

546.171  
B18

# NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. A11 1990

## Bestemmelse af NH<sub>3</sub>-fordampning med passive fluxmålere



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

546 191 : EMB. 211  
E 15  
ex. 2

## 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 gennen 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.

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen  
Nr. A11 1990**

# **Bestemmelse af NH<sub>3</sub>-fordampning med passive fluxmålere**

**Metodeafprøvning og -verifikation**

Jan K. Schjørring  
Sven G. Sommer  
Martin Ferm  
Søren Byskov-Nielsen

Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole  
Statens Planteavlsforsøg  
Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning, Göteborg

**MILJØSTYRELSEN  
BIBLIOTEKET  
Strandgade 29  
1401 København K**

**Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen**



## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>Sammendrag</b>	5
<b>1. Indledning</b>	6
<b>2. Materialer og metoder</b>	9
2.1 Forsøgsareal	9
2.2 Ammoniakkilde	9
2.3 Massebalancemetode med passive flux-målere	10
2.4 Referencemetode (konventionel massebalancemetode)	13
<b>3. Resultater og diskussion</b>	16
<b>4. Konklusion</b>	21
<b>5. Referencer</b>	22



### SAMMENDRAG

En ny, simpel og billig målemetode til bestemmelse af ammoniakfordampning fra ubevoksede og bevoksede arealer, samt fra gødningslagre, er blevet afprøvet og sammenlignet med en konventionel mikrometeorologisk massebalanceteknik. Den nye målemetode er baseret på passive flux-målere, bestående af 2 stk. 10 cm lange glasrør, forbundet i serie, og i den ene ende pålimet en tynd stålskive med et hul i centrum på 1 mm. Den indvendige side af glasrørene er belagt med en hinde af oxalsyre.

Ammoniakemissionen i de gennemførte forsøg varierede mellem 2 og 40 mg  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Metoden med passive flux-målere gav resultater, som var i god overensstemmelse med resultaterne opnået med referencemetoden. Det kan konkluderes, at den nye metode, som hverken kræver omfattende udstyr (gasvaskeflasker, pumper, flowmetre, anemometre) eller en massiv indsats af arbejdskraft, og som dermed er billig at anvende i forhold til traditionelle mikrometeorologiske massebalancemetoder, giver en god bestemmelse af ammoniaktab ved fordampning.

## 1. INDLEDNING.

Utilstrækkelig viden om ammoniakfordampning fra gødning og planter

Der er et stort behov for yderligere viden om størrelsen af ammoniakfordampning fra staldbygninger, gødningslagre og husdyrgødning tilført landbrugsjord. Desuden er kendskabet til størrelsen af ammoniakemissionen direkte fra planter blade særdeles mangelfuldt.

Ammoniakfordampning påvirkes af klimatiske faktorer som lufttemperatur, vindhastighed og luftfugtighed. Den hyppigt anvendte teknik med kamre placeret ovenpå det areal, hvorfra  $\text{NH}_3$ -afgivelsen skal måles, ændrer mikroklimaet og kan give en ukorrekt bestemmelse af ammoniakafgivelsen (Ferm 1983; Ferguson et al. 1988). I stedet må mikrometeorologiske teknikker anvendes, fordi de ikke ændrer de miljømæssige forhold, der påvirker ammoniakfordampningen (Denmead 1983; Black et al. 1985).

Traditionelle målemetoder har restriktive forudsætninger og er ressourcekrævende

Mikrometeorologiske metoder baseret på energibalance eller aerodynamik (gradient diffusion) fordrer store og ensartede landområder. Dette krav er ikke nødvendigt ved mikrometeorologiske målinger, baseret på massebalance (Denmead 1983). I massebalancemetoder bestemmes emissionen (den vertikale flux) af den undersøgte gas på grundlag af forskellen mellem den mængde gas, som i forskellige højder transporteres over henholdsvis vind- og læsiden af forsøgsområdet (den horisontale netto-flux). Der forudsættes ingen speciel form af vindhastighedsprofilen over forsøgsområdet eller korrektion for termisk ustabilitet. Mikrometeorologiske massebalancemetoder er derfor anvendelige til måling af ammoniakafgivelse fra små forsøgsarealer. I deres traditionelle form er disse metoder imidlertid meget arbejdskrævende og kræver omfattende måleudstyr til måling af luftens  $\text{NH}_3$ -koncentration og vindhastigheden i forskellige højder over forsøgsarealet (se f.eks. Ryden & McNeill 1984). De er som følge heraf dyre at anvende og tillader kun samtidige



målinger på et meget begrænset antal lokaliteter i kortvarige tidsrum.

Fordele ved passiv  $\text{NH}_3$  flux-måler

Med henblik på at forenkle mikrometeorologiske massebalancemålinger er der fornylig foreslået en teknik, baseret på passive ammoniak flux-målere (Ferm 1986). Denne teknik har en række fordele:

- nem at bruge
- arbejdsbesparende
- ammoniak kan opsamles over længerevarende perioder
- vindhastighedsmålinger er ikke nødvendige
- afhængig af elektricitet

Metoden med de passive ammoniak flux-målere vil således, såfremt den fungerer, øge mulighederne for at måle ammoniakemissionen på flere lokaliteter og over længerevarende tidsrum.

Princippet i passive flux-målere

De passive flux-målere opsamler ammoniak i en mængde, der er proportional med produktet af ammoniakkoncentrations- og vindhastighedsresultanten langs med absorbereren (Ferm 1986). Mængden af ammoniak, der absorberes, er dermed direkte proportional med den integrerede horisontale flux af ammoniak gennem en fast lodret plan, vinkelret på flux-målerens længderetning. Ammoniakfordampningen fra et givet forsøgsområde kan derved bestemmes som forskellen mellem den samlede transport af ammoniak ud gennem de fire lodrette sideflader, som omgiver forsøgsarealet, og den tilsvarende samlede transport af ammoniak ind på forsøgsarealet fra omgivelserne (Fig. 3).

Den passive flux-måler er anvendt i 1 tilfælde, men er aldrig blevet afprøvet

Den nye metode er tidligere i et enkelt tilfælde blevet anvendt til at måle  $\text{NH}_3$ -fordampningen fra husdyrgødning, udbragt på overfladen af forsøgsarealet (Ferm og Christensen 1987). De opnåede resultater for  $\text{NH}_3$ -fordampning i dette forsøg så rimelige ud (Ferm og Christensen 1987). Metoden er imidlertid aldrig blevet

afprøvet overfor en velkendt og accepteret mikrometeorologisk metode.

Metoden afprøves over for velkendt og accepteret referencemetode

Formålet med nærværende projekt var at videreudvikle og afprøve målemetoden med passive  $\text{NH}_3$  flux-målere under markforhold. Afprøvningen skete ved at sammeligne ammoniakfordampningen, bestemt med de passive flux-målere, med ammoniakfordampningen bestemt med en konventionel mikrometeorologisk massebalancemetode. Forsøgene blev gennemført på et forsøgsareal med kendt ammoniakafgivelse, frembragt ved hjælp af skåle med  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsning.

## 2. MATERIALER OG METODER.

### 2.1 Forsøgsareal

Forsøgene blev udført på en ugødet mark på Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskoles forsøgsgård i Tåstrup. Forsøgsarealets størrelse var  $707 \text{ m}^2$  (radius 15 m). Afstanden fra forsøgsarealet til omliggende hække, huse m.m. var ca. 100 m.

### 2.2 Ammoniakkilde

Ammoniak fordampede fra  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsning i 140 skåle

Ammoniaktabet fra skålene blev bestemt på grundlag af ændringer i ammoniumindholdet

Ammoniakkilden bestod af 140 skåle (diameter 30 cm, kanthøjde 4 cm), fordelt jævnt over arealet. Hver skål indeholdt en opløsning af  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  og  $\text{HCO}_3^-$ . Koncentrationen af  $\text{NH}_4^+$  var 1 M og koncentrationen af  $\text{HCO}_3^-$  var 0,6 M. Opløsningens volumen var 0,3 liter i forsøg 1 og 0,5 liter i resten af forsøgene.  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsningen blev fremstillet ved forsøgets start ved at tilsætte  $\text{NaHCO}_3$ -opløsning til en  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -opløsning, der forinden var ophældt i skålene.  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsningen havde fra forsøgets begyndelse en pH på ca. 8,5, og pH faldt ikke under 8 i løbet af forsøgsperioden (tabel 5).  $\text{NH}_3$ -fordampningen blev beregnet som forskellen mellem  $\text{NH}_4^+$ -indholdet i skålene før og efter et forsøg. Ændringen i  $\text{NH}_4^+$ -indholdet i skålene under forsøgsperioden blev bestemt på grundlag af udtagning af 50 ml prøver af opløsningen i skålene. Umiddelbart efter udtagningen blev prøverne tilsat 50 ml 0.6 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  for at forhindre yderligere tab af  $\text{NH}_3$ .  $\text{NH}_4^+$ -koncentrationen i prøverne blev bestemt ved destillation efterfulgt af titrering. Vandfordampningen i forsøgsperioden blev bestemt udfra målinger af  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsningens volumen ved forsøgsperiodens start og slutning.

### 2.3 Massebalancemetode med passive NH<sub>3</sub> flux-målere.

Beskrivelse af  
de passive  
flux-målere

De passive NH<sub>3</sub> flux-målere bestod af glasrør, der indvendigt var betrukket med en oxalsyrehinde (Fig. 1, den tæt skraverede del). Belægningen med oxalsyre blev fremstillet ved at opsuge methanol, indeholdende 3% oxalsyre i rørene. Efter afdræning af methanolopløsningen blev rørene tørret med NH<sub>3</sub>-fri luft. Hvert glasrør var 100 mm langt, havde en indre diameter på 7 mm og en ydre diameter på 10 mm. Glasrørene var forbundet to og to i serie ved hjælp af et kort stykke silikoneslange (figur 1). Til hvert par af rør var desuden tilsluttet en sonde, som bestod af rustfrit stålfolie med tykkelsen 0,5 mm, og som havde et rundt hul i midten med 1 mm diameter. Stålfolien var pålimet et 10 mm langt glasrør, der blev forbundet med de to oxalbelagte glasrør ved hjælp af et stykke silikoneslange.

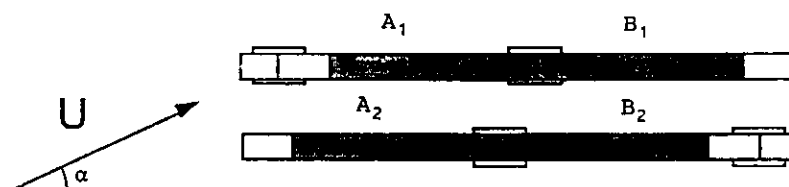
En sonde fremmer  
absorptionen af  
ammoniak i  
rørerne

Formålet med sonden var at nedsætte vindhastigheden inde i rørene, og dermed opnå en lav gnidningsmodstand og en høj NH<sub>3</sub> opsamlings-effektivitet. Vindhastigheden inde i rørene vil være omtrent proportional med vindhastigheden udenfor sonden multipliceret med cosinus af vinklen mellem vindretningen og røraksen (se figur 1). Rør og sonder blev fremstillet og leveret af Mikrolab Århus A/S, Axel Kjærs Vej 34, 8270 Højbjerg. Når rørene ikke var i brug, blev de opbevaret lukket med plastickapsler i begge ender.

Målinger i marken  
med passive  
flux-målere

De passive NH<sub>3</sub> flux-målere blev ved forsøgsperiodens start opsat i fire højder, henholdsvis 75, 150, 225 og 300 cm over jordoverfladen, på fire master, placeret i hver sit verdenshjørne. I hver højde anbragtes to sæt af flux-målere, det ene sæt med sonden vendende mod forsøgsarealet, det andet sæt med sonden vendende ud mod omgivelserne. Ammoniak fra forsøgsarealet blev således opsamlet igennem sonden på det ene sæt flux-målere og igennem den åbne ende af det andet sæt. Modsat blev ammoni-

ak fra omgivelserne opsamlet igennem den åbne ende på det første sæt flux-målere og igennem sonden af det andet sæt. Ved forsøgsperiodens afslutning blev flux-målerne nedtaget og lukket med plastickapsler. I laboratoriet blev rørene elueret med 3 ml afioniseret vand. Indholdet af  $\text{NH}_4^+$  i eluatet blev bestemt spektrofotometrisk v.h.a. Flow Injection analyse. Blindværdien for et ueksponeret rør var ca.  $0,06 \mu\text{g NH}_3\text{-N}$ , svarende til en flux på  $0,1 \text{ g NH}_3\text{-N m}^{-2}$ . Den analytiske målegrænse var omkring  $0,03 \mu\text{g NH}_3\text{-N}$ .



$$\frac{(A_1 + A_2)}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot 0.7} \approx \int_{t_1}^{t_2} U \cdot \cos \alpha \cdot [\text{NH}_3] \cdot dt$$

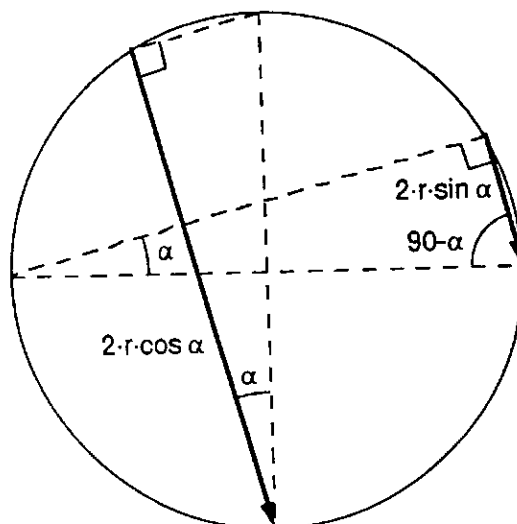
Figur 1. Passiv  $\text{NH}_3$  flux-måler.

Beregning af den horisontale ammoniakflux

Når vindretning og vindhastighed repræsenteres ved vektoren  $U$  (Fig. 1), opsamles  $\text{NH}_3$  i rørene  $A_1$  og  $A_2$ , men ikke i  $B_1$  og  $B_2$ . Hvis  $\alpha$  er  $180^\circ$  modtager  $A_1$  og  $A_2$  samme mængde  $\text{NH}_3$ . Når  $\alpha$  aftager, falder den mængde  $\text{NH}_3$ , som  $A_1$  modtager, hurtigere med  $\alpha$  end  $\cos(\alpha)$ , medens  $A_2$  modtager en mængde  $\text{NH}_3$ , som falder langsommere med  $\alpha$  end  $\cos(\alpha)$  gør. Afprøvning (Ferm 1986) har imidlertid vist, at gennemsnitsværdien af  $\text{NH}_3$ -mængderne i  $A_1$  og  $A_2$  som funktion af  $\alpha$  omtrentligt modsvarer  $\cos(\alpha)$ . Fluxen gennem et plan, vinkelret på flux-målerens akse, kan derfor bestemmes.

Den horisontale ammoniakflux i hver målehøjde over forsøgsarealet blev beregnet på grundlag af gennemsnitsindholdet af  $\text{NH}_3$  i rørene, der vendte ud mod samme verdenshjørne, divideret med åbningsarealet ( $\pi \cdot 0,0005^2 \text{ m}^2$ ) og divideret med en korrektionsfaktor (0,7) (ligning 1). Korrektionsfaktoren blev bestemt eksperimentelt i en vindtunnel (Ferm 1986). Faktoren er mindre end 1, fordi sonden skaber en turbulens, der nedsætter vindhastigheden.

I forsøg 1 blev de fire master med passive  $\text{NH}_3$  flux-målere placeret midt på siderne af en kvadrat, hvis kantlængde var 21 m. Kvadratet var indskrevet i det cirkulære forsøgsareal. I de resterende forsøg blev de fire master placeret på periferien i hver sit verdenshjørne af det cirkulære forsøgsareal (figur 3). To sæt af passive  $\text{NH}_3$  flux-målere modtager derved luft, som har passeret afstanden  $2 \cdot r \cdot \cos \alpha + 2 \cdot r \cdot \sin \alpha$  over forsøgsarealet (se figur 2). Fluxen er



Figur 2. Grafisk fremstilling af operationsområdet for fire master, placeret på periferien af et cirkulært forsøgsområde. Figuren er nærmere forklaret i teksten.

imidlertid ikke blot proportional med  $\text{NH}_3$ -koncentrationen (her antaget proportional med afstanden vinden har passeret hen over forsøgsarealet) og vindhastigheden, men også med cosinus til vinklen mellem vindretningen og den passive flux-målers horisontale akse (se figur 1). Disse vinkler er henholdsvis  $\cos\alpha$  og  $\cos(90-\alpha)$  (figur 2). Derved bliver de resulterende flux-værdier (produktet af strækning og cosinus til vinkel) henholdsvis  $2 \cdot r \cdot \cos^2\alpha$  og  $2 \cdot r \cdot \sin\alpha \cdot \cos(90-\alpha)$ , som summeret med hinanden giver  $2 \cdot r$ .

Det samlede horisontale ammoniaktab fra forsøgsarealet (X) blev i henhold til ovenstående beregnet ved for alle højder (h) og master (m) at multiplicere de udadrettede fluxer ( $F_m$ ) med  $2 \cdot r$  og med det højdeinterval, som flux-måleren repræsenterer ( $\Delta h$ ). Derfra blev subtraheret det tilsvarende produkt for den indgående ammoniakflux fra omgivelserne ( $F_o$ ):

$$X = \sum_{m=1, h=0}^{m=4, h=H} F_m \cdot 2r \cdot \Delta h - \sum_{m=1, h=0}^{m=4, h=H} F_o \cdot 2r \cdot \Delta h \quad (1)$$

Ved beregning af  $\text{NH}_3$  fordampningen pr. arealenhed af forsøgsområdet (den vertikale  $\text{NH}_3$  flux; tabellerne 1-4) blev den samlede horisontale netto-transport af  $\text{NH}_3$  ud af forsøgsarealet divideret med  $4r^2$ .

#### 2.4 Reference metode (konventionel massebalancemetode)

Referencemetode med vindhastighedsmålinger og målinger af luftens ammoniakkoncentration v.h.a. gasvaskeflasker

Masten placeret i centrum af forsøgsarealet var udstyret med ammoniakfælder (gasvaskeflaske med syre) med indsug i henholdsvis 25, 50, 75, 110, 150, 225 og 375 cm's højde over jordoverfladen (figur 3). På en mast placeret 1 m fra centrumsmasten var monteret lufttemperatur- og luftfugtighedssensorer (Rotronic MP100TST-010

Meteorol. probe) i henholdsvis 100, 150, 200 og 300 cm's højde over jordoverfladen, og anemometre (Vector Instruments A101M) i henholdsvis 25, 50, 75, 110, 150, 225 og 375 cm's højde over jordoverfladen, samt en vindretningsmåler (Vector Instruments W200P) i 500 cm's højde. Signalerne fra lufttemperatursensorer og anemometre blev registreret af en datalogger (Campbell CR10/WP). Til bestemmelse af NH<sub>3</sub> baggrundskoncentrationen blev der i vindsiden udenfor forsøgsarealet placeret to master med ammoniakfælder med indsug i henholdsvis 100, 200 og 300 cm's højde over jordoverfladen (figur 3).

Bestemmelse af atmosfærisk ammoniak v.h.a. gasvaskeflasker

Ammoniakfælderne bestod af 250 ml Drechsel gasvaskeflasker med et gasfordelingsrør med sintret hoved, porestørrelse 1. Fælderne indeholdt 60 ml 0,05 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Atmosfærisk luft sugedes igennem fælden med et flow på 8 l min<sup>-1</sup>, frembragt v.h.a. en Neuberger membranpumpe (model N 79KN.18). Luftgennemstrømningshastigheden blev kontrolleret separat for hver Pumpe med et Brooks Sho-rate flowmeter. Fælderne blev skiftet hver 3. time.

Beregning af ammoniakfordampning på grundlag af målinger med traditionel massebalancemetode

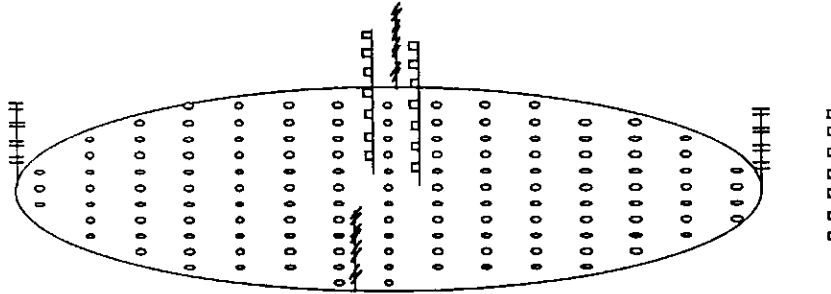
Den horisontale transport af NH<sub>3</sub> i hver målehøjde blev beregnet som differensen mellem produktet af vindhastighed og NH<sub>3</sub>-koncentration i de respektive højder i centrum af forsøgsarealet og i baggrunden. Ammoniakfordampningen fra forsøgsarealet (den vertikale NH<sub>3</sub>-flux, F<sub>v</sub>) blev beregnet ved at integrere den horisontale netto-transport af NH<sub>3</sub> gennem centrum af forsøgsarealet (Denmead 1983; Ryden & McNeill 1984):

$$F_v \hat{=} \frac{1}{x} \int_0^z (\overline{uc} - \overline{uc}_b) dz \quad (2)$$

Den gennemsnitlige vindhastighed (u) og den gennemsnitlige NH<sub>3</sub>-koncentration (c) i tertiærs måleperioder i de enkelte forsøgsperioder blev anvendt i beregningerne af F<sub>v</sub>. I ligning (2) angiver x radius af det cirkulære forsøgs-



areal (15 m),  $c_b$  er den gennemsnitlige baggrundskoncentration af  $\text{NH}_3\text{-N}$  i måleperioden, og  $z$  er højden af ammoniakfanen ved centrumsmasten.



Figur 3. Forsøgsarealet med 140 skåle indeholdende  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$ -opløsning. De fire master med passive  $\text{NH}_3$  flux-målere er placeret på periferien af det cirkulære forsøgsareal. Masterne med konventionelle  $\text{NH}_3$ -fælder (gasvaskeflasker med  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) og anemometre er placeret i centrum af forsøgsarealet. En mast til måling af baggrundskoncentrationer af atmosfærisk ammoniak er på figuren placeret til højre for forsøgsarealet.

### 3. RESULTATER OG DISKUSSION

Ammoniakemission  
målt med passive  
flux-målere

Resultaterne for  $\text{NH}_3$  emissionen bestemt med den nye type passive flux-målere fremgår af tabellerne 1-4. Den højeste  $\text{NH}_3$ -flux fra forsøgsarealet blev i alle tilfælde observeret på masten placeret på læsiden af forsøgsarealet, d.v.s. modsat den i forsøgsperioden fremherskende vindretning. Eksempelvis målttes en stor  $\text{NH}_3$  transport væk fra forsøgsarealet på øst og syd masten i forsøg 1 (tabel 1), hvor den frem-

Tabel 1. Horisontal  $\text{NH}_3$  flux fra forsøgsareal (F) og fra omgivelser (O) som funktion af mast og højde i forsøg 1, samt total horisontal  $\text{NH}_3$  transport i de enkelte højder. Afgivelsen af  $\text{NH}_3\text{-N}$  fra forsøgsarealet var  $(199\text{-}80)/21^2 = 0,27 \text{ g N m}^{-2}$ .

Højde	Flux, g $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2}$ (9 timer) <sup>-1</sup>								Total $\text{NH}_3\text{-N}$ transport*	
	Nord		Øst		Syd		Vest		F	O
	F	O	F	O	F	O	F	O		
300	0,00	0,22	0,44	0,00	0,55	0,25	0,11	0,38	17,2	13,3
225	0,08	0,16	0,71	0,19	0,57	0,19	0,03	0,25	21,9	12,5
150	0,00	0,38	1,28	0,25	0,79	0,19	0,00	0,27	32,6	17,2
75	0,08	0,55	3,00	0,27	2,13	0,14	0,19	0,60	128	36,7
Total	3,2	24,9	109	13,3	80,3	13,1	6,7	28,4	199	80

\* g  $\text{NH}_3\text{-N}$  (9 timer)<sup>-1</sup>

Tabel 2. Horisontal  $\text{NH}_3$  flux fra forsøgsareal (F) og fra omgivelser (O) som funktion af mast og højde i forsøg 2, samt total horisontal  $\text{NH}_3$  transport i de enkelte højder. Afgivelsen af  $\text{NH}_3\text{-N}$  fra forsøgsarealet var  $(46\text{-}17)/30^2 = 0,032 \text{ g N m}^{-2}$ .

Højde	Flux, g $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2}$ (9 timer) <sup>-1</sup>								Total $\text{NH}_3\text{-N}$ transport*	
	Nord		Øst		Syd		Vest		F	O
	F	O	F	O	F	O	F	O		
300	0,00	0,05	0,05	0,03	0,19	0,05	0,05	0,03	6,7	3,7
225	0,03	0,08	0,11	0,05	0,14	0,05	0,05	0,05	7,3	5,5
150	0,00	0,05	0,05	0,00	0,22	0,03	0,14	0,05	9,2	3,0
75	0,03	0,05	0,00	0,05	0,41	0,03	0,25	0,00	23,0	4,6
Total	1,5	6,1	4,9	3,7	26,1	4,0	13,7	3,0	46	17

\* g  $\text{NH}_3\text{-N}$  (9 timer)<sup>-1</sup>

herskende vindretning var nordvestlig (tabel 5). Transporten fra omgivelserne ind på forsøgsarealet var modsat højest i vindsiden og lavest i læsiden. Den horisontale netto-transport af  $\text{NH}_3$  ( $y$ ,  $F - O$  i tabellerne 1-4) aftog i alle forsøg tilnærmelsesvis lineært med logaritmen til højden ( $z$ ) over forsøgsarealet:

Forsøg 1 (tabel 1):  $y = -64\ln(z) + 62 \quad r^2=0,86$

Forsøg 2 (tabel 2):  $y = -12\ln(z) + 13 \quad r^2=0,89$

Forsøg 3 (tabel 3):  $y = -44\ln(z) + 49 \quad r^2=0,96$

Forsøg 4 (tabel 4):  $y = -35\ln(z) + 35 \quad r^2=0,89$

Tabel 3. Horisontal  $\text{NH}_3$  flux fra forsøgsareal (F) og fra omgivelser (O) som funktion af mast og højde i forsøg 3, samt total horisontal  $\text{NH}_3$  transport i de enkelte højder. Afgivelsen af  $\text{NH}_3\text{-N}$  fra forsøgsarealet var  $(210-104)/30^2 = 0,12 \text{ g NH}_3\text{-N m}^{-2}$ .

Højde	Flux, $\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} (9 \text{ timer})^{-1}$								Total $\text{NH}_3\text{-N}$ transport*	
	Nord		Øst		Syd		Vest		F	O
	F	O	F	O	F	O	F	O		
300	0,11	0,22	0,22	0,27	0,57	0,27	0,44	0,3	30,1	23,9
225	0,35	0,35	0,19	0,16	0,49	0,33	0,65	0,27	38	25,2
150	0,22	0,14	0,16	0,22	0,41	0,19	0,95	0,3	39,3	19
75	0,03	0,33	0,16	0,19	0,74	0,16	2,13	0,38	103	35,9
Total	16	27	18	21	58	23	118	33	210	104

\*  $\text{g NH}_3\text{-N} (9 \text{ timer})^{-1}$

Tabel 4. Horisontal  $\text{NH}_3$  flux fra forsøgsareal (F) og fra omgivelser (O) som funktion af mast og højde i forsøg 4, samt total horisontal  $\text{NH}_3$  transport i de enkelte højder. Afgivelsen af  $\text{NH}_3\text{-N}$  fra forsøgsarealet var  $(184-117)/30^2 = 0,074 \text{ g NH}_3\text{-N m}^{-2}$ .

Højde	Flux, $\text{g NH}_3\text{-N m}^{-2} (9 \text{ timer})^{-1}$								Total $\text{NH}_3\text{-N}$ transport*	
	Nord		Øst		Syd		Vest		F	O
	F	O	F	O	F	O	F	O		
300	0,49	0,38	0,52	0,16	0,22	0,3	0,27	0,68	33,8	34,4
225	0,27	0,33	0,49	0,16	0,22	0,25	0,16	0,3	25,8	23,3
150	0,35	0,22	0,87	0,27	0,27	0,16	0,35	0,33	41,7	22,1
75	0,16	0,38	1,58	0,22	0,46	0,22	0,25	0,27	82,8	36,8
Total	31	34	96	21	32	23	26	39	184	117

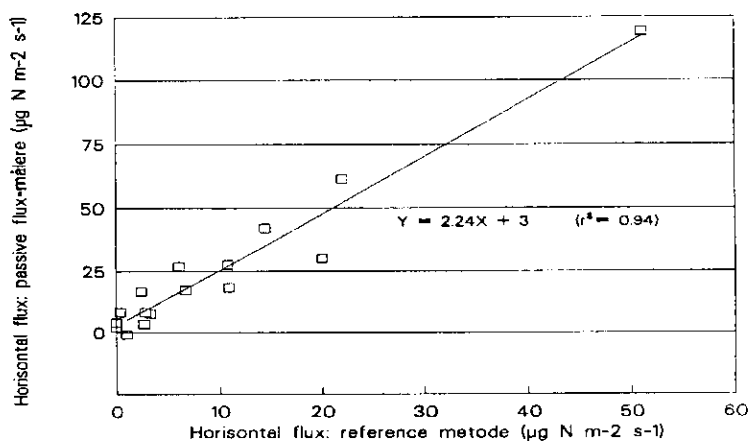
\*  $\text{g NH}_3\text{-N} (9 \text{ timer})^{-1}$

Den horisontale netto-flux af ammoniak i fire højder målt med 2 metoder kan sammenlignes

God sammenhæng mellem ny metode og referencemetode

Den horisontale netto-flux af ammoniak ud af forsøgsarealet blev i de 4 forsøg målt samtidigt med de passive flux-målere og med referencemetoden (kombinationen af vindhastighedsmålere og gasvaskeflasker) i 75, 150, 225 og 300 cm's højde. De målte fluxer er vist i Figur 4.

Der var en god lineær sammenhæng mellem den horisontale  $\text{NH}_3$ -flux målt med henholdsvis referencemetoden (x) og med de passive  $\text{NH}_3$ -fluxmålere (y) (Fig. 4,  $y = 3 + 2,24x$ ,  $r^2 = 0,94$ ).



Figur 4. Relationen mellem horisontal  $\text{NH}_3$ -N flux målt med henholdsvis en ny metode med passive flux-målere og en traditionel mikrometeorologisk massebalancemetode (referencemetode).

Det bemærkes, at hældningen af regressionsligningen ikke skal være 1, da referencemetoden er baseret på målinger af fluxen i centrum af forsøgsarealet, medens den nye metode er baseret på målinger af fluxen over periferien af forsøgsarealet. I forhold til referencemetoden

passerede vinden således den dobbelte strækning over arealet, førend der bliver målt med den nye metode (se side 13). Hældningen på regressionslinien var i overensstemmelse hermed ikke signifikant forskellig fra 2 (2,24 med en standardafvigelse på 0,15), medens afskæringen på y-aksen ikke var signifikant forskellig fra 0 (3 med en standardafvigelse på 2,4).

Tabel 5. Gennemsnitlig vindhastighed, lufttemperatur og luftfugtighed i 1 meters højde samt vindretning i de gennemførte forsøg.

Parameter	Forsøg			
	1	2	3	4
Vindhastighed, m s <sup>-1</sup>	4,1	1,1	1,9	2,4
Lufttemperatur, °C	14,5	4,3	9,6	12,1
Luftfugtighed, %	65	70	49	47
Vindretning	NV	NØ	NØ	V
pH start	8,6	8,5	8,6	8,3
pH slut	8,0	-	8,4	8,0

De passive flux-målere kan erstatte gasvaskeflasker og anemometre

Som forventet udfra sammenhængen mellem resultaterne for horisontal NH<sub>3</sub>-flux (Fig. 4) var der også en god overensstemmelse mellem vertikal NH<sub>3</sub>-flux, målt med de to metoder (tabel 6).

Tabel 6. Sammenligning af den vertikale NH<sub>3</sub> flux bestemt ved henholdsvis (1) målinger af NH<sub>3</sub> tabet fra skåle med NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>opløsning, (2) målinger med traditionel mikrometeorologisk massebalancemetode og (3) en ny type passive NH<sub>3</sub> flux målere.

Forsøg	NH <sub>3</sub> -tab fra skåle	Traditionel massebalance	Passive NH <sub>3</sub> flux-målere
		NH <sub>3</sub> flux, mg NH <sub>3</sub> -N m <sup>-2</sup> time <sup>-1</sup>	
1	42 ± 3	39	30
2	3,8 ± 1,4	2,1	3,6
3	30 ± 3	11	13
4	22 ± 2	8	8

Disse resultater viser, at gasvaskeflasker ( $\text{NH}_3$ -fælde) og anemometre, som er nødvendige i den traditionelle mikrometeorologiske massebalancemetode, kan erstattes af passive  $\text{NH}_3$  flux-målere.

#### Ammoniaktabets størrelse

Mængden af ammoniak fordampet fra skålene med  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsning varierede fra 169 mg  $\text{NH}_3\text{-N}$  pr. skål i forsøget med den laveste  $\text{NH}_3$ -fordampning til 1870 mg  $\text{NH}_3\text{-N}$  pr. skål i forsøget med den højeste  $\text{NH}_3$ -fordampning. Udtrykt pr. arealenhed af forsøgsarealet svarede disse tab til en  $\text{NH}_3$ -flux mellem 3,8 og 42 mg  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ time}^{-1}$  (tabel 6). Den højeste  $\text{NH}_3$ -fordampning blev opnået i forsøg 1, hvor lufttemperatur og vindhastighed var relativt høje (tabel 2). Dette er i overensstemmelse med, at  $\text{NH}_3$ -fordampning fra en vandig opløsning stiger eksponentielt med temperaturen (Vlek og Stumpe 1978). Den fordampede mængde  $\text{NH}_3\text{-N}$  udgjorde i forsøg 1 ca. 40% af startindholdet af  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , mod ca. 20% i forsøg 3 og 4, og kun ca. 3% i forsøg 2 med den laveste  $\text{NH}_3$ -fordampning.

#### En del fordampet ammoniak er afsat på jorden i forsøgsarealet

Udfra mængden af  $\text{NH}_3$  forsvundet fra skålene skulle den forventede ammoniakemission fra forsøgsarealet som nævnt ovenfor have varieret mellem 4 og 42 mg  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ time}^{-1}$  (tabel 1). Så høje emissioner blev imidlertid ikke målt med de to mikrometeorologiske massebalancemetoder (tabel 1). Forskellen skyldes formentligt først og fremmest, at en del af den fordampede  $\text{NH}_3$  blev afsat på jorden. Specielt i forsøgene 3 og 4, som blev udført om foråret på en fugtig pløjemark, synes der at have været en meget betydelig absorption af  $\text{NH}_3$  til jorden, medens der i forsøg 1, udført på tør, harvet stubmark om efteråret, var en noget mindre absorption.

Deposition af gasformigt  $\text{NH}_3$  ( $U$ , g  $\text{NH}_3\text{-N m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) beskrives sædvanligvis ved hjælp af den såkaldte depositionshastighed ( $V_g$ ), og koncentrationen af  $\text{NH}_3$  i luften ( $c$ ), hvor:

$$U = V_g \times c \quad (3)$$

Ved anvendelse af ligning (3) må det antages, at for en overflade med en given egenskab er  $V_g$  konstant og  $U$  varierer lineært med  $c$ . Dette er naturligvis en oversimplificeret beskrivelse af transporten af gasformige stoffer i atmosfæren og optagelsen af gasformige stoffer i terrestriske og akvatiske økosystemer.

Beregnet på grundlag af  $\text{NH}_3$ -koncentrationen i 4 cm's højde over jorden ved centrumsmasten (i gennemsnit henholdsvis 45 og 44  $\mu\text{g NH}_3\text{-N}$  i forsøg 3 og 4) var depositions hastigheden af  $\text{NH}_3$  henholdsvis 11 og 9  $\text{cm s}^{-1}$  i forsøg 3 og 4. Disse værdier er høje i forhold til de normalt målte værdier for deposition af  $\text{NH}_3$  på vegetation (1 - 2  $\text{cm s}^{-1}$ ). De høje værdier skyldes sandsynligvis, at  $\text{NH}_3$ -koncentrationen omkring centrumsmasten har været lavere end koncentrationen lige omkring bakkerne med  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  opløsning.

#### 4. KONKLUSION.

Passive flux-målere anbefales

Det kan konkluderes, at den nye metode med passive  $\text{NH}_3$  flux-målere, som hverken kræver omfattende udstyr (gasvaskeflasker, pumper, flowmetre, anemometre) eller en massiv indsats af arbejdskraft, og som dermed er billig at anvende i forhold til traditionelle mikrometeorologiske massebalancemetoder, giver en god bestemmelse af ammoniaktab ved fordampning.

## 5. Referencer.

Black, A.S., Sherlock, R.R., Cameron, K.C., Smith, N.P. & Goh, K.M. 1985. Comparison of three field methods for measuring ammonia volatilization from urea granules broadcasted on to pasture. - J. Soil Sci. 36:271-280.

Denmead, O.T. 1983. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. - In Gaseous Loss of Nitrogen from Plant-Soil Systems (J.R. Freney & J.R. Simpson, eds), pp. 133-157. Martinus Nijhoff/dr. W. Junk Publishers, The Hague. ISBN 90-247-2820-7.

Ferguson, R.B., McInnes, K.J., Kissel, D.E. & Kanemasu, E.T. 1988. A comparison of methods for estimating ammonia volatilization in the field. -Fert. Res. 15:55-69.

Ferm, M. 1983. Ammonia volatilization from arable land - an evaluation of the chamber technique. -In Observation and Measurement of Atmospheric Contaminants. WMO Special Environmental Report 16:145-172.

Ferm, M. 1986. Concentration Measurements and Equilibrium Studies of Ammonium, Nitrate and Sulphur Species in Air and Precipitation. - Ph.D. Thesis, 77 pp., Department of Inorganic Chemistry, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sweden. ISBN 91-7900-006-1.

Ferm, M. & Christensen, B.T. 1987. Determination of NH<sub>3</sub> volatilization from surface-applied cattle slurry using passive flux samplers. - In Ammonia and Acidification (W.A.H. Asman & S.M.A. Diederer, eds), pp. 28-41. National Institute of Public Health and Environmental Hygiene, Bilthoven, The Netherlands.



Ryden, J.C. & McNeill, J.E. 1984. Application of the micro-meteorological mass balance method to the determination of ammonia loss from a grazed sward. - J. Sci. Food Agric. 35:1297-1310.

Vlek, P.L.G. & Stumpe, J.M. 1978. Effects of solution chemistry and environmental conditions on ammonia volatilization losses from aqueous systems. - Soil Sci. Soc. Am. J. 42:416-421.

# Registreringsblad

**Udgiver:** Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

**Serietitel, nr.:** NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A11

**Udgivelsesår:** 1990

**Titel:**

Bestemmelse af NH<sub>3</sub>-fordampning med passive fluxmålere

**Undertitel:**

Metodeafprøvning og -verifikation

**Forfatter(e):**

Schjørring, Jan K.; Sommer, Sven Gjedde; Ferm, Martin;  
Byskov-Nielsen, Søren

**Udførende institution(er):**

Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole; Statens Planteavlsforsøg;  
Institutet for Vatten- och Luftvårdsforskning

**Resumé:**

En ny, simpel og billig målemetode til bestemmelse af ammoniakfordampning fra ubevoksede og bevoksede arealer samt fra gødningslagre er blevet afprøvet og sammenlignet med en konventionel mikrometeorologisk massebalanceteknik. Det konkluderes, at den nye metode giver en god bestemmelse af ammoniaktab ved fordampning.

**Emneord:**

emissioner; analysemetoder; opbevaring; jord;  
ammoniak CAS 7664-41-7

**ISBN:** 87-503-8666-2

**ISSN:**

**Pris:** 45,- (inkl. 22 % moms)

**Format:** A5

**Sideantal:** 24 s.

**Md./år for redaktionens afslutning:** august 1990

**Oplag:** 450

**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 :  $\text{NH}_3$ -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  $\text{NH}_3$ -fordampning med passive fluxmålere
- \* Nr. A12 :  $\text{NH}_3$ -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

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

## Bestemmelse af NH<sub>3</sub>-fordampning med passive fluxmålere

En ny, simpel og billig målemetode til bestemmelse af ammoniakfordampning fra ubevoksede og bevoksede arealer samt fra gødningslagre er blevet afprøvet og sammenlignet med en konventionel mikrometeorologisk massebalanceteknik. Det konkluderes, at den nye metode giver en god bestemmelse af ammoniaktab ved fordampning.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

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

**Pris kr. 45.- inkl. 22% moms**

ISBN nr. 87-503-8666-2