

631.86
B41

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. A7 1990

NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Om NPo-forskningsprogrammet

NPo-forskningsprogrammet skal tilvejebringe viden om, hvordan kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o) omsættes i jord og påvirker søer, vandløb, fjorde, hav og grundvand.

Denne rapport er een af de ca. 50, der udsendes som et resultat af NPo-forskningsprogrammet. Med Miljøstyrelsen som ansvarlig for programmets gennemførelse er der sat ca. 70 NPo-projekter i gang ved 25-30 institutioner.

Op gennem 1970'erne og i 80'ernes begyndelse kom der en stigende erkendelse af, at udledninger af næringsstoffer kunne blive en trussel mod livet i vandløb m.v. – og af at der kunne ske en nitratforurening af grundvandet. Den eksisterende viden blev i 1984 samlet af Miljøstyrelsen i den såkaldte NPo-rapport.

Rapporten førte til, at Folketinget i 1985 vedtog de første indgreb for at begrænse forureningen med næringsstoffer – ved at stille krav om, hvordan landbruget skal opbevare og sprede husdyrgødningen.

For at skaffe en større viden om næringsstoffernes indvirkning på naturen afsatte Folketinget samtidig 50 mill. kr. til dette forskningsprogram – som løber fra 1985 og frem til udgangen af 1990.

NPo-forskningsprogrammet blev yderligere aktuelt med Folketingets vedtagelse af Vandmiljøplanen i 1987. Her vil NPo-programmets resultater indgå som et vigtigt baggrundsmateriale for vurderingen af Vandmiljøplanens virkninger.

Til at sikre den faglige og økonomiske afvejning af forskningen blev der nedsat en styringsgruppe, som således har haft det øverste ansvar for NPo-programmets gennemførelse. Desuden blev der nedsat tre koordinationsgrupper, som hver har haft det faglige ansvar for deres område: jord og luft, grundvand og overfladevand.

Rapporterne udsendes i serien »NPo-forskning fra Miljøstyrelsen« – som er opdelt i A, B og C publikationer:

- A er rapporter om jord og luft
- B er rapporter om grundvand
- C er rapporter om vandløb, søer og marine områder

Miljøstyrelsen har været sekretariat for arbejdet og har sammen med koordinationsgrupperne stået for redaktionen af denne rapportserie.

1078

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen
Nr. A7 1990**

NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning

Sven G. Sommer og Bent T. Christensen

Statens Planteavlsvforsøg

**MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K**

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**

Indholdsfortegnelse

FORORD.....	5
SAMMENDRAG.....	7
1. INDLEDNING.....	9
2. METODER.....	11
2.1 Måling af ammoniaktab ved udspredning af gylle.....	11
2.1.1 Indsamling af prøver.....	11
2.1.2 Analyse.....	11
2.2 Måling af ammoniaktab fra udbragt gødning...	11
2.2.1 Vindtunnelen.....	11
2.2.2 Klimamåling og dataopsamling.....	12
2.2.3 Bestemmelse af luftens ammoniak- koncentration.....	13
2.2.4 Beregning af ammoniakfordampning.....	13
3. RESULTATER OG DISKUSSION.....	15
3.1 Tab ved udspredning af gylle.....	15
3.2 Tab fra handelsgødning.....	16
3.3 Tab fra gylle på jordoverfladen.....	20
3.4 Tab fra udbragt husdyrgødning.....	22
3.4.1 Effekt af pH.....	22
3.4.2 Effekt af temperatur.....	23
3.4.3 Effekt af tørstof.....	25
3.4.4 Tab fra fast kvæggødning og hønsegylle	26
3.4.5 Tab fra gylle afgasset i biogasanlæg..	28
3.4.6 Tab fra væske- og fiberfraktion af filtreret gylle.....	30
3.4.7 Effekt af stigende mængder gødning pr. ha.....	32
3.4.8 Effekt af direkte nedfældning og nedharvning.....	33
3.4.9 Effekt af vanding.....	34
3.4.10 Effekt af jordens pH.....	35
3.5 Parametrisering af ammoniakfordampning fra gylle.....	37
3.5.1 Temperatur.....	38
3.5.2 Luftfugtighed.....	39
3.5.3 Vindhastighed.....	39
3.5.4 Tørstofindhold.....	41
4. KONKLUSION.....	43
5. REFERENCER.....	45

FORORD

NPO-rammeforslaget

I 1985 udarbejdede Miljøstyrelsen NPO-rammeforslaget, der bestod af et projekt-katalog for undersøgelser af kvælstof, fosfor og organisk stof cirkulation i det danske miljø. Blandt de foreslåede projektområder var undersøgelser af ammoniakfordampning ved udbringning af gødning. Disse undersøgelser blev påbegyndt oktober 1986 på Askov Forsøgsstation med Bent T. Christensen som projektansvarlig. Sven G. Sommer har siden august 1988 været projektansvarlig.

Resultater fra undersøgelserne er blevet eller er ved at blive offentliggjort. I denne rapport gives en samlet fremstilling af metodestudier og resultater fra projektet.

Publikationer

Christensen, B. T. 1986. Ammonia volatilization loss from surface applied animal manure. I Kofoed A. D. et al. (Eds.): Efficient Land Use of Sludge and Manure. Elsevier Applied Science. London & New York, 193-203.

Ferm, M. & Christensen, B. T. 1987. Determination of NH_3 volatilization from surface-applied cattle slurry using passive flux samplers. J. Asman, W. A. H. & Diederen, S. M. A. (Eds.): Ammonia and Acidification. RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 28-41.

Christensen, B. T. & Sommer, S. G. 1989. Fordampning af ammoniak fra udbragt gødning. Metode og ammoniaktab fra urea og urea-ammonium-nitrat. Tidsskr. Planteavl 93, 177-190.

Sommer, S. G. & Christensen, B. T. 1989. Fordampning af ammoniak fra svinegylle udbragt på jordoverfladen. Tidsskr. Planteavl 93, 307-321.

Sommer, S. G. 1989. Udspredning af gylle: Fordampning af ammoniak og fordeling af udbragt gylle. Tidsskr. Planteavl 93, 323-329.

Sommer, S. G. 1990. Ammoniakfordampning fra svinegylle på nykalket jord. Grøn Viden nr. 51 (Landbrug), 4 sider. Statens Planteavlsforsøg.

Sommer, S. G. & Christensen, B. T. 1990. Ammoniakfordampning fra fast husdyrgødning samt ubehandlet, afgasset og filtreret gylle efter overfladeudbringning, nedfældning, nedharvning og vanding. Tidsskr. Planteavl 94, i trykken.

Sommer, S. G. & Christensen, B. T. 1990. Effect of dry matter content on ammonia loss from surface applied cattle slurry. I Nielsen C.D. et al. (Eds.): Ammonia and Odour Emissions from Livestock Production. Elsevier Applied Science. London & New York , i trykken.

Sommer, S. G.; Olesen, J. E. & Christensen, B. T. 1990. Effect of temperature, wind speed and air humidity on ammonia loss from surface applied cattle slurry. Sendt til J. Agric. Sci.

SAMMENDRAG

- Tab ved udspredning af gylle er ringe
- Ammoniaktabet ved udspredning af gylle blev bestemt som forskellen i ammoniumindholdet i gylle før og efter udspredning. Tabet var mindre end 4 pct. af den udbragte ammonium, uanset om der blev anvendt en gyllespreder med en lavtsiddende spredeplade og stort spredefelt eller en højtsiddende spredeplade og et lille spredefelt.
- Vindtunnelsystemet
- Til bestemmelse af ammoniakfordampningen fra udbragt gødning blev der opbygget et vindtunnelsystem bestående af fire vindtunnelenheder, en dataopsamlingsenhed og et system af gasvaskeflasker til opsamling af ammoniak i luft. Vindtunnelsystemet muliggør en direkte bestemmelse af ammoniakindholdet i den luft, der forlader det gødede areal. Med systemet kan vindhastighed og nedbør styres. I hver forsøgsperiode kan der undersøges tre behandlinger, idet én vindtunnel benyttes som referencetunnel.
- Tab fra handelsgødning
- Tabet af ammoniak fra urea over 6 døgn var 20-30 pct. i sommerperioden, mens det tilsvarende tab i vinterperioden var 3-10 pct. Tabene fra urea-ammonium-nitrat var mindre end tabet fra urea. Såfremt udbringning af urea skete under tørre forhold, hæmmedes fordampningen i det første døgn. Vanding med 5-10 mm reducerede fordampningen, men bragte den ikke til ophør.
- Parametre af overordnet betydning for ammoniakfordampning fra gylle
- I undersøgelsen blev det påvist, at ammoniaktabet fra gylle på jorden bl.a. var styret af følgende parametre:
- gyllens pH.
 - gyllens tørstofindhold.
 - jordens pH.
 - lufttemperaturen.
 - vindhastigheden.
 - luftfugtighed.
- Ved stigende pH i gylle eller i jorden øges ammoniakfordampningen. I indtil 24 timer efter udbringning steg ammoniaktabet eksponentielt med stigende temperatur.

Ammoniaktabet efter 6 døgn steg lineært ved stigende tørstofindhold. Ammoniaktabet steg når vindhastigheden blev øget fra ca. 1 m s^{-1} til $2,5 \text{ m s}^{-1}$. Derefter var tabet konstant ved stigende vindhastighed. Ved stigende vanddampstrykdeficit var der en tendens til stigende ammoniaktab fra gylle.

Fra væskefraktionen af filtreret gylle var tabet efter 6 døgn mindre end 17 pct. af ammoniumindholdet. Fra fiberfraktionen (22 pct. TS) fordampede i samme periode mere end 66 pct. af ammoniumindholdet.

Effekt af vintertemperatur

Ved temperatur omkring frysepunktet var det akkumulerede ammoniaktab fra gylle over 6 døgn større end 50 pct. af det udbragte ammonium. Fra fiberfraktionen af gylle var tabene på samme niveau, men fra væskefraktionen var tabene under disse forhold mindre end 20 pct. af den udbragte ammonium.

Nedfældning og nedharvning

Blev gyllen nedfældet direkte i tør jord var tabet efter 6 døgn mindre end 17 pct. af den udbragte ammonium. Hvis jorden havde et højt vandindhold ved forsøgets start fordampede efter nedfældning 50 pct.

Nedharvning af fast svinegødning efter udbringning begrænsede ammoniaktabet til ca. 60 pct. af tabet fra gødning efterladt på jordoverfladen. Hvis fast svinegødning på jordoverfladen blev vandet med 5 eller 10 mm efter udbringningen og efter 24, 48 og 72 timers henliggetid var ammoniaktabet halvt så stort som fra uvan- det gødning.

Indenfor samme gødningskategori (fx. gylle) kan ammoniaktabet forudsiges ud fra kendskab til tørstofindhold, pH og klimaforhold. Sammenhængen er imidlertid forskellig for de forskellige gødningskategorier.

Vindtunnelen afskærmer forsøgsarealerne mod nedbør. Undersøgelserne finder derfor sted under udtørrende forhold. Tabet af ammoniak vil være lavere såfremt husdyrgødningen udsættes for nedbør.

1. INDLEDNING

- Tab på landsplan Ammoniakfordampning fra gødning mindsker gødningsværdien og medfører en uønsket påvirkning af miljøet. Mere end 75 pct. af ammoniakfordampningen antages at stamme fra husdyrgødning og 5-10 pct. fra flydende ammoniak og handelsgødning indeholdende ammonium (Buijsmann et al., 1986; Meeus-Verdinne et al., 1985).
- Husdyrgødning, den mest betydende kilde Det er således i forbindelse med håndtering af husdyrgødning, og især fra husdyrgødning i marken, der er muligheder for en betydende reduktion i ammoniakemissionen til atmosfæren. Et større kendskab til størrelsen af ammoniaktabet og mulighederne for at reducere dette, kan øge udnyttelsen af den udbragte gødning. For husdyrgødning hidrører 1-årsvirkningen hovedsageligt fra ammoniumindholdet, og for at kunne udnytte dette fuldt ud er det nødvendigt at kende mængden af ammonium, der er tilført jorden.
- Ammoniaktab ved håndtering af husdyrgødning kan ske fra stalde, fra gødningsoplag, ved udspredning af gødning og fra gødning efter udbringning. I dette projekt er ammoniaktabet ved udspredning af gødning og fra udbragt gødning blevet undersøgt.
- Ammoniaktabet ved udspredning er bestemt som forskellen i ammoniumindhold i gylle indsamlet umiddelbart før og efter udspreddingen.
- Tidligere undersøgelser Ammoniaktabet ved og efter udbringning af husdyrgødning er tidligere undersøgt i udbytteforsøg (Iversen, 1932; Iversen, 1934/35; Larsen & Keller, 1985a; Larsen & Keller, 1985b; Meincke, 1985). Tabet efter udbringning er undersøgt ved udlægning af gødning på metalbakker (Hansen, 1927; Lindhard, 1954), og i laboratoriet ved analyse af ammoniak i luft, der har passeret flasker indeholdende gødningsprøver (Jensen, 1928). Disse undersøgelser viste, at ammoniaktabet kan begrænses ved udbringning af gødning i koldt og fugtigt vejr, ved di-

rette nedfældning eller ved nedbringning umiddelbart efter udbringning.

Metodestudier

Når ammoniakfordampningen bestemmes med indirekte metoder, kan resultaterne påvirkes af denitrifikation, N-mineralisering og immobilisering samt udvaskning. I bakkeforsøgene indgår ikke vekselvirkning mellem jord og gødning, og resultaterne fra laboratorieforsøg kan ikke umiddelbart overføres til markforhold. En sammenligning af resultater fra ammoniakfordampning bestemt ved forskellige metoder har vist, at ammoniaktab bestemt ved indirekte metoder synes at være dobbelt så store som tab bestemt ved direkte målinger.

Fordele ved vindtunnelsystemet

Derfor påbegyndtes i 1985 opbygning af et vindtunnelsystem til direkte bestemmelse af ammoniakindholdet i luft, der har passeret et gødet areal. I vindtunnelerne kan vindhastighed og nedbør styres, og der kan medtages gentagelser under identiske klimaforhold. Endelig er det praktisk muligt at gennemføre et større antal undersøgelser uden brug af store forsøgsarealer eller stor ressourceindsats. Der kan således tilvejebringes et stort datamateriale, som kan benyttes til bestemmelse af enkelt-faktorers betydning for ammoniakfordampning fra gødning. Herved kan opbygges matematiske modeller for processen.

Undersøgelsens omfang

I denne rapport præsenteres undersøgelser af:

- ammoniaktab ved udspredning af gylle.
- ammoniaktabet fra handelsgødninger indeholdende urea.
- ammoniaktabet fra forskellige typer af husdyrgødning, herunder behandlet gylle.
- delprocesser af betydning for ammoniaktabet fra husdyrgødning.
- effekt af vanding, nedharvning og nedfældning af husdyrgødning.

2. METODER

2.1 Måling af ammoniaktab ved udspredning af gylle

Måling af tab ved udspredning

Ammoniakfordampningen blev bestemt som forskellen i ammoniumindholdet i gyllen før og efter en udspredning. En reduktion i ammoniumindholdet vil hidrøre fra ammoniakfordampning.

2.1.1 Indsamling af prøver. Ammoniumindholdet i gyllen før udspredning blev bestemt i prøver udtaget fra gyllesprederens tank. Før hvert forsøg blev gyllen i tanken omhyggeligt blandet.

Under udspredning blev gyllen opsamlet i 6 l opsamlingsbeholdere opstillet i tre rækker på tværs af gyllesprederens kørselsretning. Afstanden mellem opsamlingsbeholderne blev afpasset efter spredebredden. Umiddelbart efter udspredningen blev en del af gyllen overført til lufttætte bægre (200 ml), der blev fyldt så de ikke indeholdt luft. Prøverne blev opbevaret i højst 3 døgn ved 4°C inden analyse.

2.1.2 Analyse. Gyllens pH blev bestemt med pH elektrode. Ammoniumindholdet blev bestemt ved destillation efter tilsætning af MgO og CuSO₄, og ammoniak blev opsamlet i et forlag indeholdende borsyre og A. C. Andersen indikator. Derpå blev det opsamlede ammoniak bestemt ved titrering med HCl.

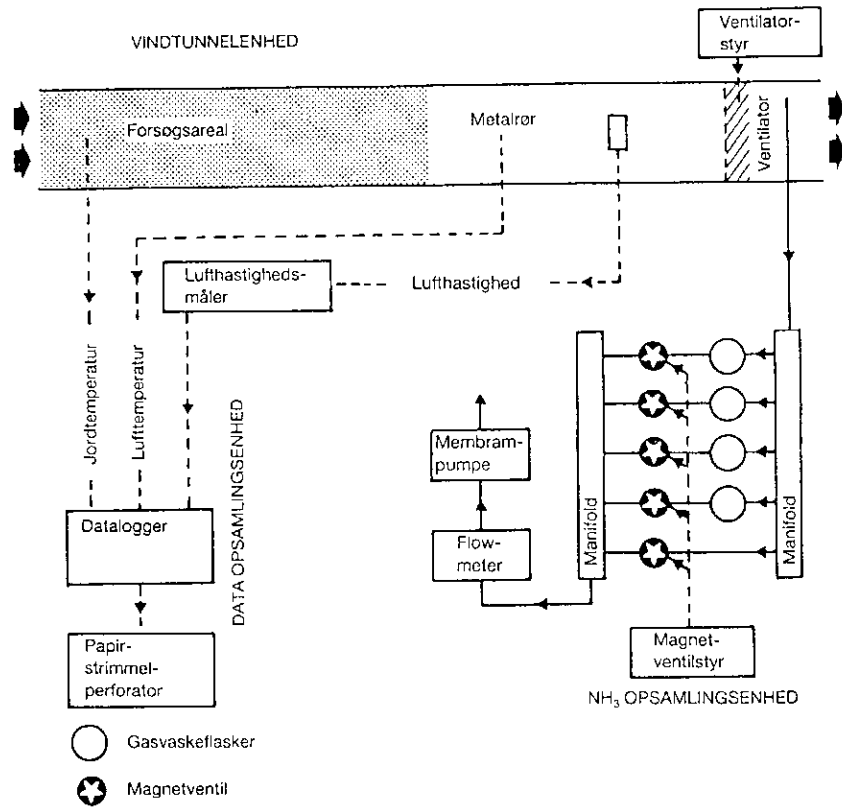
2.2 Måling af ammoniaktab fra udbragt gødning

Vindtunnelsystemet

Der blev benyttet fire vindtunneler til måling af ammoniakfordampningen. En blev benyttet til måling af ammoniakindholdet i luft fra et ubehandlet areal og tre til måling af forsøgsbehandlinger.

2.2.1 Vindtunnelen. Hver vindtunnel består af et metalrør med en ventilator (Figur 1), der skaber en luft-

strøm gennem en omvendt u-formet tunnelenhed. Denne er udført i klar polycarbonatplade og dækker forsøgsarealet (0,5 x 2 m²).



Figur 1.

Skematisk beskrivelse af vindtunnelsystemet, der består af en dataopsamlingsenhed, 4 ammoniakopsamlingsenheder og 4 vindtunnelenheder.

Ventilatoren blev drevet af en 3-faset aksialmotor indtil september 1988. For at kunne bestemme ammoniaktab ved vindhastigheder på under 4 m s⁻¹, blev vekselstrømsmotoren derefter ombyttet med en jævnstrømsmotor.

Klimamålinger i
vindhunnelen

2.2.2 Klimamåling og dataopsamling. I metalrøret måles vindhastigheden med vindturbiner og lufttemperatur med termocoupleelement. Signalerne fra vindturbinerne ledes til en aflæselig signalkonverter og derfra til datalogger. Derved er det muligt at justere vindhastigheden i metalrøret til forud valgte niveauer. Signalerne fra temperaturfølerne og vindhastighedsmålerne lagres som

timemiddelværdier på dataloggeren.

Ammoniakmålinger

2.2.3 Bestemmelse af luftens ammoniakkoncentration. Efter ventilatoren, men inden luften forlader metalrøret, udtages i 6 punkter delprøver af luftstrømmen med en membranpumpe. Luften suges (5 l min^{-1}) gennem en 100 ml gasvaskeflaske indeholdende 50 ml 0,005 M H_3PO_4 , hvori ammoniak absorberes. Ammoniumkoncentrationen i fosforsyreopløsningen bestemmes ved en Berthelot reaktion og spektrofotometri. Hver tunnel er forsynet med fire gasvaskeflasker. Med et programmerbart styresystem til magnetventiler skiftes automatisk mellem gasvaskeflaskerne. Derved kan ammoniaktabet opdeles på fire forud fastlagte tidsrum.

Beregning af ammoniakfordampning

2.2.4 Beregning af ammoniakfordampning. Fordampningen af ammoniak blev beregnet med følgende ligning:

$J(\text{time}) = K \times A \times U (\text{NH}_3, \text{ fs.} - \text{NH}_3\text{ref.})$, hvor

$J(\text{time}) =$ Ammoniak-fordampning, $\text{g NH}_3\text{-N time}^{-1}$.

$K =$ Omregningskonstant, 3600 s time^{-1} .

$A =$ Metalrørets tværsnitsareal, m^2 .

$U =$ Vindhastighed, m s^{-1} .

$\text{NH}_3, \text{ fs.} =$ Atmosfærisk ammoniakkoncentration fra forsøgsareal, $\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$.

$\text{NH}_3, \text{ ref.} =$ Atmosfærisk ammoniakkoncentration fra ubehandlet areal (reference), $\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$.

Ved denne beregning fratrækkes ammoniakindholdet i luft fra det ubehandlede areal (referencetunnelen), hvorved nettofordampningen fra de behandlede forsøgsarealer bestemmes. Da genfindelsesprocenten ved målingerne er 74 pct., er de målte værdier justeret med en faktor 100/74 (Christensen & Sommer, 1989).

Fordampningen er opgjort som ammoniak fordampet i procent af udbragt ammonium. Derved muliggøres en sammenligning af ammoniaktabet fra forskellige gødningstyper uden hensyntagen til forskelle i ammoniumindholdet (Brunke et al., 1988).

3. RESULTATER OG DISKUSSION

3.1 Tab ved udspredning af gylle

I perioden 12. oktober 1988 til 13. juni 1989 blev der gennemført 6 undersøgelser af ammoniakfordampningen ved udspredning af gylle. Der blev anvendt to gyllespredere med henholdsvis lavt siddende spredeaggregat og stor spredelængde og højt siddende spredeaggregat og lille spredelængde. Gennemsnitstemperaturen var fra 3 til 23°C og vindhastigheden fra 2,5 til 6,7 m s⁻¹. I forsøgene blev der udbragt kvæggylle i mængder svarende til 27 til 41 tons ha⁻¹. Gyllens pH var 7,4-7,9 og ammoniumindhold (ammoniak + ammonium) 0,226-0,259 pct.

Udspredningstab
var < 4 pct. af am-
moniumindholdet

Ammoniakfordampningen under udbringning af gylle var mellem 1 og 4 pct. af den udbragte ammonium (Tabel 1). Der var ikke målelig forskel på fordampningen ved udbringning med de to forskellige gyllespredere. Endvidere var tabene uafhængige af temperaturen. Resultaterne må tilskrives, at gyllens opholdstid i luften er så kortvarig, at eventuelle forskelle i fordampningen ikke er målelig med den her anvendte metode.

Ammoniakfordampningen bestemt ved differensmetoden omfatter tabet under selve spredningen og tabet, mens gyllen ligger i opsamlingsbeholderen. Eventuelle tab ved vinddrift af aerosoler bestemmes ikke. De ringe tab i juni 1989 (Tabel 1), hvor temperaturen var høj (23,2°C) skyldes formodentlig, at overførslen af gyllen til bægrene skete hurtigere end i de øvrige forsøg. Forskelle i henliggetid i opsamlingsbeholderen kan således medføre forskelle i de målte tab. Ved henliggetid på 20 minutter er der målt tab på over 10 pct. af ammoniumindholdet (Besson et al., 1986). Ved direkte målinger var den målte ammoniakfordampning mindre end 1 pct. af den udbragte ammonium (Pain et al., 1989).

Tabel 1. Ammoniaktab ved udspredning af kvæggylle.

Tidspunkt	---Gylle---		Vindhastighed m s ⁻¹	Temp. °C	NH ₃ -tab, pct. af NH ₄ ⁺ -indh.	
	pH	NH ₄ -N				
Okt. 1988	1	7,9	0,23	6,7	9,6	3
	2	7,9	0,23	6,7	9,6	4
Dec. 1988	1	7,4	0,25	3,5	3,9	1
Feb. 1989	2	7,6	0,26	2,5	2,5	2
Maj 1989	2	7,7	0,26	2,6	11,2	4
Juni 1989	2	7,8	0,26	3,5	23,2	2

3.2 Tab fra handelsgødning

Handelsgødning

Når urea blev udbragt på tør jord og ikke blev vandet var ammoniakfordampningen lav ved forsøgets start (Figur 2A) i forhold til fordampningen under lignende temperaturforhold (Figur 2B), hvor jorden var fugtig ved forsøgets start. Ved udbringning af urea på fugtig jord fremmes hydrolysen, og dermed ammoniakfordampningen (McInnes et al., 1986; Hoult & McGarity, 1987).

Tabet var ringe om vinteren

I februar 1988 registreredes de største fordampningshastigheder efter 3 døgn (Figur 2C), mens de største

Figur 2.

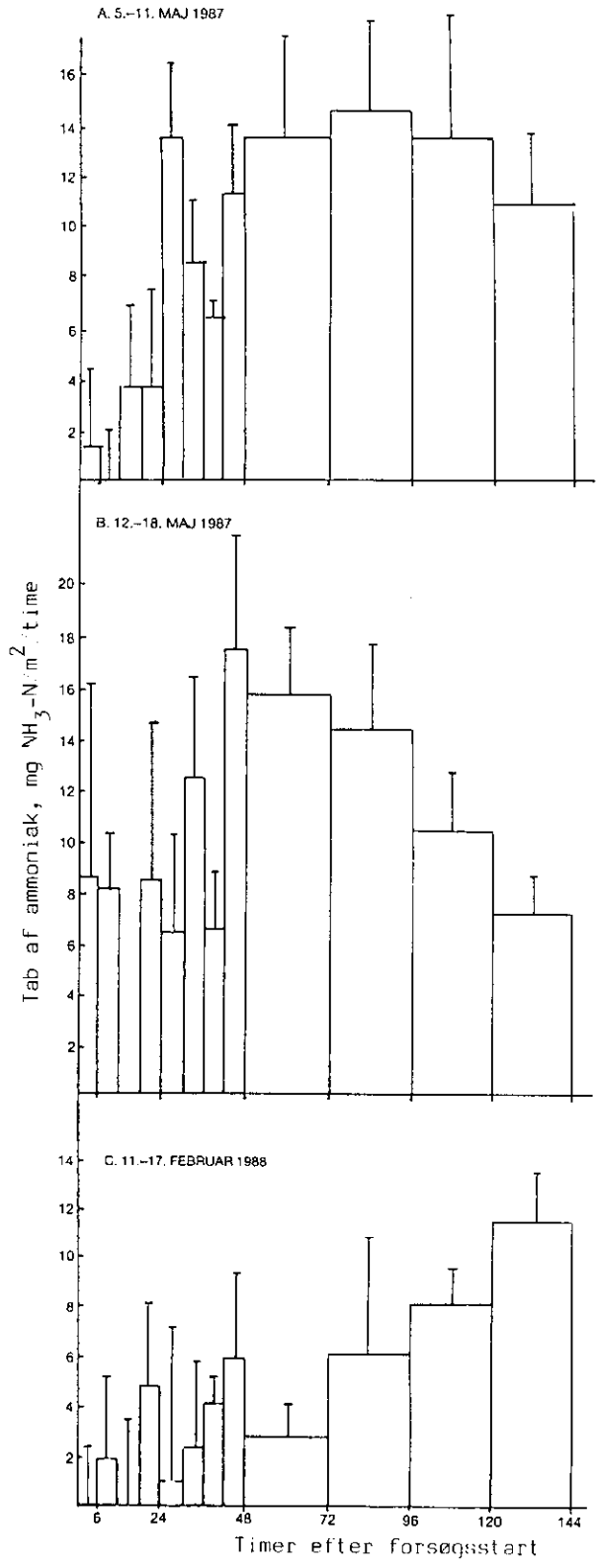
Fordampning af ammoniak fra urea (10 g N m⁻²).

A: På 30 cm høj vinterhvede. Luftens gennemsnitstemperatur 8,0°C, vindhastighed i metalrøret 4,5 m s⁻¹ og jorden var tør ved forsøgsstart.

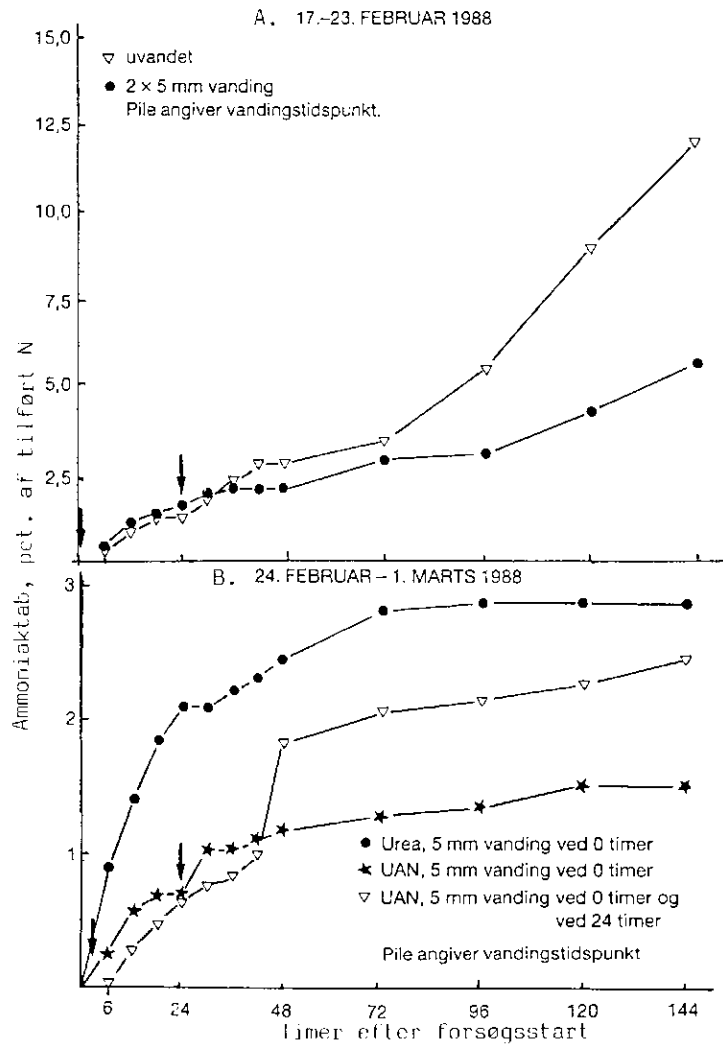
B: På 35 cm høj vinterhvede. Luftens gennemsnitstemperatur 6,5°C, vindhastighed i metalrøret 4,5 m s⁻¹ og jorden var fugtig ved forsøgsstart. Vanding med 10 mm efter 24 timer.

C: På < 10 cm høj vinterrug. Luftens gennemsnitstemperatur 2,8°C, vindhastighed i metalrøret 6,4 m s⁻¹ og jorden var tør ved forsøgsstart. Lodrette pinde angiver 1 s.d. (n=3).

"Figur 2 (forklaring se foregående side)."



tabshastigheder i maj 1987 blev målt efter 1-2 døgn (Figur 2A). De lavere temperaturer om vinteren har således begrænset hydrolysen og dermed ammoniaktabet. I februar 1988 og maj 1987 fordampede i løbet af 6 døgn 3-10 pct. af den tilførte N-mængde fra urea i de for-



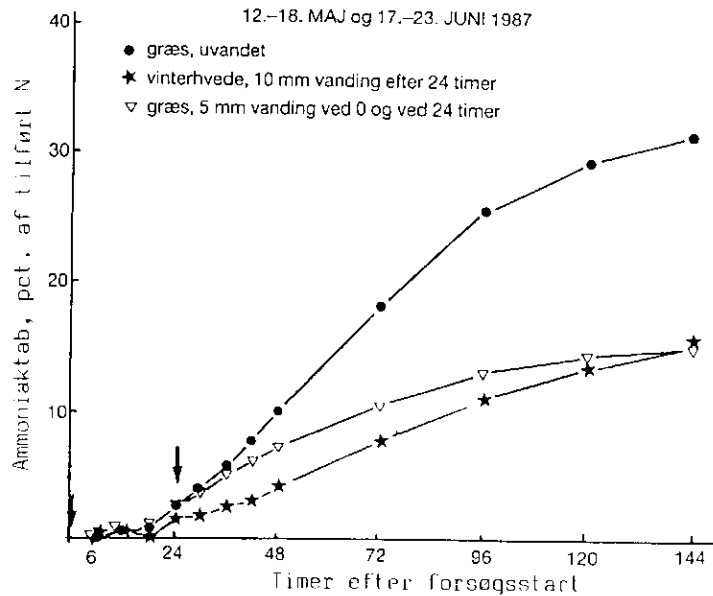
Figur 3.

Akkumuleret ammoniaktab fra urea (10 g N m^{-2}) og UAN ($12,5 \text{ g N m}^{-2}$) udbragt på vinterrug ($< 10 \text{ cm}$ høj).

A: Luftens gennemsnitstemperatur $8,5^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,3 \text{ m s}^{-1}$ og jorden var fugtig ved forsøgsstart.

B: Luftens gennemsnitstemperatur 0°C , vindhastighed i metalrøret $5,5 \text{ m s}^{-1}$ og jorden var fugtig ved forsøgsstart.

søg, der blev vandet (Figur 3A). I juni 1987 blev der over en 6 døgns periode målt tab på 30 pct. af den udbragte N fra urea i uvandede forsøg (Figur 4).



Figur 4.

Akkumuleret ammoniaktab fra urea udbragt på vinterhvede (35 cm høj) d. 12. maj 1987 (10 g N m^{-2}) og på græs efter slæt d. 17. juni 1987 (15 g N m^{-2}).

Den 12.-18. maj 1987: Luftens gennemsnitstemperatur $6,5^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,5 \text{ m s}^{-1}$ og jorden var fugtig ved forsøgsstart.

Den 17.-23. juni 1987: Luftens gennemsnitstemperatur $8,6^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,3 \text{ m s}^{-1}$ og jorden var tør ved forsøgsstart.

Nitrat bidrog til forsuring og mindskede tabet

Fordampningen af ammoniak fra urea-ammonium-nitrat (UAN) var lavere end fra urea (Figur 3B). Tilstedeværelse af nitrat i UAN-gødningen medfører, at pH falder til lavere niveauer i UAN- end i ureagødet jord som følge af salpetersyredannelse (Black et al., 1985). Endvidere blev UAN tilført som væske i modsætning til urea, der var på fast form.

Vanding mindsker tab fra urea

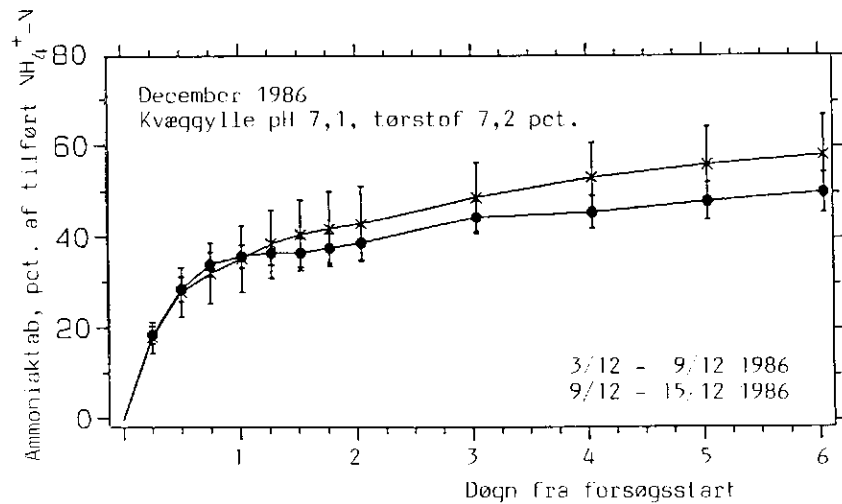
Ved vanding med 5 og 10 mm (Figur 3 og 4) blev ammoniakfordampningen fra urea nedsat, men vandingsmængden har ikke været tilstrækkelig til at bringe fordampnin-

gen til ophør. Det er vist, at efter vanding med mere end 20 mm ophører ammoniakfordampningen fra urea (Bouwmester et al., 1985; Ferguson et al., 1988). Efter 6 døgn var ammoniakfordampningen den samme, uanset om der blev vandet med 10 mm efter et døgn eller der blev vandet med 5 mm ved forsøgets start og 5 mm efter et døgn (Figur 4).

3.3 Tab fra gylle på jordoverfladen

Tabshastigheden aftager med tiden

Før gylle efterladt på jordoverfladen fandtes de største ammoniaktabs-rater det første døgn efter udbringning, hvorefter hastigheden af fordampningen mindskedes (Figur 5). I løbet af det første døgn efter udbringning af gylle på jordoverfladen fordamper således typisk mere end halvdelen af den ammoniak, der tabes i løbet af 6 døgn. Det samme mønster blev fundet af Pain et al. (1989) og Thompson et al. (1987).

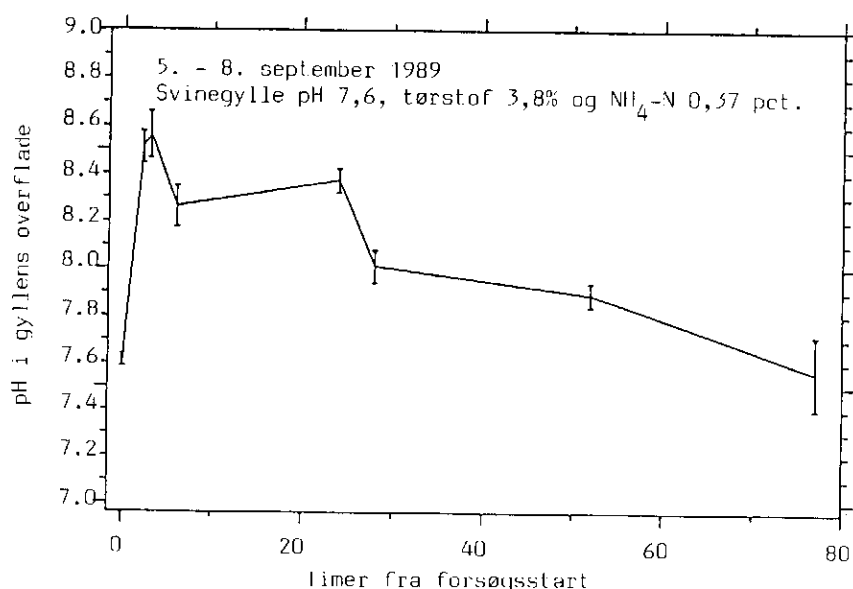


Figur 5.

Ammoniaktab fra kvæggylle (3 l m^{-2}) udbragt på kløvergræs i 2 forsøg, der er gennemført i 2 perioder med ensartet vejrforhold. Luftens gennemsnitstemperatur $3-6^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $5,0-6,2 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $0,1-1,5 \text{ mbar}$. Lodrette pinde angiver 1 s.d. ($n=3$).

pH i gylleoverfladen Hastigheden hvormed ammoniak fordamper afhænger af koncentrationen af ammoniak ved overfladen af gyllen. Ammoniakkoncentrationen stiger ved stigende pH i gyllen. Imidlertid vil pH i gyllen falde som følge af ammoniakfordampning, såfremt der ikke sker proton forbrugende processer. I gylle er bicarbonat den eneste betydende forbindelse, der kan forbruge protoner, idet bicarbonaten kan dissocieres til kuldioxid og vand, og kuldioxiden kan fordampe fra opløsningen (Fordham & Schwerdman, 1977).

Umiddelbart efter udbringning af gylle stiger pH (Figur 6), som følge af afgasningen af kuldioxid. Det høje pH medfører, at potentialet for ammoniakfordampning efter udbringning er stort. Som følge af protonproduktionen ved ammoniakfordampning falder gyllens pH derpå gradvist. Dette fald, nedsivning af ammonium i jorden og udtørring af gødningen med skorpedannelse til følge medfører en reduktion i hastigheden af ammoniaktabet med tiden (Thompson et al., 1987).



Figur 6.

pH i overfladen af svinegylle (3 l m^{-2}) udbragt på harvet jord. Luftens gennemsnitstemperatur var $13,0^\circ\text{C}$.

Ammoniakfordampningen fra udbragt gødning stiger lineært med stigende ammonium koncentrationer i gødningen, såfremt alt andet er lige (Brunke et al., 1988). Effekten af forskellige ammoniumkoncentrationer ved udbringning af forskellige gødningstyper, kan derfor elimineres ved at opgøre ammoniaktabet i pct. af udbragt ammonium, sådan som det er gjort i denne rapport.

3.4 Tab fra udbragt husdyrgødning

39 forsøg med svinegylle med vidt forskellig sammensætning

I den første forsøgsserie blev det undersøgt hvilke parametre, der var af overordnet betydning for ammoniakfordampningen. Fra oktober 1986 til juni 1988 gennemførtes 39 forsøg med forskellige typer svinegylle. Som gennemsnit for forsøgene varierede lufttemperaturerne fra -2 til 16°C. Der blev udbragt svinegylle med pH fra 6,4 til 7,7, tørstofindhold 0,7 til 7,9 pct. og ammoniumindhold (ammoniak + ammonium) fra 0,18 til 0,56 pct.

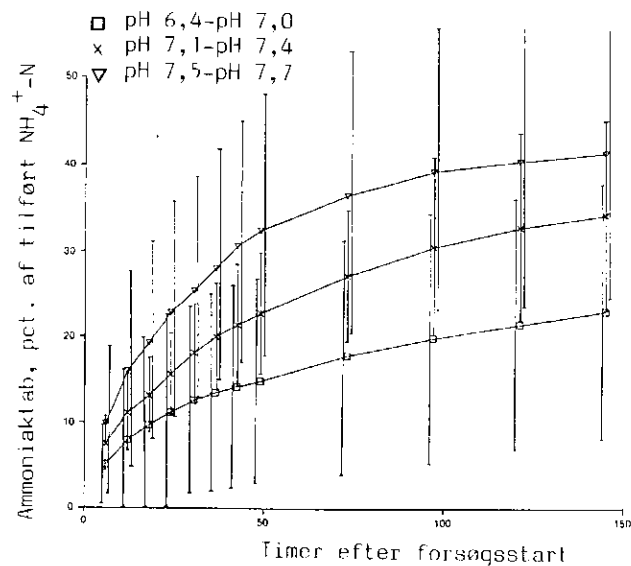
Forsøg med behandlet gylle

Endvidere undersøgtes ammoniaktabet fra fast gødning og fra gylle forarbejdet i biogasanlæg eller separeret ved mekanisk filtrering. Der blev benyttet væske- og fiberfraktionen af mekanisk filtreret, afgasset gylle, hønsegylle, kvæggylle og svinegylle. Desuden indgik filtreret afgasset gylle, fast kvæggødning og fast svinegødning. Den udbragte gødning havde pH fra 7,0 til 8,6, tørstofindholdet fra 0,9 til 22 pct. og et ammoniumindhold fra 0,11 til 0,61 pct. Der gennemførtes 6 forsøg med nedfældet gylle og 2 forsøg hvor fast svinegødning blev nedharvet. I 2 forsøg med udbringning af fast svinegødning blev der vandet med henholdsvis 5 eller 10 mm vand efter 0, 24, 48 og 72 timers henliggetid, svarende til ialt 20 eller 40 mm vand.

Ved stigende pH steg tabet

3.4.1 Effekt af pH. Figur 7 viser den gennemsnitlige akkumulerede ammoniakfordampning fra svinegylle med pH i intervallerne 6,4-7,0, 7,1-7,4 og 7,5-7,7. Kurverne er gennemsnit af 31 forsøg. Den betydelig spredning på middelværdierne skyldes vekselvirkning med temperatur og gyllens tørstofindhold. Det fremgår, at ammoniakfor-

dampningen er væsentlig lavere fra svinegylle med lavt pH end fra svinegylle med højt pH. Det ses endvidere, at allerede efter 6 timer er ammoniaktabs-hastigheden væsentlig højere ved højt end ved lavt pH.



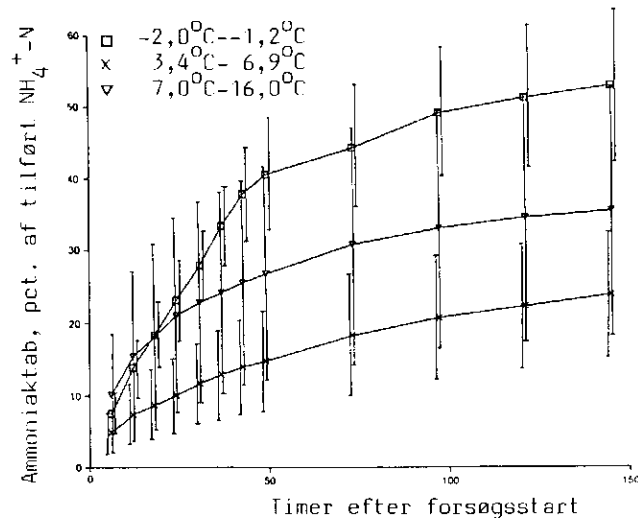
Figur 7.

Gennemsnitlig akkumuleret ammoniaktab fra svinegylle (3 l m^{-2}) med pH i intervallerne 6,6-7,0, 7,1-7,4 og 7,5-7,7 ($n=31$). I de enkelte forsøg var luftens gennemsnitstemperatur -2 - 16°C , vindhastighed i metalrøret $4,0$ - $6,3 \text{ m s}^{-1}$.

Såfremt pH i gyllen justeres til under 7, vil ammoniaktabet i løbet af 6 døgn kunne begrænses til mindre end 20 pct. af det udbragte ammonium (Figur 7). Ammoniaktabet er blevet reduceret med 30 pct. i et forsøg, hvor gyllens pH ved hjælp af svovlsyre blev justeret til 5,5 (Pain et al., 1990).

Mindst tab ved 3 - 7°C

3.4.2 Effekt af temperatur. Figur 8 viser den akkumulerede ammoniakfordampning ved -2 til $-1,2^\circ\text{C}$, $3,4$ til $6,9^\circ\text{C}$ og 7 til 16°C . De største tab over 6 døgn skete ved temperaturer omkring frysepunktet. De første 12 timer var hastigheden af ammoniakfordampningen størst ved temperaturer over 7°C . Ved temperaturer mellem 3 og 7°C var tabet af ammoniak over 6 døgn mindst.



Figur 8.

Gennemsnitlig akkumuleret ammoniaktab fra svinegylle (3 l m^{-2}) udbragt i perioder, hvor gennemsnitstemperaturen var $-2,0$ til $-1,2^\circ\text{C}$, $3,4$ til $6,9^\circ\text{C}$ og $7,0$ til $16,0^\circ\text{C}$ ($n=31$). Vindhastighed i metalrøret varierede mellem $4,0$ og $6,3 \text{ m s}^{-1}$.

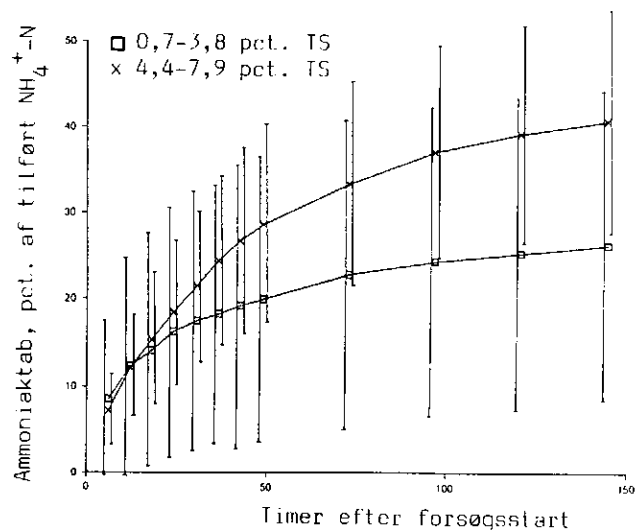
Store tab fra gylle om vinteren

De store tab ved temperaturer omkring frysepunktet skyldes formentlig, at ammonium ikke kan sive ned i jorden og adsorberes, fordi jorden om vinteren både har et højt vandindhold og periodevis er frossen (Holzer et al., 1987). Langsom dannelse af is i gyllen kan endvidere medføre en koncentrering af salte i den ikke frosne fraktion, hvilket også vil øge fordampningen af ammoniak (Lauer et al., 1976). Store tab af ammoniak i vinterperioden er også påvist i undersøgelser med kvæggylle (Thompson et al., 1987).

Ved temperaturer over frysepunktet var ammoniaktabet størst ved de høje temperaturer. Det skyldes en øget hastighed af de fysisk-kemiske processer, der har indflydelse på ammoniakfordampningen (Farquhar et al., 1980). Ammoniaktabet ved effektiv nedbringning efter 12 timer vil være mindre end 10 pct. af det udbragte ammonium ved temperaturer fra 5 til 7°C . Ved temperaturer derover vil tabet være omtrent dobbelt så stort.

Størst tab ved højt
tørstofindhold

3.4.3 Effekt af tørstof. Figur 9 viser den gennemsnitlige akkumulerede ammoniakfordampning fra svinegyلة med tørstofindhold fra 0,7 til 3,8 pct. og 4,4 til 7,9 pct. Ammoniakfordampningen er mindst fra svinegyلة med lavt tørstofindhold, men spredningen er stor. Ved højt tørstofindhold er spredningen lidt mindre, formentlig fordi vekselvirkning med pH og temperatur aftager med stigende tørstofindhold.



Figur 9.

Gennemsnitlig akkumuleret ammoniektab fra svinegyلة (3 l m^{-2}) med tørstofindhold 0,7-3,8 pct. og 4,4-7,9 pct. Luftens gennemsnitstemperatur -2 til 16°C , vindhastighed i metalrøret $4,0$ - $6,3 \text{ m s}^{-1}$ ($n=31$).

Den store ammoniakfordampning ved høje tørstofindhold skyldes formentlig, at nedsivningen af ammonium bliver hæmmet. I jorden fastholdes ammonium, hvorved ammoniakfordampningen mindskes. Hvis gylle som følge af et højt tørstofindhold forbliver på jordoverfladen eller klæber til afgrøderne, vil fordampningen af vand medføre en opkoncentrering af ammonium, hvorved fordampningen af ammoniak fremmes. Denne effekt vil især forventes at være markant hvis gylle udbringes på en veludviklet afgrøde, hvor en stor del af partiklerne klæber til bladens overflade. Derved øges overfladen, hvorfra der sker ammoniakfordampning (Donovan & Logan, 1983).

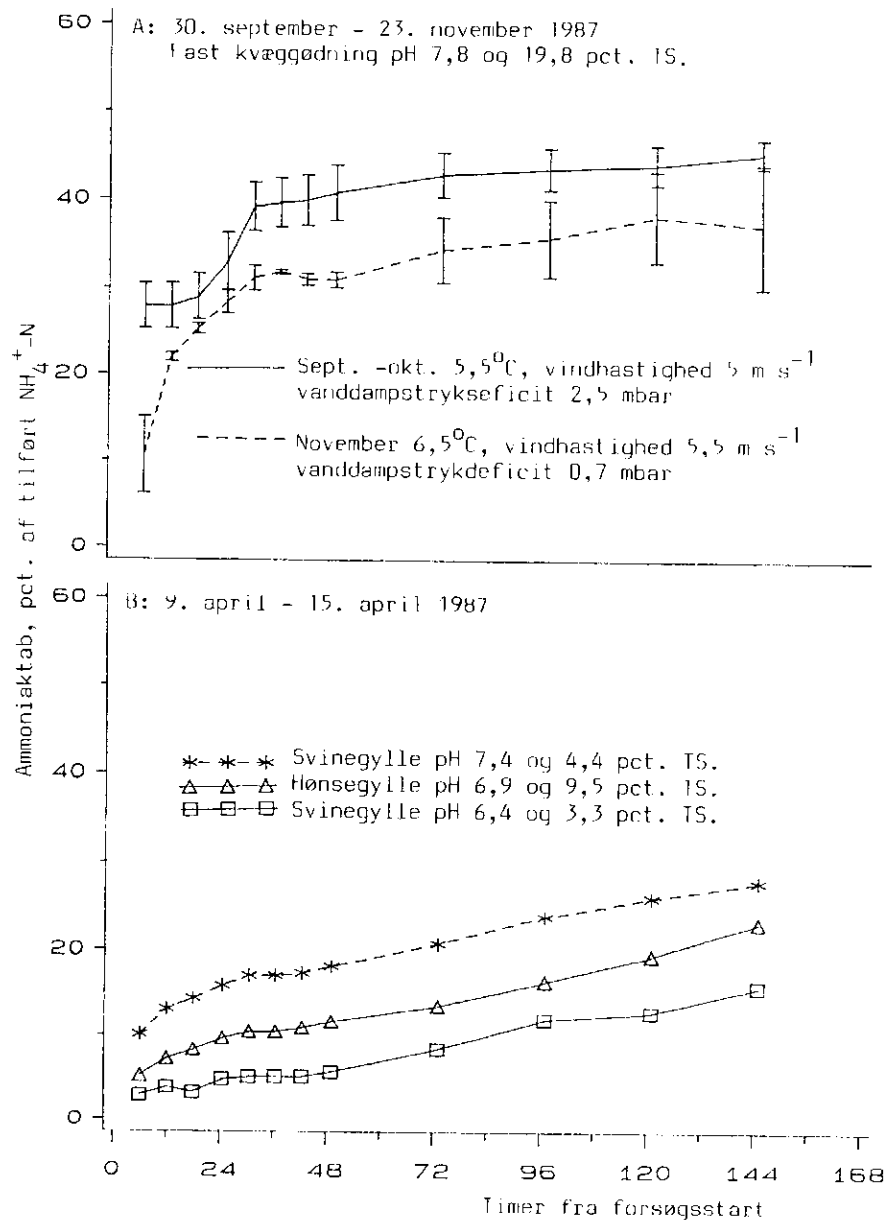
Ammoniaktab fra
fast kvæggødning

3.4.4 Tab fra fast kvæggødning og hønsegylle. Ammoniaktabet fra fast kvæggødning på jordoverfladen aftager med tiden i et forløb svarende til tabet fra kvæg- og svinegylle (Figur 10A). Der fordampede i gennemsnit 45 pct. af den tilførte ammonium i oktober og 37 pct. i november 1987. Der var ikke stor forskel på temperaturen i de to måneder. Det er derfor sandsynligt, at den lavere luftfugtighed (højt vanddampstrykdeficit) i oktober har medført de større ammoniaktab. Tabet af ammoniak fra fast kvæggødning efter 6 døgn var halvt så stort som tabet fra filtreret kvæggylle med samme tørstofindhold.

Fra hønsegylle var
tabet på niveau med
tabet fra svinegylle

Ammoniaktabet fra hønsegylle blev sammenlignet med tabet fra to forskellige typer af svinegylle (Figur 10B). Fra de to typer svinegylle var ammoniaktabet i løbet af 6 døgn 16 og 28 pct. af den udbragte ammonium. Ammoniaktabet fra hønsegyllen lå på et niveau mellem tabet fra de to typer svinegylle. Det laveste tab stammede fra svinegyllen med et lavere tørstofindhold og et væsentlig lavere pH end hønsegyllen. Det største tab var fra svinegyllen med lavt tørstofindhold men med højt pH. Ammoniakfordampningen var generelt lav i disse forsøg, som følge af lave temperaturer (uden frost) og en høj luftfugtighed (lavt vanddampstrykdeficit).

Ammoniaktabs-raterne fra hønsegylle er således på niveau med tabet fra svinegylle. Forskellene kan henføres til forskelle i gyllens sammensætning bestemt ved standardanalyser. Lignende konklusion kan drages af forsøg af Lockyer et al. (1989). Disse har endvidere vist, at tørring af hønsegylle kan begrænse ammoniaktabet i stalden og ved udbringning, sandsynligvis fordi tørring har begrænset omsætning af urinsyre.



Figur 10.

Akkumuleret ammoniaktab fra fast kvæggødning (3 kg m⁻², vådvægt), svinegylle (3 l m⁻²) og høsegylle (2,5 l m⁻²).

A: Fast kvæggødning.

B: Luftens gennemsnitstemperatur 3,0°C, vindhastighed i metalrøret 5,2 m s⁻¹ og vanddampstrykdeficit 0,6 mbar.

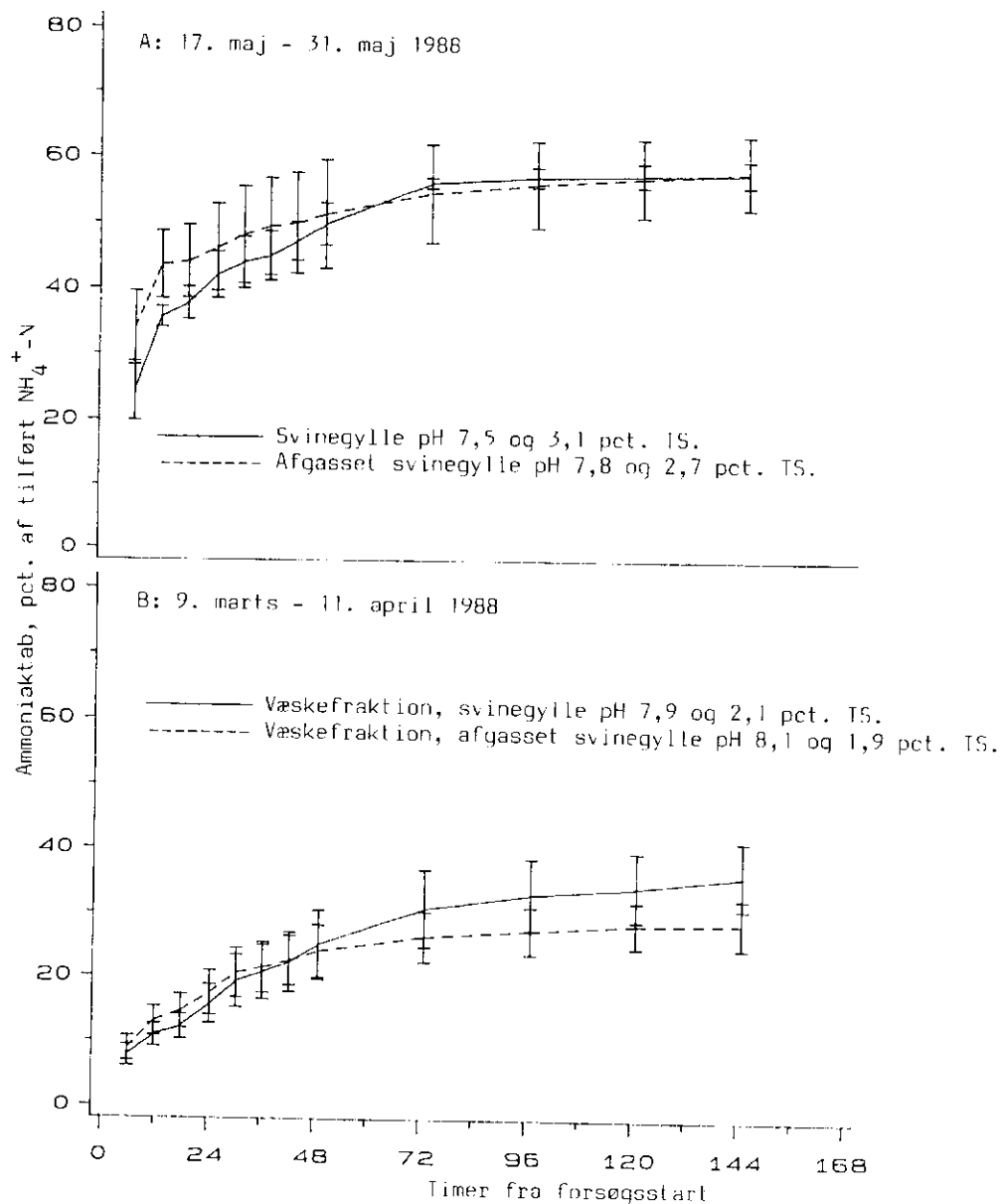
Samme tab fra ubehandlet og afgasset gylle

3.4.5 Tab fra gylle afgasset i biogasanlæg. Ammoniakfordampningen fra afgasset og ubehandlet svinegylle blev undersøgt i to på hinanden følgende perioder i maj 1988 (Figur 11A). Det akkumulerede ammoniaktab var stort set det samme i de to perioder. Indholdet af ammonium og total-N var ens i de to gylle-typer. I den ubehandlede svinegylle var pH lidt lavere og tørstofindholdet lidt højere end i den afgassede svinegylle.

Ammoniakfordampningen fra væskefraktionen af mekanisk filtreret afgasset og ubehandlet svinegylle blev undersøgt i fire perioder i marts og april 1988 (Figur 11B). Undersøgelsen viste, at der ikke var forskel på ammoniaktabet i procent af gyllens ammoniumindhold ved udbringning af væskefraktionen af henholdsvis ubehandlet og afgasset gylle. Sammensætningen af væskefraktionen af henholdsvis afgasset gylle og af ubehandlet gylle er næsten ens. Den afgassede gylles væskefraktion har således et lidt højere pH end den ubehandlede gylles væskefraktion. Tilsyneladende er effekten på ammoniaktabet af det lidt højere pH i væskefraktionen af den afgassede gylle blevet modvirket af et lavere tørstofindhold.

Ammoniaktab fra væskefraktionen var lavt

Omsætning af organiske forbindelser ved afgasning af gylle i biogasanlæg påvirker således ikke ammoniakfordampningen efter udbringning. Behandling i form af filtrering har imidlertid en effekt på ammoniakfordampningen, idet tabet fra væskefraktionen er mindre end fra den ubehandlede gylle (Figur 11A og 11B).



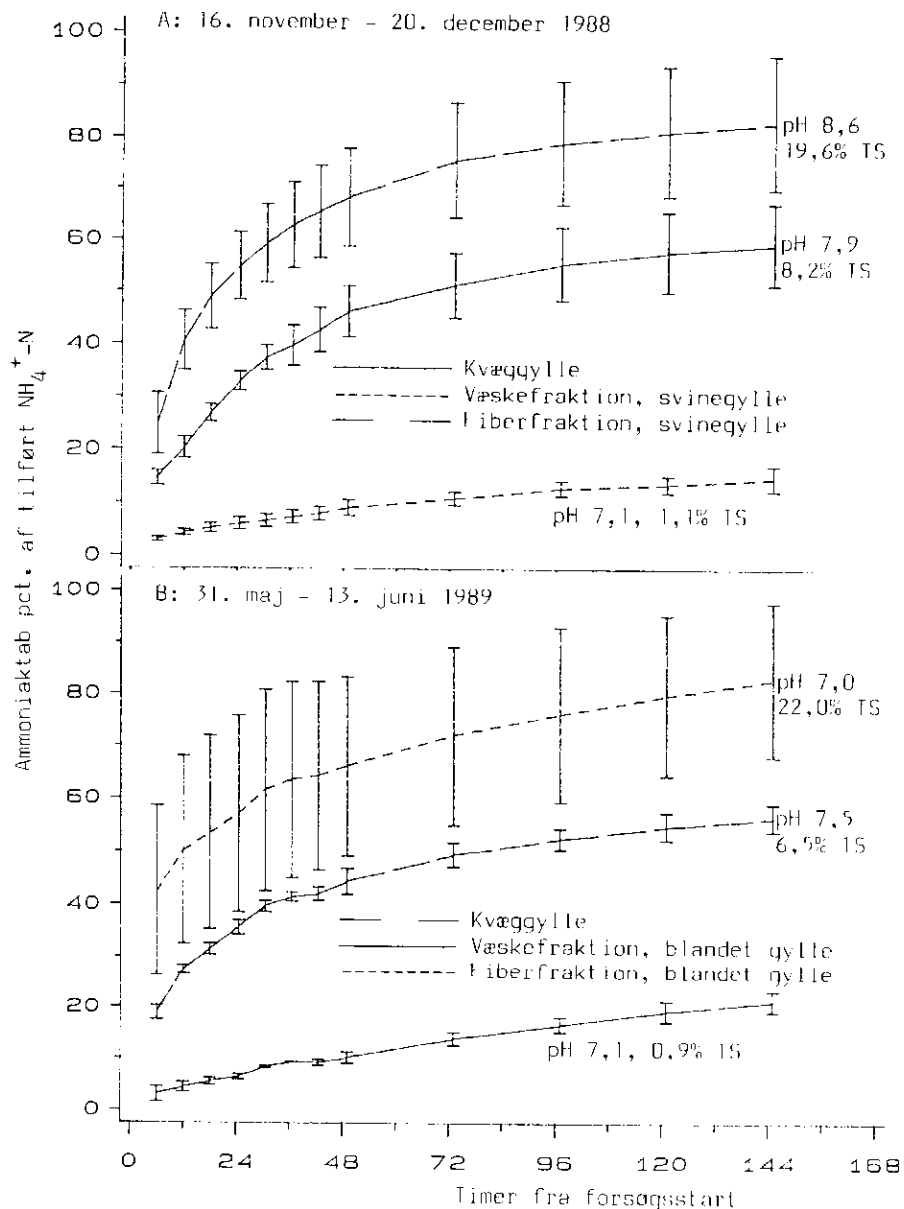
Figur 11.

Akkumuleret ammoniaktab fra svinegylle og afgasset svinegylle, samt væskefraktionen af svinegylle og afgasset svinegylle (3 l m^{-2}). A: Luftens gennemsnitstemperatur $8,1-17,4^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,3-5,1 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $1,1-2,7 \text{ mbar}$. B: Luftens gennemsnitstemperatur $1,6-4,6^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,5-4,7 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $0,7-2,0 \text{ mbar}$.

Også i frostvejr var tabet fra væskefraktionen lavt

3.4.6 Tab fra væske- og fiberfraktion af filtreret gylle. I vinteren 1988 og i sommeren 1989 blev ammoniaktabet fra væske og fiberfraktionen af mekanisk separeret gylle sammenlignet med tabet fra ubehandlet kvæggylle (Figur 12). I sommeren 1989 var ammoniaktabet de første timer efter udbringning af fiberfraktionen og kvæggyllen meget større end i vinteren 1988. Sommerens høje temperaturer har således medført, at der de første timer efter udbringning var høje tabshastigheder. Mere end 12 timer efter udbringning af fiberfraktionen og af kvæggyllen faldt tabshastigheden meget. I modsætning hertil var tabshastighederne i vinteren 1988 lave umiddelbart efter udbringning. Med tiden aftog tabshastigheden imidlertid ikke i samme grad om vinteren som om sommeren, hvorfor det akkumulerede tab efter 6 døgn var det samme sommer og vinter for fiberfraktionen og kvæggyllen. Ammoniaktabet fra den udbragte væskefraktion var ringe både sommeren 1989 og vinteren 1988 (Figur 12). Ved forsøgene i vinteren 1988 havde jorden et højt vandindhold, og der var perioder med frost, hvilket kan have medvirket til de store tab fra fiberfraktionen og kvæggyllen. Frostperioderne har ikke haft samme indvirkning på tabet fra væskefraktionen, sandsynligvis fordi væskefraktionen i dagtimerne efter udbringning har kunnet sive ned i jorden.

Efter 6 døgn var ammoniaktabet fra væskefraktionen 10-20 pct. af ammoniumindholdet ved udbringning i vinteren 1988 og 19-23 pct. ved udbringning i sommeren 1989. Fra fiberfraktionen var de gennemsnitlige tab for begge perioder godt 80 pct. Ammoniaktabet fra fiberfraktionen var væsentligt større end tabet fra kvæggyllen og tabet fra væskefraktionen mindre. Undersøgelsen viser således, at ammoniaktabet er stort ved højt tørstofindhold, mens tabet fra gødninger med lavt tørstofindhold er ringe.

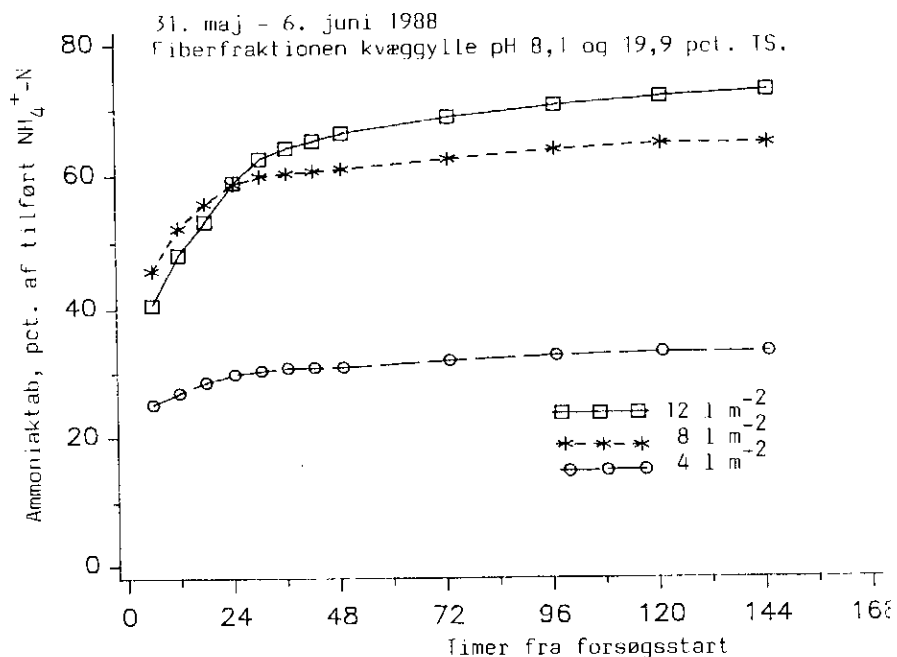


Figur 12.

Akkumuleret ammoniaktab fra ubehandlet kvæggylle, væskefraktionen af svinegylle og blandet gylle (3 l m^{-2}) samt tab fra fiberfraktion (3 kg m^{-2} , vådvægt). A: Luftens gennemsnitstemperatur $1,3\text{-}5,5^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $3,3\text{-}3,8 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $0,7 \text{ mbar}$. B: Luftens gennemsnitstemperatur $8,7\text{-}11,4^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $3,4\text{-}3,7 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $2,7\text{-}4,2 \text{ mbar}$.

Tabet steg ved stigende mængder fiberfraktion

3.4.7 Effekt af stigende mængder gødning pr. ha. Ved udbringning af 80 og 120 t fiberfraktion pr. ha var tabet 60-70 pct. af den udbragte ammonium, hvilket var cirka dobbelt så meget som ved udbringning af 40 t fiberfraktion pr. ha (Figur 13). Tabet ved de store tilførsler var efter 6 timer væsentlig større end ved udbringning af 40 t pr. ha. Hastigheden af ammoniakfordampningen faldt 6-12 timer efter udbringning af 40 t pr. ha, 18-24 timer ved udbringning af 80 t pr. ha og 36-42 timer efter udbringning af 120 t pr. ha.



Figur 13.

Akkumuleret ammoniakfordampning fra 4, 8 og 12 kg m⁻² (vådvægt) fiberfraktionen af kvæggylle. Luftens gennemsnitstemperatur var 11,9°C, vindhastighed i metalrøret 4,3 m s⁻¹ og vanddampstrykdeficit 2,2 mbar.

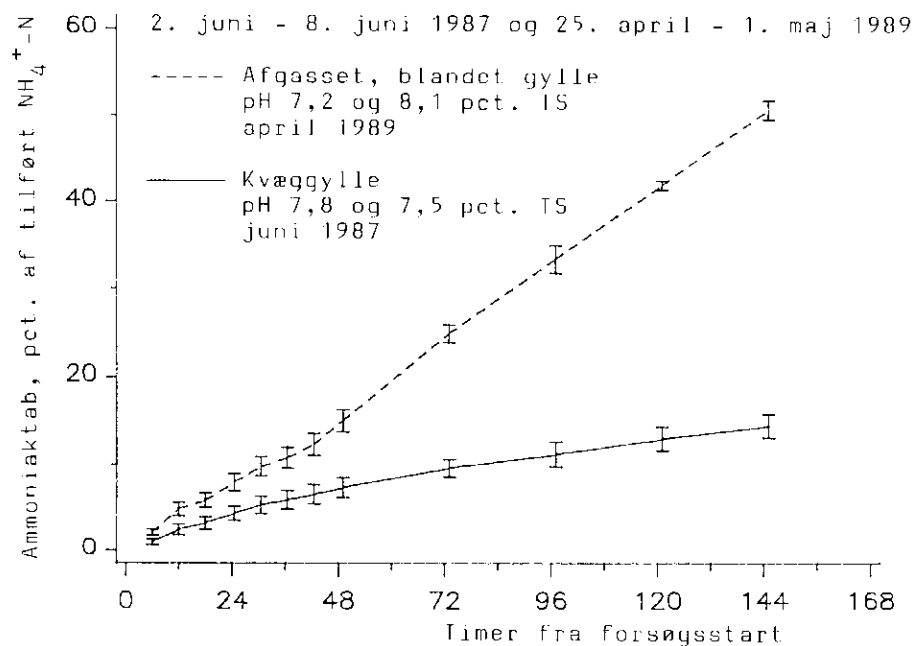
Tilførsel af gyllemængder > 60 t pr. ha reducerede tabet lidt.

I en række tidligere forsøg med svinegylle er det vist at det procentiske ammoniaktab stort set var ens ved udbringning af gyllemængder op til 60 t pr. ha. Ved udbringning af 90 t gylle pr. ha reduceredes tabet med omtrent en fjerdedel. Lockyer et al. (1989) har påvist en tilsvarende tendens.

Nedfældning om sommeren reducerede tabet til < 20 pct.

3.4.8 Effekt af direkte nedfældning og nedharvning.

6 døgn efter nedfældning af kvæggylle var ammoniaktabet i sommeren 1987 mindre end 17 pct. af den udbragte ammonium.



Figur 14.

Akkumuleret ammoniaktab fra direkte nedfældet kvæggylle og biogasgylle (3 l m^{-2}).

Den 2.-8. juni 1987: Luftens gennemsnitstemperatur $10,3^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,6 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $2,3 \text{ mbar}$.

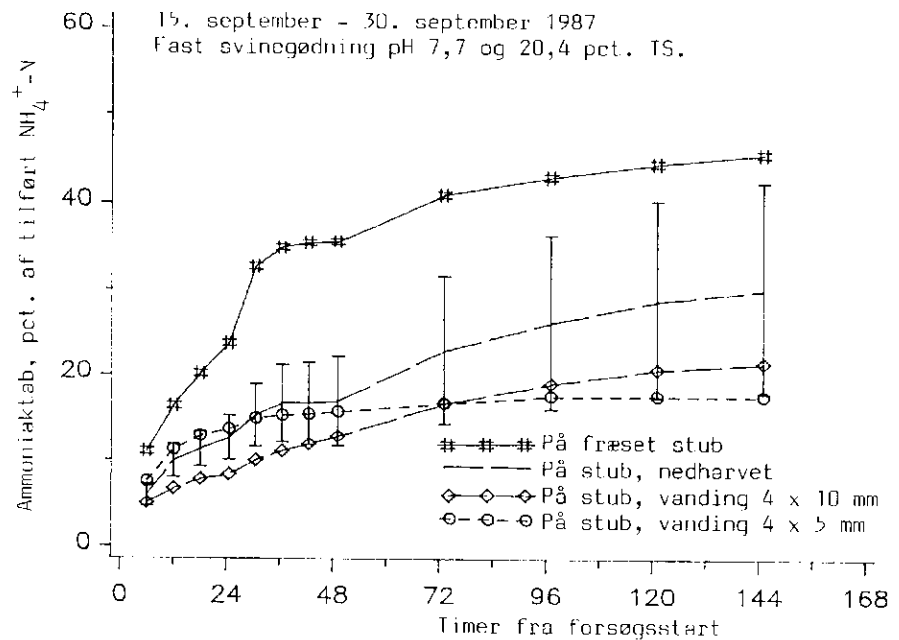
Den 25. april-1. maj 1989: Luftens gennemsnitstemperatur $5,7^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $3,7 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $2,2 \text{ mbar}$.

I et tilsvarende forsøg med biogasgylle i forsommeren 1989 var tabet 49-53 pct. I begge forsøg var tabet lavt ved forsøgets start, hvorefter det akkumulerede tab steg lineært med tiden (Figur 14). Dette forløb afviger væsentlig fra det forløb med aftagende tabshastigheder med tiden efter udlægning af gylle på jordoverfladen. I forsommeren 1989 blev gyllen nedfældet i jord med højt vandindhold efter en periode med megen nedbør. Dette er formentlig årsagen til det store tab af ammoniak efter

6 døgn, idet ammoniaktabet fra jord med et højt indhold af vand er korreleret til fordampningen af vand fra jorden (Adriano et al., 1974; Molloy & Tunney, 1983). Ved udtørring af jorden vil den nedfældede ammonium følge den opadgående vandbevægelse, hvilket vil fremme ammoniaktabet. I sommeren 1987 var jorden tør, idet der ikke var faldet mere end 5-10 mm nedbør i ugerne forud for forsøget.

En god nedharvning reducerede tabet med 70 pct.

Harvning af jorden efter udbringning af fast svinegødning begrænsede i to forsøg ammoniaktabet efter 6 døgn til 26 og 93 pct. af fordampningen fra gødning på overfladen. Et gennemsnit af de to forsøg viser, at det akkumulerede ammoniaktab er jævnt stigende gennem hele forsøgsperioden (Figur 15). Forløbet svarer til ammoniakfordampningen fra gylle nedfældet i våd jord. Adsorption af ammonium til jorden er den faktor, der be-



Figur 15.

Akkumuleret ammoniakfordampning fra fast svinegødning (3 l m^{-2}), vandet eller nedharvet. Luftens gennemsnitstemperatur $10,3^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $4,6-4,8 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $2,0-2,3 \text{ mbar}$.

grænser ammoniaktabet ved nedharvning. De store tab i det ene forsøg må tilskrives en ringere opblanding af fast svinegødning og jord.

Vanding halverede
tabet

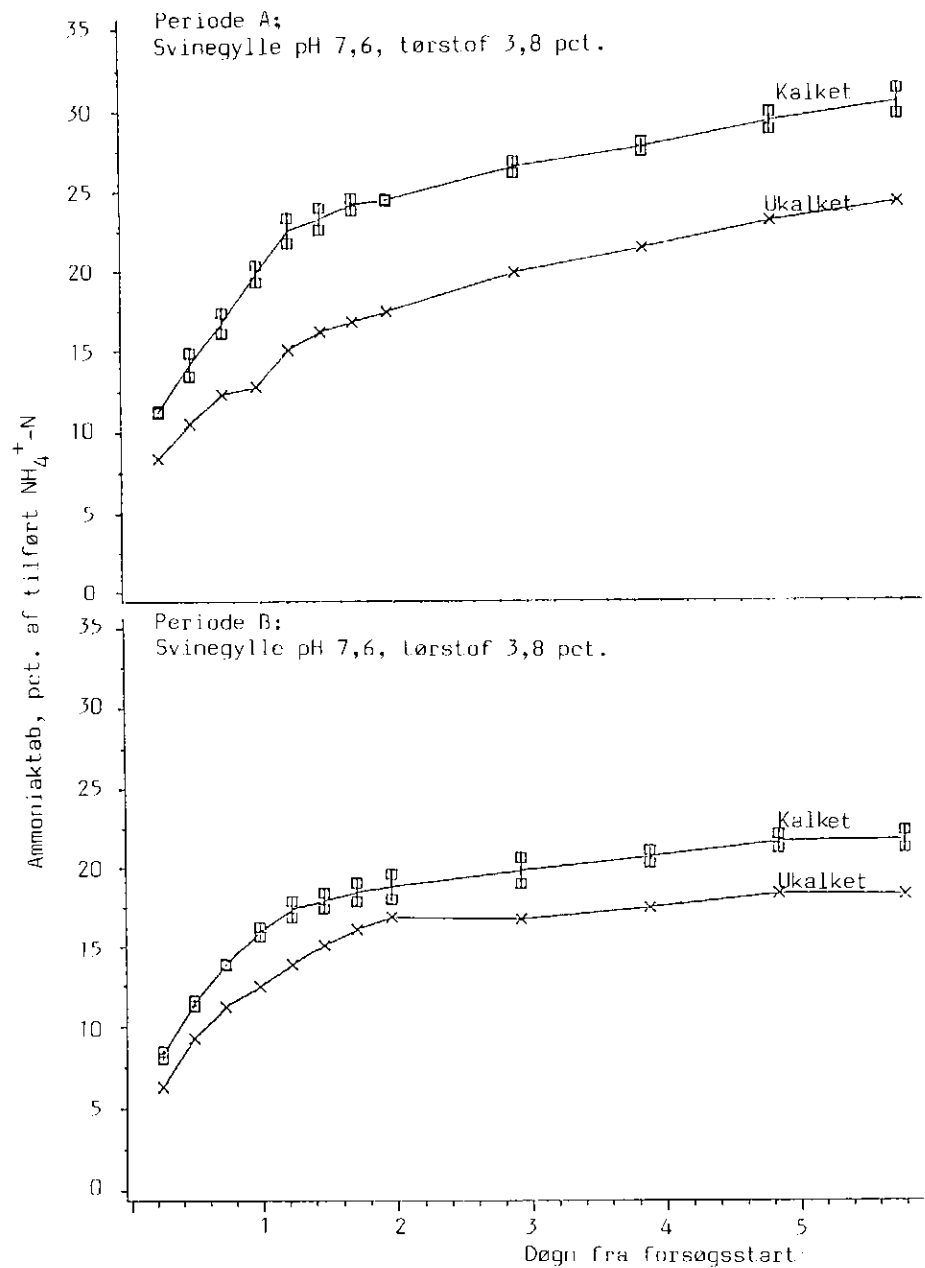
3.4.9 Effekt af vanding. Vanding halverede ammoniakfordampningen fra fast svinegødning placeret på jordoverfladen (Figur 15). Der blev vandet umiddelbart efter udbringningen og derpå hvert af de efterfølgende 3 døgn. Ammoniaktabet var mindre ved vanding med 10 mm pr. gang end ved vanding med 5 mm. Efter 3 døgn øgedes tabs-hastigheden i forsøget med vanding med 10 mm og efter 6 døgn var der ikke målelig forskel på tabet ved de to behandlinger. Efter nedbørsperioder er et lignende forløb i ammoniaktabet fra gylle udbragt på jord blevet målt med meteorologiske massebalancemetoder (Beauchamp, 1982). Det blev antaget, at fordampningen af vand fra jorden efter nedbørsperioder ledsages af ammoniakfordampning.

Ammoniaktab fra gylle
ved kalkning

3.4.10 Effekt af jordens pH. Indflydelse af jordens pH blev undersøgt ved udbringning af gylle på nykalket jord. Ved kalkningen øges jordoverfladens pH. Først på efteråret i 1989 blev der i to perioder gennemført i alt 4 forsøg med svinegylle på nykalket jord (0,5 kg jordbrugskalk pr. m²) og 2 forsøg med svinegylle på ukalket jord (Figur 16).

Højt pH i jorden gav
større tab

Efter de første 2 døgn var ammoniakfordampningen fra gylle udbragt på nykalket jord ca. en fjerdedel større end fra ukalket jord (Figur 16). Herefter var der ikke forskel i fordampningen fra nykalket og ukalket jord. I periode A var fordampningen større end i periode B. I perioden med det mindste ammoniaktab (Figur 16B) var forskellen på ammoniakfordampning fra gylle udbragt på nykalket og ukalket jord også mindst. Dette tyder på, at i perioder, hvor der er gunstige betingelser for ammoniakfordampning vil virkningen af højt pH i jordoverfladen være størst.



Figur 16.

Akkumuleret ammoniaktab fra svinegylle (3 l m^{-2}) bragt ud på jord tilført $0,5 \text{ kg jordbrugskalk pr. m}^2$.

A: Luftens gennemsnitstemperatur $13,0^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $2,9 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $3,3 \text{ mbar}$.

B: Luftens gennemsnitstemperatur $14,0^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $2,9 \text{ m s}^{-1}$ og vanddampstrykdeficit $2,5 \text{ mbar}$.

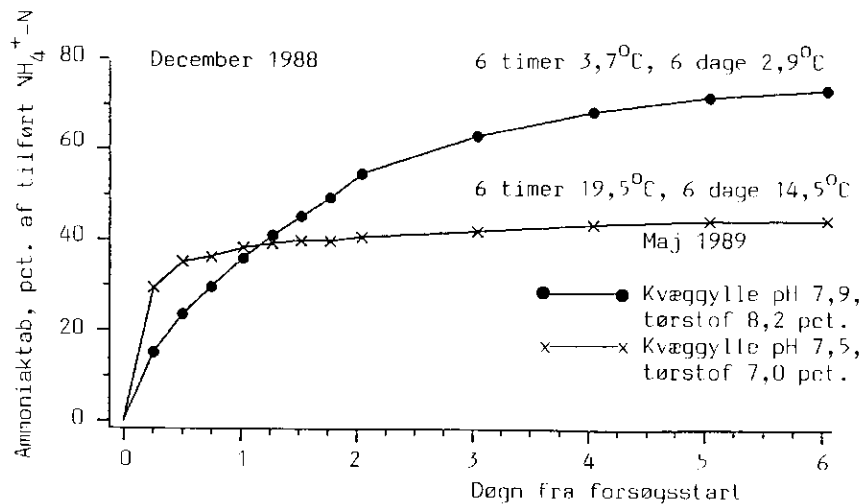
3.5 Parametrisering af ammoniakfordampning fra gylle.

Undersøgelserne af ammoniakfordampning ved udbringning af svinegylle og forskellige gødningstyper blev fulgt af undersøgelser af enkelt-parametre i forsøg, hvor antallet af variable blev begrænset mest muligt.

Ved undersøgelse af klimaparametre blev kvæggylle anvendt

Effekt af klimaparametre blev undersøgt i forsøg med anvendelse af kvæggylle med pH 7,1-7,9, tørstofindhold 7-8 pct. og ammoniumindhold (ammoniak + ammonium) 0,26-0,30 pct. Som gennemsnit for perioderne var vindhastigheden i metalrøret $1,2-6,2 \text{ m s}^{-1}$ og lufttemperaturen $3-15^\circ\text{C}$. De første 12 timer efter udbringning var vanddampstrykdeficit som gennemsnit $0,1-11,4 \text{ mbar}$.

Endvidere blev effekten af tørstofindhold undersøgt ved anvendelse af en kvæggylle, hvor tørstofindholdet var justeret til mellem 2,8 og 15,6. Gyllens resulterende pH var 7,4-7,9 og ammoniumindholdet 1,7-3,0 pct. Vindhastigheden i metalrøret var $2,8-3,7 \text{ m s}^{-1}$ og lufttemperaturen $-0,2-15,7^\circ\text{C}$.

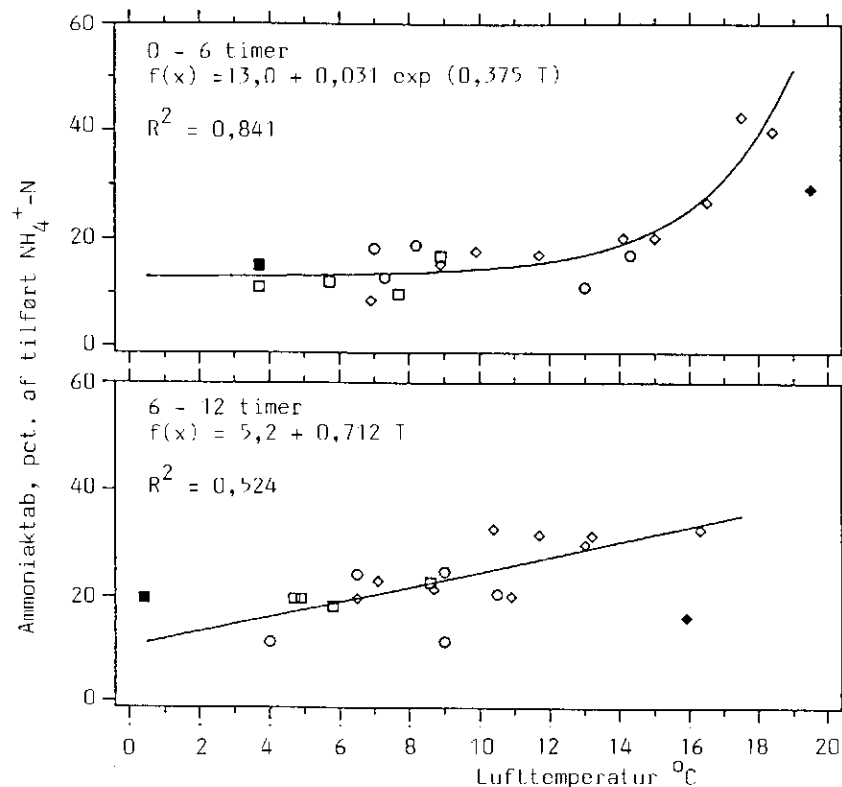


Figur 17.

Akkumuleret ammoniaktab fra kvæggylle (3 l m^{-2}) udbragt ved temperaturer omkring frysepunktet og temperaturer over 18°C . Vindhastighed i metalrøret var 4 m s^{-1} og vanddampstrykdeficit 1 mbar i december 1988 og 13 mbar i maj 1989.

Indenfor det første døgn steg tabet eksponentielt med stigende temperatur

3.5.1 Temperatur. Ved temperaturer omkring frysepunktet og ved høje temperaturer afveg ammoniakfordampningen fra kvæggylle (Figur 17) fra det forløb med aftagende tabshastigheder over de første 24 timer, der typisk findes i undersøgelser af ammoniakfordampningen fra gylle på jorden (Thompson et al., 1987; Pain et al., 1989). Ved de høje temperaturer var der i løbet af de første 6 timer en stor fordampning af ammoniak. Derefter ophørte ammoniakfordampningen, sandsynligvis fordi nedsivning af ammonium i den tørre jord har været hurtig og fordi skorpedannelse har hindret yderligere ammoniakfordampning.



Figur 18.

Akkumuleret ammoniaktab fra kvæggylle (3 l m^{-2}) efter 6 og 12 timer ved stigende temperatur. Ved parametrisering er resultater ved høje og lave temperaturer udeladt. Vindhastighed i metalrøret $2,0\text{-}6,2 \text{ m s}^{-1}$ og vandampstrykdeficit $0,6\text{-}11 \text{ mbar}$.

Ved temperaturer omkring frysepunktet var der over 6 døgn store tab af ammoniak fra kvæggylle, svarende til resultaterne fra forsøgene med svinegylle.

Mellem 6 og 24 timer efter udbringningen steg den samlede ammoniakfordampning fra kvæggylle med stigende temperatur. Ammoniaktabet i de første 6 timer og 6-12 timer stiger henholdsvis exponentielt og lineært med stigende temperatur (Figur 18). Efter mere end 24 timers henliggetid var tabet ikke entydigt relateret til temperaturen. Det første døgn er temperaturen således en styrende parameter for ammoniaktabet fra gylle, mens andre parametre får stigende betydning derefter. Dette skyldes formodentlig, at pH i gyllen er højt de første 24 timer efter udbringning og at små forskelle i temperaturen derfor vil medføre store variationer i koncentrationen af ammoniak ved overfladen af gyllen.

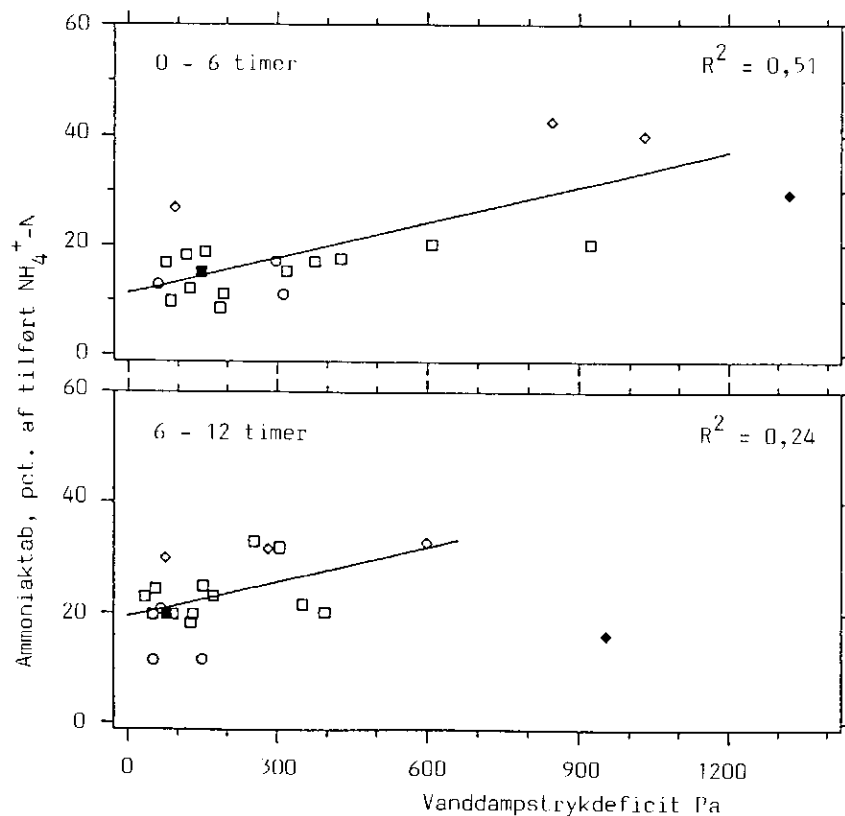
Ammoniaktabet er kun svagt korreleret med luftfugtighed

3.5.2 Luftfugtighed. Der er en svag tendens til en stigende ammoniakfordampning ved faldende luftfugtighed dvs. stigende vanddampstrykdeficit (Figur 19). Ved faldende luftfugtighed stiger fordampningen af vand, hvilket ifølge Molloy og Tunney (1983) og Beauchamp et al. (1982) skulle fremme ammoniaktabet fra udbragt gylle.

Imidlertid er såvel vanddampstrykdeficit som fordampning af vand påvirket af blandt andet temperatur. En sammenhæng mellem ammoniakfordampning og vanddampstrykdeficit kan således være et udtryk for et stigende tab ved stigende temperaturer. Sandsynligvis er det af samme årsag, at Brunke et al. (1988) ikke fandt nogen klar sammenhæng mellem ammoniaktab og potentiel vandfordampning.

3.5.3 Vindhastighed. Det akkumulerede ammoniaktab efter 12 timer steg ved stigende vindhastigheder op til 2,5 - 3,0 m s^{-1} i metalrøret (Figur 20). Ved to ud af fire forsøg i perioder med temperaturer over 10°C steg ammoniaktabet yderligere, når vindhastigheden blev øget til omkring 4 m s^{-1} . I de øvrige forsøg var tabene af samme størrelse eller lidt lavere ved vindhastigheder over 3

m s^{-1} .



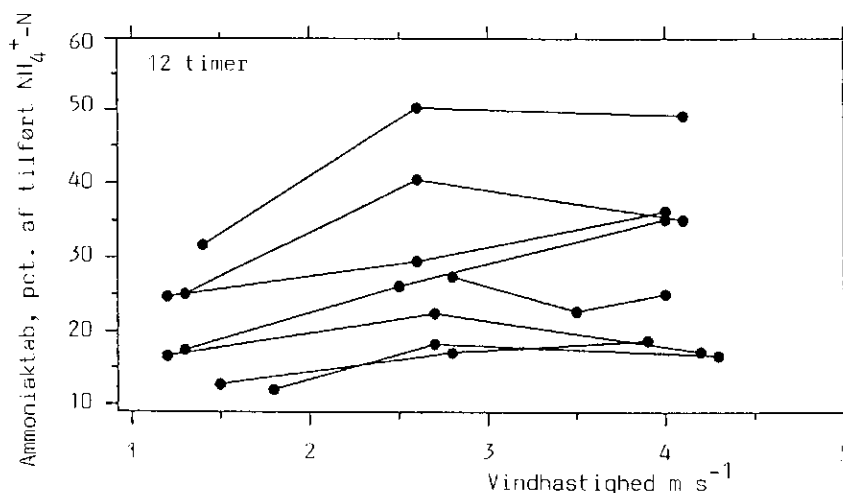
Figur 19.

Akkumuleret ammoniaktab fra kvæggylle (3 l m^{-2}) ved stigende vanddampstrykdeficit. Lufttemperatur $2\text{-}18^\circ\text{C}$ og vindhastighed i metalrøret $1,2\text{-}6,2 \text{ m s}^{-1}$.

Vindhastigheden påvirker ammoniaktabet

Ved lave vindhastigheder dannes et stillestående luftlag over gyllen (grænselaget), som ammoniakken skal diffundere igennem. Grænselagets udstrækning mindskes ved stigende vindhastighed over gylleoverfladen. Når udstrækningen af grænselaget mindskes, bliver den vej ammoniak molekylerne skal diffundere igennem kortere og den modstand grænselaget yder mod ammoniakfordampning mindskes (Vlek & Crasswell, 1981). Ved høje vindhastigheder har grænselaget en meget lille effekt, og den fysisk-kemiske "modstand" i gyllen får derfor øget betydning for ammoniakfordampningens størrelse. Når temperaturen var mindre end 10°C og vindhastigheden i metalrø-

ret større end $2,5 \text{ m s}^{-1}$, synes grænselagsmodstanden at være af begrænset betydning. Under disse forhold har den fysisk-kemiske "modstand" medført, at ammoniaktabet ikke øgedes ved højere vindhastigheder. Ved stigende temperatur mindskes den kemiske "modstand". Ved temperaturer over 10°C har den fysisk-kemiske "modstand" derfor ikke begrænset ammoniaktabet, når vindhastigheder i metalrøret var over $2,5 \text{ m s}^{-1}$ og ammoniaktabet er steget ved stigende lufthastighed.



Figur 20.

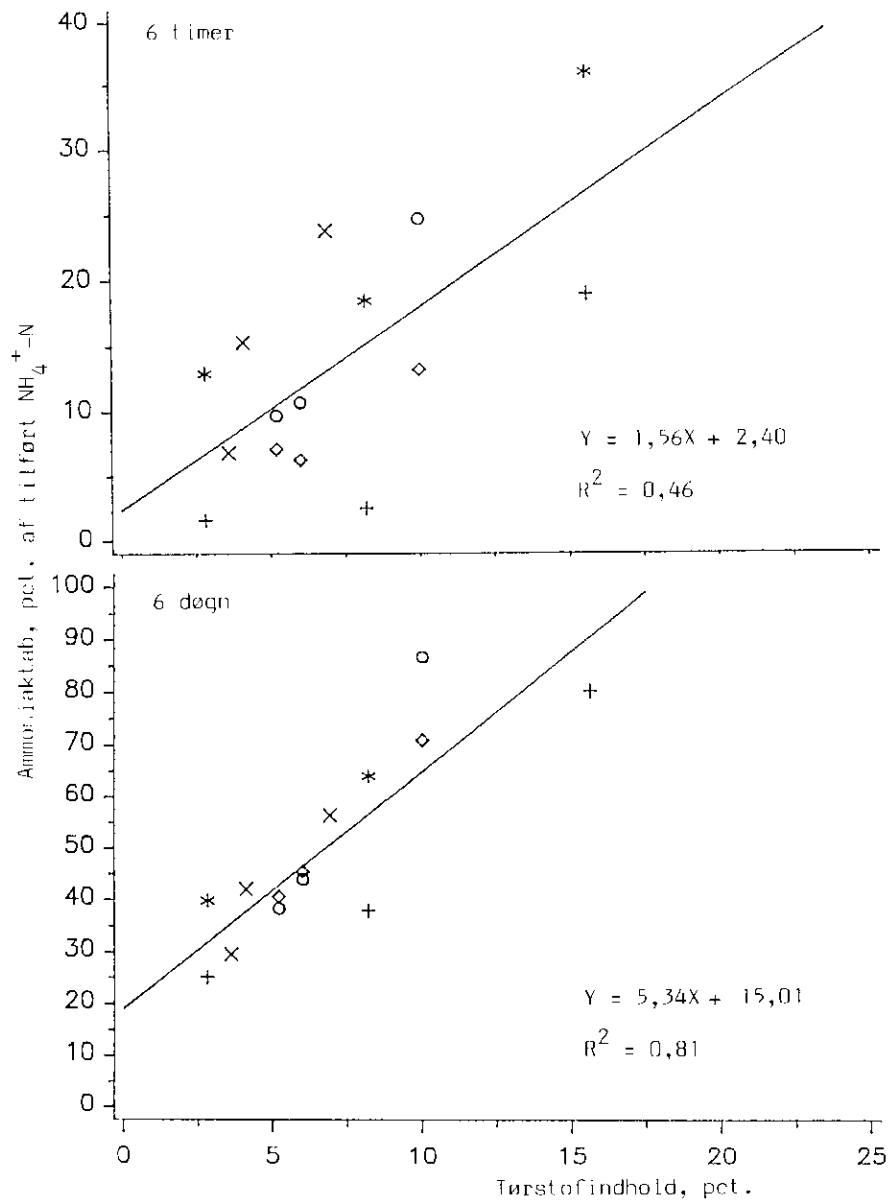
Akkumuleret ammoniaktab fra kvæggylle (3 l m^{-2}) ved stigende vindhastighed i metalrøret. Lufttemperatur $2-18^\circ\text{C}$ og vanddampstrykdeficit $0,6-11 \text{ mbar}$. For hvert af de 8 forsøg er punkterne forbundet med en linie.

Tabet stiger lineært med tørstofindholdet

3.5.4 Tørstofindhold. Den akkumulerede ammoniakfordampning efter 6 døgn steg lineært med stigende tørstofindholdet i kvæggylle (Figur 21). Efter 6 timer var den lineære sammenhæng mellem ammoniaktab og tørstofindhold ikke så markant (Figur 21). I tre forsøg fra samme periode var fordampningen efter 6 timer lavere og i 3 andre forsøg var fordampningen større end forventet.

Den lave korrelation efter 6 timer skyldes formentlig vekselvirkning med bl.a. klima. Efter denne periode begrænses indflydelsen af klimaet og tørstofindholdet får stigende betydning. Såfremt alle forsøg var gennem-

ført i samme periode, ville fordampningen indenfor samme døgn formentlig stige lineært med stigende tørstofindhold.



Figur 21.

Ammoniaktab efter 6 timer og 6 døgn fra kvæggylle (3 l m^{-2}) med forskelligt tørstofindhold. Luftens gennemsnitstemperatur $-0,2-15,7^\circ\text{C}$, vindhastighed i metalrøret $3,1-3,7 \text{ m s}^{-1}$.

4. KONKLUSION

Ammoniaktab < 4 pct. ved udbringning af gylle	Ammoniaktabet ved udspredning af gylle var mindre end 4 pct. af den udbragte ammonium. Der blev benyttet to spredebrede med centralt placeret spredeplade og spredebrede på 6 og 11 m.
Tab fra urea og UAN	Tabet af ammoniak fra urea over seks døgn var 20-30 pct. i sommerperioden og 3-10 pct. i vinterperioden. Tabene fra urea-ammonium-nitrat var mindre end tabet fra urea. Såfremt udbringning af urea sker under tørre forhold, hæmmes fordampningen i det første døgn. Vanding med 5-10 mm reducerede fordampningen, men bragte den ikke til ophør.
Ammoniaktabet fra husdyrgødning afhænger af mange faktorer	<p>I disse undersøgelser er det vist, at ammoniaktabet fra gylle afhænger af:</p> <ul style="list-style-type: none">- gyllens pH Ammoniaktabet stiger ved stigende pH.- gyllens tørstofindhold Det akkumulerede ammoniaktab efter 6 døgn stiger lineært med gyllens tørstofindhold.- lufttemperaturen Ved temperaturer omkring frysepunktet kan ammoniaktabet være betydeligt. Ved høje temperaturer er ammoniaktabet stort de første 6 timer, hvorefter ammoniakfordampningen falder til lave værdier. Mellem disse yderpunkter stiger ammoniaktabet efter 24 timer eksponentielt med temperaturen.- vindhastigheden Ved lufttemperatur under 10°C stiger ammoniaktabet, når vindhastigheden i metalrøret øges fra 1,5 m s⁻¹ til 3 m s⁻¹. I to ud af fire forsøg ved lufttemperaturer over 10°C øgedes ammoniakfordampningen yderligere, når vindhastigheden reguleredes op til 4 m s⁻¹.- jordens pH Ved udbringning af svinegylle på nykalket jord var ammoniaktabet en fjerdedel større end fra svinegyl-

le udbragt på ubehandlet jord.

- direkte nedfældning

Blev gyllen nedfældet direkte i tør jord var ammoniaktabet efter 6 døgn mindre end 17 pct. af det udbragte ammonium. Hvis jorden havde et højt vandindhold ved forsøgets start var fordampningen 50 pct.

Nedharvning reduce-
rede tabet

Forsøg med fast svinøgødnings viste, at nedharvning begrænsede ammoniaktabet til 26 og 93 pct. af tabet fra gødning efterladt på jordoverfladen. Vandning af fast svinøgødnings med 5 eller 10 mm ved udbringning og efter 24, 48 og 72 timer halverede ammoniaktabet.

Lille tab fra væs-
kefraktionen

Fra væskefraktionen af filtreret gylle (0,9 pct. TS) var den akkumulerede ammoniakfordampning over 6 døgn mindre end 17 pct. af ammoniumindholdet. Fra fiberfraktionen (22 pct. TS) fordampede i samme periode mere end 66 pct. Perioder med frost gav øget tab af ammoniak fra fiberfraktionen, men ikke fra væskefraktionen.

Der var ikke forskel på ammoniaktabet fra behandlet gylle og almindelig gylle. Filtrering af gylle ændrer ikke på dette forhold, idet der ikke var forskel på ammoniaktabet fra væskefraktionen af gylle og afgasset gylle.

Tab fra gylle kan
forudsiges ud fra
sammensætning og
kendskab til klima

Ammoniaktabet fra hønsegylle var på niveau med tabet fra svinøgylle. Fordampningen fra fast kvægøgødnings var mindre end tabet fra filtreret kvægøgylle med samme pH, ammonium- og tørstofindhold. Indenfor samme gødningskategori som eksempelvis gylle (fx. hønse-, kvæg- eller svinøgylle) kan fordampningen tilsyneladende relateres til klima og gyllens sammensætning. Dette er ikke tilfældet imellem kategorier af husdyrgødnings (fx. gylle, fast gødnings, fiberfraktion, væskefraktion).

5. REFERENCER

- Adriano, D. C.; Chang, A. C. & Sharpless, R. 1974. Nitrogen loss from manure as influenced by moisture and temperature. *J. Environ. Qual.* 3, 258-261.
- Beauchamp, E. G.; Kidd, G. E. & Thurtell, G. 1982. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. *Can. J. Soil Sci.* 62, 11-19.
- Besson, J. M.; Lehman, V. & Roulet, M. 1986. Nitrogen losses due to spreading of cattle and pig slurries after storage, aeration or anaerobic digestion. I A. Dam Kofoed et al. (Eds.): *Efficient Land Use of Sludge and Manure*. Elsevier Applied Publishers, London & New York, 37-46.
- Black, A. S.; Sherlock, R. R.; Smith, N. P.; Cameron, K. C. & Goh, K. M. 1985. Effects of form of nitrogen, season and urea application rate on ammonia volatilization from pastures. *N. Z. J. Agric. Res.* 28, 469-474.
- Bouwmester, R. J. B.; Vlek, P. L. G. & Stumpe, J. M. 1985. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 376-381.
- Brunke, R.; Alvo, P.; Schuepp, P. & Gordon, R. 1988. Effect of meteorological parameters on ammonia loss from manure in the field. *J. Environ. Qual.* 17, 431-436.
- Buijsmann, E.; Maas, J. F. M. & Asman, W. A. H. 1986. Anthropogenic NH_3 emission in Europe. *Atm. Environ.* 21, 1009-1022.
- Donovan, W. C. & Logan, T. J. 1983. Factors affecting ammonia volatilization from sewage sludge applied to soil in a laboratory study. *J. Environ. Qual.* 12, 584-590.
- Farquhar, G. D.; Firth, P. M.; Wetselaar, R. & Weir, B. 1980. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: Determination of the ammonia compensation point. *Plant Physiol.* 66, 710-714.
- Ferguson, R. B.; McInnes, K. J.; Kissel, D. E. & Kane-

- masu, E. R. 1988. A comparison of methods of estimating ammonia volatilization in the field. *Fert. Res.* 15, 55-69.
- Fordham, A. W. & Schwerdman, U. 1977. Composition reactions of liquid manure (Gülle), with particular reference to phosphate III. pH-Buffering capacity and organic components. *J. Environ. Qual.* 6, 140-144.
- Hansen, F. 1927. Staldgødningsundersøgelser I. *Tidsskr. Planteavl* 33, 753-780.
- Holzer, U.; Döhler, H. & Aldag, R. 1987. Ammoniakverluste bei Rindergülleausbringung im Modellversuch. *VDLUFA-Schriftenreihe.* 23, Kongressband 1987, 265-278.
- Hoult, E. H. & McGarity, J. W. 1987. The influence of sward mass, defoliation and watering on ammonia volatilization losses from an Italian ryegrass sward topdressed with urea. *Fert. Res.* 13, 199-207.
- Iversen, K. 1932. Kvalstoftabet ved staldgødningens udbringning 1925-30. *Tidsskr. Planteavl.* 38, 1-74.
- Iversen, K. 1934/35. Fordampningstab ved ajlens udbringning 1928-33. *Tidsskr. Planteavl.* 40, 169-234.
- Jensen, S. T. 1928. Undersøgelser over ammoniakfordampning i forbindelse med kvalstoftab ved udbringning af naturlige gødninger. I. Ajle. *Tidsskr. Planteavl* 34, 117-147.
- Larsen, K. E. & Keller, P. 1985a. Nedfældning af kvæggylle til byg og bederoer. *Tidsskr. Planteavl* 89, 11-17.
- Larsen, K. E. & Keller, P. 1985b. Nedfældning af kvæggylle til græs. *Tidsskr. Planteavl* 89, 19-24.
- Lauer, D. A.; Bouldin, D. R. & Klausner, S. D. 1976. Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. *J. Environ. Qual.* 5, 134-141.
- Lindhard, J. 1954. Undersøgelser over tabet af ammoniakkvælstof fra gødningsprøver udtaget i kostalden. *Tidsskr. Planteavl* 57, 108-120.
- Lockyer, D. R.; Pain, B. F. & Klarenbeek, J. V. 1989. Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. *Environ. Pollut.* 56, 19-30.
- McInnes, K. J.; Ferguson, R. B.; Kissel, D. E. & Kanemasu, E. T. 1986. Ammonia loss from applications of

- urea ammonium nitrate solution to straw residue.
Soil Sci. Soc. Am. J. 59, 969-974.
- Meeus-Verdinne, K.; Scokart, P. O. & Guns, M. 1985. L' ammoniac emis par les dechets animaux et la pollution atmospherique. Rev. Agric. 38, 239-251.
- Meincke, J. 1985. Kvæggylle til majs i vækstperioden, Tidsskr. Planteavl 89, 25-29.
- Molloy, S. P. & Tunney, H. 1983. A laboratory study of ammonia volatilization from cattle and pig slurry. Ir. J. Agric. Res. 22, 37-45.
- Pain, B. F.; Phillips, V. R.; Clarkson, C. R. & Klarenbeek, J. V. 1989. Loss of nitrogen through ammonia volatilization during and following the application of pig or cattle slurry to grassland. J. Sci. Food Agric. 47, 1-12.
- Pain, B. F.; Thompson R. D.; 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.
- Thompson, R. B.; Ryden, J. C. & Lockyer, D. R. 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. J. Soil Sci. 38, 689-700.
- Vlek, P. L. G. & Crasswell, E. T. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. Fert. Res. 2, 227-245.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A7

Udgivelsesår: 1990

Titel:

NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning

Undertitel:

Forfatter(e):

Sommer, Sven Gjedde; Christensen, Bent T.

Udførende institution(er):

Statens Planteavlsforsøg

Resumé:

Ammoniakfordampningen fra handels- og husdyrgødning er blevet undersøgt under markforhold med vindtunneler. Ammoniaktabet under udspredning er ubetydeligt, men der kan fordampe fra 10-20% op til 100% af ammoniumindholdet i husdyrgødning på jordoverfladen. En betydelig reduktion i ammoniaktabet fra udbragt gødning opnås ved udbringning i koldt, regnfuldt vejr, ved nedbringning efter udspredning eller ved nedfældning.

Emneord:

emissioner; emissionsmængder; vejrforhold; analysemetoder; husdyrgødning; kunstgødning; spredning; ammoniak CAS 7664-41-7

ISBN: 87-503-8698-0

ISSN:

Pris: 55,- (inkl. 22 % moms)

Format: AS5

Sideantal: 48 s.

Md./år for redaktionens afslutning: september 1990

Oplag: 650

Andre oplysninger:

Rapport fra koordinationsgruppe A for jord og luft

Tryk: Luna-Tryk ApS, København

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Rapporter fra koordinationsgruppe A for jord og luft

- Nr. A 1 : Kvælstof- og fosforbalancer ved kvæg- og svinehold
- Nr. A 2 : Kortlægning af landbrugsdriften i to områder i Danmark
- Nr. A 3 : Temperatur og denitrifikation
- Nr. A 4 : Ammoniakafsætning omkring et landbrug med malkekvæg
- Nr. A 5 : Ammoniakmonitoring
- Nr. A 6 : Atmosfærisk nedfald af næringssalte i Danmark
- Nr. A 7 : NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning
- * Nr. A 8 : Næringsstofudvaskning fra arealer i landbrugsdrift
- * Nr. A 9 : Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder
- * Nr. A10 : Daisy – Soil Plant Atmosphere System Model
- Nr. A11 : Bestemmelse af NH₃-fordampning med passive fluxmålere
- * Nr. A12 : NH₃-fordampning fra gyllebeholdere
- * Nr. A13 : Næringsstofomsætning i marginaliseret landbrugsjord
- * Nr. A14 : Regionale beregninger af N-udvaskningen
- * Nr. A15 : Ammoniakfordampning fra bygplanter
- * Nr. A16 : Den mikrobielle biomasses variation i jordbunden
- * Nr. A17 : Analyse af jordvands sammensætning – metodesammenligning
- * Nr. A18 : Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark
- * Nr. A19 : Afgasset gylles indflydelse på N-omsætning i jorden
- * Nr. A20 : Simulering af kvælstoftab med SOIL-N-modellen
- * Nr. A21 : Landbrugets gødnings- og arealanvendelse i 1983 og 1989

De med * mærkede titler er ikke trykt på udgivelsesdagen for denne rapport, men forventes trykt i løbet af 1990.

NH₃-fordampning fra handels- og husdyrgødning

Ammoniakfordampningen fra handels- og husdyrgødning er blevet undersøgt under markforhold med vindtunneler. Ammoniaktabet under udspredding er ubetydeligt, men der kan fordampe fra 10-20% op til 100% af ammoniumindholdet i husdyrgødning på jordoverfladen. En betydelig reduktion i ammoniaktabet fra udbragt gødning opnås ved udbringning i koldt, regnfuldt vejr, ved nedbringning efter udspredding eller ved nedfældning.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 55.- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-8698-0