

Til Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri – Departementet

Levering på bestillingen "Sammenhæng mellem tilsætning af syremængder til forskellige gylletyper, opnået pH og ammoniakreduktion"

Departementet har i en bestilling sendt d. 27. november 2020 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at *"undersøge, om et krav om et mindste syreforbrug kan erstatte et krav om opnået pH-værdi, f.eks. formuleret som et krav relateret til tilsat svovlsyremængde pr. m³/tons gylle. Ideelt set ønskes et ensartet krav uafhængig af gødningstype og forsuringsteknologi"*.

Der er indsendt et udkast til besvarelse til Departementet d. 20. januar 2021. Kommentarer fra Departementet og AUs adressering af disse findes via følgende link <https://bit.ly/3amBQep>.

Besvarelsen er udarbejdet af seniorrådgiver Tavs Nyord, adjungeret lektor Sasha Hafner, seniorforsker Anders Peter Adamsen og professor Sven Sommer, alle Sektion for Miljøteknologi, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet. Fagfællebedømmelse er foretaget af lektor Anders Feilberg og postdoc Johanna Maria Pedersen, begge Sektion for Miljøteknologi, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet. Notatet er revideret i lyset af deres kommentarer.

Som en del af denne opgave er der indsamlet og behandlet nye data, og rapporten præsenterer resultater, som ikke ved rapportens udgivelse har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review, vil der derfor kunne forekomme ændringer.

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet", "Ydelsesaftale Planteproduktion 2020-2023".

Venlig hilsen

Klaus Horsted
Specialkonsulent, Kvalitetssikrer DCA-centerenheden



Ammoniakfordampning fra forsuret gylle ved udbringning med slæbeslange

af seniorrådgiver Tavs Nyord, adjungeret lektor Sasha Hafner, seniorforsker Anders Peter Adamsen og professor Sven Sommer, alle Sektion for Miljøteknologi, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

Fagfællebedømt af lektor Anders Feilberg og postdoc Johanna Maria Pedersen, begge Sektion for Miljøteknologi, Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet.

1. BAGGRUND

Fødevareministeriet (FVM) bad Aarhus Universitet (AU) den 27. november 2020 om at udarbejde en besvarelse som overbygning til en tidligere besvarelse (Adamsen et al., 2020), vedrørende effekt på ammoniakfordampning (NH_3 -fordampning) ved tilsætning af syre til gylle umiddelbart inden udbringning på mark. Spørgsmålene der ønskes besvaret er:

- 1) *Der ønskes redegjort for middelværdi og variation i pH ved tilsætning af svovlsyre for de mest udbredte gylletyper i DK.*
- 2) *Der ønskes redegjort for, hvorledes man teoretisk kan opgøre den tilstrækkelige mængde svovlsyre til tilsætning til flydende husdyrgødning, der er tilsat en given mængde flydende handelsgødning (NH_3), således at den pH-stigning, som ammoniak-tilsætningen giver anledning til, neutraliseres. Andre relevante flydende handelsgødningstyper end ammoniak kan inddrages.*
- 3) *AU bedes vurdere variationen og sikkerheden i den målte pH ved de forskellige syreforbrug – gerne i form af konfidensintervaller eller lignende. Variation imellem og inden for gylletyper beskrives, og der relateres til ikke undersøgte typer som afgasset vegetabilsk biomasse. Væsentlige forudsætninger for opnåelsen af en tilsvarende pH i praksis bedes beskrevet, hvis vurderes relevant og muligt*

Ministeriet ønsker AU's ekspertvurdering af, hvilken syremængde der skal tilsættes i forbindelse med udbringning af husdyrgødning, for at der opnås en pH-værdi, som medfører en ammoniakbegrænsende effekt på minimum 25 % i forhold til tilsvarende ikke forsuret gylle.

- 4) *AU bedes redegøre for, hvilken pH-værdi, der ifølge modelleringer, som f.eks. ALFAM2, skal opnås, for at der hentes en ammoniakbegrænsende effekt på minimum 25 %.*
- 5) *AU bedes foretage en grundig faglig redegørelse for ny viden tilvejebragt som led i bestillingen fra udførelsen af nye forsøg med tilsætning af svovlsyre til husdyrgødning. Herunder ønskes en vurdering af resultaternes sammenlignelighed med praksis for normal udbringning*
- 6) *AU bedes relatere den nye viden til den eksisterende viden om målt ammoniakemission og -reduktion ved forskellige pH-værdier fra tidligere forsøg, herunder viden opnået i forbindelse med tests*

foretaget forud for optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste. Der ønskes gerne en grundig faglig redegørelse med fyldige litteraturhenvisninger fra ind- og udland til relevante studier, hvor også sammenligneligheden mellem forskellige forsøgsresultater beskrives m.v.

- 7) På baggrund af 1)-5) ønskes AU's samlede ekspertvurdering af, hvilken syremængde der bør tilsættes i forbindelse med udbringning af husdyrgødning, for at der opnås en pH-sænkning, som medfører en ammoniakbegrænsende effekt på minimum 25 %. Ideelt set ønskes en ensartet syremængde uafhængig af gødningstype og forsuringsteknologi. Hvis relevant, kan der tages udgangspunkt i 2 overordnede scenarier:
- a) Den mængde 96 % koncentreret svovlsyre, der skal tilsættes for at alle gylletyper, der mark- eller tankforsures, som minimum opnår den forudsatte ammoniakbegrænsende effekt på 25 %
 - b) Den mængde 96 % koncentreret svovlsyre, der skal tilsættes for, at der samlet set opnås en ammoniakbegrænsende effekt på 25 % på landsplan ved udbringning af mark- eller tankforsuret gylle, således at der ved nogle gylletyper opnås en højere effekt, mens der med andre opnås en lavere effekt.

For at besvare ovenstående spørgsmål er der gennemført forskellige aktiviteter. Først en litteraturgennemgang og på baggrund af denne en beskrivelse af gyllens buffersystem og hvordan dette influerer på syreforbruget for at sænke pH til et givent niveau. Dernæst er der blevet gennemført et større laboratorieforsøg, der bestod i at indsamle 32 gylleprøver fra danske landbrug og biogasanlæg og derefter titrere disse gylleprøver med 96% koncentreret svovlsyre (H_2SO_4). Disse resultater blev derefter anvendt som grundlag for en modeludregning af, hvor meget syre der skal tilsættes hver af de titrerede gylleprøver, før at man kan forvente at den givne pH-sænkning vil resultere i reduktion af NH_3 -fordampningen på 25%. Besvarelse af 1), 3), 4), 5), 6), og 7) sker under et. Besvarelse af 2) sker særskilt til sidst i notatet, da denne opgave adskiller sig lidt fra de øvrige.

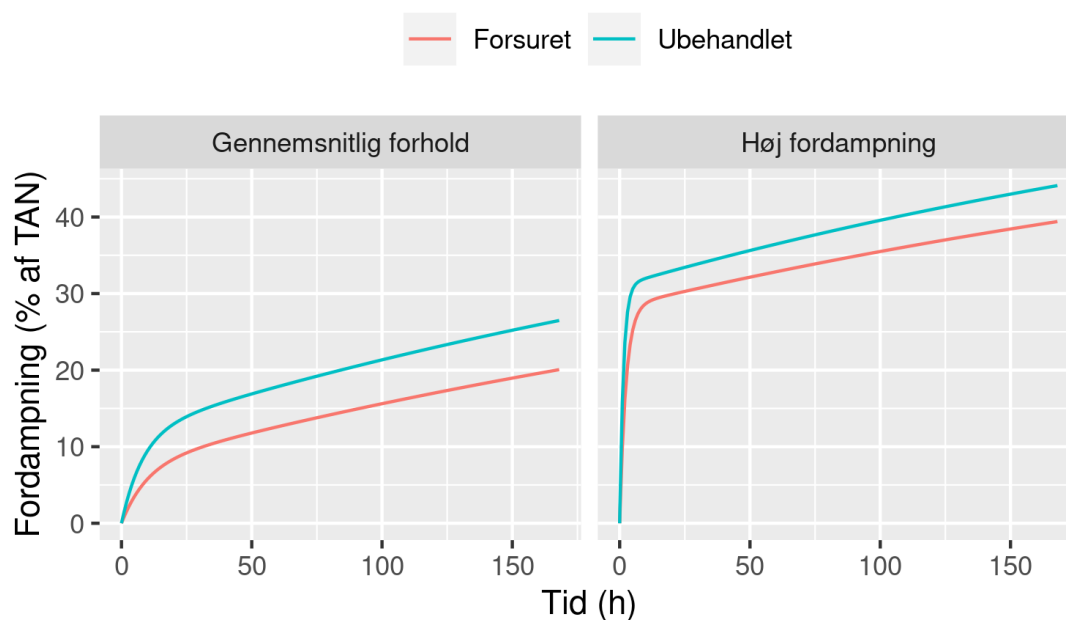
2. GENERAL BESVARELSE AF SPØRGSMÅL 1, 3 TIL 7

1. MARK FORSURING AF GYLLE

Ammoniak (NH_3) er en base og fordampningen af ammoniak fra en væske afhænger bl.a. af forholdet mellem opløst $\text{NH}_{3(\text{aq})}$, der kan fordampe fra væsken, og ammonium-ion (NH_4^+) der ikke fordamper. Dette forhold er en funktion af hydrogen-ion koncentrationen (H^+) udtrykt ved gyllens pH ($-\log[\text{H}^+]$). Sænkes pH ved tilsætning af syre til væsken (øget H^+ koncentration), reduceres indholdet af NH_3 og potentialet for fordampning falder.

Efter udbringning af gylle på marker stiger pH i overfladen af den udbragte gylle for derpå normalt at blive lavere over tid (Bussink et al., 1994; Hafner et al., 2012; Pedersen et al., 2021; Sommer and Sherlock, 1996). I takt med at NH_3 fordamper, reduceres koncentrationen af $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ (ofte kaldet 'total ammoniumkvælstof' – TAN) i gyllen, hvorfor potentialet for fordampning reduceres over tid (Hafner et al., 2019). En anden grund til at pH ofte stiger, skyldes afgasning af bikarbonat (HCO_3^-) som kuldioxid (CO_2) (Hafner et al., 2012). En forsuring vil skubbe ligevægten mod kulsyre og afgasning af CO_2 . Derfor er

effekten af en reduktion i pH i gylle, typisk størst i det først halve til hele døgn efter udbringning (hvor også TAN er højest) på marken, **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** Størrelsen af sænkningen i pH, forventes at være langt den vigtigste variabel til bestemmelse af effektiviteten af forsuring på reduktionen i NH_3 -fordampningen. Dog vil effektiviteten ved en given sænkning i antal pH-enheder variere betydeligt, da effektiviteten af forsuring afhænger af de underliggende miljøparametre/omstændigheder, der er på udbringningstids-punktet af den pågældende gylle. Det gælder forhold som f.eks. temperatur, gyllens karakteristika, såvel som varigheden af fordampningsperioden (eller hvor lang tid der måles). Disse forhold påvirker effektiviteten af pH-sænkningen på forskellig vis. Eksempelvis vil høj temperatur medføre en øget NH_3 -fordampning sammenlignet med en situation med lav temperatur, og derved vil en pH-sænkning af gyllen have en forholdsvis større effekt på NH_3 -fordampningen ved lavere temperatur end ved høje temperaturer, hvilket kan ses afstanden mellem de to linjer ved 150 timer for gennemsnitlige forhold og forhold med høj fordampning (**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**).

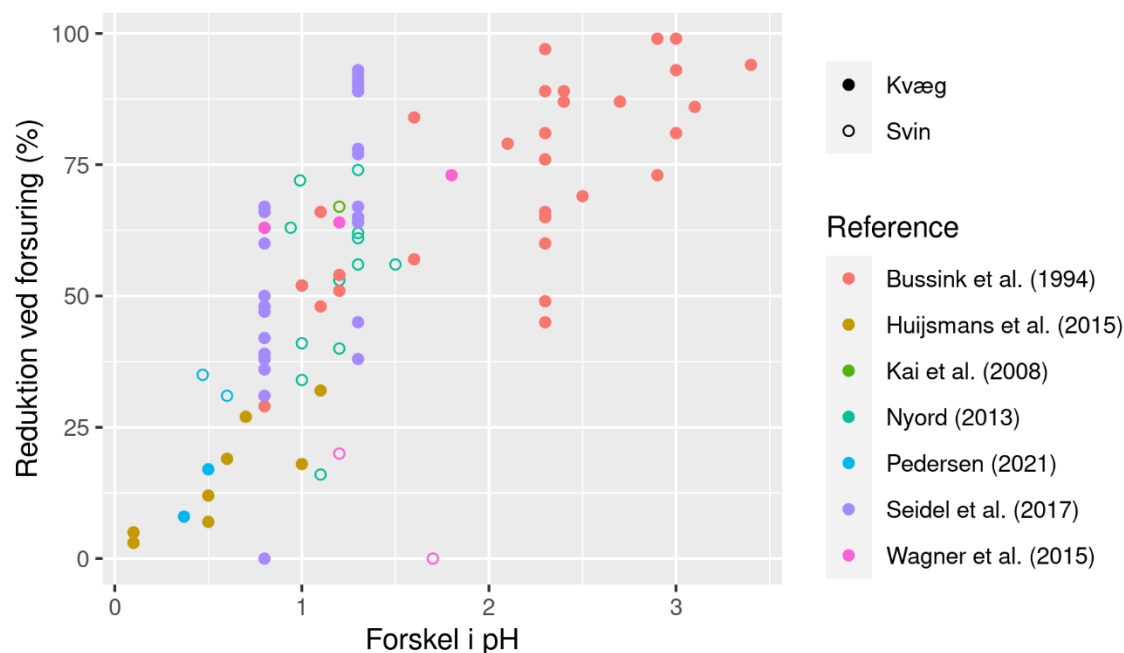


Figur 1. Eksempel på kumuleret fordampning af ammoniak i procent af TAN udbragt beregnet med ALFAM2-modellen, hvor den udbragte gylle er ubehandlet (pH 7) eller forsuret 0,4 enhed til pH 6,6. Til venstre er et beregnet forløb i ammoniaktabet ved "gennemsnitlig vindhastighed 3 m/s og lufttemperatur 13 °C, Grafen til højre er ammoniaktabet beregnet for gylle udbragt en dag med et højt fordampningspotentiale, som følge af højere vindhastighed 7 m/s og temperatur 20 °C.

Et studie gennemført af Bussink et al. (1994) og et omfattende datasæt i ALFAM2-databasen (Hafner et al. 2019) viser, at i forhold til NH_3 -fordampning fra ubehandlet gylle, så fordamper en større andel af det samlede NH_3 indhold i gyllen i perioden efter de første 24 timer efter udbringning af forsuret gylle. Dog er hovedparten af NH_3 fordampet de første 24 timer ved udbringning af gylle, hvorfor denne effekt ikke for så stor betydning for den kumulative NH_3 -fordampning.

Der er relativt få artikler der omhandler effekt af gylleforsuring på NH_3 -fordampningen efter udbringning. Der har i de studier, hvorfra data er indsamlet til dette projekt, været stor variation i hvordan forsuringen er sket, samt i forholdene hvorunder målingerne er gennemført. Derfor er der også forventelig stor variation i fordampningen af NH_3 , angivet som procent af udbragt TAN, figur 2.

Forskellen i hvordan der er foretaget gylleforsuring, består primært i om syren er tilsat gylle umiddelbart inden gyllen placeres på marken, eller om syren er tilsat i gylletanken/gyllevognen flere timer inden udbringning. I figur 2 er data medtaget fra Bussink et al. (1994) og Seidel et al. (2017) fra forsøg, hvor syre er tilsat gyllen flere timer inden udbringning og dermed ikke direkte simulerer det der ofte kaldes "markforsuring", som ellers er emnet for denne besvarelse. Grunden til at data alligevel medtages i analysen er, at vi ikke forventer at dette har nogen stor betydning for den relative reduktionseffekt på NH_3 -fordampningen, da det formodes at det er syremængden tilsat gyllen, der har betydning for reduktionseffekten over tid. Gyllens pH vil falde ved tilsætning af syre, hvorefter det vil stige lidt igen på grund af afgasning af kuldioxid (Hafner et al., 2012) afhængig af hvor lang tid der er mellem syretilsætning og måling af pH. Ved udbringning af gylle på jorden vil pH også stige ved yderligere CO_2 -afgasning. Men mængden af tilsat syre vil på længere sigt være bestemmende for den kumulative fordampning.



Figur 2. Reduktion i kumulativ ammoniakfordampning fra udbragt gylle målt i forsøringsforsøg versus forskellen i pH (ubehandlet minus forsuret gylle). Målinger blev udført ved hjælp af IHF-metode (IHF står for Integrated Horizontal Flux og er en mikrometeorologisk massebalancemetode) eller ved hjælp af dynamiske kamre (vindtunneller) eller en kombination af disse metoder.

Figur 2 viser, at der er stor variation i de målte gennemsnitlige reduktioner. Hvis man forestiller sig at det kræves, at pH sænkes 1 pH-enhed for at opnå det ønskede fald i NH_3 -fordampningen, så varierer reduktionen i NH_3 -fordampningen fra under 25% til ca. 75%. Som forventet viser resultaterne, at

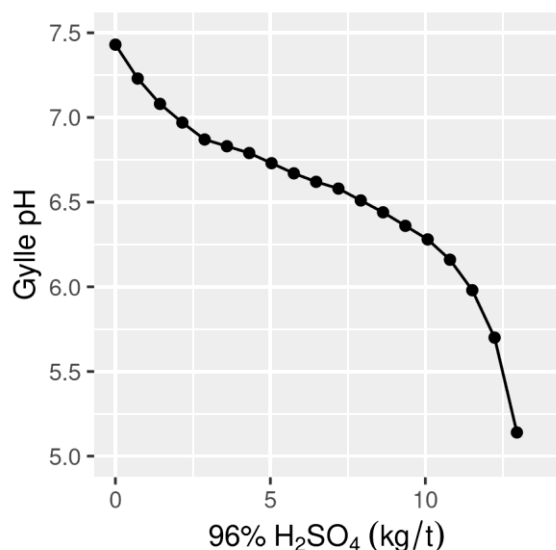
fordampningsreduktionen øges med størrelsen på pH-ændringen forårsaget af forsurening. For meget store pH-sænkninger (> 2 enheder) kan reduktionseffektiviteten nærme sig 100%. Der er dog store forskelle mellem studier. En ny undersøgelse fra Aarhus Universitet (Pedersen, 2021) og en undersøgelse fra Holland (Huijsmans et al., 2015), viser de laveste reduktioner. Desuden er der få målinger tilgængelige med en reduktionseffektivitet på 25%, hvilket er målet for det nuværende studie. Disse faktorer bidrager til usikkerhed af de nedenstående anbefalinger.

2. GYLLENS BUFFERSYSTEM

Mængden af syre der skal tilsættes gylle afhænger af gyllens evne til at modvirke pH-ændringer. Et syre-basepar har stor evne til at modvirke pH-ændringer omkring syre-base-parrets pKs-værdi, hvor pKs er den negative logaritme til syrekonstanten. I gylle er det følgende syre-basepar, som vil virke som buffere, og de vil omkring deres pKs-værdi (angivet ved 25 °C) modvirke pH-ændringer ved tilsætning af syre eller base.

- Eddikesyre $\rightleftharpoons$ acetat ($\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-$): pKs = 4,8
- Kulsyre $\rightleftharpoons$ bicarbonat ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$): pKs = 6,4
- Ammonium $\rightleftharpoons$ ammoniak ($\text{NH}_4^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3$): pKs = 9,2
- Bicarbonat $\rightleftharpoons$ carbonat ($\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}$): pKs = 10,3

Eddikesyre-acetat er valgt som et eksempel på VFA (Volatile Fatty Acids) som er flygtige, kortkædede fedtsyrer (myre-, eddike, propion-, smør- og valerianesyre) som alle har pKs-værdier omkring 4,8. I figur 3 ses et eksempel på en titreringskurve for svinegylle. De flade dele af kurven udtrykker, at der skal tilsættes meget syre (H^+) til gyllen for at sænke pH, eller meget base (OH^-) for at øge pH. Hvis en gylle har et pH omkring 7,5, hvor bufferkapaciteten er relativt lav, betyder det at der skal relativt lidt syre tilsættes for at sænke pH med eksempelvis 0,1 enhed. Hvorimod der skal mere syre til, hvis pH i gyllen er eksempelvis 6,6.

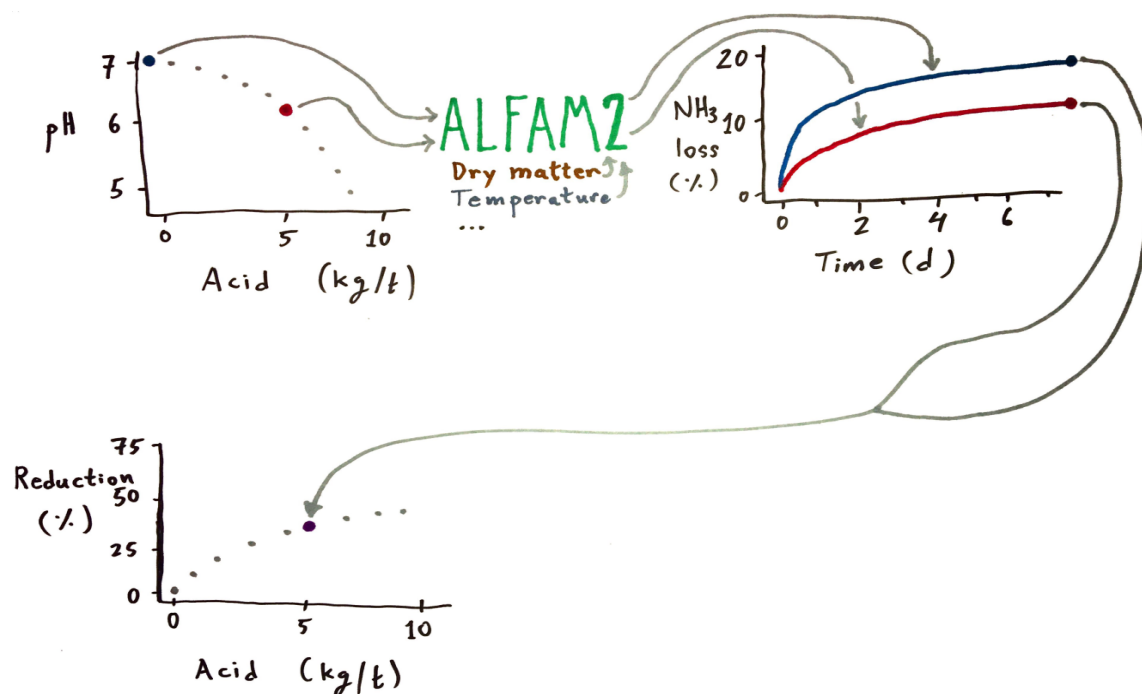


Figur 3. Eksempel på en titreringskurve for en slagtesvinegylle. Hvor kurven er stejl, f.eks. mellem pH 7,5 og 7, skal der bruges mindre syre til at ændre i pH end hvor kurven er fladere, f.eks. mellem pH 7 og 6,5.

Ved gylleforsuring sænkes pH, og derfor er fokus for dette notat på bufferne eddikesyre-acetat og kulsyre-bikarbonat. Er koncentrationen af disse forbindelser høj, er bufferkapaciteten høj, og der skal tilsættes meget syre. Ved neutralt pH er bikarbonat den dominerende uorganiske kulstofforbindelse. Bikarbonat er i ligevægt med kulsyre og opløst CO_2 , der forefindes i en ligevægt der er forskudt mod CO_2 . Opløst CO_2 kan opfattes som en indirekte syre og fordampning af CO_2 fører derfor til en stigning i pH. Da CO_2 er mindre opløseligt end NH_3 (base), vil den samlede effekt af fordampning være en stigende pH, og forsuret gylle vil - som før nævnt - som regel have en tendens til stigende pH. Ved pH-sænkning forstærkes denne effekt, fordi mere uorganisk kulstof er på CO_2 -form og mere TAN er på ammonium-form. I svinegylle kan acetat-koncentrationen være forholdsvis høj, den er lidt lavere i kvæggylle, og den er typisk lav i afgangset gylle. I afgangset gylle kan bikarbonat-koncentrationen til gengæld være høj, da det dannes i biogasprocessen. Er koncentrationerne af bikarbonat høj, skal der tilsættes meget syre for at sænke pH til omkring 6. Omvendt er bufferkapaciteten lav mellem pH 8 og pH 7, hvilket betyder at der skal mindre syre til at sænke pH eksempelvis 0,5 pH-enhed end mellem pH 7 og til pH 4. Afgasset gylle fra biogasanlæg vil typisk have højere pH-værdi end ubehandlet gylle.

3. BESVARELSE SPECIFIK AF SPØRGSMÅL 1, 3, 4, 5 OG 6

Formålet med dette arbejde er at bestemme den gennemsnitlige dosis af 96%-koncentreret H_2SO_4 , der skal tilsættes gylle i forbindelse med markforsuring, for at opnå en 25% reduktion i NH_3 -fordampningen fra typisk dansk gylle udbragt med slæbeslanger. Den tilsatte syremængde er beregnet ved at relatere fordampningsreduktionen til tilsat syremængde gennem to trin: titrering af 32 gylleprøver med 96 %-koncentreret svovlsyre (H_2SO_4), for derefter at relatere pH-ændring til syredosis ved anvendelse af den matematiske model ALFAM2 (Hafner et al., 2019) til beregning af reduktioner i NH_3 -fordampning. Princippet for udregninger er skitseret i figur 4.



Figur 4. Skitse af princippet for "omregning" fra en pH sænkning i gyllen til reduktion i NH_3 -fordampning efter udbringning af gyllen med ALFAM2-modellen. Øverst til venstre ses en titreringskurve for en udvalgt gylletype,

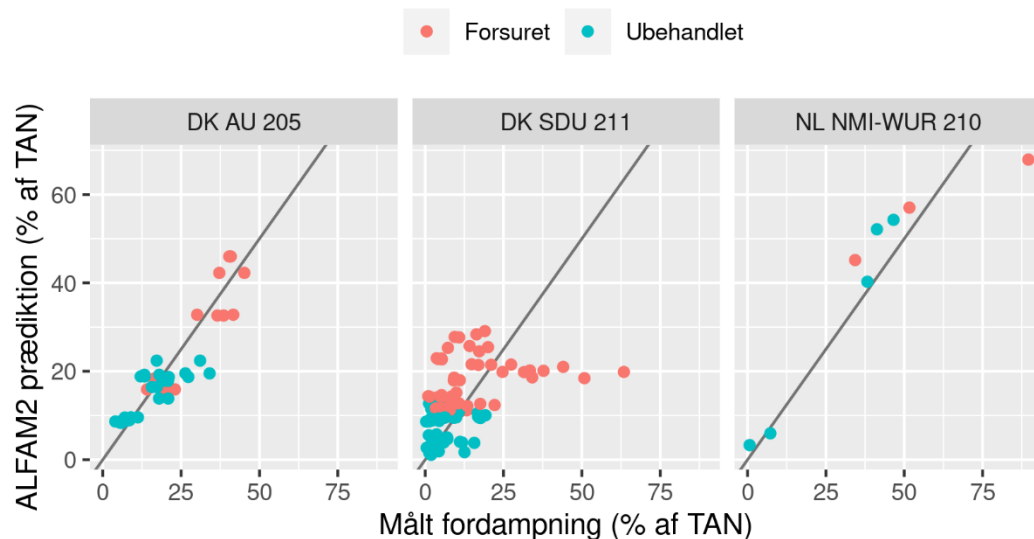
øverst til højre ses en simulering i ALFAM2-modellen, og nederst ses prædikeret reduktion i NH_3 -fordampning og syreforbrug (kg 96 % svovlsyre). For detaljerede oplysninger om ALFAM2-modellen, se appendiks og Hafner et al. (2019)

4. METODER

Som nævnt vil reduktionen i NH_3 -fordampningen fra udbragt gylle afhænge af potentialet for NH_3 -fordampning defineret af givne forhold på udbringningstidspunktet. Til dette projekt er der udviklet algoritmer til ALFAM2-modellen, som inkluderer effekten af gyllens pH i prædiktering (beregning) af NH_3 -fordampning fra ubehandlet og forsuret gylle, som er overfladeudbragt med slæbeslanger i marken. Ved titreringsforsøg med indsamlede gylleprøver er der skaffet viden om ændringer i gyllens pH ved tilsætning af syre. Derefter er det beregnet, hvor stor en mængde syre der skal tilsættes gylle for at reducere fordampningen med 25%. Princippet for beregningen er vist figur 4.

I disse beregninger indgår data om gyllens sammensætning. Dertil er der indsat "standard værdier" for klima som vist i Tabel 2. Udbringningsmetoden er slæbeslanger.

Som nævnt ovenfor har det i forbindelse med udførelsen af denne opgave været nødvendigt at udvide ALFAM2-modellen med en algoritme til beregning af NH_3 -fordampning som funktion af gyllens pH. Den reviderede model er valideret med data fra forsøg med forsuring af gylle indsamlet i dette studie og data fra ALFAM2-databasen (Hafner et al., 2018). Parametre anvendt i modellen er vist i tabel A1. I figur 5 ses en validering med prædikterede (beregnete) værdier mod målte NH_3 -fordampning i procent af TAN. Der ses en rimelig sammenhæng mellem prædikeret og målt NH_3 -fordampning. Den relativt store variation i datasættet SDU 211 kan bl.a. skyldes at her undersøges der en 5 forskellige gylletyper (kvæg, svin, mink, afgasset og afgasset/separeret), mens det kun er tale om kvæg/svin i de to øvrige undersøgelser.



Figur 5. ALFAM2-model med prædikeret kumulativ ammoniakfordampning versus målt ammoniakfordampning fra tilgængelige eksperimenter med forsuring i ALFAM2-databasen (Hafner et al., 2018). Ligger punkterne på de viste 1:1 linjer, er den prædikterede værdi som den målte. Titler øverst på plot viser land, institution og institutkode i ALFAM2-databasen.

5. TITRERINGSFORSØG

Det blev besluttet at gennemføre et titreringsstudie af reduktionen i pH som funktion af tilsætning af 96 %-koncentreret H_2SO_4 . Der er udtaget gylle fra 22 ejendomme med husdyr og 8 biogasanlæg. Gylleprøver er inddelt i 4 hovedgrupper, som repræsenterer langt den største del af gylle i Danmark. Det drejer sig om kvæg, so-smågrise, slagtesvin og afgasset gylle. For kvæggylle kunne alle prøver anvendes. For So- og smågrise var én prøve med et tørstofindhold på under 1 %, som blev udeladt, og yderligere én prøve blev udeladt, da to prøver var samme gård, men to forskellige gylletanke og hvor det viste sig at prøverne var praktisk talt ens. Det samme for to prøver for slagtesvin. Prøverne med afgasset gylle var indsamlet på biogasanlæg, men 4 prøver havde tørstofindhold på mere end 12 %, hvilket tyder på at prøverne enten er taget direkte i reaktorerne eller på anden vis ikke er repræsentative.

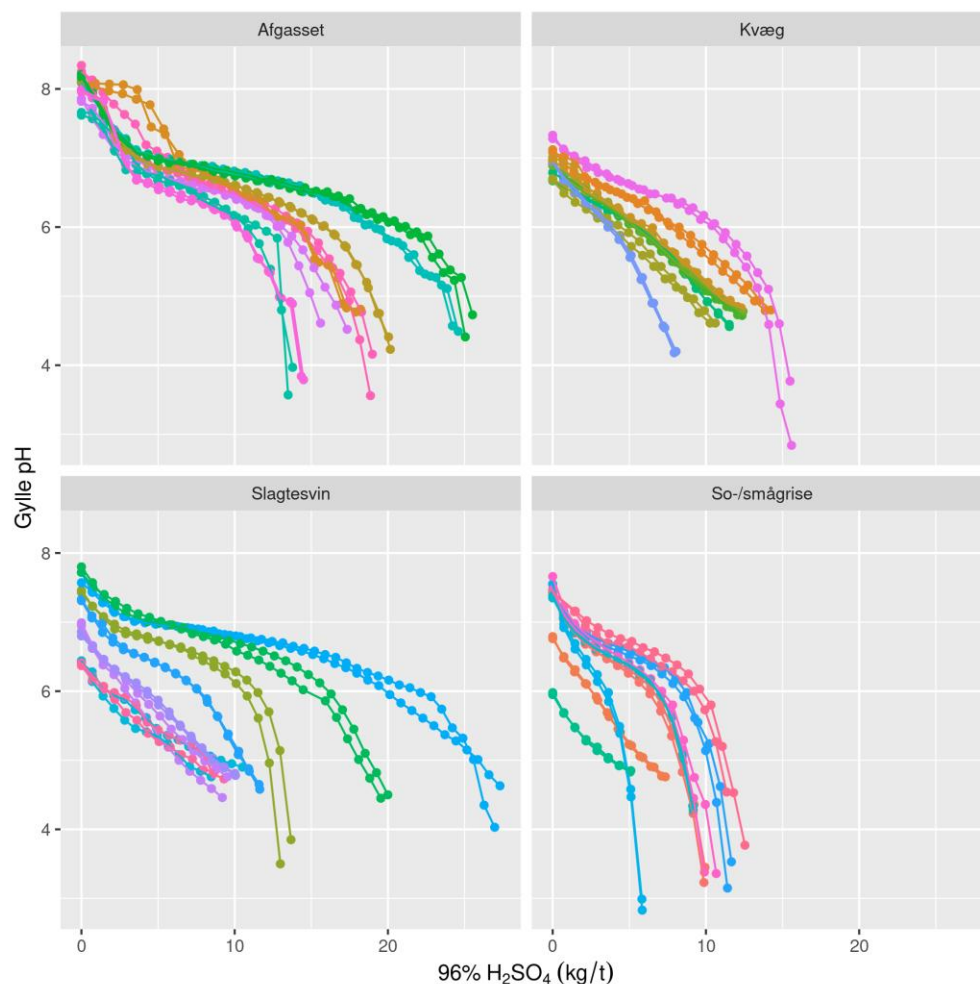
I tabel 1 er angivet gennemsnitsværdier for gyllens indhold af tørstof og pH før titrering. I tabel A2 er der vist tørstof og pH før titrering for de anvendte prøver. Ved udtagning af gylleprøver fra gyllebeholdere blev der taget delprøver fra tre forskellige steder i beholderen (forskellige dybder og afstand fra kant), hvert sted blev der udtaget tre prøver. For hver gylletank blev alle prøver blandet og der blev udtaget 2 prøver hver på 1 liter. Prøverne blev opbevaret ved $< 8^\circ\text{C}$ i køleskab indtil analyse, der fandt sted 2 - 4 uger fra udtagning af prøverne. Gylleprøverne blev analyseret for indhold af tørstof og pH.

Tabel 1. Sammensætning af gylle der blev titreret i dette projekt. Gennemsnit og standardafvigelse i parentes.

Gylletyper	n	Tørstof (%)	pH
Kvæg	8	7,5 (1,7)	7,0 (0,20)
So-smågrise	6	3,0 (2,6)	7,1 (0,62)
Slagtesvin	7	4,2 (2,7)	7,2 (0,48)
Afgasset	4	7,8 (1,8)	8,1 (0,29)

For hver gylleprøve blev der foretaget to titreringer. Målinger af pH under titrering blev bestemt med potentiometer (Knick Type 911) og pH elektrode (DJ 114), som blev placeret i bunden af 250 g gylle i et 1000 ml bægerglas af plastik (diameter 105 mm og højde 140 mm højt). Dybden af gyllen var ca. 30 mm. Inden forsuringen startede, blev start-pH målt på gyllen, mens gyllen var under omrøring. Derefter blev omrøring stoppet og 100 mikroliter 96% H_2SO_4 , blev tilsat med finpipette og efter 1 minut blev pH aflæst og noteret. Denne procedure blev gentaget indtil en pH-værdi på 5 blev målt, hvorefter nogle få ekstra syretilsætninger og målinger blev udført. Der blev anvendt 96 % svovlsyre til titreringen for at simulere så praksisnært som muligt de betingelser, der er ved tilsætning af syre i gylletanke. Aflæsningen af pH efter 1 minut skyldes at pH "driver", bevæger sig, som følge af afgasning af CO_2 .

De udførte titreringskurver er vist i figur 6. Der ses en forholdsvis lille variation mellem dobbeltbestemmelserne, og en væsentlig større variation mellem de enkelte gylleprøver.



Figur 6. Målte titreringskurver for de indsamlede gylleprøver. En gylleprøve med dobbeltbestemmelse (to titreringer) er vist med samme farve ved hver gylletype.

6. BEREGNING AF AMMONIAKFORDAMPNING

ALFAM2-modellen blev efterfølgende brugt til beregning af kumulativ NH_3 -fordampning for hver af de 25 gylleprøver. Modellen blev kørt med målt tørstofindhold og pH for hver af gylleprøverne sammen med estimer af gennemsnitsværdier for de øvrige forklarende variable. Den prædikterede virkning af gyllens pH på NH_3 -fordampning afhænger af to parametre i modellen, som er estimeret empirisk (Hafner et al., 2019, afsnit 3.2 & tabel A1). Til estimering af disse to parametre blev anvendt data (gylle, klima, udbringningsmetode) fra alle målinger fra tidligere forsuringseksperimenter udført med mikro-meteorologiske målemetoder (Se Hafner et al., 2018, www.alfam.dk).

Den generelle udregningsmetode, der anvendes i dette arbejde, er vist i figur 4. De anvendte modelparametre er angivet i appendiks til denne besvarelse (tabel A1). Beregninger af NH_3 -fordampning blev udført ved hjælp af gennemsnitlige vejrdata for april og juni som vist i tabel 2. Månedlige gennemsnit blev beregnet ud fra daglige gennemsnitsværdier fra Dansk Meteorologisk Institut (DMI) for 2010-2019 for syv stationer: fem i Jylland (Tylstrup, Askov, Foulum, Jydevad og Silstrup), en på Fyn (Aarslev) og en på Sjælland (Flakkebjerg). Disse stationer menes at dække det

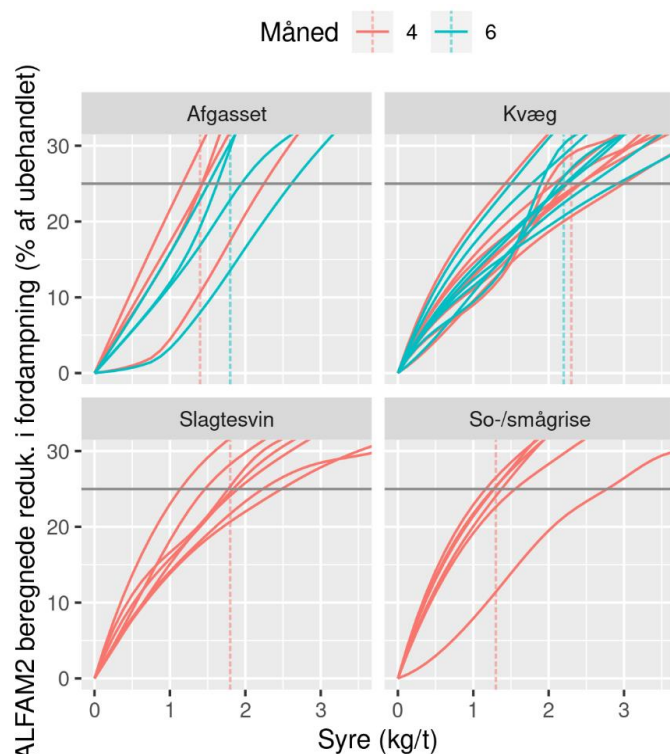
område, hvor størstedelen af gyllen udbringes i Danmark. For hver gylleprøve blev der udført flere beregninger for et interval af pH-værdier, der kom fra interpolering af titreringskurverne med et interval på 0,125 kg H₂SO₄/t gylle. Ved hjælp af disse input blev ALFAM2mod()-funktionen fra ALFAM2 R-pakken (Hafner og Haeni, 2020) brugt til at beregne kumulativ fordampning for 168 timer (7 dage) efter udbringning af gylle.

Tabel 2. Værdier, der bruges til vejrvARIABLES i forudsigelser af ALFAM2-modellen.

Variabel	Enhed	April	Juni
Lufttemperatur	°C	7,6	14,6
Vindhastighed	m/s	3,4	2,9
Regn	mm/h	0,09	0,09
Udbringningsmængde gylle	t/ha	30	30

7. RESULTATER OG DISKUSSION

Fordampningsreduktioner ved tilsætning af syre blev beregnet som en procentdel af reference (ubehandlet gylle, syredosis = 0) ved kumulativ fordampning i løbet af 7 dage efter udbringning. Resulterende data er afbildet som individuelle kurver for reduktion versus syredosis for hver prøve som vist i figur 6. Syredosis og tilhørende ændring i pH, der giver en fordampningsreduktion på 25%, er bestemt for hver kurve ved lineær interpolering ved anvendelse af funktionen "approx" i R-pakken (Hafner og Haeni, 2020).



Figur 7. Reduktion i kumulativ 7-dages NH₃-fordampning mod tilsætning af 96%-svovlsyre beregnet ved hjælp af ALFAM2-modellen. Stiplede lodrette linjer viser median for 25% reduktion.

Som efterspurgt fra FVM er der for hver gyllekategori beregnet median, middelværdi med tilhørende standardafvigelse (SD) og øvre 90%-konfidensgrænse, for hvor meget syre der skal tilføres 1 ton gylle ved udbringning for at opnå en 25% reduktion i den efterfølgende NH₃-fordampning (tabel 3). Et estimat på ca. 90% af det øvre konfidensniveau blev beregnet, for hver gylletype baseret på en kombination af to af de største usikkerhedskilder: pH-parameterværdier (tabel A1) i ALFAM2-modellen og variation i titreringsrespons. Variationen i titreringsrespons er relateret til både prøveudtagningsvariation og tilfældig variation ved måling af pH, og blev beregnet ud fra standardfejl af interpolerede værdier.

Tabel 3. Mængder af syre som skal tilsætte de fire gylletyper for at opnå en 25% reduktion i NH₃-fordampningen

Måned	Gylletype	n	96% H ₂ SO ₄ (kg/t)				Δ pH	
			Median	Middel	SD*	Øvre KG [†]	Middel	SD*
April	Kvæg	8	2,3	2,2	0,45	3,1	0,53	0,010
	So-smågrise	6	1,3	1,6	0,61	2,7	0,70	0,047
	Slagtesvin	7	1,8	1,8	0,45	3,0	0,65	0,046
	Afgasset	4	1,4	1,6	0,47	1,9	0,53	0,032
Juni	Kvæg	8	2,2	2,2	0,45	2,8	0,49	0,045
	Afgasset	4	1,8	1,9	0,49	2,3	0,68	0,073

*Standardafvigelse er kun baseret på variation blandt titreringskurver (ikke modelparametre) [†]90% øvre konfidensgrænse, inklusive usikkerhed i både modelparametre og titreringskurver.

Gennemsnitlige syretilsætninger blev beregnet baseret på følgende antagelser. Al svinegylle blev antaget at blive udbragt i april med et bidrag på 50% fra hver af de to grupper (So-/smågrise og slagtesvin). Kvæg og afgasset gylle blev antaget at være lige fordelt mellem de to måneder, april og juni. Derfor er de viste data i tabel 3 aritmetiske gennemsnit for april og juni for kvæg – og afgasset gylle.

Fordampningsreduktionskurver vist i figur 6 er baseret på ALFAM2-modelresultater med input fra titreringskurverne og viser variation i resultaterne. På grund af højere fordampning forbundet med en højere temperatur i juni var syrebehovet lidt højere i juni end april.

Et resumé af den syredosis, der kræves til en 25% reduktion afhængig af gylletype, er vist i tabel 3. Med den laveste bufferkapacitet på grund af lavt tørstofindhold har so- og smågrisegylle det laveste syrebehov, nemlig 1,6 kg/t. For at reducere NH₃-fordampningen med 25%, skal der tilsættes cirka samme mængde syre til kvæg, svine og afgasset gylle (baseret på medianværdier). Dette kan overraske, da det ofte nævnes at der skal tilsættes mere syre til afgasset gylle end andre gylletyper. Her er det vigtigt at bemærke, at pH ikke blev sænket til samme niveau for de forskellige gylletyper for at reducere fordampningen med 25%.

Såfremt man ønsker at reducere fordampningen af afgasset gylle ned til samme niveau som gylle forsuret til at give en 25% reduktion i fordampning som vist overfor, så skal den afgassede gylle forsures ned til pH 6,6. For de 4 prøver af afgasset gylle vil det medføre syrebehov som vist i tabel 4.

Tabel 4. Beregnet syrebehov for at reducere pH til 6,6 for de 4 afgassede, gylleprøver med titreringskurver.

Prøve	Mængde syre, kg konc. H ₂ SO ₄ /t	Reduktion, pH-enhed
1	10,1	1,5
2	13,4	1,6
3	6,6	1,0
4	8,5	1,7

Der skal bruges mellem 6,6 og 13,4 kg konc. Svovlsyre for at bringe pH af den afgassede gylle ned på en pH-værdi som for de øvrige forsurede gylle. Men 4 prøver er for lidt, så derfor vil AU igangsætte forsøg med flere prøver med afgasset gylle.

8. KONKLUSION OG BESVARELSE AF SPØRGSMÅL

For overskuelighedens skyld gentages nedenfor 6 af de 7 spørgsmål som denne besvarelse ønske at svare på. Svarene til disse skal findes i det ovenstående, men nedenfor er der ud for hver spørgsmål forsøgt at skrive et svar/anbefaling ind:

- 1) *Der ønskes redegjort for middelværdi og variation i pH ved tilsætning af svovlsyre for de mest udbredte gylletyper i DK.*

Svar: Hertil kan henvises til tabel 3, der giver overblik over dette.

- 3) *AU bedes vurdere variationen og sikkerheden i den målte pH ved de forskellige syreforbrug – gerne i form af konfidensintervaller eller lignende. Variation imellem og inden for gylletyper beskrives, og der relateres til ikke undersøgte typer som afgasset vegetabilsk biomasse. Væsentlige forudsætninger for opnåelsen af en tilsvarende pH i praksis bedes beskrevet, hvis vurderes relevant og muligt*

Svar: For første del af spørgsmål kan der henvises til tabel 3. Med hensyn til om tilsvarende pH-ændring kan opnås i praksis: hvis der reelt tilsættes den mængde syre, der er udregnet behov for og som er angivet i tabel 3, så vurderes der ikke at være forhold i praksis der skulle betyde en reel højere eller lavere opnået pH-værdi i gyllen. Det er uklart hvad begrebet "afgasset vegetabilsk biomasse" dækker over. Hvis der f.eks. er tale om økologisk kløvergræs har denne biomasse en karakteristisk, med bl.a. relativt højt TAN indhold. Er der derimod tale om afgasset efterafgrøde og frøgræs vil denne biomasses fysisk-kemiske karakteristisk være markant anderledes. Dog tillader vi os foreslå at dette håndteres som afgasset gylle, idet biomassen sandsynligvis vil ligne denne "gyllekategori" mest.

Ministeriet ønsker AU's ekspertvurdering af, hvilken syremængde der skal tilsættes i forbindelse med udbringning af husdyrgødning, for at der opnås en pH-værdi, som medfører en ammoniakbegrænsende effekt på minimum 25 % i forhold til tilsvarende ikke forsuret gylle.

- 4) *AU bedes redegøre for, hvilken pH-værdi, der ifølge modelleringer, som f.eks. ALFAM2, skal opnås, for at der hentes en ammoniakbegrænsende effekt på minimum 25 %.*

Svar: Baseret på titreringer af 25 gylleprøver og forudsigelse af NH_3 -fordampning med ALFAM2-modellen er den krævede syretilsætning for at reducere NH_3 -fordampningen med 25 % mellem 1,7 og 2,2 kg konc. svovlsyre per ton gylle er vist i tabel 5. Der er tale om gennemsnitsværdier, idet der er en betydelig spredning på data fra titreringsprøverne, som det fremgår af tabel 1.

Tabel 5. Generelle anbefalinger for hvor meget syre der skal tilsætte de 3 gylletyper for at opnå en 25% reduktion i ammoniakfordampningen ved udbringning med slæbeslanger. Svinegylle er 50-50 % vægtning af "so-smågrisegylle" og "slagtesvinegylle".

Dyregruppe	96%-svovlsyre (kg/t)
Kvæggylle	2,2

Svinegylle	1,7
Afgasset gylle	1,8

Ved afgasset gylle vil 1,8 kg konc. svovlsyre per ton gylle i gennemsnit reducere fordampningen med 25%, men den absolutte fordampning er væsentlig højere end for ikke-bioforgassede forsurede gylletyper.

- 5) *AU bedes foretage en grundig faglig redegørelse for ny viden tilvejebragt som led i bestillingen fra udførelsen af nye forsøg med tilsætning af svovlsyre til husdyrgødning. Herunder ønskes en vurdering af resultaternes sammenlignelighed med praksis for normal udbringning*

Svar: Titreringsresultater er vist i figur 6 og tilhørende fordampningsreduktioner i figur 7. Resultaterne er behørigt diskuteret i afsnit 7. Som skrevet tidligere er der stor variation både i titreringsresultaterne og fordampningsmålingerne, som ALFAM2-modellen bygger på, så derfor er resultaterne forbundet med en vis usikkerhed. De relative variationer i den syremængde, der giver 25% reduktion i fordampning ligger på mellem 20 og 40% for de typer der er vist i tabel 3 (relativ standardafvigelse i forhold til middelværdi). Der er ingen grund til at tro at der systematisk er estimeret for højt eller lavt i udregningerne, og denne variation antages derfor at dække over en naturlig variation mellem gylleprøverne. Derfor forventes det også, at disse resultater kan overføres til praksis, hvor der dog også vil være tilsvarende variation i effekten af den tilsatte syremængde. Denne variation betyder, at i nogle tilfælde vil tilsætning af den anbefalede mængde syre medføre lavere NH₃-fordampningsreduktion end 25% og i andre tilfælde højere reduktion. Hvis man ønsker sikkerhed for at reducere fordampningen med 25% eller mere, kan man vælge at anvende den øvre grænse for 90% konfidensintervallet, angivet i kolonne 6 i tabel 3 i en anbefaling af minimumsmængder af 96% koncentreret svovlsyre, der bør tilsættes gylle for at opnå en minimum 25% reduktion i NH₃-fordampningen.

- 6) *AU bedes relatere den nye viden til den eksisterende viden om målt ammoniakemission og -reduktion ved forskellige pH-værdier fra tidligere forsøg, herunder viden opnået i forbindelse med tests foretaget forud for optagelse på Miljøstyrelsens teknologiliste. Der ønskes gerne en grundig faglig redegørelse med fyldige litteraturhenvisninger fra ind- og udland til relevante studier, hvor også sammenligneligheden mellem forskellige forsøgsresultater beskrives m.v.*

Svar: Her kan der henvises til figur 2. En opsamling af så mange resultater med gylleforsuring og efterfølgende NH₃-fordampning, er så vidt vides ikke gjort tidligere. Figuren og den tilhørende tekst beskriver forhold, man skal tage i betragtning når man aflæser figuren, men det er tydeligt at der er en sammenhæng mellem pH-sænkning i gylle og efterfølgende NH₃-fordampning. Dog viser figuren også den store variation, og det skal siges, at der ikke er taget hensyn til hvorvidt nogle af forsøgene metodisk er mindre pålidelige, da det er meget vanskeligt at vurdere med tilgængelige viden. Som det ses i Figur 2 så har pH reduktion i forsøgene fra 2010 (Nyord 2013) været mellem 1 og 1,5 og den modsvarende reduktion i ammoniakfordampning er på linje med øvrige observationer, dog med en tendens til større reduktioner end "gennemsnittet".

- 7) *På baggrund af 1)-5) ønskes AU's samlede ekspertvurdering af, hvilken syremængde der bør tilsættes i forbindelse med udbringning af husdyrgødning, for at der opnås en pH-sænkning, som medfører en ammoniakbegrænsende effekt på minimum 25 %. Ideelt set ønskes en ensartet syremængde*

uafhængig af gødningstype og forsuringsteknologi. Hvis relevant, kan der tages udgangspunkt i 2 overordnede scenarier:

- a) *Den mængde 96 % koncentreret svovlsyre, der skal tilsættes for at alle gylletyper, der mark- eller tankforsures, som minimum opnår den forudsatte ammoniakbegrænsende effekt på 25 %*

Svar: se kolonne 6 i tabel 3(kolonne benævnt "Øvre KG"). Dog skal man være opmærksom på at der er tale om ca. 90% af alle forventede gylletyper – og ikke *alle* som efterspørges af FVM.

- b) *Den mængde 96 % koncentreret svovlsyre, der skal tilsættes for, at der samlet set opnås en ammoniakbegrænsende effekt på 25 % på landsplan ved udbringning af mark- eller tankforsuret gylle, således at der ved nogle gylletyper opnås en højere effekt, mens der med andre opnås en lavere effekt.*

Svar: Her henvises til tabel 2. På baggrund af denne tabel og med en antagelse af at kvæggylle udgør 40% af al gylle i DK, svinegylle udgør 40% og afgasset gylle udgør 20%, da bliver anbefalingen: 1,9 kg 96% svovlsyre/ton gylle.

3. BESVARELSE AF SPØRGSMÅL 2

Der ønskes redegjort for, hvorledes man teoretisk kan opgøre den tilstrækkelige mængde svovlsyre til tilsætning til flydende husdyrgødning, der er tilsat en given mængde flydende handelsgødning (NH₃), således at den pH-stigning, som ammoniak-tilsætningen giver anledning til, neutraliseres. Andre relevante flydende handelsgødningstyper end ammoniak kan inddrages.

Når NH₃ tilsættes en væske såsom gylle, dannes ammonium-ioner (NH₄⁺) og hydroxid-ioner (OH⁻). Som følge af den øgede OH⁻ koncentration øges pH i væsken ved tilsætning af flydende NH₃ til gylle. I væske uden bufferkapacitet vil enhver tilsætning NH₃ føre til en pH stigning og for at neutralisere den tilsatte NH₃ skal der altså tilsættes tilsvarende H⁺ ioner i form af syre. Der skal altså tilsættes ækvivalente mængder af syre, som der tilsættes base, for at neutralisere pH påvirkningen. I en væske med en vis bufferkapacitet, som f.eks. gylle, vil pH påvirkningen af NH₃ for pH i væsken være ubetydelig, da buffersystemet vil fastholde pH. Men bufferen virker begge veje, og også i denne situation skal der tilsættes ækvivalente mængder af H⁺ for at neutralisere pH stigningen.

Der findes en lang række forskellige mineralske gødninger som i princippet kunne tilsættes gylle, for at øge kvælstofindholdet i gylle. Nogle vil virke forsurende (såsom svovlsure ammoniak), mens tilsætning af andre typer vil øge pH i gyllen (som flydende NH₃). Da mange mineralske gødninger indeholder flere forskellige eksempelvis kvælstofforbindelser, som hver især kan have modsatrettet effekt på pH i en opløsning med gylle, vil det ikke umiddelbart være muligt præcist at beregne, hvor meget pH vil ændre sig ved tilsætning af en given mængde gødning til et volumen gylle.

4. REFERENCER

- Adamsen, A.P.S., Sommer, S.G., Feilberg, A., & Nyord, T., 2020. Forsuring af flydende husdyrgødning og afgasset biomasse ifbm. udbringning, No. 2020-0055171, 7 p., Aug 31, 2020. Notat udarbejdet for Miljø og Fødevareministeriet.
- Bussink, D., Huijsmans, J., Ketelaars, J., 1994. Ammonia Volatilization from Nitric-Acid-Treated Cattle Slurry Surface-Applied to Grassland. *Neth. J. Agric. Sci.* 42, 293–309.
- Frost, J., Stevens, R., Laughlin, R., 1990. Effect of Separation and Acidification of Cattle Slurry on Ammonia Volatilization and on the Efficiency of Slurry Nitrogen for Herbage Production. *J. Agric. Sci.* 115, 49–56.
- Hafner, S.D., Montes, F., Alan Rotz, C., 2012. The role of carbon dioxide in emission of ammonia from manure. *Atmospheric Environment* 66, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.01.026>
- Hafner, S.D., Pacholski, A., Bittman, S., Burchill, W., Bussink, W., Chantigny, M., Carozzi, M., Géniermont, S., Häni, C., Hansen, M.N., Huijsmans, J., Hunt, D., Kupper, T., Lanigan, G., Loubet, B., Misselbrook, T., Meisinger, J.J., Neftel, A., Nyord, T., Pedersen, S.V., Sintermann, J., Thompson, R.B., Vermeulen, B., Vestergaard, A.V., Voylokov, P., Williams, J.R., Sommer, S.G., 2018. The ALFAM2 database on ammonia emission from field-applied manure: Description and illustrative analysis. *Agricultural and Forest Meteorology, Greenhouse gas and ammonia emissions from livestock production* 258, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.11.027>
- Hafner, S.D., Pacholski, A., Bittman, S., Carozzi, M., Chantigny, M., Géniermont, S., Häni, C., Hansen, M.N., Huijsmans, J., Kupper, T., Misselbrook, T., Neftel, A., Nyord, T., Sommer, S.G., 2019. A flexible semi-empirical model for estimating ammonia volatilization from field-applied slurry. *Atmospheric Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.034>
- Huijsmans, J.F.M., Hol, J.M.G., van Schooten, H.A., 2015. Toediening van aangezuurde mest met een sleepvoetenmachine op grasland (629). Wageningen UR, Wageningen NL.
- Kai, P., Pedersen P., Jensen J.E., Hansen M.N. and Sommer S.G. 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*. 28. 148-154.
- Nyord, T, Liu, D., Eriksen, J., Adamsen, A.P.S. 2013. Effect of acidification and soil injection of animal slurry on ammonia and odour emission. Conference proceedings for 15th Ramiran conference, Versailles, France, 3-5 of June 2013. <http://ramiran.uvlf.sk/>
- Pain, B.F., Thompson, R.B., Rees, Y.J., Skinner, J.H., 1990. Reducing gaseous losses of nitrogen from cattle slurry applied to grassland by the use of additives. *J. Sci. Food Agric.* 50, 141–153. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740500202>
- Pedersen, J.M., Andersson, K., Feilberg, A., Delin, S., Hafner, S., Nyord, T., 2021. Effect of exposed surface area on ammonia emissions from untreated, separated, and digested cattle manure. *Biosystems Engineering* 202, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.12.005>

Pedersen, J.M., 2021. Effect of acidification on ammonia volatilization from cattle and pig slurry. Upubliceret arbejde.

Seidel, A., Pacholski, A., Nyord, T., Vestergaard, A., Pahlmann, I., Herrmann, A., Kage, H., 2017. Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N₂O emissions and crop N uptake. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 247, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.030>

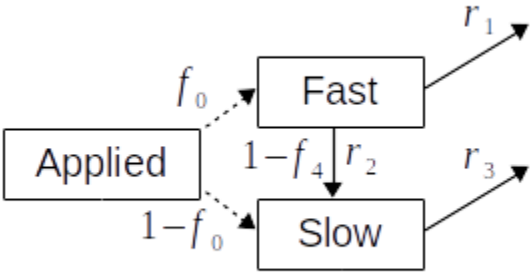
Sommer, S.G., Husted, S. 1995. A simple model of pH in slurry. *J. Agric. Sci.* 124, 447-453.

Sommer, S., Sherlock, R., 1996. pH and buffer component dynamics in the surface layers of animal slurries. *Journal of Agricultural Science* 127, 109–116.

Wagner, C., Hafner, S.D., Nyord, T., Pacholski, A., 2015. Impact of field acidification and application methods on ammonia emissions, yield and nitrogen efficiency of organic liquid manures. Presented at the RAMIRAN 2015 – 16 th International Conference Rural-Urban Symbiosis, 8 – 10 September 2015, Hamburg, Germany.

APPENDIKS

ALFAM2-model



Figur A1. Oversigt over den anvendte ALFAM2-model. ALFAM står for Ammonia Loss from Field-Applied Manure. Efter udbringning eller nedfældning på mark (kassen med "Applied") opdeles gylle i to puljer, "Fast" (hurtig fordampning af ammoniak) og "Slow" (langsom fordampning af ammoniak). Der kan transporteres gylle fra "Fast" til "Slow". Parametrene f_0 angiver startfordeling mellem de to puljer, r_1 og r_3 angiver fordampningsrater for ammoniak, transport fra "Fast" til "Slow" beregnes med en parameteren r_2 , og f_4 beskriver effekten af nedfældning.

Tabel A1. Parameterværdier anvendt i ALFAM2-modellen. Hver primær parameter afhænger af en række prædiktør-variable vist i kolonne nr. 2. Eksempelvis vil fordampningsraten for ammoniak i puljen Fast afhænger af tørstof, gyllens pH, lufttemperatur og vindhastighed. For flere oplysninger om modellen, se Hafner et al. (2019)

Primær parameter	Prædiktørvariable	Værdi gennemsnit	Værdi 90% øvre konfidensgrænse
f_0 - Startfordeling	Skæringspunkt	-0,614	
	Udbringningsmængde (t/ha)	-0,0096	
	Gylletørstof (%)	0,392	
	Pig	-0,488	
r_1 - Fast pulje fordampningsrate	Skæringspunkt	-1,086	
	Gylletørstof (%)	-0,112	
	pH gylle*	0,68	0,66
	Lufttemperatur (°C)	0,083	
	Vindhastighed (m/s)	0,147	
r_2 - Transport fra Fast til Slow-rate	Skæringspunkt	-1,116	
	Nedbør (mm/h)	0,431	
r_3 - Slow-pulje fordampningsrate	Skæringspunkt	-2,786	
	pH gylle*	0,24	0,16
	Lufttemperatur (°C)	0,009	
	Akkumuleret nedbør (mm)	-0,012	

*

17

18 *Tabel A2. Sammensætning af gylle der blev titreret i dette projekt (n = 2)*

Gylletyper	pH	Tørstof (%)
Afgasset 1	8,12	9,53
Afgasset 2	8,19	8,84
Afgasset 3	7,64	5,50
Afgasset 4	8,30	7,29
Kvæg 1	7,10	8,78
Kvæg 2	6,99	8,45
Kvæg 3	6,69	6,00
Kvæg 4	6,91	8,15
Kvæg 5	6,93	9,34
Kvæg 6	6,73	8,78
Kvæg 7	6,96	4,96
Kvæg 8	7,30	5,35
Slagtesvin 1	7,44	2,46
Slagtesvin 2	7,76	3,31
Slagtesvin 3	6,42	5,63
Slagtesvin 4	7,64	9,47
Slagtesvin 5	7,32	1,47
Slagtesvin 6	6,83	3,20
Slagtesvin 7	6,97	3,70
So-/smågrise 1	7,43	1,52
So-/smågrise 2	6,78	6,60
So-/smågrise 3	6,96	6,20
So-/smågrise 4	7,36	1,26
So-/smågrise 5	7,56	1,32
So-/smågrise 6	7,42	1,36

19

20