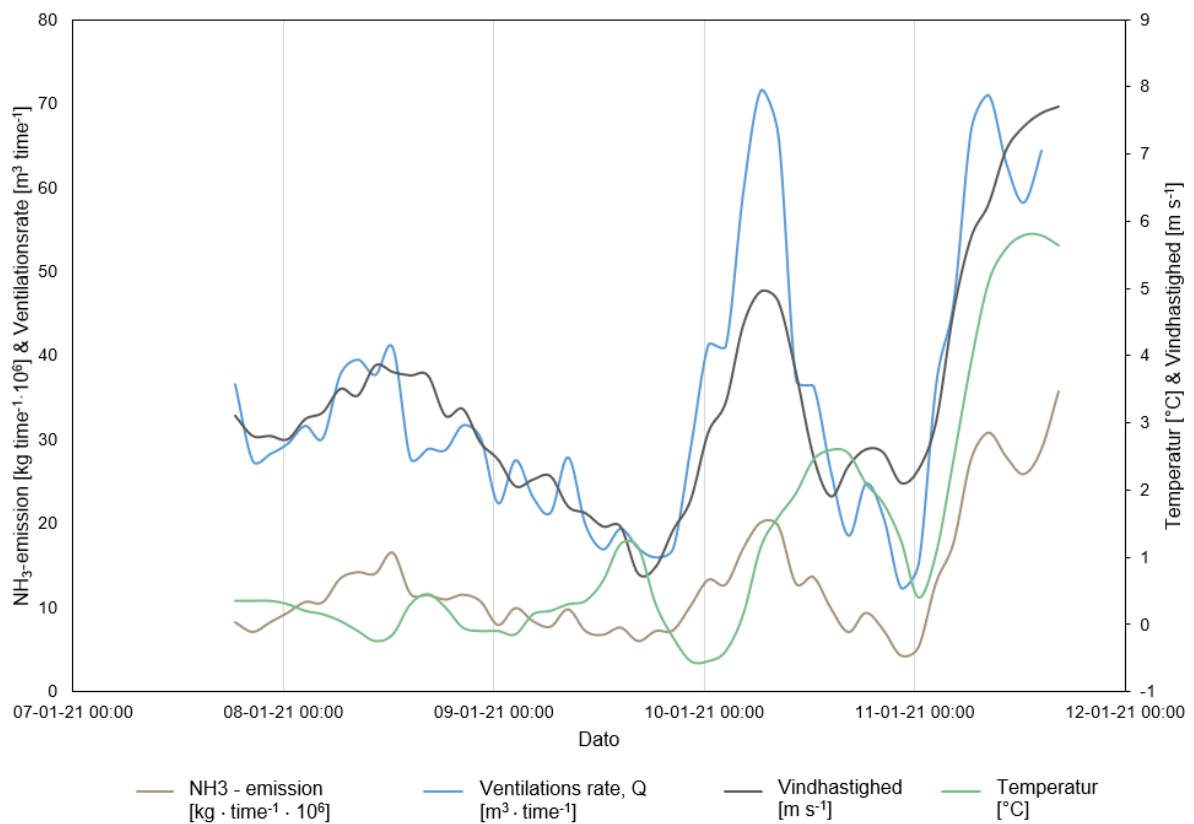
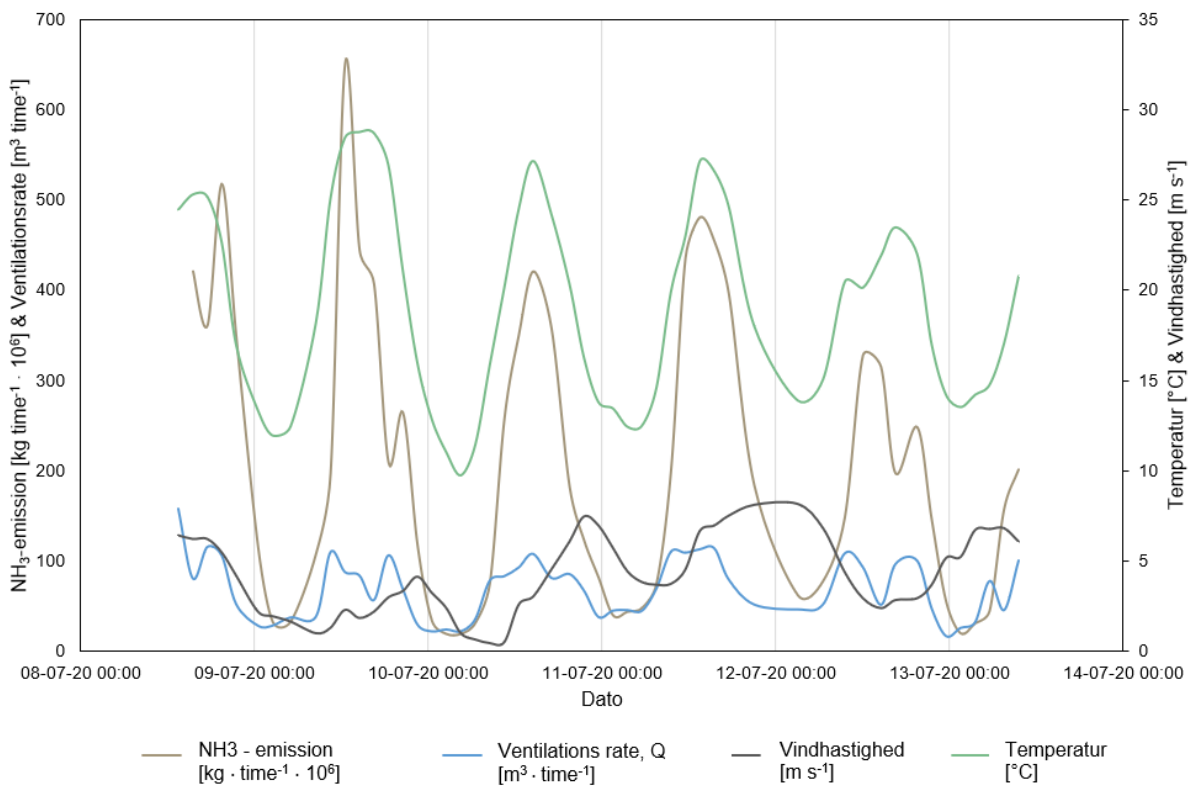
	Vind* (m s <sup>-1</sup> )	Temp Ude (°C)	Temp Under dug (°C)	Temp. gylleoverflade (°C)	Fugt Ude (%)	Fugt under dug (%)	pH i gylle- overflade** (-)	Gylleniveau (m)**
A	Sommer	3,5 1,5 (1,3/7,1)	14,0 2,8 (9,0/19,2)	16,0 4,2 (10,2/25,3)	15,6 0,2 (15,4-15,9)	80,7 11,0 (53,7/94,5)	99,9 0,0 (99,9/99,9)	7,05 0,6
	Efterår	3,8 1,4 (1,35/6,4)	8,7 2,5 (3,4/12,4)	9,3 2,9 (3,6/15,2)	11,5 0,06 (11,4/11,6)	86,4 5,5 (68,8/93,4)	94,5 3,5 (92,0/97,0)	6,95 1,6
	Vinter	4,4 1,1 (2,6/6,5)	5,6 1,8 (2,9/8,7)	6,1 2,9 (2,0/11,9)	0,4 0,2 (0,2/0,7)	91,4 3,0 (85,9/95,8)	90,3 10,0 (80,0/99,9)	6,96 3,5
	Forår	4,7 1,8 (1,8/7,6)	7,9* 3,7 (1,8/13,7)	-	-	66,1* 14,8 (43,5/87,4)	91,0 9,0 (82,0/99,9)	6,96 3,8
B	Sommer	3,5 1,7 (0,5/6,8)	14,2 2,6 (8,9/19,1)	19,4 5,0 (11,8/29,2)	17,4 0,0 (17,4/17,5)	78,3 12,4 (48,6/94,9)	78,3 9,0 (71,9/84,6)	- 0,8

	Efterår	4,1 1,6 (0,9/7,6)	5,4 1,6 (1,9/8,5)	12,2 0,3 (11,7/13,1)	6,0 2,3 (0,5/10,9)	89,2 3,4 (79,0/94,3)	89,2 1,7 (87,3/90,7)	6,88	2,0
	Vinter	4,9 1,4 (2,0/7,4)	-2,1 1,7 (-5,3/1,6)	2,7 1,6 (0,7/5,7)	7,5 0,2 (7,1/8,0)	84,2 5,0 (70,2/90,8)	84,3 6,1 (77,3/88,8)	6,98	3,1
	Forår	3,8 1,6 (1,3/7,0)	7,6 4,4 (0,4/15,0)	5,4 2,9 (2,2/11,4)	10,3 0,5 (9,5/11,2)	62,2 16,0 (36,9/86,9)	62,2 10,8 (53,2/74,1)	6,96	3,1
C	Sommer	2,6 0,8 (1,2/4,2)	23,7 4,1 (17,9/31,5)	28,7 7,4 (19,8/43,0)	19,6 0,1 (19,4/19,9)	53,1 15,7 (31,2/76,8)	99,9 0,0 (99,9/99,9)	6,95	2,0
	Efterår	4,6 1,4 (2,1/7,7)	12,9 1,3 (10,2/15,5)	12,1 1,4 (8,9/15,6)	15,2 0,1 (15,0/15,4)	89,0 3,9 (74,2/94,9)	101,9 0,0 (101,9/102,0)	7,46	2,0
	Vinter	3,8 1,4 (1,4/6,6)	2,3 1,4 (0,4/5,6)	1,1 1,4 (-1,6/4,1)	4,2 0,3 (3,8/4,8)	84,9 3,6 (77,6/90,5)	92,6 8,0 (84,0/99,9)	-	3,5
	Forår	5,4 2,0 (1,6/8,3)	2,4* 2,4 (-3,2/5,9)	-	-	80,9* 14,7 (50,3/98,4)	97,3 2,5 95,0/99,9	-	3,9
D	Sommer	4,3 1,9 (1,5/7,9)	15,8 3,1 (10,6/21,5)	20,8 6,0 (12,2/31,7)	18,0 0,4 (17,8/20,2)	74,7 10,3 (54,8/89,2)	99,8 2,1 (97,6/101,7)	7,58	1,1
	Efterår	3,6 1,4 (1,5/7,3)	14,0 1,9 (10,5/18,0)	13,2 3,0 (9,0/20,9)	15,5 0,5 (14,7/16,4)	82,9 6,8 (62,8/90,2)	101,4 0,1 (101,2/101,5)	7,7	2,1
	Vinter	3,7 0,7 (2,4/5,6)	9,5 1,0 (6,9/10,7)	7,1 1,1 (3,9/8,6)	8,7 0,0 (8,7/8,8)	72,4 0,6 (70,8/73,6)	95,2 0,3 (95,0/95,4)	-	2,7
	Forår	3,7 1,4 (1,8/6,8)	8,9 2,3 (5,5/13,4)	7,3 3,2 (3,4/15,1)	6,4 0,6 (5,5/7,6)	86,2 7,4 (64,6/93,8)	86,5 6,4 (82,0/91,0)	7,88	0,6

\* Hentet fra DMI nærmeste vejstation (Billund)

\*\* Målt én gang i hver periode ved teknikerbesøg

Masseoverførslen af ammoniak fra en gylleoverflade vil primært være afhængig af temperatur, luftturbulens og pH i gylleoverfladen. Idet pH kan antages at være rimelig stabil over kortere perioder, vil en stor del af variationen i ammoniakkoncentration på døgnniveau være afhængig af temperatur og vindforhold [8]. Figur 6. viser et typisk eksempel på døgnvariationen i temperatur, vindhastighed, ammoniakemission og ventilationsrate i en sommer- og vinterperiode.



**Figur 3** Døgnvariation i primære måleparametre samt eksponentielt fit af N<sub>2</sub>O-henfald. Øverst: sommerperiode for beholder B, Nederst: vinterperiode for beholder C.

På døgnniveau var der tendens til at ammoniakemissionen i sommerperioder var bedst korreleret med temperaturen, mens den om vinteren var bedre korreleret med vindhastigheden. På årsbasis er sammenhængen mere uklar og ammoniakemissionen var ikke godt korreleret med hverken vindhastighed eller temperatur. Samtidig var vindhastighed og temperatur negativt korrelerede. Ammoniakemissionen bestemmes overordnet af en kompleks sammenhæng mellem vindforhold, temperatur, indstråling, termisk opdrift, pH, gyllesammensætning, gyllealder, kvalitet af naturligt flydelag mm. Den gennemsnitlige fordeling af emissionen over året var sommer>forår>vinter>efterår

## Konklusion

Emissionen af ammoniak blev bestemt ved hjælp af sporgas (tracer-decay metoden), hvor lattergas blev valgt som sporgas. Der blev tilsat  $N_2O$  til et niveau svarende til ca. 200 ppm over gyllebeholderens naturlige indhold af  $N_2O$  og allerede efter 1-2 timer efter tilsætningen var gassen jævnt fordelt i gyllebeholderens luftrum under teltdugen. Luftsiftet i beholderen kunne derefter beregnes ud fra den faldende koncentration af sporgas i luften under teltdugen.

Der var forholdsvis stor forskel på emissionen fra de to beholdere med grisegylle. Dette antages at være et resultat af at den ene beholder med grisegylle var forsynet med et dybt flydelag under teltdugen, som effektivt hindrede emissionen fra denne beholder. Dette skyldes formentligt at denne beholder modtog gylle fra en sobesætning hvor der blev anvendt hjemmeblandet foder og en forholdsvis stor mængde strøelse i drægtighedsstalden, hvorved andelen af store partikler i gyllen var større. Derudover blev der ved analyse af gyllen fundet et niveau af total-N og  $NH_3-N$  i denne beholder, som kun var ca. halvt så højt, som i den anden beholder med slagtegrisegylle.

På døgnniveau var der tendens til at ammoniakemissionen i sommerperioder var bedst korreleret med temperaturen, mens den om vinteren var bedre korreleret med vindhastigheden. På årsbasis er sammenhængen mere uklar og ammoniakemissionen var ikke godt korreleret med hverken vindhastighed eller temperatur. Samtidig var vindhastighed og temperatur negativt korrelerede. Ammoniakemissionen bestemmes overordnet af en kompleks sammenhæng mellem vindforhold, temperatur, indstråling, termisk opdrift, pH, gyllesammensætning, gyllealder, kvalitet af naturligt flydelag mm. Den gennemsnitlige fordeling af emissionen over året var sommer>forår>vinter>efterår

Den gennemsnitlige årlige emission af ammoniak fra de to beholdere med kvæggylle blev bestemt til henholdsvis  $0,02 \pm 0,03$  og  $0,008 \pm 0,01$   $kg NH_3-N m^{-2} \text{ år}^{-1}$ , mens der fra de to beholdere med grisegylle blev bestemt en emission på henholdsvis  $0,0006 \pm 0,0005$  og  $0,05 \pm 0,03$   $kg NH_3-N m^{-2} \text{ år}^{-1}$ . De fire beholdere undersøgt i denne rapport havde en lav ammoniakemission svarende til henholdsvis 9%, 4%, 0,3% og 26% set i forhold til den nuværende fastsatte emission for teltoverdækkede gyllebeholdere på  $0,2$   $kg NH_3-N m^{-2} \text{ år}^{-1}$ .



## Referencer

- [1] Hansen, M. N., Overdækning af gylle – redegørelse, opdatering og vurdering af videnskabelig dokumentation, Rapport, Agrotech, 2014.
- [2] Adamsen, A. P. S., Kai, P., Poulsen, H. D., & Lund, P. (2016). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning: Del 1: Vurdering af Grundlag. Department of Engineering, Aarhus University. Technical report BCE-TR-11, No. 11, Vol.. 5 <http://ojs.statsbiblioteket.dk/index.php/bce/article/view/24732/21670>
- [3] Miljø- og Fødevareministeriet. (2019). Bekendtgørelse om godkendelse og tilladelse m.v. af husdyrbrug. BEK nr 1261 af 29/11/2019
- [4] Miljøstyrelsen. 2020. Miljøstyrelsens Teknologiliste. <https://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/gylleopbevaring/>
- [5] Kai, P., & Adamsen, A. P. S. (2017). Fra produktionsbaseret til arealbaseret emissionsberegning: Del 2: Emissionsfaktorer. Aarhus Universitet. Technical Report BCE-TR-12 <https://tidskrift.dk/bce/article/view/25214/22140>
- [6] Andersson, M., & Gustafsson, G. (1998). Utveckling af en metode för bestämning av ammoniakudsläpp från täckta gödselbehåldere. Specialmeddelande 230. Sveriges lantbruksuniversitet. 32 pp.
- [7] VERA "Test protocol for covers and other mitigation technologies for reduction of gaseous emissions from stored manure" version 3 2018-07
- [8] Kupper, T., Imani, C., Neftel, A., Kincaid, C., Buhler, M., Amon, B., & VanderZaag, A. (2020). Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage - A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 300, 106963. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920301481>

# Appendiks

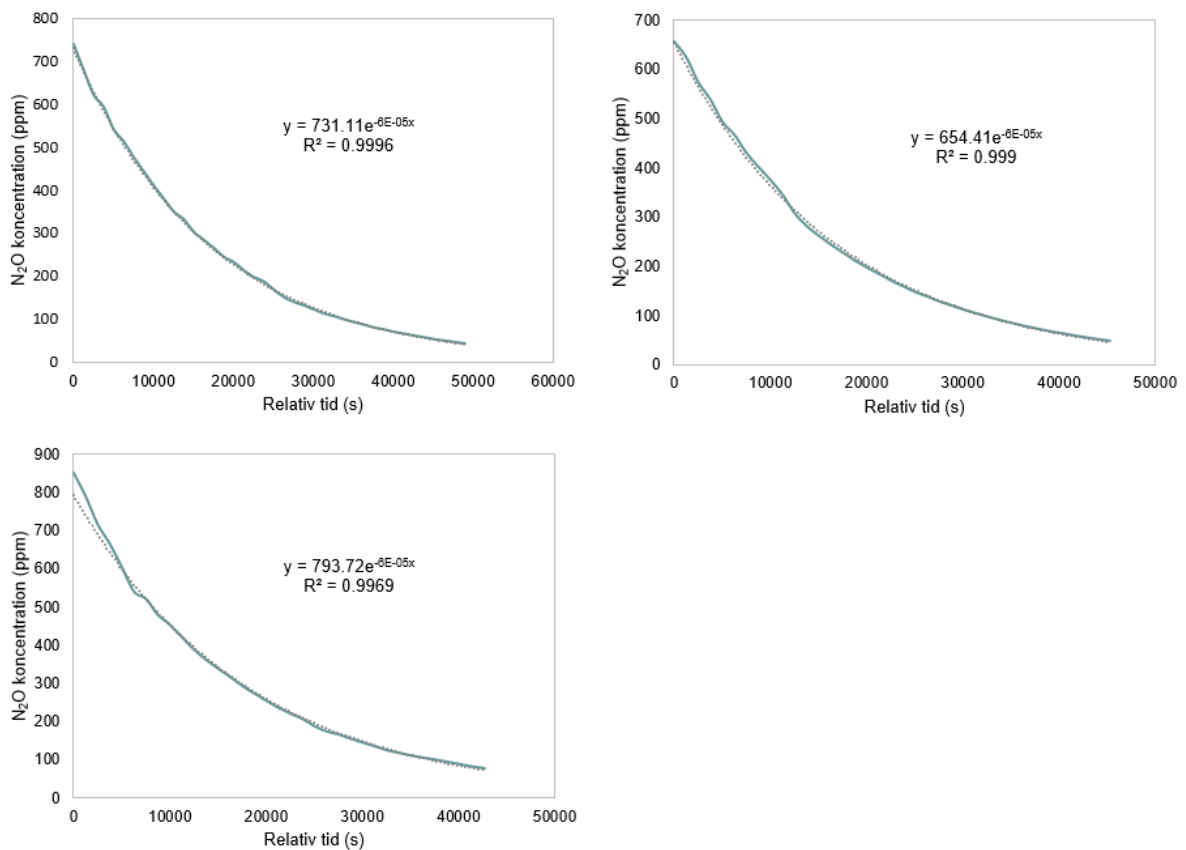
## A1. Kvalitetsmålinger

Der er i forbindelse med forsøgene udført 3 tilsætninger af N<sub>2</sub>O til en pilotskalatank med forceret (kendt) flow på 61 L/min for at validere metode og sporgas. Tankene havde et volumen på 18,4 m<sup>3</sup> (Figur A1.1).



Figur A1.1 Pilottank. Den ene pilottank er anvendt i kvalitetsmålingerne.

N<sub>2</sub>O-koncentration og eksponentielt fit for de tre individuelle sporgas tilsætninger ses i figur A1.2.



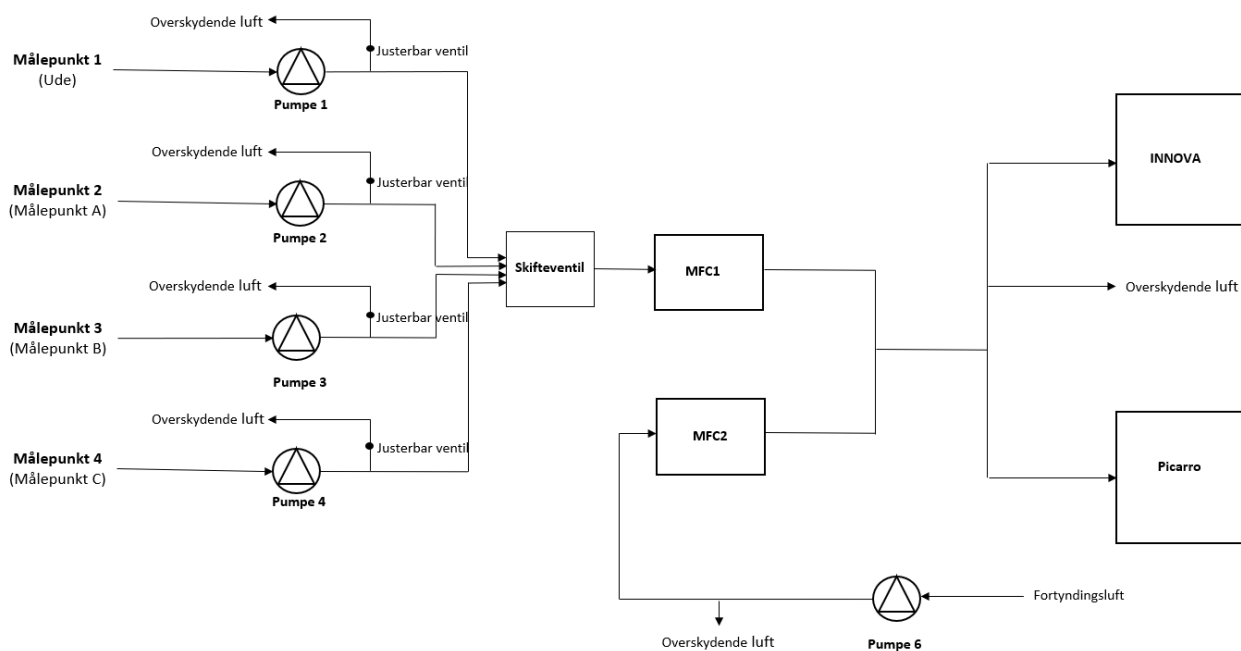
**Figur A1.2** N<sub>2</sub>O-koncentration og eksponentielt fit ved kvalitetsmålinger.

Der blev ved de tre kvalitetsmålinger bestemt et gennemsnitligt luftflow på 63.3 L min<sup>-1</sup>. Det er en afvigelse på + 3.8%. Ud fra usikkerheden på målinger og bestemmelse af flow vurderes dette resultat at være tilfredsstillende. Resultaterne fra de tre individuelle tilsætninger af N<sub>2</sub>O til tanken ses i Tabel A.1.1

**Tabel A.1.1.** Resultater fra kvalitetsmålinger

Tilsætning Nr.	Estimeret luftflow m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	Estimeret luftflow L min <sup>-1</sup>	Korrelations-ko- efficient	Error %
1	3,81	63,6	0,996	4,2
2	3,87	64,5	0,999	5,8
3	3,71	61,3	0,9969	1,3

## Appendiks A2. Fortyndings- og målesetup



Figur A2.1 Opsætning af fortyndings- og målesystem

## A3. Ammoniakemission

Table A1. Gennemsnitlig målt ammoniakkoncentration i tank, sporgaskoncentration ved start og slut, ventilationsrate og beregnet ammoniakemission for hver tilsætning af sporgas. 95%-konfidensinterval er angivet i parentes.

		Periode	N (døgn)	NH <sub>3</sub> koncentration i tank (ppm)	N <sub>2</sub> O start (ppm)	N <sub>2</sub> O slut (ppm)	Eksponentielt fit (R <sup>2</sup> ) (-)	Ventilations rate (m <sup>3</sup> time <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N Emission kg m <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup>
Gyllebeholder A	Sommer	07-09-2020- 10-09-2020	3	46,5 (2,0)	261,9	24,0	0,994	265,5 (46,3)	0,0060 (0,001)
		10-09-2020- 11-09-2020	1	49,9 (5,0)	213,4	126,4	0,972	187,7 (41,9)	0,046 (0,01)
		11-09-2020- 12-09-2020	1	51,1 (1,8)	274,1	132,4	0,967	202,6 (51,1)	0,051 (0,01)
		13-09-2020- 15-09-2020	2	98,9 (6,9)	188,8	42,7	0,972	234,0 (55,0)	0,108 (0,02)

Gyllebeholder B	Efterår	17-09-2020- 23-09-2020	6	30,8 (2,4)	247,8	15.3	0,989	176,5 (33,8)	0,028 (0,006)
		03-11-2020- 05-11-2020	2	3,6 (0,2)	181,6	24.2	0,987	248,1 (30,8)	0,0043 (0,0005)
		06-11-2020- 12-11-2020	6	1,9 (0,3)	212,0	10.5	0,991	166,2 (18,4)	0,0014 (0,0002)
	Vinter	17-02-2021- 18-02-2021	1	6,4 (0,7)	402,9	76.3	0,978	247,6 (99,2)	0,0092 (0,005)
		19-02-2021- 21-02-2021	2	5,8 (0,7)	256,2	28.9	0,997	179,4 (24,3)	0,0053 (0,001)
		24-02-2021- 27-02-2021	3	3,2 (0,5)	223,0	9.3	0,984	229,1 (37,3)	0,0035 (0,0006)
	Forår	02-04-2021- 04-04-2021	2	2,0 (0,2)	212,1	26.7	0,955	140,8 (25,4)	0,0017 (0,0005)
		05-04-2021- 06-04-2021	1	1,7 (0,2)	198,0	13.0	0,728	406,4 (137,9)	0,0037 (0,002)
		06-04-2021- 08-04-2021-	2	1,7 (0,2)	134,0	9.4	0,967	280,0 (50,3)	0,0024 (0,0005)
	Sommer	08-07-2020- 13-07-2020	5	3,7 (0,5)	214,4	13.5	0,994	72,7 (9,9)	0,0025 (0,0005)
		13-07-2020- 15-07-2020	2	4,1 (0,6)	199,7	70.2	0,987	78,4 (11,4)	0,0026 (0,0006)
		21-11-2020- 24-11-2020	3	0,3 (0,02)	204,3	19.2	0,927	91,7 (10,7)	0,00025 (0,00003)
	Efterår	24-11-2020- 26-11-2020	2	0,6 (0,04)	259,5	46.6	0,992	88,8 (8,5)	0,00044 (0,00005)
		26-11-2020- 03-12-2020	7	1,8 (0,1)	438,1	12.2	0,958	62,6 (6,7)	0,00079 (0,00007)
	Vinter	31-01-2021- 01-02-2021	1	10,7 (1,7)	266,4	166.9	0,985	33,0 (5,9)	0,0028 (0,0006)

Gyllebeholder C	Forår	02-02-2021- 04-02-2021	2	5,6 (0,3)	109,8	35,6	0,987	45,5 (4,5)	0,0020 (0,0002)
		04-02-2021- 07-02-2021	3	15,7 (1,6)	272,9	33,1	0,998	51,2 (5,3)	0,0063 (0,0007)
		12-04-2021- 14-04-2021	2	25,5 (3,3)	141,1	21,1	0,986	77,9 (12,3)	0,019 (0,004)
		14-04-2021- 18-04-2021	4	34,5 (3,3)	254,0	13,0	0,983	71,9 (11,3)	0,025 (0,006)
		19-04-2021- 21-04-2021	2	54,1 (8,5)	215,3	36,5	0,983	65,6 (19,7)	0,032 (0,01)
		10-08-2020- 13-08-2020	3	1,3 (0,2)	94,2	85,4	0,955	68,9 (15,7)	0,0010 (0,0003)
	Sommer	15-08-2020- 17-08-2020	2	1,9 (0,2)	114,1	77,5	0,987	131,8 (34,0)	0,0026 (0,0008)
		18-08-2020- 19-08-2020	1	1,3 (0,1)	161,7	124,2	0,946	38,5 (14,9)	0,00054 (0,0003)
		22-10-2020- 26-10-2020	4	0,7 (0,1)	478,5	57,6	0,989	83,2 (36,3)	0,00051 (0,0002)
	Vinter	07-01-2021- 11-01-2021	4	0,5 (0,02)	231,2	55,6	0,994	34,7 (3,1)	0,00016 (0,00002)
		11-01-2021- 13-01-2021	2	0,5 (0,04)	238,6	35,4	0,977	65,7 (19,1)	0,00031 (0,0001)
		14-01-2021- 15-01-2021	1	0,2 (0,01)	230,0	144,9	0,988	28,8 (3,0)	0,000048 (0,000006)
Forår	03-03-2021- 05-03-2021	2	0,5 (0,1)	271,2	133,0	0,915	29,6 (7,0)	0,00017 (0,00005)	
	05-03-2021- 07-03-2021	2	0,3 (0,1)	374,2	59,6	0,952	48,3 (13,6)	0,00015 (0,00004)	
	10-03-2021- 11-03-2021	1	1,0 (0,1)	354,7	76,3	0,994	82,0 (10,8)	0,00084 (0,0001)	

Gyllebeholder D	Sommer	21-07-2020- 22-07-2020	1	76,7 (16,4)	270,8	134,4	0,972	160,1 (70,2)	0,093 (0,05)
		24-07-2020- 26-07-2020	2	75,8 (9,9)	222,5	84,3	0,962	110,2 (21,5)	0,057 (0,02)
		27-07-2020- 29-07-2020	2	71,3 (7,6)	295,7	79,2	0,985	138,2 (14,9)	0,068 (0,01)
		30-07-2020- 01-08-2020	2	78,2 (14,6)	231,9	91,7	0,946	107,7 (32,6)	0,063 (0,02)
	Efterår	29-09-2020- 30-10-2020	1	22,7 (1,6)	326,6	197,0	0,975	84,6 (13,4)	0,014 (0,003)
		05-10-2020- 06-10-2020	1	29,5 (3,6)	258,7	136,1	0,974	103,7 (41,7)	0,018 (0,008)
		07-10-2020- 09-10-2020	2	20,9 (2,3)	367,1	145,2	0,987	67,5 (11,3)	0,0090 (0,002)
		09-10-2020- 10-10-2020	1	21,2 (2,4)	345,1	193,9	0,982	74,2 (9,3)	0,010 (0,002)
	Vinter	14-12-2020- 16-12-2020	2	56,2 (2,8)	197,9	25,5	0,957	137,7 (18,1)	0,048 (0,007)
		17-12-2020- 20-12-2020	3	65,9 (1,7)	194,8	10,2	0,973	189,8 (17,2)	0,076 (0,007)
	Forår	23-03-2021- 25-03-2021	2	41,4 (1,2)	189,5	28,1	0,988	213,1 (30,3)	0,055 (0,008)
		26-03-2021- 28-03-2021	2	44,1 (2,6)	216,4	29,2	0,995	227,9 (31,8)	0,064 (0,1)

## A4. Temperatur og fugt

**Tabel A1.** Gennemsnitlig målt temperatur ude, i gylleoverflade og under teldug i hver periode, hvor der er tilsat sporgas. Standardafvigelser er angivet i parentes.

		Periode	Vind* (m s <sup>-1</sup> )	Temp. Ude (°C)	Temp. Under dug (°C)	Temp. Gylleoverflade (°C)	Fugt Under dug (%)	Fugt Ude (%)
Gyllebeholder A	Sommer	07-09-2020	4,9	14,9	16,7	15,5	99,9**	81,3
		10-09-2020	(1,4)	(2,5)	(4,3)	(0,2)	(-)	(12,8)
		10-09-2020	3,0	12,9	15,3	15,6	99,9**	77,6
		11-09-2020	(1,6)	(2,7)	(4,0)	(0,04)	(-)	(13,9)
		11-09-2020	4,3	14,5	15,9	15,4	99,9**	82,0
	12-09-2020	(1,5)	(1,2)	(2,3)	(0,02)	(-)	(8,1)	
	13-09-2020	4,0	16,2	17,2	15,4	99,9**	84,8	
	15-09-2020	(1,9)	(3,1)	(4,6)	(0,07)	(-)	(9,1)	
	17-09-2020	1,5	11,5	14,7	16,0	99,9**	78,0	
	23-09-2020	(1,0)	(4,5)	(6,0)	(0,5)	(-)	(11,3)	
	Efterår	03-11-2020	5,4	8,5	8,9	11,6	92**	86,4
		05-11-2020	(1,6)	(1,5)	(1,9)	(0,06)	(-)	(6,0)
		06-11-2020	2,2	8,9	9,8	11,4	97**	86,4
		12-11-2020	(1,2)	(3,5)	(3,9)	(0,06)	(-)	(4,9)
	Vinter	17-02-2021	3,9	4,0	4,3	-0,08	80**	95,6
		18-02-2021	(1,3)	(0,9)	(1,6)	(0,04)	(-)	(1,6)
		19-02-2021	3,4	5,2	5,8	-0,07	91**	91,5
		21-02-2021	(0,5)	(2,2)	(3,6)	(0,01)	(-)	(3,6)
	24-02-2021	5,8	7,7	8,1	1,4	99,9**	87,1	
	27-02-2021	(1,4)	(2,3)	(3,6)	(0,4)	(-)	(3,7)	
Forår	02-04-2021	5,6	3,9*			91**	77,1*	
	04-04-2021	(3,0)	(3,3)			(-)	(13,8)	
	05-04-2021	5,1	9,6*			82**	56,0*	
	06-04-2021	(1,0)	(2,9)			(-)	(10,1)	
	06-04-2021	3,3	10,2*			99,9**	65,1*	
	08-04-2021	(1,4)	(4,8)			(-)	(20,4)	
Gyllebeholder B	Sommer	08-07-2020	4,2	13,9	19,6	17,5	91,2	71,9
		13-07-2020	(2,2)	(3,0)	(5,8)	(0,04)	(7,5)	(13,7)
		13-07-2020	2,9	14,6	19,2	17,4	95,0	84,6
		15-07-2020	(1,2)	(2,1)	(4,2)	(0,02)	(6,3)	(11,1)
	Efterår	21-11-2020	5,6	6,8	12,3	6,8	100,0	87,3
		24-11-2020	(1,8)	(1,9)	(0,3)	(2,5)	(0,8)	(4,8)
		24-11-2020	3,9	7,4	12,0	8,2	100,8	89,5
		26-11-2020	(1,0)	(1,5)	(0,09)	(2,0)	(1,4)	(3,3)
		26-11-2020	2,8	2,1	12,3	2,9	100,9	90,7
	03-12-2020	(1,9)	(1,5)	(0,7)	(2,3)	(1,3)	(2,2)	
Vinter	31-01-2021	1,6	-1,9	2,5	8,6	101,5	88,8	
	01-02-2021	(1,0)	(2,8)	(2,2)	(0,2)	(0,0)	(3,2)	



		02-02-2021	5,8	-1,4	4,1	7,5	101,5	86,7	
		04-02-2021	(1,8)	(0,9)	(0,9)	(0,3)	(0,0)	(5,1)	
		04-02-2021	7,2	-2,9	1,5	6,6	101,5	77,3	
		07-02-2021	(1,4)	(1,3)	(1,6)	(0,2)	(0,0)	(6,8)	
		12-04-2021	5,6	4,1	0,6	8,3	101,3	74,1	
		14-04-2021	(1,9)	(2,8)	(1,5)	(0,2)	(0,4)	(12,8)	
Forår		14-04-2021	2,9	6,7		8,8	100,6	59,2	
		18-04-2021	(1,3)	(4,6)		(0,4)	(1,5)	(15,5)	
		19-04-2021	3,0	12,0	15,7	13,8	99,3	53,2	
		21-04-2021	(1,5)	(5,7)	(7,1)	(1,1)	(3,3)	(19,7)	
Gyllebeholder C	Sommer	10-08-2020	3,4	22,9	30,7	19,3	99,9**	51,9	
		13-08-2020	(0,7)	(5,0)	(9,0)	(0,3)	(-)	(16,7)	
		15-08-2020	2,3	26,0	30,7	19,7	99,9**	42,7	
			17-08-2020	(1,1)	(6,1)	(9,6)	(0,08)	(-)	(10,7)
			18-08-2020	2,0	22,3	24,8	19,9	99,9**	64,7
			18-08-2020	(0,5)	(1,3)	(3,6)	(0,02)	(-)	(19,7)
	Efterår		22-10-2020	4,6	12,9	12,1	15,2	101,9	89,0
			26-10-2020	(1,4)	(1,3)	(1,4)	(0,1)	(0,02)	(3,9)
	Vinter		07-01-2021	3,4	3,2	2,0	4,2	94**	89,8
			11-01-2021	(1,8)	(1,7)	(1,6)	(0,2)	(-)	(3,2)
			11-01-2021	5,6	3,1	1,6	4,6	84**	89,3
			13-01-2021	(1,9)	(1,5)	(1,5)	(0,4)	(-)	(2,8)
		14-01-2021	2,5	0,6	-0,3	3,7	99,9**	75,5	
		15-01-2021	(0,5)	(1,0)	(1,1)	(0,3)	(-)	(4,9)	
Forår		03-03-2021	3,2	1,3*			95**	75,6*	
		05-03-2021	(1,8)	(3,6)			(-)	(20,0)	
		05-03-2021	5,8	2,5*			99,9**	78,4*	
		07-03-2021	(2,6)	(2,3)			(-)	(14,4)	
		10-03-2021	7,2	3,2*			97**	88,6*	
		11-03-2021	(1,6)	(1,4)			(-)	(9,8)	
Gyllebeholder D	Sommer	21-07-2020	4,0	16,4	22,6	18,3	98,3	59,9	
		22-07-2020	(1,8)	(2,7)	(5,8)	(0,09)	(4,8)	(9,6)	
		24-07-2020	3,9	15,9	20,2	18,0	101,5	84,2	
		26-07-2020	(2,1)	(2,3)	(5,1)	(0,05)	(1,2)	(8,9)	
			27-07-2020	5,4	14,2	18,1	17,9	101,7	83,5
			29-07-2020	(1,6)	(2,6)	(4,5)	(0,09)	(0,2)	(8,6)
			30-07-2020	3,7	16,7	22,3	18,0	97,6	71,4
			01-08-2020	(2,1)	(4,7)	(8,6)	(1,2)	(8,5)	(14,0)
	Efterår		29-09-2020	4,8	16,3	15,8	16,6	101,5	81,9
30-10-2020			(2,3)	(1,8)	(2,0)	(0,3)	(0,2)	(9,1)	
05-10-2020			3,9	14,4	12,9	15,6	101,5	78,5	
		06-10-2020	(1,1)	(2,3)	(3,3)	(0,7)	(0,2)	(7,5)	
		07-10-2020	2,9	14,0	13,1	15,4	101,2	87,5	
		09-10-2020	(0,8)	(1,5)	(2,8)	(0,4)	(0,09)	(4,1)	

		09-10-2020	2,7	11,3	10,8	14,5	101,5	83,9
		10-10-2020	(1,3)	(2,2)	(3,9)	(0,5)	(0,2)	(6,5)
	Vinter	14-12-2020	3,1	9,8	7,4	8,8	95,4	51,3
		16-12-2020	(0,7)	(0,7)	(0,9)	(0,02)	(0,3)	(0,0)
		17-12-2020	4,3	9,2	6,7	8,7	95,0	93,5
		20-12-2020	(0,7)	(1,2)	(1,4)	(0,07)	(0,1)	(1,3)
	Forår	23-03-2021	4,3	9,3	7,8	6,1	82**	85,5
		25-03-2021	(1,0)	(2,6)	(3,6)	(1,0)	( - )	(6,8)
		26-03-2021	3,0	8,5	6,8	6,7	91**	86,8
		28-03-2021	(1,7)	(2,0)	(2,8)	(0,3)	( - )	(8,0)

\* Hentet fra DMI nærmeste vejrstation (Billund)

\*\* Håndholdt måling (Testo) ved teknikerbesøg

## A5. Analyse af gylleprøver

**Tabel A5.1** Gylleanalyser foretaget af Eurofins Agro Testing Denmark A/S. Alle analyser er bestemt som dobbeltbestemmelse. Standardafvigelse er angivet i parentes.

	pH	Total N (kg/ton)	NH4-N	Fosfor	Kalium	Svovl	Total kulstof (%)	C/N forhold (-)	Tørstof (%)	Aske (%)	VS (%)
A	6,97 (0,08)	4,1 (0,0)	2,55 (0,07)	0,67 (0,0)	2,75 (0,2)	0,65 (0,01)	41 (0,0)	6,75 (0,07)	6,7 (0,0)	1,45 (0,07)	5,25 (0,07)
B	6,75 (0,08)	3,7 (0,0)	2,35 (0,07)	0,5 (0,01)	2,75 (0,07)	0,5 (0,01)	43,5 (0,7)	7,3 (0,1)	6,15 (0,07)	1,25 (0,07)	4,9 (0,1)
C	7,60 (0,1)	2,4 (0,1)	1,9 (0,0)	0,73 (0,1)	1,7 (0,0)	0,37 (0,01)	32,5 (0,7)	3,1 (0,1)	2,25 (0,07)	0,7 (0,0)	1,55 (0,07)
D	7,53 (0,1)	4,9 (0,0)	3,6 (0,0)	1,05 (0,07)	2,7 (0,0)	0,445 (0,01)	39,5 (0,7)	3,65 (0,07)	4,5 (0,1)	1,1 (0,0)	3,4 (0,14)

## A5. Usikkerhed

**Tabel A.6.1:** Usikkerhed for måleudstyr og analyser

Målemetode	Usikkerhed
NH <sub>3</sub> – Kitagawa gas detektorrør 105SD	5%
NH <sub>3</sub> – INNOVA LOQ	0,42
CRDS (Picarro)	<5 %
Tørstof (EU 152/2009 mod./Gravimetrisk)	11%
Total N (EF 152/2009 mod/ Kjeldahl (titrimetri))	4%
Ammonium-Nitrogen (EF 152/2009 mod/ Kjeldahl (titrimetri))	4%
TC, totalt kulstof (EN 13137/Dumas (TCD))	15%
Fosfor, total (DS 259:2003, DS/EN ISO 11885 :2009/ICP-OES)	20%
Kalium (DS 259:2003, DS/EN ISO 11885 :2009/ICP-OES)	20%
Svovl (S), total (DS 259:2003, DS/EN ISO 11885 :2009/ICP-OES)	20%
Aske (EU 152/2009 mod./ Gravimetrisk)	6%
Temperatur - Testo 435-4	0,3 °C
RH% - Testo 435-4	2%