



**Forskningscenter for Økologisk Jordbrug**

**FØJO**

# Husdyrgødning og kompost

**Næringsstofudnyttelse fra stald  
til mark i økologisk jordbrug**

Sven G. Sommer og  
Jørgen Eriksen (Red.)

## **Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)**

Formålet med FØJO er at koordinere den økologiske jordbrugsforskning i Danmark med henblik på at sikre optimalt udbytte af de ressourcer, som afsættes til forskning. Centret skal bidrage til, at der bliver udført forskning af høj kvalitet og på et internationalt niveau med udgangspunkt i det økologiske jordbrugs idegrundlag og problemstillinger. Forskningen skal bidrage til en videreudvikling af det økologiske jordbrug for derved at forøge omstillingsmulighederne fra traditionel til økologisk jordbrugsproduktion med hensyn til økonomiske, økologiske og sociale aspekter.

FØJO er et "forskningscenter uden mure", hvor den forskningsfaglige kompetence udgøres af de forskere og institutioner, som deltager i centrets forskningsprogrammer. Forskerne bliver således i deres egne miljøer, men arbejder sammen på tværs af institutionerne. Samarbejdet omfatter ca. 100 forskere fra 15 forskellige forskningsinstitutioner.

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)  
Foulum • Postboks 50 • 8830 Tjele

Tlf. 89 99 16 75 • Fax 89 99 12 00  
E-mail: [foejo@agrsci.dk](mailto:foejo@agrsci.dk)  
Hjemmeside: [www.foejo.dk](http://www.foejo.dk)

# Husdyrgødning og kompost

Næringsstofudnyttelse fra stald  
til mark i økologisk jordbrug

FØJO-rapport nr. 7  
Udskrevet fra [www.foejo.dk](http://www.foejo.dk)

Sven G. Sommer og  
Jørgen Eriksen (Red.)

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug 2000

**FØJO-rapport nr. 7/2000**  
**Husdyrgødning og kompost**  
**Næringsstofudnyttelse fra stald og mark**

*Redaktion*

Sven G. Sommer, Afd. for Jordbrugsteknik, Danmarks JordbrugsForskning  
Jørgen Eriksen, Afd. for Plantevækst og Jord, Danmarks JordbrugsForskning

*Udgiver*

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug

*Udgivet*

Maj 2000

*Layout*

Forside: Enggaardens Tegnestue

Indhold: Rikke-Kirstine Villadsen og Grethe Hansen, FØJO

*Fotos på omslag*

E. Keller Nielsen

Tryk: Repro og Tryk, Skive

Papir: 90 g Cyklus print

Sidetale: 117 pp.

ISSN: 1398-716X

Pris: 100,- kr. inkl. moms og forsendelse

*Købes hos*

Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO)

Foulum

Postboks 50

8830 Tjele

Tlf. 89 99 16 75, fax 89 99 12 00

E-mail: [foejo@agrsci.dk](mailto:foejo@agrsci.dk)

# Forord

Fast staldgødning, kompost og biologisk kvælstoffiksering er centrale kvælstofkilder i økologisk jordbrug. Fra et miljømæssigt synspunkt kan anvendelsen af kvælstoffikserende afgrøder og organisk gødning være problematisk, idet der opbygges kvælstof i jorden, som ved uhensigtsmæssig styring kan give problemer med udvaskning. Samtidig vil tab af næringsstoffer begrænse planproduktionen.

I 1996 blev der i regi af Forskningscenter for Økologisk Jordbrug iværksat forskning med sigte på at belyse mulighederne for at optimere udnyttelsen af næringsstoffer i økologiske produktionssystemer. En række af disse projekter er blevet afsluttede med udgangen af 1999.

For at diskutere specifikke resultater omkring husdyrgødning og kompost, men også forskningens perspektiver i øvrigt, blev der i februar holdt et møde på Sandbjerg Gods i Sønderjylland. I mødet deltog landmænd, rådgivere og forskere, som arbejder på området.

Via fremlæggelser og diskussioner var det målet at belyse og diskutere resultaterne og deres anvendelse i praktisk jordbrug og i rådgivningen. Diskussionerne skulle endvidere medvirke til at belyse ønskerne til den videre forskning.

Nærværende rapport, som bringer resultater omkring udnyttelse af husdyrgødning og kompost i sædskiftet samt tilpasning af sædskiftet til økologisk drift i øvrigt, er udarbejdet på basis af mødets indlæg og de diskussioner, som fulgte indlæggene.

Mødet var arrangeret af Sven G. Sommer og Jørgen Eriksen, Danmarks JordbrugsForskning, der også har redigeret denne rapport. Redaktørerne, indlægsholderne og mødets deltagere i øvrigt takkes for deres bidrag til at øge dialogen mellem forskning, rådgivning og praktisk landbrug.

*Erik Steen Kristensen  
Forskningscenter for Økologisk Jordbrug  
Maj 2000*



# Indhold

Forord .....	3
Indholdsfortegnelse .....	5
Sammendrag .....	7
Indledning .....	11
1 <b>Kvælstof tab fra kvægstalde med dybstrøelse</b> .....	13
<i>Hans Benny Rom &amp; Kaj Henriksen</i>	
2 <b>Næringsstof og kulstof tab ved kompostering samt gødskningsværdien af kompost</b> ...	21
<i>Sven G. Sommer</i>	
3 <b>Omsætning af kulstof og kvælstofprocesser i kvægdybstrøelsesmåtter</b> .....	29
<i>Kaj Henriksen, Torben Olesen og Hans Benny Rom</i>	
4 <b>Tab og udnyttelse af kvælstof ved gylle- og dybstrøelsessystemer på økologiske og kon-</b> <b>ventionelle malkekvægsbrug</b> .....	35
<i>Ib Sillebak Kristensen og Bjørn Molt Petersen</i>	
5 <b>Afsætning af næringsstoffer fra udendørs sohold</b> .....	47
<i>Jørgen Eriksen</i>	
6 <b>Udendørs sohold: Tab af kvælstof ved denitrifikation</b> .....	53
<i>Søren O. Petersen, Kristian Kristensen og Jørgen Eriksen</i>	
7 <b>Ammoniakfordampning fra diegivende søer på græs</b> .....	61
<i>Sven G. Sommer</i>	
8 <b>Frilandssohold – Balancer på mark- og bedriftsniveau</b> .....	67
<i>Vivi Aarestrup Larsen, Anne Grete Kongsted og Ib Sillebak Kristensen</i>	
9 <b>Udnyttelse af husdyrgødning i sædskifter til økologisk planteavl</b> .....	75
<i>Jørgen E. Olesen, Margrethe Askegaard og Ilse A. Rasmussen</i>	
10 <b>Gødningsplaceringens indflydelse på afgrødens vækst og kvælstofoptagelse</b> .....	83
<i>Jens Petersen og Peter Sørensen</i>	
11 <b>Gyllehåndteringens betydning for ukrudtsregulering i vårsæd</b> .....	89
<i>Karsten Rasmussen</i>	
12 <b>Forbedring af spredningsteknik til spredning af fast husdyrgødning</b> .....	95
<i>Martin Nørregaard Hansen</i>	

<b>13 Lagringens betydning for udnyttelse af fast husdyrgødning .....</b>	<b>101</b>
<i>Ingrid K. Thomsen</i>	
<b>14 Virkning af husdyrgødning på jordens næringsstofomsætning på kort og langt sigt ....</b>	<b>107</b>
<i>Lars Stoumann Jensen og Jesper Luxhøj</i>	
<b>Bilag 1:</b>	
Deltagere.....	115



# Sammendrag

*En af de grundlæggende målsætninger i økologisk jordbrug er i størst muligt omfang at recirkulere og holde hus med plantenæringsstoffer. Tab af plantenæringsstoffer kan skade det omgivende miljø og begrænse planteproduktionen; derfor skal tabet være mindst muligt.*

*Bl.a. med henblik på at optimere udnyttelsen af husdyrgødning og kompost er der i de senere år udført en række forskningsprojekter i regi af FØJO. Denne rapport bygger dels på resultater fra afsluttede FØJO-projekter, dels på indlæg, som blev givet på et møde på Sandbjerg Gods i februar 2000.*

*Dette møde havde formål at belyse og diskutere forskningen i et forum af landmænd, rådgivere og forskere. For hvert indlæg havde en af deltagerne ansvaret for at tage noter, dels fra selve indlægget og dels fra den efterfølgende diskussion. På basis af disse noter giver dette afsnit en kort opsummering af de faglige emner, som blev gennemgået og diskuteret på mødet.*

## Gårde med kvæg på dybstrøelse

Undersøgelser af dybstrøelsesmåtter i forsøgsstaldene på Forskningscenter Bygholm, såvel som modelmåtter fremstillet i laboratoriet, viser, at kulstof afgives i form af metan ( $\text{CH}_4$ ) og kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ). Dybstrøelsen består typisk af et øvre, komposterende lag på 15-20 cm, hvor størstedel af stofomsætningen sker (80-85%  $\text{CO}_2$  produceres her) samt et underliggende lag, hvor omsætningen domineres af iltfrie processer. I det komposterende lag topper temperaturen med omkring  $45^\circ\text{C}$  i ca. 10 cm's dybde. Ilten er stort set forsvundet i 20 cm's dybde, og under 20 cm dannes næsten lige meget  $\text{CH}_4$  og  $\text{CO}_2$ .

I de øvre lag omsættes urea-N til ammonium og videre til bakterielt bundet kvælstof, hvor N stammer fra urin og C fra halmstrøelse. I gødningsmåtterne blev der imidlertid ikke målt nogen denitrifikation. Årsagen er formentlig en kombination af høje ammoniakkoncentrationer og høje temperaturer, hvilket hæmmer denitrifikationen.

Ved lavt niveau af protein i foderet var ammoniaktabet ca. 20 g N pr. dyr pr. dag (13-15% af tilført N). Ved det høje proteinniveau var tabet 5-10 g N pr. dyr pr. dag (5-6% af tilført N). Tabet af N ved de to fodringsniveauer var i samme størrelsesorden, når det blev beregnet i forhold til

dybstrøelsens areal. Overskydende N ophobes tilsyneladende ved bunden af måtten, og det ensartede tab kan derfor være udtryk for, at tabet primært sker fra det øverste, komposterende lag, hvor temperaturen og luftskiftet er højt

Temperaturforløbet i kompoststakke med dybstrøelse var upåvirket af behandling i form af komprimering eller overdækning med kompostdug; alle stakke blev hurtigt opvarmet til næsten  $70^\circ\text{C}$ . Dybstrøelsens pH var høj, hvilket sammen med et stort luftskifte giver et stort potentiale for ammoniakfordampning. Generelt tabes ca. 15% af total-N i løbet af den første uge og op til 28% over en hel komposteringsperiode. Der var et omvendt forhold mellem  $\text{CH}_4$ -afgivelsen og koncentrationen i stakken i de første dage, formentlig pga. et højt luftskifte. Tabet af  $\text{CH}_4$  svarede til 20-30% af tabet i gyllesystemer. For lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) var der en forsinkelse på ca. 3 uger, før tab kunne måles, og de var højest fra den komprimerede kompost. Undersøgelsen viste, at (I) overdækning halverede tabet af N sammenlignet med ubehandlet dybstrøelse; (II) effekten af komprimering var lidt mindre; (III) udvaskningstabene udgjorde generelt 2-3%; (IV) heller ikke under kompostering af dybstrøelse var der grundlag for at antage, at der var noget signifikant tab af N via denitrifikation.

En systemanalyse viste, at tab af kulstof under kompostering i dybstrøelsessystemer medfører, at kulstofftilførslen til jorden er på samme niveau som på en gård med gyllehåndtering. Beregningerne viste, at der både på økologiske og konventionelle brug med udbringning af frisk dybstrøelse direkte fra måtte til mark sker en gradvis opbygning af organisk N over en 20-40 års periode. Simuleringerne viste ca. fem procent højere humusindhold ved frisk dybstrøelse sammenlignet med gylle og kompost. Mineraliseringen af N efter kløvergræs blev beregnet til 100 kg N pr. ha, hvilket stemmer godt med den observerede forfrugtsvirkning. Generelt var der god overensstemmelse mellem de simulerede strømme af N og de niveauer, der kunne beregnes på grundlag af massebalancer på gårdniveau inkl. ammoniaktab.

## Bedrifter med udendørs sohold

Næringsstofbalancer opstillet på fire private økologiske gårde med svineproduktion er blevet anvendt til at analysere, beskrive og udvikle produktionssystemer med økologisk svineproduktion, som på lang sigt kan opretholde et hensigtsmæssigt næringsstofniveau mht. både udbytte- og miljøforhold.

Målinger af uorganisk N i jordprøver og jordvandsmålinger (N-min og sugecellemetoden) i forskellige typer folde (enkelt og fælles) har vist, at søerne afsætter gødningen meget ujævnt i marken. Specielt forårsager den intensive fodring af diegivende søer en stor udskillelse af næringsstoffer i gødningen. Der tegner sig generelt det billede, at jo tættere man kommer på fodringsstedet desto højere I) kvælstofindhold i jorden, II) ammoniakfordampning og III) denitrifikationstab af kvælstof. Dette påvirker også næringsstofkoncentrationen af plantematerialet i den efterfølgende afgrøde, hvor indholdet stiger, jo kortere afstanden er til fodringsstedet.

I gennemsnit har projektet fundet betydelige kvælstoftab i farefolde med 32 søer pr. ha i 1997/1998. Der er estimeret en kvælstofudvaskning på 150 kg N/ha/år, en ammoniakfordamp-

ning på 70 kg N/ha/år, et denitrifikationstab på 70 kg N/ha/år ud af et overskud på 490 kg N/ha/år i marken.

Undersøgelser på de private gårde har desuden vist, at svineproducenterne ikke efterlever reglerne for frilandssohold, idet belægningsgraden generelt er højere end den tilladte. Dette resulterer i et højt kvælstofoverskud i de økologiske søers folde (ca. 350-650 kg N/ha/år), der dog ligger lavere end i konventionelle frilandssvinefolde (ca. 500-800 kg N/ha/år).

Projektet er nået frem til flere forhold, som kan minimere næringsstofftabet i udendørs sohold:

- Veksling mellem drægtighedsfolde og farefolde
- Enkelt farefolde frem for fælles farefolde
- Lav belægningsgrad, som reglerne foreskriver
- Hyppig flytning af fodersted og hytter
- Plantedække i efterår og vinter
- Begrænsning af fodringsmængden
- Begrænsning af proteinindholdet i foderet
- Bedre udnyttelse af græsset som foderkilde

## Import og udnyttelse af organiske gødninger

I økologiske sædskifteforsøg på 4 forskellige lokaliteter (Jyndevad, Foulum, Flakkebjerg og Holeby) er 4-marksædskifte med forskellig andel af korn og kvælstoffikserende afgrøder blevet udviklet for at belyse mulighederne for en bæredygtig planteproduktion i et kornrigt sædskifte. Sædskifterne afprøves i fire forskellige systemer, henholdsvis med og uden brug af efterafgrøder og med og uden brug af husdyrgødning.

Udbyttet i vårbyg viste en nedadgående tendens over de første tre år af forsøget i systemet uden gødning og efterafgrøde. Det mest stabile og højeste udbytte blev opnået i systemet med fangafgrøde, især i det sædskifte hvor der også anvendes gødning. Udvaskningen af kvælstof var beskedent, og kaliumudvaskningen kunne ignoreres på den sandblandede lerjord på Sjælland og lerjorden på Lolland. Derimod forekom der stor udvask-

ning af både kvælstof og kalium på den grovsandede jord på Jyndeved og nogen udvaskning på den lerblandede sandjord ved Foulum. Udvasningen af kvælstof kan begrænses ved anvendelse af efterafgrøder og kompenseres gennem dyrkning af kvælstoffikserende afgrøder. Der vil derimod være behov for yderligere gødskning med godkendte kaliumgødninger på den grovsandede jord på Jyndeved. Det er endnu for tidligt at afgøre, om der også vil være et yderligere behov for gødskning med kalium i Foulum. Forsøgene viser desuden en generel tendens til mere ukrudt ved tilførsel af gødning.

Det er erfaringen fra praksis, at økologiske planteavlbrug har brug for en lang tilpasningsperiode (4-10 år) efter omlægning, hvor tilførsel af megen N med organisk gødning er nødvendig. Når sædskiftet først er i balance, drejer det sig mere om at tilføre tilstrækkelig K og P med organisk gødning, svarende til resultaterne fra nævnte sædskifteforsøg, hvor det især er mangel på K, der anses for at være et problem på sandede jorde. Indkøb og gødskning med organisk gødning kan være et lotteri, fordi der er stor variation i kvaliteten af fast husdyrgødning og varierende indhold af total N, og opnået udnyttelsesgrad, som ikke altid kan forudsiges før udbringning. Dette resulterer i varierende og uforudsigelige udbytter. Derfor er der brug for metoder til udtagning og måling af total N i fast husdyrgødning, herunder tilgængelighed af kvælstofindholdet.

## **Udbringning af husdyrgødning, kvælstofudnyttelse og ukrudtsregulering**

Spredestyr, der kan lave en ensartet fordeling af husdyrgødning i marken, er en forudsætning for en høj udnyttelse af næringsstoffer i husdyrgødningen. Det har især været et problem ved spredning af fast husdyrgødning og specielt frisk dybstrøelse. Det har dog vist sig muligt ved forholdsvis enkle midler (ændret spredelse) at udvikle en staldgødningsspreder med et forbedret sprederbillede og en variationskoefficient på omkring 20% ved normal arbejdsbredde. Den forbedrede gødningsspreder er sat i produktion. Den

bedste spredning blev opnået ved arbejdsbredde under 8 m. Selv med den forbedrede spredertype er det vanskeligere at udføre ensartet spredning af frisk dybstrøelse end af omsat kompost.

I en række forsøg med gylle udbragt før såning er der opnået højere udbytter ved nedfældning i sort jord i forhold til bredspredning og nedharvning af gylle. Forsøg med gylle, hvor ammonium-N var isotopmærket, viste tendenser til hurtigere og større optagelse af mærket N i vårbygafgrøde ved nedfældning i forhold til bredspredning. Ved dyb nedfældning/nedpløjning (15 cm) blev optagelsen af mærket N i afgrøde forsinket og optagelsen i ukrudt samtidigt reduceret.

I almindelige parcellforsøg var der en hurtigere vækst af vårbyg og dermed større konkurrenceevne over for ukrudt efter nedfældning i forhold til slangeudlægning. Ukrudtsmængden i vårbyg blev reduceret med omkring 25% og kerneudbyttet øget ved nedfældning i forhold til nedharvet, slangeudlagt gylle. Når behandlinger blev kombineret med ukrudtsharvning, var der også en betydelig reduktion i ukrudtsmængden ved nedfældning.

Det kan konkluderes, at positive effekter af nedfældning i forhold til bredspredning af gylle kan skyldes en kombination af reduceret ammoniakfordampning og reduceret immobiliseringen af kvælstof, samt at afgrøden får en øget konkurrenceevne over for ukrudt, fordi afgrøden hurtigere optager det nedfældede kvælstof.

## **Jordforbedring og opbygning af næringsstofpuljer**

Undersøgelser af N-tab under aerob (kompostering) og iltfri lagring af husdyrgødning viste, at der under aerob lagring forsvandt ca. halvdelen af husdyrgødningens C og N indhold, mens aerob lagring reducerede tabet til ca. 25%. Indholdet af uorganisk N var langt større i den anaerobt lagrede gødning, til gengæld medførte tildelingen af den anaerobt lagrede gødning en større biologisk aktivitet i jorden efter udbringning. Den større biologiske aktivitet betød, at en del af den uorga-

niske N i den anaerobt lagrede gødning blev fastlagt (immobiliseret) således, at den ikke var tilgængelig for plantevæksten, hvorimod der ikke fandt immobilisering sted efter tilførsel af den aerobt lagrede husdyrgødning. Planteudnyttelsen af tilført N var dog stadig højere fra anaerobt lagret husdyrgødning end fra aerobt lagret husdyrgødning.

Den biologiske omsætning af husdyrgødningens organisk bundne næringsstoffer betyder, at husdyrgødningen både frigiver næringsstoffer på kort sigt (1. årsvirkningen) og på længere sigt (10-20 år). 1. årsvirkningen er ofte under lovkravet på 10%, mens den samlede eftervirkning på langt sigt kan være 10-20%. Forårsudbringning af husdyrgødning reducerer risikoen for udvaskningstab i løbet af vinteren, men forårsudbragt husdyrgødning kan ofte føre til en betydelig midlertidig fastlægning (immobilisering) af jordens kvælstofpulje, med udbyttetab til følge. Meget tyder på, at immobiliseringen af kvælstof kan nedsættes ved strengudlægning af husdyrgødningen.

Bruttomineraliseringen af kvælstof kan være op til 100 gange større end nettomineraliseringen

(bruttomineralisering-immobilisering). Da immobilisering er mere temperaturafhængig end mineralisering, er nettomineraliseringen større jo lavere jordtemperatur. Det kan potentielt føre til udvaskningsrisiko gennem vinteren, idet nitrifikationsprocessen stadig er aktiv ved jordtemperaturer på 3 til 5 grader.

Der blev også taget hul på den vanskelige diskussion om jordkvalitet, der kan udtrykkes ved strukturelle parametre som vandbindingsevne og organisk indhold og ved økologiske parametre som artsdiversitet, mikrobiel aktivitet og jordbundsfauna. Jordkvaliteten vurderes ved kvantificering af processer og elementer i jordsystemet. Vurdering af jordkvaliteten benyttes bl.a. i forbindelse med toxicitetsundersøgelser af kemikalier, f.eks. sprøjtemidler og af kemisk belastet slam. Vurderingen kan udtrykkes ved påvirkningen af en enkelt jordbundsorganisme eller ved påvirkningen af multiartssystemer i laboratoriet. Vurderingen af kemisk belastet slam er også blevet udført i feltforsøg. Jordbundsfaunaen er en vigtig parameter for jordbunds-kvalitet, da jordbundsfaunaen indvirker på omsætningsprocesserne og jordstrukturen og virker stabiliserende på økosystemet.

# Indledning

Størst mulig hensyntagen til husdyrenes sundhed og velfærd er et vigtigt element i de økologiske principper. For at opretholde husdyrenes velfærd skal husdyrene bl.a. have adgang til strøelse og udendørs arealer.

Fra et miljømæssigt synspunkt kan anvendelsen af organisk gødning være problematisk, idet der opbygges store mængder kvælstof i jorden, som ved uhensigtsmæssig styring kan give problemer med udvaskning af kvælstof til vandmiljøet.

En optimal håndtering af den faste staldgødning og husdyrenes anvendelse af udendørsarealerne er derfor en forudsætning for dels at undgå miljømæssige problemer, herunder især tab af næringsstoffer, dels for at tilrettelægge den mest hensigtsmæssige produktion.

Forskning og øget viden på disse områder åbner – foruden en bedre kvælstofhusholdning – også for en række perspektiver i forbindelse med øget jordfrugtbarhed, en bedre næringsstofforsyning til afgrøderne, forebyggelse af ukrudt m.m.

I forbindelse med et alsidigt sædskifte er det således muligt at sikre en god og frugtbar jord, der giver mulighed for en god næringsstoffusholdning, og som bidrager til sunde planter af høj kvalitet.

Der er således et stort behov for at udvikle metoder og opbygge viden om biologiske og miljømæssige aspekter af økologiske jordbrugssystemer, herunder viden om de komplekse sammenhænge mellem de mange forskellige faktorer, som påvirker både driften og omgivelserne, herunder miljø- og naturforhold.

På den baggrund blev der i 1996 i regi af Forskningscenter for Økologisk Jordbrug (FØJO) iværksat en række forskningsprojekter på området. Flere af projekterne er nu færdige, og for at diskutere resultaterne og deres perspektiver blev der i februar 2000 holdt et møde på Sandbjerg Gods i Sønderjylland. På mødet præsenterede forskerne deres resultater og lagde samtidig op til en diskussion med konsulenter, landmænd og kolleger om relevansen af deres undersøgelser.

I det følgende gengives de – på baggrund af mødet – redigerede indlæg.



# 1 Kvælstoftab fra kvægstalde med dybstrøelse

Hans Benny Rom<sup>1</sup>, Danmarks JordbrugsForskning, Afd. For Jordbrugsteknik  
Kaj Henriksen, Ålborg Universitet, Laboratoriet for Miljøteknik  
<sup>1</sup>E-mail: HansB.Rom@agrsci.dk

*Undersøgelsen viste, at ammonium i dybstrøelsen hovedsagelig stammer fra omsætning af urea nede i dybstrøelsesmåtten. Hovedparten af det dannede ammonium absorberes af halmen, og mikroorganismene immobiliserer derpå en del af strøelsens indhold af ammonium til organisk ikke-flygtigt N, derfor er ammoniaktabet fra dybstrøelsesmåtter kun ca. 6% af N afsat i fæces og urin. En komposteringslignende proces i toplagene af måtten forårsager høje temperaturer med maksimum i 10 cm dybde, og hindrer tilførsel af ilt til bundlagene. Nitrifikations- og denitrifikationsprocesserne blokeres derfor både af (1) mangel på ilt, (2) de høje temperaturer og (3) høje NH<sub>3</sub> koncentrationer i måtten. Som følge af at nitrifikations og denitrifikationsraterne i dybstrøelsen er lave, er mængden af lattergas ikke målbar. Der er en stor metanproduktion i den iltfrie del af måtten. Den dannede metan oxideres i det iltrige øvre lag, derfor er udsendelsen af metan fra måtten kun ca. 15% af den samlede udsendelse af kuldioxid og metan.*

## Baggrund

Der har gennem de seneste år nationalt og internationalt været stor aktivitet med henblik på at kvantificere kvælstoftabet i forbindelse med husdyrproduktionen.

En betydelig del af den forskningsmæssige indsats vedrørende ammoniakemission fra stalde har de seneste 10-20 år været fokuseret på staldsystemer med gylle (Rom et. al. 1999).

I økologiske kvægbrug er der blandt andet af hensyn til husdyrvelfærd stor interesse for at anvende stalde med dybstrøelse til både ungvæg og malkekvæg. En af de grundlæggende målsætninger i økologisk produktion er størst mulig recirkulation af plantenæringsstoffer. Men der foreligger imidlertid kun sparsom viden vedrørende kvælstoftab fra kvægstalde med dybstrøelse. De fleste resultater kommer fra systemer, hvor gødningsmåtten grubes eller vendes jævnligt, hvilket normalt ikke sker under danske forhold.

I stalde med dybstrøelse til kvæg, hvor gødningsmåtten ikke rodes op i løbet af opsamlingsperioden, er kvælstoftabet sat til 8% af udskilt mængde kvælstof ab dyr (Kyllingsbæk, 1997). Denne angivelse er baseret på et skøn og er derfor behæftet med stor usikkerhed.

Der blev derfor gennemført 2 serier af forsøg i en forsøgsstald på Rugballegård. Formålet for undersøgelserne var at bestemme kvælstoftabet fra stalde med dybstrøelse til ungvæg og kælvekvier.

Første serie blev gennemført med ungvæg, hvor foderet havde lavt proteinindhold, som normalt anvendes i økologiske besætninger. Foderet var en blanding af halm, ensilage i boks 1 (LV) og samme blanding med tilsætning af roer i boks 2 (HV).

Anden serie blev gennemført med kælvekvier, hvor foderets indhold af protein øges i perioden op til kælving.

Formålet med undersøgelsen var at bestemme kvælstoftabet fra stalden. Tabet blev sat i relation

til belægningsgrad, total mængde kvælstof i foder og i strøelse. Det var ligeledes et formål at undersøge, hvorledes roer i foderblanding har indflydelse på strøelsesforbrug, gødningsmåttens kemiske og fysiske sammensætning og kvælstoftabet fra stalden.

## Staldindretning og fodrings praksis

Forsøgsstaldene var indrettet som 2 selvstændige staldrum (boks 1 hvor der fodres med lavt vandindhold i foderet (LV) og boks 2, hvor der fodres med højt vandindhold i foderet (HV)). Rummenes dimensioner var 7,5 x 12,0 m. Med fradrag til rampe m.m. svarende det til et netto måtteareal på 78 m<sup>2</sup> til dyrene.

Af hensyn til måling af ventilationsluftmængden i stalden har det ikke været muligt at indrette stalden som en åben stald med naturlig ventilation.

Det har derfor været tilstræbt at opnå udelignende temperaturforhold i stalden ved at lade ventilationsanlægget køre med fuld kapacitet hele tiden svarende til ca. 7.850 m<sup>3</sup>/h for boks 1 (LV) og 7.700 m<sup>3</sup>/h for boks 2 (HV).

Boksene var indrettet med dybstrøelse i hele arealet. Grovfoderet blev tildelt i 2 ophængte fodertrug i hver forsøgsstald. Fodertruget flyttes jævnlige for at fordele belastningen på gødningsmåttens.

Fodersammensætningen blev fastlagt efter gældende praksis. Mængden af tildelt strøelse i de to bokse blev bestemt med henblik på at holde gødningsmåttens overflade tør. Alt foder, vand, strøelse og alle dyr blev vejet ind. Alle dyr, gødning, vand- og foderspild blev vejet ud. I tilfælde af udskiftning af dyr undervejs blev de pågældende dyr vejet.

**Tabel 1** Oversigt over måttebetegnelser.

Fodertype	Periode	Måttebetegnelse	
		Boks 1(LV)	Boks 2 (HV)
Lavproteinfoder	Okt. 97 – febr. 98	1,1	1,2
	Febr. 98 – maj 98	2,1	2,2
Højproteinfoder	Okt. 98 – febr. 99	3,1	3,2
	Febr. 99 – maj 99	4,1	4,2

## Forsøg med ungvæg med lavproteinfoderblanding

Første undersøgelse fandt sted i opstaldningsperioden 97/98 med ungvæg, som blev fodret med en foderblanding med lavt kvælstofindhold. Gødningsmåttens blev kørt ud medio februar og ved afvikling af forsøget medio maj.

For at belyse eventuel indflydelse fra foderets vandindhold blev dyrene i boks 1 (LV) fodret med halm og ensilage og i boks 2 (HV) med halm, ensilage og roer. Foderet blev tildelt ad libitum (tabel 2).

Gennemsnitsvægten ved indsættelse var 358 kg for boks 1 og 345 kg for boks 2 svarende til en belægning på henholdsvis 82,6 og 79,6 kg/m<sup>2</sup> eller 4,3 m<sup>2</sup>/dyr.

Tilvæksten var i gennemsnit 0,413 kg/dag i boks 1 og 0,180 kg/dag i boks 2.

Vandforbruget var for boks 1 (LV), 35,7 liter/dyr og for boks 2 (HV), 31,1 liter/dyr.

Strøelsesforbruget var ens i begge bokse, nemlig 12 kg byghalm/dyr pr. dag.

Undersøgelserne blev gennemført med en gennemsnitlig udetemperatur på 7,9°C. Gennemsnits-temperaturen i stalden var 8,9°C.



### *Kvælstoftab i stalden*

I boksen med lavt vandindhold (LV) blev tilført 88 gram N/dyr pr. dag i foder og i strøelse 97 gram/dyr pr. dag. Kvælstoftabet fra stalden i hele opstaldningsperioden svarede til 10,2 gram N/dyr pr. dag eller 6% af udskilt kvælstof af dyr. Det svarer til dagligt tab på 2,6 g N/m<sup>2</sup> gødningsmåtte. Der blev ikke fundet fordampning af lattergas fra stalden. Kvælstof i udkørt dybstrøelse udgjorde i gennemsnit for hele opstaldningsperioden på 164 gram /dyr pr. dag.

I boksen med højt vandindhold (HV) blev tilført mængde kvælstof i foder beregnet til 85 gram/dyr pr. dag i og strøelse 97 gram N/dyr pr. dag. Kvælstoftabet fra stalden i hele opstaldningsperioden var 10,4 gram N/dyr pr. dag svarende til 6% af udskilt mængde kvælstof af Dyr eller 2,6 g N/m<sup>2</sup> gødningsmåtte pr. dag. Kvælstof i udkørt dybstrøelse udgjorde i gennemsnit for hele opstaldningsperioden svarede til en produktion på 168 gram N/dyr pr. dag.

**Tabel 2** Foderforbrug og massebalance for C, N og tørstof for opstaldningsperioden 97/98 med lavt kvælstofniveau. Rest er emission af N ved denitrifikation og af C ved CH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub> udsendelse.

Fodertype	Enhed	Boks med lavt vandindhold (LV)		Boks med højt vandindhold (HV)			
Foder Halm	Kg/dyr/dag	8,1		6,2			
Ensilage	Kg/dyr/dag	2,8		2,0			
Roer	Kg/dyr/dag			10,6			
Massebalance		Kvælstof		Tørstof		Kulstof	
		LV	HV	LV	HV	LV	HV
		G N/D/dag		Kg TS/dyr/dag		Kg C/dyr/dag	
Totalt tilført*		184,9	181,6	11,3	11,2	5,5	5,5
Gødning		163,6	167,7	9,0	8,2	3,9	3,6
Emission		10,2	10,4				
Rest		-0,5	3,0	2,3	3,0	1,7	1,9

\* Total tilført er tilførsel i foder og halmstrøelse.

\*\* Gødning: Dybstrøelse ved tømning af stalden

\*\*\* Emission: Den målte NH<sub>3</sub>-fordampning

\*\*\*\* Rest: Rest(N)=total tilført-gødning-emission

Rest(TS)= total tilført-gødning

Rest(C)= total tilført-gødning

### *Tørstofomsætning i stalden*

I boksen med lavt vandindhold (LV) blev der tilført i alt 11 kg tørstof/dyr pr. dag i form af foder og strøelse. Den tilsvarende mængde tørstof fjernet i form af dybstrøelse blev beregnet til 9 kg/dyr pr. dag. Udkørte mængde dybstrøelse svarede til en produceret mængde dybstrøelse på i gennemsnit 29 kg/dyr pr. dag.

I boksen med højt vandindhold (HV) blev der tilført i alt 18,2 kg tørstof/dyr pr. dag i form af foder og strøelse. Tørstof i udkørt dybstrøelse udgjorde i alt 8,9 kg/dyr pr. dag. Udkørt mængde

gødning udgjorde, hvad der svarer til henholdsvis 29,9 kg og 28,5 kg/dyr pr. dag fra LV og HV.

### *Kulstofftab i stalden*

CO<sub>2</sub>-emissionen stammer dels fra dyrenes produktion og dels fra fordampning fra dybstrøelsesmåtten. Emissionen var stort set ens for de to bokse, hvilket indikerer at ventilationsniveauet er ens for de to systemer.

Metan emission fra dybstrøelsesmåtten udgjorde i gennemsnit for opstaldningsperioden 18% af total CH<sub>4</sub>-emission fra stalden.

Kuldioxidemission fra dybstrøelsesmåten udgjorde 23% af total CO<sub>2</sub>-emission fra stalden.

## Forsøg med kælvekvier og højproteinfoderblanding

Anden del af undersøgelsen fandt sted i opstaldningsperioden 1998/99.

Formålet var at bestemme fordampningstab af kvælstof ved fodring med et foder med højt kvælstofindhold svarende til praksis for kælvekvier lige før kælvning. Som i det foregående forsøg blev der gennemført forsøg med foderblandinger med og uden roer. I boks 1 (LV) blev der givet halm, ensilage og grønpiller og i boks 2 (HV) halm, ensilage, roer og grønpiller. Foderet blev tildelt ad libitum.

Gennemsnitsvægten ved indsættelse var 556 kg/dyr for boks 1 (LV) og 541 kg/dyr for boks 2 (HV) svarende til 114 og 111 kg/m<sup>2</sup> gødningsmåtte eller 4.9 m<sup>2</sup>/dyr.

Tilvæksten var i gennemsnit 0,590 kg/dag i boks 1 (LV) og 0,809 kg i boks 2 (HV). Foderblandningens sammensætning er nærmere beskrevet i tabel 3

Vandforbruget var for boks 1 (LV) 35,7 liter/dyr pr dag og for boks 2 (HV) 31,3 liter/dyr pr dag. Strølesforbruget var i boks 1 (LV) 10,4 kg/dyr pr. dag og boks 2 (HV) 10,7 kg/dyr pr. dag.

Temperaturen i stalden var i gennemsnit 12,7°C for boks 1 og 9,9°C for boks 2. Udetemperaturen i perioden var i gennemsnit 7,9°C.

**Tabel 3** Foderforbrug og massebalance for C, N og tørstof for opstaldningsperiode 98/99 med højt kvælstofniveau. Rest er emission af N ved denitrifikation og af C ved CH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub>-udsendelse.

Fodertype	Enhed	Boks med lavt vandindhold (LV)		Boks med højt vandindhold (HV)			
Halm	Kg/dyr/dag	7,8		7,3			
Ensilage	Kg/dyr/dag	2,6		2,4			
Roer	Kg/dyr/dag			12,8			
Grønpiller	Kg/dyr/dag	4,6		2,8			
Massebalance		Kvælstof		Tørstof		Kulstof	
		LV	HV	LV	HV	LV	HV
		g N/D/dag		Kg TS/dyr/dag		Kg C/dyr/dag	
Totalt tilført*		318,2 (12,8)	284,2 (5,9)	11,3 (0,1)	11,6 (0,2)	5,4 (0,2)	5,6 (0,1)
Gødning		285,6 (15,3)	246,6 (12,5)	11,9 (0,0)	11,7 (0,6)	5,1 (0,0)	5,0 (0,4)
Emission		14,6 (1,0)	12,0 (0,2)				
Rest		2,5 (3,5)	4,5 (6,9)	-0,6	-0,1	0,3 (0,1)	0,6 (0,5)

\* Total tilført er tilførsel i foder og halmstrøelse.

\*\* Gødning: Dybstrøelse ved tømning af stalden

\*\*\* Emission: Den målte NH<sub>3</sub>-fordampning

\*\*\*\* Rest: Rest(N)=total tilført-gødning-emission

Rest(TS)= total tilført-gødning

Rest(C)= total tilført-gødning

### Kvælstoftab i stalden

I boks 1 (LV) blev der tilført 318 gram kvælstof/dyr pr. dag og i boks 2 (HV) 284 gram N/dyr pr. dag i form af foder og strøelse.

Kvælstoftab fra stalden blev i hele opstaldningsperioden beregnet til 14,6 g N/dyr pr. dag (3,0 g N/m<sup>2</sup>) for boks 1 (LV) og 12,0 gram N/dyr pr. dag (2,7 g N/m<sup>2</sup>). Det svarede til et tab på ca. 6% af kvælstofudskillelse af dyr. På trods af mindre

forskel i fodersammensætning blev der ikke fundet forskel på N-fordampningen fra de 2 bokse. I gennemsnit for de to bokse er N-tabet 2,7 g/m<sup>2</sup> gødningsmåtte.

I opstaldningsperioden var de fodringsmæssige forhold helt i overensstemmelse med, hvad der sker i praksis. Dyrebelægningen på gødningsmåtten var ens i hele perioden. I forsøget var fordampningen 5-6% af udskilt mængde kvælstof. I danske normtal er det tilsvarende tab sat til 8% af udskilt kvælstof (Kyllingsbæk et al., 1997). Relation til arealet af gødningsmåtten svarede til tabet 2,5-2,8 g N/m<sup>2</sup> pr. dag. Danske normtal angiver ca. 2,1 – 2,4 g N/m<sup>2</sup>. Der forekom ikke kvælstoftab i form af lattergas.

I en rapport vedrørende estimering af ammoniakemission fra stalde i de europæiske lande angives ammoniakfordampningen til ca. 20 gram N pr. dyr/dag svarende til ca. 3 g N/m<sup>2</sup> (Koerkamp et al. 1998). Men disse opgørelser skelner ikke mellem sengestalde med spaltegulv med gylle eller dybstrøelsesstalde. CO<sub>2</sub>-emission fra de to bokse var ens, hvilket indikerer, at de klimamæssige forhold i boksene var ens.

#### *Tørstofomsætning i stalden*

Der blev tilført henholdsvis 11,3 kg og 11,6 kg ts/dyr pr. dag i boks 1 (LV) og 2 (HV). Udkørt mængde gødning svarede til henholdsvis 11,9 kg og 11,5 kg ts/dyr pr. dag. Dvs tilført og udkørt mængde var ens for de to bokse.

#### *Kulstofstab i stalden*

Metanemission fra dybstrøelsesmåtten udgjorde 11% af total CH<sub>4</sub>-emission fra stalden og CO<sub>2</sub>-

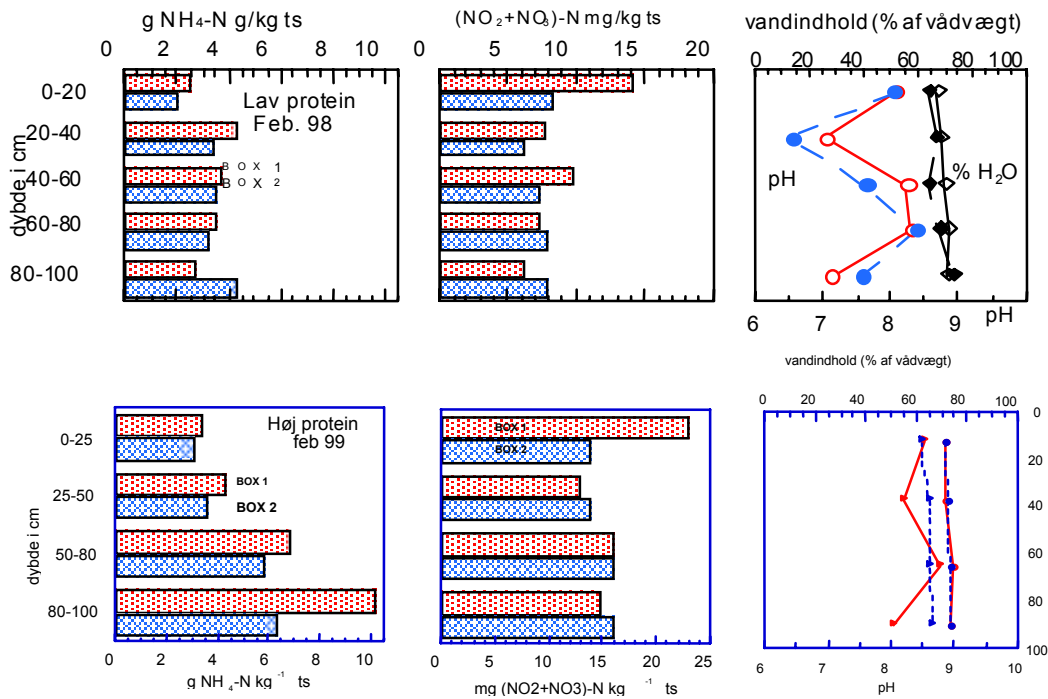
emissionen udgjorde 18% af total CO<sub>2</sub>-emission fra stalden. For 2. periode udgjorde måttens bidrag 18% af totalemissionen.

## **Indhold og fordeling af uorganisk kvælstof i måtterne før udbringning**

For begge forsøgsperioder gælder, at ammonium udgjorde mere end 99% af den samlede uorganiske kvælstofpulje i måtterne. Som det fremgår af figur 2 var der ingen signifikant forskel på måttens indhold af vand, ammonium og nitrat for foder med lavt vandindhold (halm+ensilage; boks 1) og foder med højt vandindhold (halm+ensilage+roer; boks 2).

Ammoniumindholdet i måtte 1.1 og 1.2 fra den første forsøgsperiode (okt. 97 – feb. 98) med lavt proteinindhold i foderet var ved afslutning efter 3 måneder ca. 35% lavere end indholdet i måtte 3.1 og 3.2 fra første periode med højt proteinindhold i foderet (okt. 98-feb. 99). Gennemsnitsindhold af ammonium-N ved udkørsel var for hele gødningsmåtten i første opstaldningsperiode henholdsvis 0,31 g/kg ts for boks 1 (halm+ensilage) og 0,42 g/kg ts for boks 2 (halm+ensilage+roer). For gødningsmåtten i anden opstaldningsperiode var ammonium-N-indholdet 0,58 g/kg ts for boks 1 (halm+ensilage+grønpiller) og 0,38 g/kg ts for boks 2 (halm+ensilage+roer+grønpiller).

Koncentrationen af ammonium var lavest i måttens toplag (2,8-4,2 g NH<sub>4</sub>-N/kg ts) og steg til maksimum i de dybeste lag (5-10,2 g NH<sub>3</sub>-N/kg ts).



**Figur 1** Dybdeprofiler af ammonium-N, nitrit+nitrat-N  $\text{NH}_4$ , vandindhold og pH for dybstrøelsesmåtterne ved afslutning af periode 1 og periode 3.

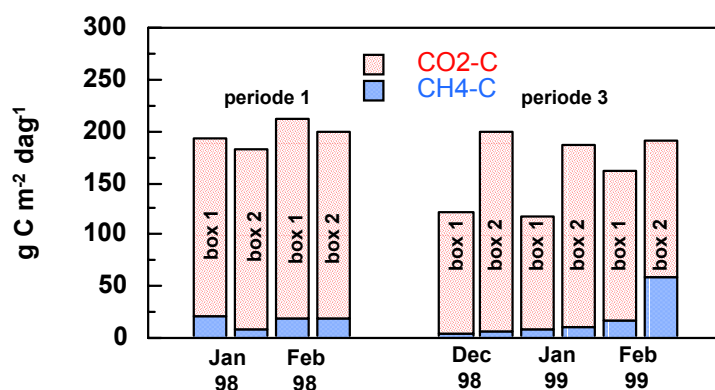
Der var ingen signifikant forskel på indholdet af nitrat og fordeling med dybden for måtter med lavt og højt proteinindhold i foderet. Koncentrationen af nitrit+nitrat fordelte sig jævnt over hele dybden og lå mellem 5 og 30 mg  $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N/kg ts}$ . Nitrit udgjorde fra 30-100% af den samlede mængde nitrit+nitrat.

Der var en tendens til et højere vandindhold på 10-15% i måtterne med højt proteinindhold i foderet. Vandindholdet i måtterne var lavest i toppen (65-68% af vådvægt) og steg jævnt mod bunden (70-74% af vådvægt). For måtterne i periode 1 varierede pH noget med dybden. Højeste værdier målt i toplaget og i 40-80 cm

dybde (pH 8,3-8,4) og laveste værdier i 20-40 cm og i bundlaget (pH 6,8-7,5). I måtte 3.1 og 3.2 var pH lidt højere og mere jævnt fordelt over dybden (pH 8,0-8,8).

### Afgivelse af $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ og $\text{N}_2\text{O}$ fra dybstrøelsesmåtten

Fluxene af kuldioxid, metan og lattergas blev målt efter 2 og 3 måneder i periode 1 og efter 1, 2 og 3 måneder i periode 3. Målingerne blev foretaget som korttidsmålinger i statiske fluxkamre direkte på måtteoverfladen.



**Figur 2** Afgivelse af kuldioxid og metan fra dybstrøelsesmåtterne i periode 1 (jan.-feb. 98), periode 2 (maj 98) og periode 3 (dec.-jan.-feb. 99).

Metanafgivelsen fra måtterne varierede en del og udgjorde gennemsnitligt 7-11% af den samlede kulstofafgivelse ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) fra måtterne i periode 1 og 3.

Der var ikke entydig tendens til øget methanafgivelse med måttealder, som man kunne forvente med øget anaerobt volumen i de dybere dele af måtten; kun for box 2 var der en kraftig stigning ved sidste prøvetagning i periode 3.

Kuldioxidafgivelsen var ens for foder med højt og lavt vandindhold i periode 1, medens der var en tendens til højere  $\text{CO}_2$ -flux fra foder med højt vandindhold i periode 3.

Der kunne ikke konstateres målbare mængder af lattergasafgivelse fra måtten.

Ud fra den målte afgivelse af kulstof fra dybstrøelsesmåtten for periode 1 kan der beregnes et gennemsnitligt vægttab som følge af komposteringen på 18% af måttens tørvægt, hvilket

ligger tæt på angivne normtal for dybstrøelsesmåtter (20%). Mere end 85% af omsætningen i måtten foregår i de iltholdige øverste 20 cm af måtten (dette er beregnet som C-fluxens % af (organisk stof i måtten ved afslutning+afgivet ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ )-C).

Den samlede afgivelse af gasformigt kulstof fra stalden i form af  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  udgøres af et bidrag direkte fra dyrene og et bidrag fra omsætningen i dybstrøelsesmåtten.

Metanafgivelsen udgør i periode 1 ca. 5% af det samlede kulstofbidrag, og 60% heraf kommer fra dybstrøelsesmåtten.

Kuldioxid udgør godt 95% af totalen og heraf bidrager måtten med 28-30%. Den resulterende respiration fra dyrene (total - måtte) udgør 1823 g C/dyr/dag, hvilket er noget højere end angivne normtal. Ifølge CIGR-norm er  $\text{CO}_2$ -produktionen beregnet til ca. 2376  $\text{dm}^3$ /dyr/dag.

## Referencer

- Koerkamp, P.W.G. G.; Metz, H.M.; Uenk, G.H.; Phillips, V.R.; Holden, M.R.; Sneath, R.W.; Short, J.L.; White, R.P.; Hartung, J.; Seedorf, H.; Schröder, M.; Linkert, K.H.; Pedersen, S.; Takai, H.; Johnsen, J.O. og Walter, C.M.: Concentrations and Emissions of Ammonia in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agric. Engineering Res.* (1998), 70, 79-95.
- Kyllingsbæk, A.; Rom, H.B.; Sommer, S.G.; Petersen, P.; Kroman, H. & Knudsen, L. (1998) Teknik, ab stald og lager. I Damgaard Poulsen, H. & Kristensen, V.F. (Red.): Normtal for husdyrgødning. En revurdering af danske normtal for husdyrgødningens indhold af kvælstof, fosfor og kalium. DJF beretning nr 736. 1997 pp .43-56
- Rom, H.B.; Petersen, J.; Sommer, S.G.; Andersen, J.A.; Poulsen, H.D.; Kristensen, V.F.; Hansen, J.F. & Kyllingsbæk, A. & Jørgensen, V. (1999) Teknologiske muligheder for reduktion af ammoniakfordampningen fra landbruget. Delrapport 3. DJF, april 1999.

## 2 Næringsstof- og kulstof-tab ved komposterings samt gødskningsværdien af kompost

Sven G. Sommer

Danmarks JordbrugsForskning Afd. for Jordbrugsteknik

E-mail: SvenG.Sommer@agrsci.dk

*I tre forsøg (I-III) blev følgende tiltag til reduktion af kulstof- og kvælstoftab fra lagre af dybstrøelse undersøgt: (1) ubehandlet dybstrøelse, (2) let komprimering, (3) kraftig komprimering med en frontlæsser, (4) vending af dybstrøelse efter 3 ugers lagring, (5) findeling af dybstrøelsen og (6) overdækning med kompostdug. I forsøg II blev dybstrøelsen findelt før etablering af stakkene. Ved denne behandling gik ca. 15-20% af gødningens kvælstofindhold tabt. Komprimeringen af dybstrøelsen var ikke tilstrækkelig til at hindre rigelig tilgang af ilt, og der foregik derfor kompostering i de to komprimerede stakke.*

*I forsøg I, hvor dybstrøelsen var ubehandlet, svarede kvælstoftabet i løbet af komposteringsperioden til ca. 20% af total-kulstofindholdet, i forsøg II var tabet 5-19% og i forsøg III 12-28%. Blanding af dybstrøelsen medførte som nævnt et tab af kvælstof forud for kompostering i forsøg II, derfor var tabet ved den efterfølgende kompostering lavt. I forsøg II var tabet af kvælstof lavest fra komposten, der blev vendt efter 3 uger og højest fra ubehandlet kompost. En let komprimering af dybstrøelsen ved start reducerede tabet i forhold til ubehandlet kompost. I forsøg II forårsagede denitrifikation tab på 2-18% af kvælstofindholdet. Det laveste tab var fra kompost der blev vendt, og det højeste tab fra ubehandlet kompost. I forsøg III var tabet af kvælstof ligeledes højest fra ubehandlet kompost, tabet blev halveret ved komprimering af dybstrøelsen med frontlæsser og ved overdækning med kompostdug. I forsøg I og forsøg III, hvor dybstrøelsen ikke var findelt, var ammoniakfordampning årsag til tabet af kvælstof. Fra kompost, som var overdækket med kompostdug eller komprimeret med frontlæsser (Forsøg III), var kvælstoftabet 11-16%. Til sammenligning var kvælstoftabet 28% fra den ubehandlede dybstrøelse.*

*Udvaskning af fosfor var ubetydelig i denne undersøgelse, mens kaliumudvaskningen i løbet af en vinterperiode androg ca. 10% af kaliumindholdet i komposten. I løbet af en komposteringsperiode på ca. 50 dage gik 20% af kulstoffet tabt, og i løbet af mere end 100 dage gik 40-50% af kulstoffet tabt i form af kuldioxid. Udsendelsen af kulstof medførte en reduktion i tørstofindholdet på ca. 20% i løbet af 50 dage og ca. 40% i løbet af mere end 100 dages kompostering.*

*Der var størst kerneudbytte af vårbyg efter udbringning af frisk dybstrøelse og en mindre effekt på udbyttet ved tilførsel af komprimeret kompost og kompost dækket med kompostdug under lagring. Førsteårsvirkningen af kompost og dybstrøelse var ringe, og der bør ved gødskning med dybstrøelse og kompost suppleres med gylle.*

## Indledning

I økologisk jordbrug har der været tradition for at anvende komposteret fast staldgødning og dybstrøelse. Kompostering reducerer gødningens indhold af ukrudtsfrø og af sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Ca. 40% af økologiske kvægbesætninger anvender dybstrøelse. I 25% af staldene produceres fast gødning og ajle, og 35% af besætningerne er i stalde med gylleudmugningssystem. De økologiske brug producerer således relativt mere komposterbar, fast staldgødning og kompost end det traditionelle landbrug, hvor ca. 12% af gødningen håndteres som dybstrøelse (Ib S. Kristensen, ikke publiceret).

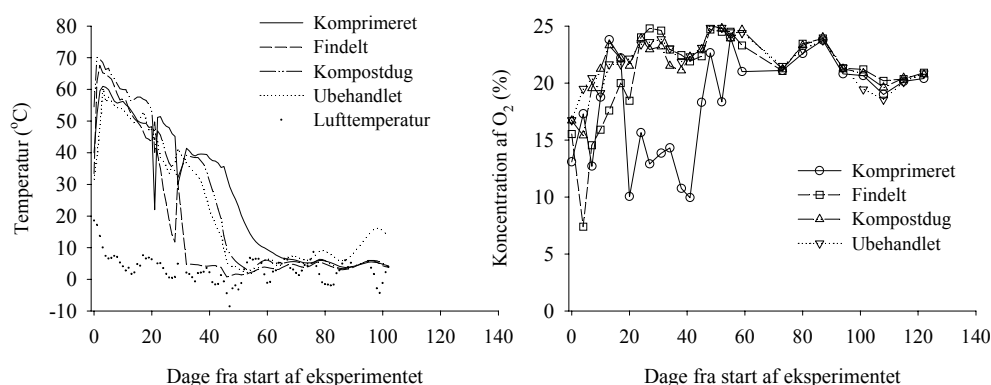
I disse år mindskes antallet af bindestalde både i økologisk og traditionelt landbrug. Dette medfører, at en stigende andel af den faste husdyrgødning findes som dybstrøelse. I lagret dybstrøelse vil der starte en komposteringsproces, dvs. temperaturen inde i stakken stiger til 50-70°C. Temperaturstigningen er skabt ved bakteriers og svampes nedbrydning af det organiske materiale under tilstedeværelse af ilt.

Ved komposteringen stiger både temperatur og pH. Begge dele fremmer muligheden for store ammoniaktab ( $\text{NH}_3$ ). Ved kompostering af staldgødning kan det uorganiske kvælstof endvidere gå tabt ved denitrifikation. Opstår der iltfrie lommer i komposten, kan der også dannes drivhusgasserne lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) og metan ( $\text{CH}_4$ ). Foruden gas-

formigt tab af kvælstof (N) og kulstof (C) ved kompostering af dybstrøelse kan der forekomme udvaskning af kalium (K), nitrat ( $\text{NO}_3$ ), fosfor (P) og svovl (S).

Ammoniak omdannes i luften til ammonium og opløses i regn. Med regnen afsættes ammonium på jorden og kan gøre ubodelig skade på næringsstoffattige økosystemer. I atmosfæren har drivhusgasserne et stort potentiale til at absorbere energi og bidrager derved til opvarmningen af jorden, fordi mindre energi reflekteres fra jorden og ud i verdensrummet.

Der er kun gennemført få undersøgelser af kvælstoftab og næringsstofomsætning i dybstrøelse og under kompostering. Derfor er disse tab blevet undersøgt i dette projekt, hvor kvægdybstrøelse blev komposteret i forsøgene I til III. Dybstrøelsens sammensætning og behandlingerne i forbindelse med etablering af kompoststakkene fremgår af tabel 1. Gasformige tab er bestemt med en kammerteknik, udvaskning under lagring ved at opsamle møddingsvandet, og ved en massebalance er tabet af N ved denitrifikation estimeret som en differens. Omsætningsprocesserne er blevet studeret ved målinger af temperatur og af gassammensætningen i stakkene. Første-års gødningsvirkning af komposten blev undersøgt i markforsøg. Som reference blev der gennemført forsøg med svinegylle.



**Figur 1** Temperatur og iltindhold i fire kompoststakke etableret i forsøg III. I de tre kompoststakke blev der lagret dybstrøelse, der ikke var behandlet før lagring og kompostering.



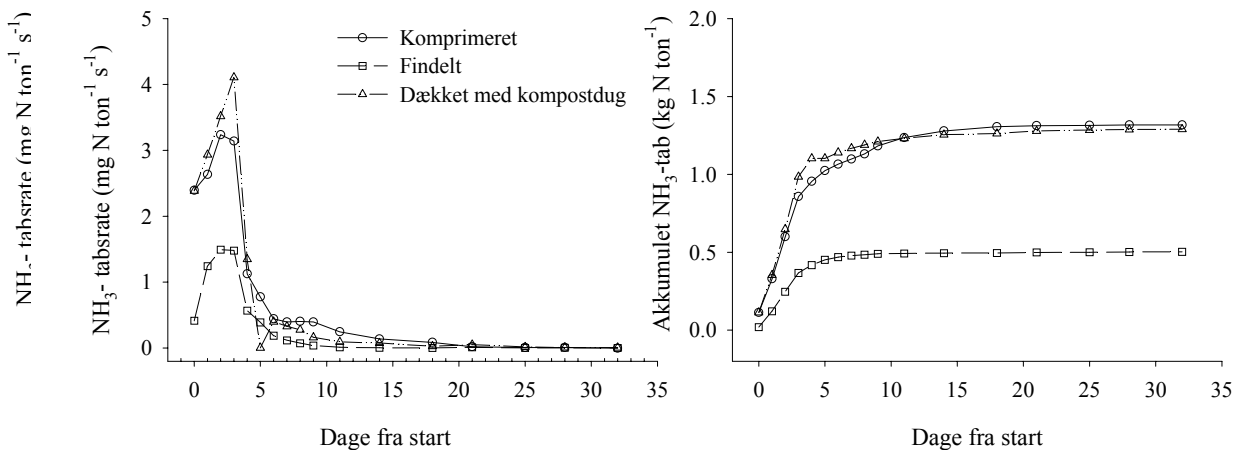
## Temperaturen i kompoststakkene

En til to dage efter etablering af kompoststakkene steg temperaturen til 60-70°C (fig. 1). Efter temperaturen havde nået et maksimum på ca. 70°C, faldt temperaturen langsomt til 30-40°C i løbet af ca. 4 ugers kompostering. Efter afkøling af komposten til 30-40°C blev der i flere af kompoststakkene målt en temperaturstigning på 5-10°C. Opvarmningen skyldes kolonisering af komposten af svampe, der ikke havde været aktive i stakken, mens temperaturen indledningsvis var høj.

Temperaturen var højest midt i stakken og faldende mod overfladen (data ikke vist). Supplerende målinger af overfladetemperaturen med infrarød temperaturmåleudstyr viste, at temperaturen var lav nederst på siden, og at den steg mod toppen af stakken. Variationen i temperaturen afspejlede luftbevægelsen, idet kold luft siver ind ved bunden af stakken, luften opvarmes inde i stakken, udvides og strømmer ud i toppen af stakken,

der derved opvarmes. Den høje temperatur i stakken skyldtes opvarmning som følge af aerobe mikroorganismers omsætning af organisk stof, og var derfor afhængig af O<sub>2</sub>-tilførslen. Iltkoncentrationen varierede som følge af O<sub>2</sub>-forbrug og luftudskiftning. I perioder med en høj omsætning af organisk stof kan luftskiftet være for ringe til at erstatte den forbrugte O<sub>2</sub>, hvilket vil medføre en reduktion i koncentrationen. I alle kompoststakkene var O<sub>2</sub>-koncentrationen lav lige efter etablering af stakkene, fordi forbruget af O<sub>2</sub> var højere end tilførslen (fig. 1).

Komprimering af stakken reducerede kompostens porøsitet og dermed luftcirkulation. Iltkoncentrationen var derfor lav i ikke mindre end 40 dage efter etablering af den komprimerede stak i forsøg III (fig. 1). I de øvrige kompoststakke og forsøg var iltindholdet lavt i indtil ca. 20 dage efter start af lagring af dybstrøelsen.



Figur 2 Afgivelse af ammoniak fra kompoststakke med dybstrøelse målt i forsøg III.

## Ammoniakafgivelse

I en kompoststak er der stort potentiale for gasformigt tab af  $\text{NH}_4$ , fordi temperaturen og pH-niveauet er højt, og fordi der er et stort luftskifte gennem stakken. I de fleste forsøg med kompostering sker hovedparten af  $\text{NH}_3$  fordampningen de første få dage efter start af lagring. I fig. 2 er vises resultaterne fra forsøg III. Det ses, at  $\text{NH}_3$

tabet fra komprimeret kompost og fra komposten dækket af kompostdug var stort, hvilket viser, at der er sket en transport af  $\text{NH}_3$  gennem kompostdugen. Det lave  $\text{NH}_3$  tab fra den findelte kompost skyldtes formentlig, at  $\text{NH}_4$ -indholdet var lavt efter findeling (Tabel 1).

**Tabel 1** Mængden og sammensætningen af dybstrøelsen der blev lagret og af den komposterede dybstrøelse. I forsøg II var dybstrøelsen findelt før lagring.

For- søg	Start/ slut	Behandling	Mængde			Koncentration $\text{g kg}^{-1}$					
			Tons	TS	Aske	$\text{N}_{\text{total N}}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	P	K	C
I	Start	Ubehandlet	1,080	409,4	85,4	9,6	1,1	13,7	2,6	12,1	158,8
I	Slut	Ubehandlet		654,0	169,3	15,8	0,3	54,5	5,2	23,9	245,9
II	Start	Ubehandlet	0,720	422	61	8,4	0,5	0,2	1,4	13,5	177,9
II	Start	Komprimeret	0,980	379	52	7,5	0,6	0,1	1,2	12,0	160,3
II	Start	Vendt	0,660	409	59	8,3	0,6	0,3	1,4	13,7	172,4
II	Slut	Ubehandlet	0,810	214	46	6,0	0,2	0,0	1,2	i.a.	86,0
II	Slut	Komprimeret	0,990	229	55	6,5	0,3	0,0	1,3	i.a.	91,7
II	Slut	Vendt	0,810	202	46	6,4	0,2	0,0	1,2	i.a.	79,2
III	Start	Komprimeret	1,680	377,0	50,7	8,8	3,2	0,03	1,14	9,8	160,3
III	Start	Findelt	1,100	358,0	55,5	6,9	1,6	0,05	1,27	9,7	149,5
III	Start	Overdækket	1,260	358,3	50,1	7,8	2,3	0,02	1,19	10,0	153,5
III	Start	Ubehandlet	1,480	360,4	52,9	8,7	2,5	0,02	1,15	10,9	153,8
III	Slut	Komprimeret	1,520	259,9	56,6	8,0	0,2	0,40	1,53	9,6	106,6
III	Slut	Findelt	1,000	234,1	59,6	6,8	0,2	0,17	1,40	7,5	92,5
III	Slut	Overdækket	1,120	264,6	64,7	7,4	0,2	0,64	1,56	13,2	103,9
III	Slut	Ubehandlet	1,420	204,2	44,8	6,4	0,1	0,43	1,22	7,4	82,4

I.a.: ikke analyseret.

T.S.: tørstof.

Forsøgene er beskrevet i følgende artikler:

- I: Osada, T., Sommer, S.G., Dahl, P. og Rom, H.B., 2000. Turnover of nutrients, gaseous emission and succession of microbial communities during composting of cattle deep litter. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* Fremsendt.
- II: Sommer, S.G. and Dahl, P., 1999. Emission of ammonia, nitrous oxide, methane and carbondioxide during composting of deep litter. *J. Agr. Eng.* 74, 145-153.
- III: Sommer, S.G., 2000. Effect of composting on loss and availability of plant nutrients in cattle deep litter. *European Journal of Agronomy*, Fremsendt.

I forsøg II var dybstrøelsen findelt forud for kompostering og  $\text{NH}_4$  indholdet lavt. Ammoniaktabet var derfor væsentligt lavere i dette forsøg end i forsøg I og III (tabel 2). Den samlede  $\text{NH}_3$ -afgivelse fra komposten i forsøg II og III udgjorde mellem halvdelen og en tredjedel af ammoniumindholdet i gødningen. Afgivelsen er således ikke så stor, som det tidligere er målt ved kompo-

stering af fast staldgødning, hvor hele ammoniumindholdet kan gå tabt. Forskellen i  $\text{NH}_3$ -afgivelsen fra komposteret staldgødning og dybstrøelse kan skyldes forskelle i forholdet mellem kulstof og kvælstof (C:N-forholdet) i de to gødningstyper. Et materiales C:N-forhold har betydning for omsætningen af det organiske stof, og kvælstoffimmobiliseringen stiger generelt med

stigende C:N-forhold. I forsøg II og III havde dybstrøelsen et C:N-forholdet på ca. 21, hvilket er højt i forhold til staldgødning, hvor C:N forholdet er omkring 12. Det lave NH<sub>3</sub>-tab kan også skyldes, at der er sket en del omsætning i dybstrøelsen, mens den blev opbygget i stalden.

I forsøg I var ammoniaktabet ca. 23% af total indholdet, svarede til hele NH<sub>4</sub>-indholdet og en del af det organiske N i dybstrøelsen.

## Massebalancer

Forsøg III viste, at findeling af dybstrøelse forud for lagring reducerede total-N-koncentrationen med ca. 15-20% (Tabel 1). I forsøg II blev dybstrøelsen findelt med en møgspreader før lagring, derfor var det totale N-indhold i den lagrede dybstrøelse lavt i forsøg II. Det lave N-indhold skyldes især, at NH<sub>4</sub>-indholdet blev mindsket ved findelingen, formentlig som følge af NH<sub>3</sub>-fordampning.

**Tabel 2** Massebalance for N, P, K og Kulstof (C) ved kompostering af dybstrøelse. For kvælstof er beregnet en rest, der udgør den del af differencen, som ikke er fordampet som NH<sub>3</sub> eller udsivet med møddingsvand. Udsivning af N, NH<sub>3</sub>-tab og ”rest” er angivet i pct. af total-N ved start. Varigheden af komposteringen var som følger: Forsøg I: 57 dage, Forsøg II: 197 dage og Forsøg III: 132 dage.

For-	Behandling	Kvælstof					Fosfor		Kalium		Tørstof		Kulstof	
		Differens*		NH <sub>3</sub> -tab	Udsiv-	Res t	Udsivning	Udsivning	Udsivning	Differens*	Differens*			
		kg	%									kg P	%	kg K
I	Ubehandlet	1,7	18,0	23,0	0	0	0	0	0,21	2	84,5	20	36,6	23
II	Ubehandlet	1,6	19,0	1,2	0,4	17,6	0,8	0,7	i,a**		182,0	43	81,0	46
II	Komprimeret	0,9	12,0	3,0	0,3	8,7	0,01	0,8	i,a**		148,0	39	68,0	43
II	Vendt	0,4	5,0	2,6	0,4	2,0	0,01	0,7	i,a**		161,0	39	75,0	44
III	Komprime-	1,6	18,0	14,9	2,3	1,0	0,02	1,8	1,1	11,2	141,8	38	63,9	39,9
III	Findelt	0,8	11,6	7,2	2,9	1,4	0,03	2,4	1,5	15,5	145,2	41	65,4	43,9
III	Overdækket	1,2	15,4	16,7	2,6	0	0,02	1,7	0,8	8,2	123,1	34	61,1	39,9
III	Ubehandlet	2,5	27,7	i,a	3,4	-	0,02	1,7	1,5	13,8	164,5	45	74,7	48,5

\*Differens i mængden af N, tørstof eller C før og efter kompostering.

\*\*i.a. Ikke analyseret.

I forsøg I var N-tabet ca. 20% af total-N indholdet, i forsøg II var tabet 5-19% og i forsøg III 12-28% (tabel 2). Blanding af dybstrøelsen medførte som nævnt et tab af kvælstof forud for kompostering i forsøg II, derfor var tabet lavt ved kompostering af komposten i dette forsøg. I forsøg II var tabet af kvælstof lavest fra komposten, der blev vendt efter 3 uger, og højest fra ubehandlet kompost. En let komprimering af dybstrøelsen ved start reducerede tabet i forhold til tabet fra den ubehandlede kompost. I forsøg III var tabet af kvælstof ligeledes højest fra ubehandlet kompost. Komprimering med frontlæsser og overdækning med kompostdug reducerede kvælstoftabet. I forsøg I og III gik hovedparten af kvælstof-

fet tabt ved NH<sub>3</sub>-fordampning. I forsøg II udgjorde denitrifikationstab fra den ubehandlede kompost ca. 18% af kvælstoffet.

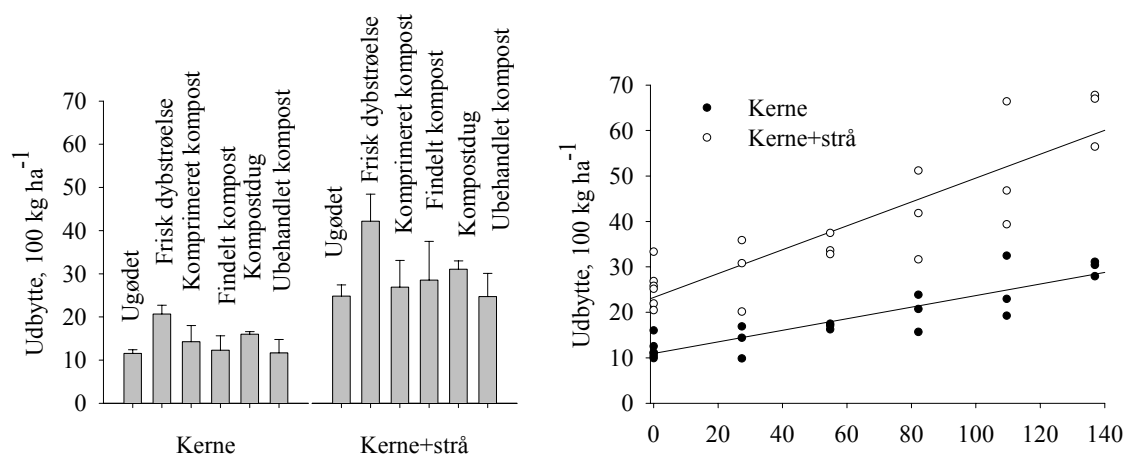
Reduktionen i kulstofindholdet ved kompostering i 130-190 dage var 40-50% af det oprindelige kulstofindhold (tabel 2). Ved kompostering i ca. 50 dage, i forsøg I, gik ca. 23% af kulstofindholdet tabt. Der gik kun lidt kulstof tabt i form af CH<sub>4</sub>. Det anses derfor for sandsynligt, at hovedparten af kulstoffet var forårsaget af CO<sub>2</sub>-udsendelse i forbindelse med aerob omsætning af komposten. Da kulstof udgør en stor andel af det organiske stof i dybstrøelse, var det relative tab af

tørstof af samme størrelse som det relative tab af kulstof.

Mængden af opsamlet møddingsvand var ca. 0,6 m<sup>3</sup> i forsøg II og 0,6-1 m<sup>3</sup> i forsøg III. I forsøg I skete der ikke udvaskning af næringsstoffer, fordi det regnede meget lidt i løbet af komposteringsperioden.

Fosfor (P) og kalium (K) kan kun tabes fra komposten ved udvaskning. Mængden af P i møddingsvand var under 2,4% af det oprindelige P-indhold i forsøg III og endnu mindre i forsøg II (tabel 2). Den mindre mængde møddingsvand i forsøg II har formentlig bidraget til, at P-udsivningen var mindst i dette forsøg. I undersøgelser af lagret fast husdyrgødning har P-

udvaskningen vist sig at være tilsvarende lav, formentlig fordi P-forbindelser i gødning er tungt opløselige, og derfor tilbageholdes i komposten. Kaliumforbindelserne i kompost er letopløselige, hvilket resulterede i, at 11-15% af dybstrøelsens oprindelige indhold af kalium blev udvasket i forsøg III. Det ses, at komprimering og overdækning med kompostdug har reduceret K-udvaskningen, formentlig fordi disse behandlinger reducerede mængden af møddingsvand. Mængden af udvasket kvælstof var 2-3% i forsøg III og mindre end 1% i forsøg II. Hovedparten af N i møddingsvandet bestod af NH<sub>4</sub>, og indholdet af NO<sub>3</sub> var lavt. I forsøg II var indholdet af NH<sub>4</sub> i komposten væsentlig lavere end i forsøg III (tabel 1), hvilket var en medvirkende årsag til, at udvaskningen af kvælstof var lavest i forsøg II.



**Figur 3** Udbytte ved gødskning med 59 tons kompost og dybstrøelse pr. ha og ved tilførsel af 7,4 til 37 tons svinøgylle pr. ha. Mængden af kvælstof tildelt i kompost og dybstrøelse fremgår af tabel 5. Gyllen indeholdt 2,6 g NH<sub>4</sub>-N l<sup>-1</sup> og 3,7 g totalN l<sup>-1</sup>. Kerneudbyttet er givet ved 85% tørstof.

## Markforsøg med frisk dybstrøelse og kompost

Som nævnt blev svinøgylle udbragt som reference. Der blev udbragt fra 25-140 kg total-N ha<sup>-1</sup>, og det gav udbytter (85% tørstof) fra 10-20 hgk kerne pr. ha og 20-50 hgk kerne + halm ha<sup>-1</sup>. Det blev vurderet, at en ret linie gav den bedste be-

skrivelse af kerneudbytte som funktion af tilført mængde kvælstof (fig. 3; r<sup>2</sup>=0,80).

Forsøgene med udbringning af frisk dybstrøelse og kompost viste, at der var forskel på udbyttet som resultat af forbehandlingen af komposten (P < 0,05). Kerneudbyttet var højest i parcellerne tilført dybstrøelse, højt i parceller gødet med kompost, der havde været komprimeret eller dæk-

ket med kompostdug under lagring, og lavt i parceller gødet med findelt og ubehandlet kompost (fig. 3). Den største mængde total-N blev tilført parcellerne i kompost, der havde været overdækket, efterfulgt af komprimeret kompost > frisk dybstrøelse > findelt kompost > ubehandlet kompost. Gødskning med findelt kompost gav ikke et større udbytte end fra ugødede parceller. Totalt blev der tildelt 94 kg NH<sub>4</sub> i frisk dybstrøelse og

mindre end 21 kg NH<sub>4</sub> i kompost. Udbytteresultaterne viste således, at kerneudbyttet afhængte både af mængden af den totale kvælstoftildeling og af forholdet mellem NH<sub>4</sub> og total-N i gødningen eller komposten, idet kerneudbyttet var størst fra frisk dybstrøelse med højest NH<sub>4</sub>-indhold, men med et lavere total-N-indhold end i den overdækkede og komprimerede kompost.

**Tabel 3** Udbytte ved udbringning af komposteret dybstrøelse og frisk dybstrøelse. I parentes er spredningen i det målte udbytte angivet.

	Tilførsel af kompost eller dybstrøelse			Udbytte		Gødnings effektivitet*
	Mængde	NH <sub>4</sub>	N-total	Kerne	Kvælstof	
	Ton ha <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup>		hkg ha <sup>-1</sup>	kg N ha <sup>-1</sup>	
Ingen gødning	0	0	0	11,5 (0,8)	13,3 (0,9)	
Frisk dybstrøelse	59	94	383	20,7 (2,1)	24,6 (4,1)	0,200
Komprimeret kompost	59	16	389	14,2 (3,8)	16,7 (4,8)	0,067
Findelt kompost	59	9	348	12,3 (3,3)	14,2 (4,4)	0,030
Kompostdug over kompost	59	21	436	16,0 (0,6)	19,4 (2,1)	0,091
Ubehandlet kompost	59	14	377	11,6 (3,1)	12,8 (4,1)	0,014

\*Gødningseffektiviteten af komposten beregnes som den mængde kvælstof i gylle (N<sub>gylle</sub>), der skal til, for at opnå samme kerne udbytte i tørstof, som blev opnået ved tilførsel af 1 kg total kvælstof i dybstrøelse eller kompost (N<sub>gødning</sub>).  
 $Ge = N_{gylle} / N_{gødning}$

Mængden af gyllekvalstof, der kunne erstattes af 1 kg kvælstof i dybstrøelse eller kompost, blev beregnet som gødningseffektiviteten (tabel 3). Det har ikke været muligt at gennemføre flerårige forsøg så gødningseffektiviteten svarer til førsteårseffekten af komposten og dybstrøelsen. Beregning af gødningseffektiviteten viste, at det første år kan 1 kg N udbragt i frisk dybstrøelse erstatte 0,2 kg

kvælstof i svinegylle, førsteårsvirkningen af kvælstof udbragt i kompost var lavere og lå på et niveau mellem 0,014 til 0,091 kg gylle-N der kunne erstattes det første år. Resultatet viser, at kompostering enten har fastlagt kvælstof i en stabil fraktion eller har medført tab af den lettilgængelige fraktion af kvælstof i dybstrøelse.



# 3 Omsætning af kulstof og kvælstofprocesser i kvægdybstrøelsesmætter

Kaj Henriksen<sup>1</sup>, Torben Olesen<sup>2</sup> og Hans Benny Rom<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoriet for Miljøteknik, Aalborg Universitet

<sup>2</sup>Danmarks JordbrugsForskning, Afd. For Jordbrugsteknik  
i5kh@civil.auc.dk

*I dette projekt var det formålet i detaljer at undersøge den rumlige og tidsmæssige dynamik af mikrobiel kulstof- og kvælstofomsætning i dybstrøelsesmætter for at fastlægge, hvilke processer der var af betydning for næringsstoffabet i staldsystemer med kvægdybstrøelse.*

*Der er blevet udført laboratoriemålinger, dels på isolerede elementer af mätten (balm, klat, urin). Og dels i modelmætter, der blev opbygget med lavt og højt belastningsniveau af urin og klat, lavt og højt indhold af kvælstof (urea) i urindelen. Laboratoriemålingerne blev kombineret med målinger på intakte kvægdybstrøelsesmætter.*

*Mere end 80% af den samlede kulstofomsætning i dybstrøelsesmætterne foregik som en aerob komposteringsproces i det øverste iltboldige lag af mätten (0-20 cm) ved temperaturer i området 30-60°C. Den resterende del af stofomsætningen foregik ved iltfri fermentering og dannelse af metan og kuldioxid (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub>) i de dybere dele af mätten. Øget tilførsel af klat til mætterne øgede metanproduktionen. I de intakte mætter var det samlede tørstoffab over 3 mdr. på 18%, og i modelmætterne varierede det fra 18 til 34%.*

*Ammonium (NH<sub>4</sub>) udgjorde mere end 99% af måtternes samlede indhold af plantetilgængeligt uorganisk kvælstof. Dannelsen af ammonium/ammoniak i mätten skete ved mineralisering af organisk kvælstof i urin (primært urea) og klat, medens omsætningen af halmen bevirkede en modsatrettet fastlæggelse af NH<sub>4</sub> i bakterie og svampebiomasse.*

*Nitratdannelse (nitrifikation) og reduktion af nitrat til frit kvælstof (denitrifikation) forekom kun sporadisk og med meget lav aktivitet i toplaget af de intakte mætter. Blokeringen af processerne skyldtes en kombination af høje ammonium/ammoniakkoncentrationer og høj temperatur. Gasformigt kvælstofab via denitrifikation var således uden kvantitativ betydning i kvægdybstrøelsesmætterne.*

*Ammoniakafdamning fra de intakte mætter udgjorde 20-21% af måtternes samlede ammoniumindhold efter 3 mdr. Størrelsen af ammoniakafdamningen var uafhængig af N-tildeling i det undersøgte interval og synes betinget af en lokal overskridelse af mättens bindingskapacitet ved den punktvis kraftige tilførsel af urinkvælstof.*

## Indledning

I de her beskrevne undersøgelser har det været målet at finde ud af, hvordan en dybstrøelsesmåtte er opbygget og hvilke fysisk-kemiske og biologiske processer, der er af betydning for omsætning og næringsstofftab.

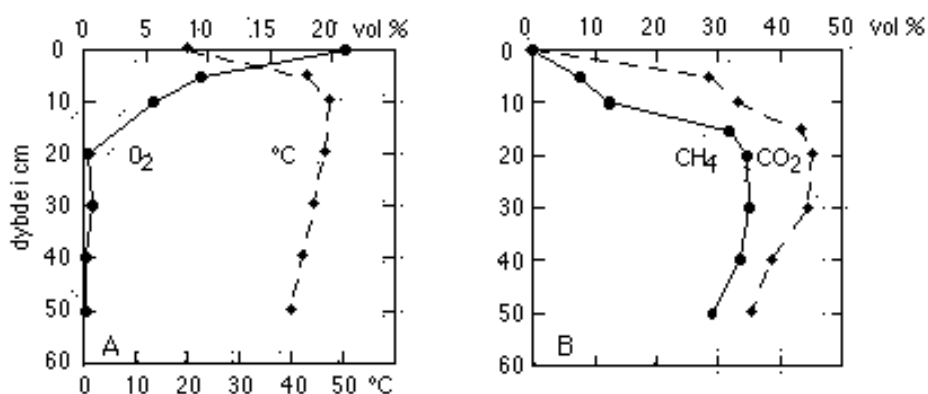
Der er blevet målt på kulstof- og kvælstofprocesserne i laboratoriet; dels på isolerede elementer af måtten (halm, klat, urin) og dels i modelmåtter (serie 1 og 2), som blev opbygget i laboratoriet i isolerede tønder (areal på  $0,2 \text{ m}^2$ ) med byghalm og klatter og urin fra økologiske malkekvægsbesætninger. Dog blev der i serie 2 anvendt kunstig urin med et 10 gange lavere ureaindhold. Som for de intakte måtter blev der til start lagt et bundlag på 30 cm ren halm og derefter dagligt tilført halm, urin og klat svarende til lavt og højt belastningsniveau (henholdsvis 10,3 og 5,2 kg halm pr. ko). Modeldybstrøelsesmåtterne blev opbygget til 60 cm tykkelse over 2 måneder.

Laboratiormålingerne blev kombineret med målinger på intakte kvægdybstrøelsesmåtter på Rugballegaard (ungdyr, måttealder 3 mdr, slutdybde 1 m) og på den Økologiske Landbrugsskole, Åbybro (malkekvæg, måttealder 6 mdr, slutdybde 1,3-1,5 m)

## Kulstofomsætningsprocesserne i dybstrøelsesmåtten

En kvægdybstrøelsesmåtte vokser med ca. 1 cm pr. dag og hastigheden afhænger af anvendt strøelsesmængde og måtteareal pr. dyr.

I måttens toplag foregår der en aerob kompostering, som dels forbruger ilt, så måtten bliver anaerob i 15-20 cm dybde, dels danner varme, så temperaturen stiger til et maksimum i 10 cm dybde for derefter at falde langsomt mod bunden af måtten (fig. 1A).



**Figur 1** Typiske dybdeprofiler i dybstrøelsesmåtten på Rugballegaard efter 3 måneder af A: temperatur (°C) og B: poreluftkoncentrationer af ilt (O<sub>2</sub>), kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og metan (CH<sub>4</sub>).

Temperaturen i måtten varierede med den tidsmæssige opbygningen. I laboratiormåtterne nåede temperaturen i 10 cm dybde efter 14 dage op på 50°C i de lavt belastede måtter og på 40-45°C i de højt belastede. I de intakte måtter målt temperaturen i samme dybde efter 1 måned til 35-40°C og efter 2 måneder var den steget til 45-

55°C. Et typisk dybdeprofil af temperaturen i en 1 m dyb måtte er vist i figur 1A.

Poreluftens indhold af ilt (O<sub>2</sub>), kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og metan (CH<sub>4</sub>) i samme måtte er vist i fig 1(B). Det ses, at selvom måtten er meget porøs med et poreluft indhold på 45-80% af totalvolumen, er ilt-



forbruget så stort, at ilt nedtrængningen var begrænset til de øverste 15-20 cm.

Samtidig steg koncentrationen af  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  over dette dybdeinterval til henholdsvis 35% og 45% og holdt sig relativt konstant i de dybere, iltfrie lag.

Målinger af  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  afgivelse fra måtten viste, at  $\text{CH}_4$  kun udgjorde 5-15% af den samlede gasformige kulstofflux ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) fra måtten.  $\text{CO}_2$  produktionen var højest i det iltholdige top lag, medens  $\text{CH}_4$  produktionen her udgjorde mindre end 2% af den samlede gasproduktion og var begrænset til de indlejrede koklatter i måtten.

I de dybere dele af måtten udgjorde  $\text{CH}_4$  20-50% af den samlede anaerobe gasproduktion ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) og var højest i 20-30 cm dybde lige under det iltede top lag. Modelforsøgene med lav og høj belastning af urin og klat viste, at  $\text{CH}_4$  produktionen og dermed andelen af den anaerobe omsætning øgedes med øget klatindhold i måtten.

I naturlige økosystemer med modsatrettede  $\text{O}_2$  og  $\text{CH}_4$  gradienter, som f.eks. en søbund, er der i det øverste iltholdige lag fundet en meget aktiv mikrobiel oxidation af  $\text{CH}_4$  fra dybereliggende sedimentlag, og  $\text{CH}_4$  afgivelsen fra søbunden reduceres herved med mere end 80% (Conrad, 1993).

Vi havde forventet at finde det samme i dybstrøelsesmåtterne, men målingerne viste mod forventning, at der ikke skete metanoxidation her. Årsagen var, at de metanoxiderende bakterier blev hæmmet af for høje ammoniakkoncentrationer i måtten, og den producerede  $\text{CH}_4$  blev således afgivet uændret fra måtten.

Den anaerobe kulstofmineraliserings bidrag til den samlede kulstofomsætning kan således beregnes ud fra sammensætningen af  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  i den producerede biogas fra de dybere iltfrie lag og den samlede afgivelse af  $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$  fra måtten.

I den intakte måtte på Rugballegaard udgjorde tørstof tabet over 3 mdr. 18% af det samlede tilførte organiske stof, og den anaerobe del udgjorde

15-20% heraf. I modelmåtterne, som havde en løsere pakning og en lidt dybere nedtrængning af ilt, udgjorde tørstoff tabet over 2 mdr. fra 18% til 34%.

Det kan konkluderes, at mere end 80% af kulstofomsætning i en kvægdybstrøelsesmåtte foregår som en aerob komposteringsproces ved 30-60°C i det øverste iltholdige lag af måtten. Da halm + klat bevæger sig nedad i måtten med en hastighed på omkring 1 cm pr. dag, er tidshorisonten for denne komposteringsproces 15-20 dage. Derefter overgår kulstofomsætningen til en langsommere iltfri forgæring og biogasdannelse, som aftager med tid og dybde.

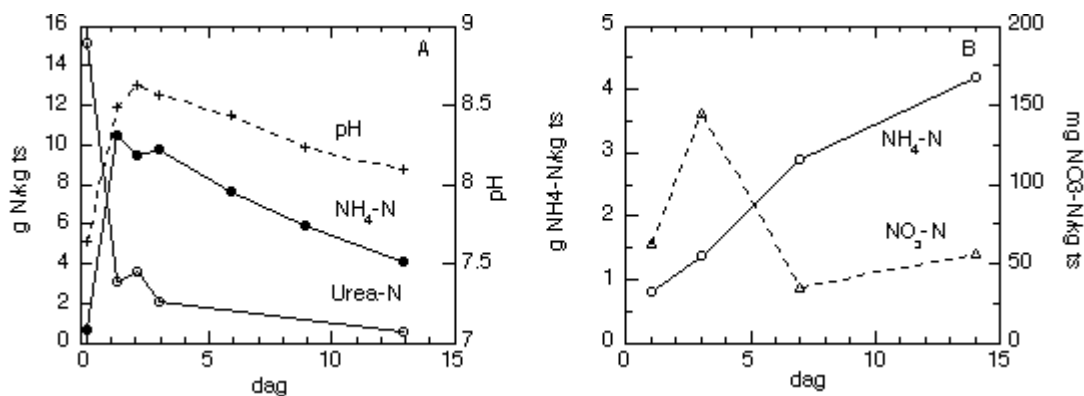
## Kvælstofomsætningsprocesserne i dybstrøelsesmåtten

For at forstå dynamikken i de kvælstofomsætningsprocesser og mulige tabsveje, der er i måtten over tid, er det nødvendigt at se på den tidlige og rumlige variation, der knytter sig til måttens 3 bestanddele (halm, urin og klat) enkeltvis og i samspil.

### *Kvælstofmineralisering og immobilisering*

*Halm* har en høj C:N ratio (60-100), indeholder omkring 15% let nedbrydeligt kulstof og har dermed et stort immobiliseringspotentiale for  $\text{NH}_4$  (4-6 g N/kg ts), som bindes i opvoksende bakterie biomasse. *Urin*, hvor mere end 60% af kvælstoffet findes i form af urea, har en meget lav C:N ratio (0,9), og urea mineraliseres hurtigt til  $\text{NH}_3$  og  $\text{CO}_2$ . Ved opblanding af frisk halm og urin forløber disse to modsatrettede mikrobielle processer samtidigt (fig. 2A).

Hydrolysen af urea til  $\text{NH}_3$  sker inden for 1-2 dage, medens den mikrobielle immobilisering som følge af halmnedbrydningen forløber over ca. 14 dage. Samtidig med ureas omsætning sker der en pH stigning fra pH 7,6 til pH 8,6, idet størstedelen af ammoniakken går på ionform ( $\text{NH}_4^+$ ) under samtidig dannelse af  $\text{OH}^-$  (fig. 2A).



**Figur 2** (A): Koncentrationsændringer over tid i pH, urea og ammoniumindhold i modelsystem med en blanding af halm og urin. B: Ændringer i ammonium og nitratindhold over tid i modelsystem med ren klat (5 mm tykkelse). Temperatur 35°C.

*Koklatterne* har en samlet C:N ratio på ca. 20:1 og består af en stor, langsomt omsætteligt, fiberholdig del og en lettere nedbrydelig del (sekreter og bakteriebiomasse) med lav C:N ratio. Denne sidste del bidrager med en netto N-mineralisering på omkring 3 g NH<sub>4</sub>-N kg<sup>-1</sup> ts i de første 2 uger (fig. 2B).

## Nitrifikations- og denitrifikationsprocesserne

I modelforsøg med ren klat under iltede forhold ved 35°C stiger nitratindholdet i løbet af de første 4 dage hurtigt til 150 mg NO<sub>3</sub>-N kg<sup>-1</sup> ts og falder derefter til et nogenlunde konstant niveau på 20-40 ppm (fig. 2B). Samtidige målinger af denitrifikationsrater viser, at der sker en koblet nitrifikation/denitrifikation med et kvælstoftab på 0,5 g N kg<sup>-1</sup> ts over en periode på 20 dage, svarende til klattens opholdstiden i det iltholdige top lag. Tilsvarende målinger for ren halm viste hverken nitrifikations- eller denitrifikationsaktivitet, men derimod en mindre immobilisering af nitrat.

Modelforsøget med ren klat indikerer, at klatterne i den iltholdige del af måtten ved 35°C kan fungere som denitrifikations "hot spot", hvor nitrat, dannet i den tynde, iltede overfladezone (1-2 mm) af klatten, ved diffusion bevæger sig ind i den iltfrie del og reduceres til N<sub>2</sub> (og N<sub>2</sub>O) i denitrifikationsprocessen.

## Kvælstofprocesserne i den intakte måtte

I den naturlige situation i stalden vil størstedelen af den tilførte urin ved sin punktvis tildeling for størstedelen perkolere ned igennem måttens øverste lag til den iltfrie del, hvor dens indhold af urea hurtigt spaltes til NH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub>. Dette øger pH værdien i måtten, hvis gennemsnitlige pH ligger på 8,0-8,5. Den rumlige variation i måtten er dog stor og spænder fra pH 5,5 til 9,5.

I de intakte måtter udgør NH<sub>4</sub> mere end 99% af det samlede uorganiske N-indhold. Indholdet er lavest i toplaget og stiger med dybden som følge af urinnedsivningen. Den gennemsnitlige koncentration i de undersøgte måtter ligger på 5-6 g NH<sub>4</sub>-N kg<sup>-1</sup> ts, og også her udviser måtterne en stor rumlig variation.

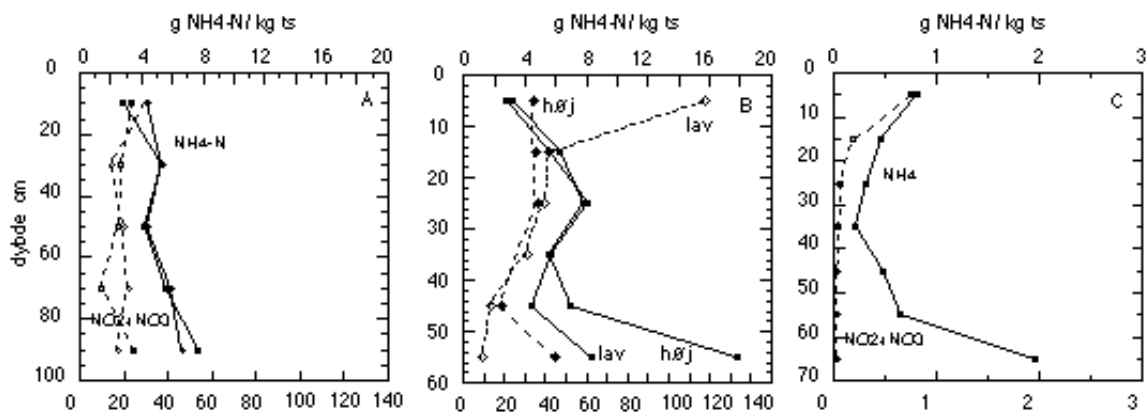
Nitratindholdet i de intakte måtter er lavt (10-40 mg NO<sub>3</sub>-N kg<sup>-1</sup> ts) og nogenlunde ens i hele dybden, dog med punktvis højere nitratkoncentrationer i toplaget på op til 150 mg NO<sub>3</sub>-N kg<sup>-1</sup> ts (fig. 3A).

Tilsvarende koncentrationer og dybdefordeling af NH<sub>4</sub> og NO<sub>3</sub> blev fundet i serie 1 af modeldybstrøelsemåtterne med lav og høj belastning af klat + urin (fig. 3B). Her lå kvælstofindholdet i den anvendte urin på 4g N l<sup>-1</sup> (hentet fra malke-

kvægsbesætninger), og temperaturen i modelmåtten svarede til de intakte måtter.

I serie 2 af modeldybstrøelsemåtterne var der anvendt samme mængde halmstrøelse og klat, men kvælstofindholdet i den tilførte kunstige urin var 4 gange lavere ( $1 \text{ g N l}^{-1}$ ). Iltnedtrængningen var meget dybere i disse måtter og temperaturmaksimum lå i 20-30 cm dybde og var ved afslut-

ning nede på  $30^\circ\text{C}$ . Det samlede uorganiske N-indhold var 6 gange lavere og, som det fremgår af fig. 3C, var nitrit+nitratindholdet i top laget højt ( $750 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ ts}$ ) og af samme størrelse som ammoniumindholdet. Samtidig målt der høje koncentrationer af lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i poreluften ned til 50 cm dybde. Der var således klare indikationer på, at der i denne modelmåtten foregik en kraftig nitrifikation koblet med denitrifikation.



**Figur 3** Dybdeprofiler af ammonium (—) og nitrit+nitrat (----) i A: Intakte dybstrøelsemåtter på Rugballegaard; B: Modeldybstrøelsemåtter (serie 1) med lav og høj belastning; C: Modeldybstrøelsemåtte (serie 2) med lavt urinkvælstof (bemærk her ændret skala for de viste  $\text{NH}_4$  og  $\text{NO}_2+\text{NO}_3$  koncentrationer)

Der er i flere omgange foretaget målinger af in situ denitrifikationstab i de intakte måtter, idet vi fra starten havde forventet et procesforløb med koblet nitrifikation/denitrifikation svarende til det vi så i vores sidste måleserie af modelmåtterne. Vi fandt lav aktivitet enkelte steder i måtternes top lag, men generelt var det aktuelle denitrifikationstab nul i hele måttens dybde.

Årsagen hertil findes i en kombination af temperatur og ammoniakinhibering af nitrifikations- og denitrifikationsprocesserne i de intakte måtter. Den øvre temperaturgrænse for nitrificerende bakterier ligger på  $42^\circ\text{C}$ , som i måtten nås allerede i 5 cm dybde og samtidig er  $\text{NH}_4/\text{NH}_3$  koncentrationen væsentlig højere end i modelforsøgene med enkeltkomponenter og i den sidste serie modelmåtter med lav ureabelastning. Ved de højere temperaturer og ammoniumindhold kan nitrifika-

tionsprocessen ikke nå at etablere sig og koble med denitrifikationsprocessen.

#### Ammoniakfordampning

Da kvælstoftab via denitrifikation i intakte måtter er uden betydning, bliver ammoniakafdampning nøgleprocessen for tab af kvælstof.

I måtten kommer den dannede ammoniak dels fra urinkvælstoffet, dels fra nettomineraliseringen af det organiske kvælstof i klatterne.

I de dybere lag med den delvist omdannede halm/klat er der en høj bindingskapacitet for ammonium (omkring  $20 \text{ g NH}_4\text{-N kg}^{-1} \text{ ts}$ ), medens kapaciteten for den friske halm i toppen er under det halve ( $8 \text{ g NH}_4\text{-N kg}^{-1} \text{ ts}$ ).

Den kraftige, punktvis afgivelse af urin er givetvis årsag til, at der lokalt dannes høje koncentrationer af  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ , som overstiger adsorptionskapaciteten i de dybere lag og overskydende  $\text{NH}_3$  transporteres mod overfladen. Her kan det bindes i toplaget gennem adsorption og indbygning i opvoksende mikrobiel biomasse, men en del undslipper som ammoniakafdampning fra måtten.

På Rugballegaard blev ammoniaktabet fra dybstrøelsemåtterne målt gennem hele opstaldningsperioden. Det gennemsnitlige ammoniaktab fra måtterne udgjorde 20-21% af det samlede ammonium indhold i måtterne ved periodens afslutning.

## Referencer

- Aggerholm, K., Jensen J.F. & Neve L. (1997). Kvælstofomsætning i dybstrøelsesmåtter. Afgangsprojekt, Civilingenøruddannelsen i Miljøteknik, Aalborg Universitet.
- Conrad, R., (1993). Mechanisms controlling methane emission from wetland rice fields. In: Biogeochemistry of Global Change Radiative Trace gases (R.S. Oremland, ed.), Chapman & Hall, New York. pp. 317-35.

# 4 Tab og udnyttelse af kvælstof ved gylle- og dybstrøelsessystemer på økologiske og konventionelle malkekvægsbrug

Ib Sillebak Kristensen og Bjørn Molt Petersen  
Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugssystemer  
E-mail: IbS.Kristensen@agrsci.dk

*Dybstrøelsessystemer kræver et stort halmforbrug, der ved blanding med fæces og urin medfører, at kvælstoffet overvejende bliver organisk bundet i dybstrøelsesmåtten. Derfor er den hurtige gødskeningsvirkning i maj/juni til korngødskening dårligere end ved gylleanvendelse. I et modelscenario er tab og udnyttelse af kvælstof ved gylle og dybstrøelse gennemregnet for et økologisk og et konventionelt mælkeproduktionsystem.*

*Bedrifts N-overskuddet bliver som følge af halmindkøb til dybstrøelsesmåtten og ekstra handelsgødskening i konventionelt system (for at kompensere for den mindre tilgængelighed af organisk bundet N i dybstrøelse), godt 20% højere ved dybstrøelse i forhold til gyllesystemer. Ammoniaktabene bliver, et al.t efter graden af kompostering af dybstrøelsen inden udbringning, ligeledes næsten fordoblet. Markoverskuddet – beregnet som bedriftsoverskud minus ammoniakfordampning – bliver således kun ca. 15% højere ved dybstrøelse i forhold til gylle. Til gengæld er det umiddelbart plantetilgængelige ammoniumindhold i dybstrøelsen kun ca. 1/3 af ammoniumindholdet i gylle.*

*Ved udbringning af frisk dybstrøelse direkte fra måtten tilføres marken næsten 80% mere organisk stof og ca. 25% mere N i forhold til gylle. Dette øgede input af C og N vil på langt sigt medføre en opbygning af jordens humus og dermed mineraliseringssevne. Ved normal kompostering i ca. 1/2 år vil komposteringen medføre samme C-input til jorden som gylle og 5-10% lavere N-input, endda næste 100% organisk bundet. Ved kompostering tabes således alt det med halmen ekstra tilførte C.*

*En enkel jordmodel har vist sig i stand til at simulere udvaskning på samme niveau som beregnet ud fra bedriftens N-overskud minus ammoniakfordampning, i størrelsesorden 60 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> på et økologisk malkekvægsbrug med 100% egenproduktion af foder. Modellen viste, at jordens humusindhold ved anvendelse af frisk dybstrøelse stiger 3-6% mere end i gyllesystemer i løbet af en 30-årig periode. Den modelberegneede forfrugtsvirkning er af samme størrelsesorden som målt og observeret i afgræsningsforsøg og hos økologiske malkekvægsbrugere, i størrelsesorden knap 100 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.*

*På malkekvægsbrug udgør kontinuerlig afgræsning af kløvergræs en væsentlig andel af arealbenyttelsen. Som følge af det store flow af C og N mellem dyr, jord og planter er en præcis modelvalidering af udvaskning og eftervirkning efter afgræsede kløvergræsmarker næsten umulig, fordi flowene kun meget vanskeligt kan måles. Det er derfor vanskeligt at give gode kvantitative estimater for C- og N-benfald under afgræsning. Med den enkle jordmodellering er det imidlertid sandsynliggjort, at benfald efter afgræsningsmarker er meget højt.*

*Ligeledes er det muligt at analysere udviklingen i jordens frugtbarhed under forskellige forudsætninger. En yderligere modelanvendelse må afvente en mere detaljeret validering imod humusindhold i langtidsforsøg. Dette arbejde vil foregå i forbindelse med den fortsatte udvikling af FASSET-modellen (Jacobsen et al., 1998), hvor de modellerede udbytter afhænger af det samlede næringsstofkredsløb over og i jorden.*

## Baggrund

Dybstrøelsesstalde anses ofte for bedre at kunne tilgodese dyrevelfærden end staldsystemer baseret på gylle. Ligeledes anses fast gødning og især kompost af mange økologer som værende et "bedre" gødningsmiddel end rå gylle. Det hænger især sammen med en tro på, at planterne trives bedre i en jord der, er gødet med aerob omsat husdyrgødning og med en langsommere frigivelse af kvælstof fra organiske N-forbindelser i forhold til den hurtige gødningsvirkning af ammonium-N fra gyllen. Til belysning af de samlede aspekter vedrørende tab og udnyttelse af kvælstof af de to husdyrgødningssystemer er kvælstofkredsløb i dybstrøelse og gylle analyseret på et økologisk og et konventionelt produktionssystem med malkekøveg. Det konventionelle system er medtaget som referenceramme for de viste økologiske resultater.

## Metode

For at kunne vurdere den potentielle effekt af husdyrgødningstype er der valgt systemer, hvor hele produktionen er baseret på enten gylle eller dybstrøelse. Det typiske, kombinerede system med 50% gylle fra foderbord og malkestald og 50% dybstrøelse fra hvileareal kan antages at ligge midt mellem de to analyserede systemer. Dybstrøelse kan enten udbringes frisk direkte fra stalden – efterfølgende kaldet dybstrøelse – eller dybstrøelsesmåtten kan overføres til et marklager, hvorfra dybstrøelsen udbringes til marken efter en kortere eller længere komposteringsperiode – efterfølgende kaldet kompost, uanset komposteringsperiode. Ved økologisk mælkeproduktionssystem er forudsat 100% egenproduktion af foder i overensstemmelse med scenariet Ø5 beskrevet af Mogensen og Kristensen (1998). Eneste import til det økologiske system er halm til dybstrøelsesmåt-

ten. Tilsvarende er analyseret et konventionelt mælkeproduktionssystem med samme areal-andel af kløvergræs (næsten samme N-input via fiksering) og med minimal import af tilskudsfoder for at opnå fuld mælkeydelse per ko.

Tabene fra dybstrøelse i stald og lager er ansat i overensstemmelse med forsøgsmålinger (Rom og Henriksen, 2000 og Sommer, 2000), mens tab fra gyllesystemer er ansat i overensstemmelse med normerne, Poulsen og Kristensen (1997). Kornafgrødens udnyttelse af kvælstof fra dybstrøelse er baseret på typiske værdital fundet i landsforsøg

Ved sammenligning af hurtigvirkende ammonium-N fra gylle med organisk bundet kvælstof i dybstrøelse og kompost er det nødvendigt at vurdere langtidsmineraliseringen fra især det organisk bundne kvælstof. Jordens mineralisering af organisk kvælstof fra dybstrøelse og gylle er analyseret ved brug af en model for organisk stof i jord. Denne model kan beregne kort- og langtidseffekter af forskellig tilførsel af kulstof og kvælstof til jorden. Der er tale om en kulstof-/ kvælstofmodel med 5 postulerede organiske stofpuljer med hver sin omsætningshastighed (1. ordens ki-netik). Hertil er koblet en vandmodel (Addiscott and Whitmore, 1991), og N-udvaskning er model-leret som en stempelmodel med mulighed for by-pass flow (Corwin and Waggoner, 1991). Vand- og kvælstofoptag er modelleret via fenologisk afhængigt bladareal og maksimalt kvælstofoptag.

N-kredsløbet fra foder til husdyrgødning <sup>ab dyr</sup> er beregnet ved brug af SAMSPIL-modellen (Hansen, 2000), der er velegnet til en samtidig afstemning af markens udbytte med besætningens foderbehov, ydelse og gødningsproduktion. Gødningen <sup>ab dyr</sup> er fordelt mellem lager og afgræsningsmark i forhold til foderforbruget.

## Bedrifts N-balancer

I Petersen og Kristensen (2000) tabel 1 er vist baggrundstal vedrørende fodring og udbytter af såvel dyr som mark for henholdsvis et økologisk og et konventionelt mælkeproduktionssystem baseret på maksimal andel af hjemmeproduceret foder på vandet sandjord. Nettoudbytterne er i overensstemmelse med udbytter målt hos private landmænd (Halberg og Kristensen, 1997). Andelen af kløvergræsareal er valgt til kun 50%. Derved kan der dyrkes en stor arealandel med N-krævende kornafgrøder som udnytter kvælstof efterladt fra kløvergræsset. Korn er valgt til vårbyg, i første år efterfulgt af sort jord (kvikbekæmpelse) og i 2. år med nyt kløvergræsudlæg. For at få tilstrækkelig ensilage til vinterfodringen er vårbyggen også anvendt til helsæd efter behov, se Petersen og Kristensen (2000). Den i tabel 1 beregnede belægningsgrad er således det areal, der er nødvendigt for at kunne producere foder til en ko med opdræt, kaldet mælkeproduktionsenheder (MPE). På økologiske bedrifter med 100% fod-

ring med hjemmeavlet foder, medfører den høje grovfoderandel en 15% lavere mælkeydelse per ko, og bortførelsen af N via mælk og kød bliver tilsvarende 15% lavere per ko i forhold til konventionel mælkeproduktion.

Med 50% af sædskiftet med kløvergræs i er det muligt at fuldgøde vårbyg til godt 120 kg N plantetilgængelig N ha<sup>-1</sup> dels fra husdyrgødning, og dels fra forfrugtsvirkningen efter kløvergræs (Kristensen, 1997)). Ved byggødskning svarende til 120 kg handelsgødning-N er det antaget, at kerneudbyttet er ens mellem de forskellige staldsystemer. Herudover er de konventionelle kløvergræsmarker gødet med op til 100 kg N ha<sup>-1</sup> i handelsgødning, inklusive plantetilgængelig N fra husdyrgødning. Ved de konventionelle bedrifter med dybstrøelse er der således, som følge af dybstrøelsens lavere gødningseffekt sammenlignet med gyllesystemet, behov for 10 kg N ha<sup>-1</sup> i ekstra indkøb af handelsgødning.

**Tabel 1** Bedrifts N-balance for økologiske og konventionelle mælkeproduktionssystemer med gylle og dybstrøelse baseret på høj selvforsyning og 50% hektarandel kløvergræs. Sandjord. Enhed kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

System	Økologi ved 0,72 MPE ha <sup>-1</sup>		Konventionel ved 1,0 MPE ha <sup>-1</sup>	
	Gylle	Dybstrøelse	Gylle	Dybstrøelse
<b>Input</b>				
- Foder	0	0	52	52
- Handelsgødning	0	0	34	44
- Halm	2	16	0	16
- Fiksering	73	73	68	68
- Atmosfærisk deposition	21	21	21	21
I alt	96	110	175	201
<b>Output</b>				
- Mælk	25	25	43	43
- Kød	4	4	4	5
- Kerne	0	0	7	7
I alt	29	29	54	55
Bedriftsoverskud,	67	81	120	146
- Ammoniak tab <sup>1)</sup>	12	18	19	30
<b>Overskud jord = markbalance</b>	55	63	101	116
Mælkeeffektivitet, % (mælk+kød)/(input-kernesalg)*100	30	26	28	25

<sup>1)</sup> Gyllesystem: Stald- og lagertab = 7% af ab dyr N, Poulsen og Kristensen (1997).

Dybstrøelse: Stald- og lagertab = 17% af ab dyr N, Poulsen og Kristensen (1997).

Udbringningstab = 20% af ab lager ammonium-N.

Bedriftsoverskuddet i såvel det økologiske som det konventionelle system er lavere end gennemsnitsoverskud målt i praksis. Det skyldes delvist at der er anvendt optimal håndtering ved spredning og nedbringning af husdyrgødning og delvist en lav belægningsgrad med moderat andel af kløvergræs i afgrøderækkefølgen.

I begge dybstrøelsessystemer er der behov for betydelig import af strøhalm (17 kg N ha<sup>-1</sup>), svarende til halmproduktionen fra 1 til 1,5 ha modent korn MPE<sup>-1</sup>, ud over bedriftens egen halmproduktion fra 0,2 – 0,3 ha korn MPE<sup>-1</sup>. Fratrækkes

norm-ammoniaktab fra bedriftsbalancerne fås N-overskuddet i jord, og under antagelse af at denitrifikationstab er små, samt at jordens organiske stof er i ligevægt med input/output, så er N-overskud jord et udtryk for sandsynlig nitratudvaskning, Halberg et al. (1998). Kvælstofudnyttelsen til mælkeproduktion (mælkeeffektiviteten) er som følge af idealbetragtningerne også høj (Halberg et al., 1995 og Kristensen, 1997).

#### Produktion af busdyrgødning

Produktion af kulstof og kvælstof er vist i tabel 2 for de to husdyrgødningssystemer.

**Tabel 2** Produktion og tab af C og N i økologiske og konventionelle malkekvægsproduktionssystemer med henholdsvis gylle og dybstrøelse.

System	Økologisk				Konventionel			
	C		N		C		N	
<b>Per MPE:</b>	Kg MPE <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>							
Ab dyr								
- til græsmark	339		64		329		67	
- til lager	700		118		679		127	
I alt	1.039		182		1.007		194	
<b>Staldtype</b>	<b>Gylle</b>		<b>Dybstrøelse</b>		<b>Gylle</b>		<b>Dybstrøelse</b>	
	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>C</b>	<b>N</b>
Halmstrøelse	115	2	1.012	17	111	1	984	10
I alt gødning+halm	815	120	1.712	135	790	129	1.663	137
			Frisk dybstrøelse				Frisk dybstrøelse	
Ab stald	815	110	1.455	128	790	118	1.413	131
			Kompost				Kompost	
Ab lager	676	108	727	91	656	116	707	93
<b>Per ha:</b>	Kg ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup>							
Ab dyr, afgræsning	244	46	244	46	329	67	329	67
Ab stald, dybstrøelse			1048	92			1.413	131
Ab lager, gyl & komp	487	79	523	67	656	116	707	93

N-produktionen er beregnet ud fra gennemsnitlige analyser af foder. Kreaturerne C-optagelse er beregnet ved 47,5% C af tørstofoptagelsen, og C-produktionen er beregnet ved henholdsvis 30 og 20% ufordøjet C hos henholdsvis køer og kvier. C- og N-input via strøelsesforbruget er beregnet ved henholdsvis 1,5 kg strøhalm ko<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> i gyllesystemet og 13,5 kg ved dybstrøelsessystemet, beregnet som 2,5 kg halmforbrug per liter udskilt urin. I tabel 2 er endvidere vist de beregnede C- og N-mængder ab stald og ab lager. Tabene fra gyllesystemerne er ansat til 5% N-tab i stald og

2% tab i gyllelager, Poulsen og Kristensen (1997). Tabene i dybstrøelsesmåttten er ansat til 15% C-tab og 5% N-tab (Rom og Henriksen, 2000). Det vil sige at de 1.712 kg C per MPE i gødning og halm tilført den økologiske dybstrøelse antages reduceret til 1.455 kg på grund af omsætning i stalden.

Under normal komposteringen tabes tilsvarende mængder kulstof, som der er tilført med halmstrøelse: 49% C-tab og 29% N-tab (Sommer, 2000). Således antages de 1.455 kg C per MPE i



frisk dybstrøelse at blive reduceret til 727 kg C i velomsat kompost, hvilket er næsten på samme niveau som i udbragt gylle. Der kan derfor ikke forventes forskelle i jordens langsigtede frugtbarhed mellem gylle og kompostsystemerne (Petersen og Kristensen, 2000). Ved overdækning eller komprimering af den friske dybstrøelse under komposteringen kan N-tabene reduceres til omkring 15% (Sommer, 2000). Kompostering med mindre tab er intermediære mellem frisk dybstrøelse og normal, velomsat kompost. Ved den kraftige kompostering tabes der 38 kg N MPE<sup>-1</sup>. Samlet medfører kompostering ca. 15% N-tab i forhold til gylle og ca. 30% N-tab i forhold til frisk dybstrøelse.

Hos private kvægbrugere (Helårsforsøgsbrug fra 1989-99) er der i gennemsnit målt 52% ammoni-

um-N af total-N af i gennemsnit af 192 kvæggylleprøver, med 50% af prøverne liggende mellem 47 og 58% ammonium-N. I 58 dybstrøelses- og kompostprøver er der målt 12% ammonium-N af total N, hvor 25% af kompostprøverne havde under 2% ammonium-N og 25% af dybstrøelsesprøverne havde over 25% ammonium-N af total-N. Såfremt husdyrgødningen kan udbringes i foråret - med små ammoniaktab - kan det antages at ammonium-N er fuldt plantetilgængelig for vårsåede kornafgrøder, svarende til de i tabel 3 viste N-mængder. I nedenstående tabel 3 er udbragt N således beregnet ved 52% ammonium-N af total-N i gylle; 25% amm.-N i frisk dybstrøelse og 2% amm.-N i kompost:

**Tabel 3** Tilførsel til jorden af N fra husdyrgødning ved økologisk og konventionel mælkeproduktion fra gylle, dybstrøelse eller kompost, kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

System N-fraktion	Økologisk (0,72 MPE ha <sup>-1</sup> )			Konventionelt (1,0 MPE ha <sup>-1</sup> )		
	Amm.-N <sup>1)</sup>	Org. N	I alt N	Amm.-N <sup>1)</sup>	Org. N	I alt N
Ab dyr, afgræsn.	28	11	39	43	14	57
Gylle	32	38	70	60	43	103
Dybstrøelse	20	69	89	26	100	126
Kompost	1	65	66	2	91	93

<sup>1)</sup> Udbringningstab i ammonium-N er beregnet efter 20% N-tab af ammonium-N ab lager.

Af tabel 3 fremgår, at de forskellige systemer leverer vidt forskellige mængder kvælstof til markerne, både direkte plantetilgængeligt ammonium-N og organisk N. I det økologiske gyllesystem er der således i alt 70 kg N ha<sup>-1</sup> ved 0,72 MPE ha<sup>-1</sup>, der fordeler sig på henholdsvis 32 kg ammonium-N og 38 kg organisk N. Fastgødningssystemerne har betydelig mindre ammonium-N og til gengæld mere organisk N. Det er således oplagt, at systemerne først kan sammenlignes, når eftervirkningen af den organiske N-fraktion er medtaget i systemernes frugtbarhed, idet variationen fra 38 - 100 kg organisk N ha<sup>-1</sup> giver anledning til forskellig gødningseffekt og udvaskningspotentiale i de efterfølgende år.

#### *Simulerede mineralisering og udvaskning.*

Den anvendte jordmodel (Petersen og Kristensen, 2000) er anvendt til at give et estimat for langtids-effekten af tildelt organisk N med husdyrgødning. Modellen kan beregne mineralisering, dels fra input af husdyrgødning, og dels fra afgrøderester. Resultater af simuleringerne er vist som gennemsnit af en 20 årig periode fra år 20 - 40 efter simuleringens start. I hele perioden (40 år) er modellen kørt med konstant C- og N-input svarende til de i tabel 1-3 beskrevne systemer. Beregningerne er gennemført med Askov-klima og ved 7% ler, svarende til JB-nr 3. Starthumus er valgt til 3,5% humus, lig gennemsnittet af 60 teksturprøver fra økologiske malkekvægsbrug. Teksturanalyser fra jyske landsforsøg har også 3,5% humus for JB-nr. 1-5 i gennemsnit af knap 400 teksturprøver i årene 1993-98, Knudsen (2000). Det skal bemærkes,

at humusindholdet er mindst 0,5 enhed højere end på Statens Forsøgsstationer, hvor der helt overvejende har været dyrket kerneafgrøder uden husdyrgødning. I Petersen og Kristensen (2000) er beregningerne også gennemført for lerjord med Roskilde klima, efterfølgende er kun beregninger på sandjord vist.

Ud over input fra husdyrgødning sker der et stort input af C og N under afgræsning, dels fra nedtrampet plantemateriale, og dels fra uafgræssede blade, der visner direkte ned på jorden. Henfald under afgræsning er i litteraturen dels målt ved

mærkning af blade under afgræsning og dels simuleret med græsvækstmodeller. I litteraturen er henfald målt og beregnet fra 2 til 20 tons græstøstof  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$  fra afgræsset ren græs gødet med 200-500 kg handelsgødnings-N  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ . Efterfølgende er henfald fra afgræsset kløvergræs ansat til henholdsvis 4 og 12 tons tørstofinput per ha afgræsset areal for at dække et realistisk interval. C/N-forholdet i nedvisnende kløvergræs er ansat til 28 i overensstemmelse med C/N forholdet i lucerne og græs, Paustian et al. (1990). I tabel 4 er C- og N-input fra planterester til jorden vist for det økologiske system:

**Tabel 4** Input til jorden ved økologisk mælkeproduktion fra henfald under afgræsning og planterester. Kg C og N  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ .

Afgrøder (% arealandel)	C	Org.-N	C/org.-N	Amm.-N
Kløvergræs (50)				
- Henfald under afgræsning	1.127-3.381 <sup>1)</sup>	40-120	28	0
- Planterest ved pløjning <sup>2)</sup>	2.992	150	20	48
Vårbygstub & -rod (50)	1.157	23	50	0
Udlæg af kløvergræs (25)	700	45	16	5
I alt planterester <sup>3)</sup>	2.066-3.940	79-146		15
I alt husdyrgødn., se tabel 2+3	731-1.291	46-78	8-16	29-64
I alt	2.797-4.483	124-196		44-79

<sup>1)</sup> Henfald under afgræsning er beregnet ved 60% udbytte fra afgræsning og 47% C i tørstof:  $12.000 * 0,6 * 0,47 = 3.381 \text{ kg C}$ .

<sup>2)</sup> Jensen et al. (1999)

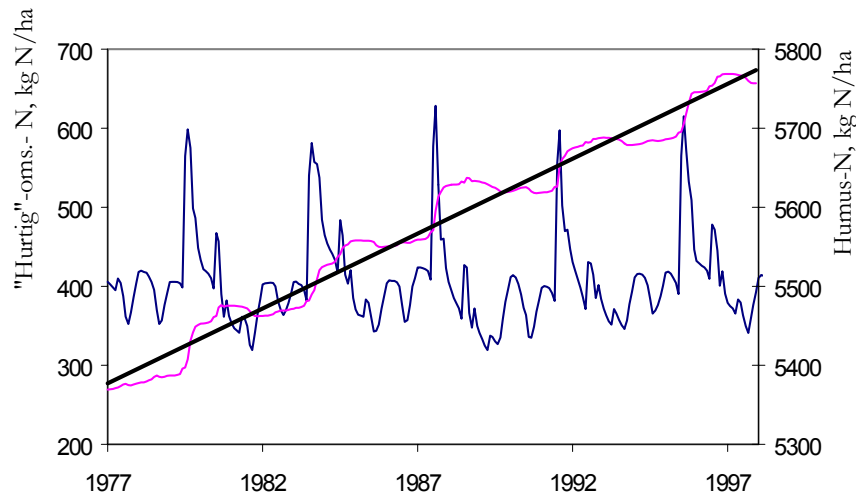
<sup>3)</sup> I alt er beregnet som arealvægtet gennemsnit:

C-input ved lav henfald =  $0,5 * 1127 + 0,25 * 2992 + 0,5 * 1157 + 0,25 * 700 = 2813 \text{ kg C ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ .

Det samlede input af C og N varierer således fra 2.797 kg C og 124 kg N  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$  ved økologisk mælkeproduktion med gylle og 4 tons TS-henfald under afgræsning til 4.483 kg C og 196 kg N ved frisk dybstrøelse og med 12 tons TS-henfald. Ved modelberegningerne er al husdyrgødning fra lager tilført vårbyg i foråret, mens husdyrgødning afsat

under afgræsning og planterester/-henfald er tilført løbende gennem vækstsæsonen.

I figur 1 er vist årssydynamikken for jordpuljerne af let (frisk plantemateriale, gødning og mikrobiel biomasse) og tungt mineraliserbart N (efterfølgende kaldet "humus"):



**Figur 1** Sæson- og årsvariation i puljerne af hurtigt omsættelig N (friske planterester, husdyrgødning og mikrober) – fluktuerende kurve; og langsomt omsættelig N = "humus"-N – jævnt stigende kurve med påtegnet lineært stigende linie. På økologisk malkekvægsbrug med dybstrøelse og stort henfald under afgræsning.

Figur 1 viser en mark med et rullende 4 års sædskifte, med kløvergræs i 1977-78, efterfulgt af vårbyg i 1979 og til slut vårbyg med udlæg i 1980. Samme sædskifte og input er gentagne 5 gange indtil 1997. Simuleringerne er startet med 3,5% humus i 1967, og kun år 20-40 er vist i figuren. De store udsving i mængden af hurtigt omsættelig jord-N skyldes primært den store planterest efter kløvergræs samt den årlige engangstildeling af dybstrøelse forud for vårbyg.

Hurtigt omsættelig N starter på godt 400 kg N ha<sup>-1</sup> den 1. januar 1977, første fald på 50 kg N ha<sup>-1</sup> midtsommer skyldes nettomineralisering af organisk N til mineralsk N. I følgende vinter stiger puljen tilsvarende. De to års kløvergræs medfører svag opbygning af puljen af humus-N. I vårbyg tilføres jorden den samlede planterest efter kløvergræs (150 kg organisk-N ha<sup>-1</sup>) samt den friske dybstrøelse (134 kg organisk-N ha<sup>-1</sup>) i april måned, se tabel 3, og resulterer i en stigning på 200 kg "hurtigt"-omsættelig N. Hele den tilførte

mængde organisk-N mineraliseres i løbet af vækstsæsonen. Den 1. august tilføres rod og stubrest fra vårbyg, der ses som den lille stigning på ca. 20 kg N. Efter kornavlens tømmes de hurtigt omsættelige N-puljer tilbage til samme niveau som i kløvergræs. Gennem hele perioden opbygges langsomt den mere stabile "humus"-pulje, der er vist som den jævnt stigende kurve, med akse til højre. Det fremgår, at de store årlige udsving i let omsættelige puljer af jordkvælstof ikke har stor betydning, når langtidseffekten skal analyseres. Opbygning af "Humus"-N i den mere stabile jordpulje ses således også kun at have små udsving inden for de enkelte år.

Udvaskning og afgrødernes optagelse af kvælstof er vist i tabel 5 ved konstant årligt input i 40 år. Udvaskningen er af samme størrelsesorden som målte udvaskninger fra afgræsningsmarker (Eriksen og Søgaard, 2000; Eriksen et al., 1999 og Grant et al. 1998).

**Tabel 5** Organisk stof i jord, udvaskning, nettomineralisering samt planteoptagelse ved økologisk mælkeproduktion (sandjord, 100% selvforsynet, 0,72 MPE ha<sup>-1</sup>, 6400 kg EKM ko<sup>-1</sup>) og forskellig husdyrgødskning. Tallene er gns. af år 20-40 efter startsimulering.

Henfald v. afgræsning TS/ha	Husdyrgødning	Ændring i humus i år 30, %-enheder	Udvaskning	Nettomin. gns	Planteoptagelse inkl. rod & stub	
					kg N ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> (tilført amm.-N)	
					Kløvergræs	Vårbyg
4	Gylle	-0,2	44	137 (79)	242 (62)	176 (96)
	Dybstrøelse	0	49	166 (65)	257 (62)	165 (69)
	Kompost	-0,2	49	166 (44)	252 (62)	146 (27)
	Ugødet	-0,4	31	112 (43)	229 (62)	91 (24)
12	Gylle	+0,2	61	156 (80)	247 (64)	180 (96)
	Dybstrøelse	+0,3	67	184 (66)	260 (64)	170 (69)
	Kompost	+0,2	66	184 (45)	256 (64)	152 (27)
	Ugødet	0	47	131 (44)	235 (64)	98 (24)

Forudsætninger: Starthumus=3.5%, Askov-klima 1961-97.

I tabel 5 er den totale ændring i overjordens humusindhold vist i forhold til startsituationen med 3,5% humus. Det fremgår, at græshenfald på kun 4 tons tørstof ha<sup>-1</sup> afgræsningsareal ikke er i stand til at opretholde jordens humusindhold ved gylle- og kompostsystemerne, på 30 år falder humusindholdet 0,2%-enheder. Ved 12 tons henfald under afgræsning blev der til gengæld beregnet en opbygning af humus på henholdsvis 0,2%-enheder på sandjord med gylle og kompost, mens dybstrøelsessystemet steg med 0,3%-enheder. Forskellene i humusindhold mellem de forskellige systemer virker rimelige i forhold til målte værdier på private helårsforsøgsbrug og tyder på, at henfaldet under afgræsning ligger i intervallet mellem 4 og 12 tons tørstof ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

Udvaskningen fra gødningssystemer med dybstrøelse og kompost er ca. 10% højere end gylle, dette skyldes især en højere mineralisering uden for vækstsæsonen i den sorte jord efter 1. års vårbyg, hvor der på grund af mekanisk kvikbekæmpelse ikke er planter til at optage kvælstoffet. Ved plantedækket jord optager planterne hele den nettomineraliserede og tilførte N-min mængde i løbet af vækstsæsonen, og den samlede optagelse i rod, stub og høstet plantemasse er vist til

højre i tabellen. Såvel kløvergræs som vårbyg har kapacitet til optagelse af de anførte mængder, og jorden er således næsten tom for N-min ved vækstsæsonens ophør. Den beregnede planteoptagelse er således et udtryk for systemernes produktivitet, idet et højere planteoptag giver mulighed for højere produktion. Optagelsen per kg tilført total-N er således højest i systemer med gylle frem for systemer med fast gødning.

N-optagelse i vårbyg er højest efter gødskning med gylle, hvor halvdelen af optagelsen stammer direkte fra tilført ammonium-N fra kløvergræsplanterester og gylle. Vårbyg gødet med frisk dybstrøelse optager 6% mindre N end gyllegødet vårbyg, trods de knap 40% lavere tilførsel af ammonium-N i dybstrøelsessystemet sammenlignet med gylle. Det skyldes den ca. 20% højere mineralisering fra den mere frugtbare jord gødet med dybstrøelse. Den samlede optagelse af N i kløvergræs og vårbyg er imidlertid ens ved gylle og dybstrøelse, idet det organiske kvælstof fra dybstrøelsen mineraliseres og optages af kløvergræsset.

Kompost medfører en overraskende høj nettomineralisering på samme niveau som dybstrøelse:

Årsagen til den højere nettomineralisering fra kompost er et mere gunstigt C/org.-N forhold på 8 i komposten i forhold til dybstrøelsen, der har et C/org.-N forhold på 14. Det er overraskende, at selv 20-40 års ekstra tilførsel af C ved frisk dybstrøelse ikke medfører højere nettomineralisering end kompostsystemerne, der tilføres 25% lavere N- og 50% lavere C-mængder end systemerne med dybstrøelse.

Modelresultaterne viser yderligere en bedre tidsfordeling af mineraliseringen fra kompost, hvor der kort efter udbringning er en mere gunstig balance mellem mobilisering og immobilisering, mens dybstrøelsen mineraliserer forholdsvis mere efter byggens vækstsæson. Dette er i overensstemmelse med resultater fra Thomsen (2000), hvor komposteret gødning havde en netto-mineralisering under 266 dages inkubation, mens anaerobt lagret (og dermed mindre omsat) gødning havde en nettoimmobilisering. Ved markforsøg (Thomsen, 2000) med efterårsudbringning var der ligeledes indikation af større N-udvaskning efter kompost sammenlignet med den anaerobt lagrede gødning. Genfindelsen af <sup>15</sup>N mærket kvælstof i plante-jord systemet var nemlig højest ved anaerobt lagret gødning. Dette indikerer igen mineraliseringen kort efter udbringning og dermed størst risiko for udvaskning ved efterårsanvendelse af kompost sammenlignet med den mere "halm"-rige dybstrøelse.

På længere sigt end 40 år kan det forventes, at den højere humuspulje i dybstrøelsessystemet vil medføre en stigende nettomineralisering. Nærmere studier af 1. –2. års mineralisering fra dybstrøelse og kompost er nødvendige for at verificere modellens korttidsmineralisering.

Feltet "Husdyrgødning, ugødet" viser den rene eftervirkning efter kløvergræsmarkerne, idet den producerede husdyrgødning ikke er spredt. Mineralisering og optagelse stammer således alene fra kløvergræsmarkerne plus den relativt lille plantestub i rod og stub efter vårbyg. I vårbyg optages der således 91-98 kg N fra forfrugterne. Første års eftervirkningen efter kløvergræs er ca. dobbelt så stor som andet års virkningen, idet der udvaskes meget store mængder N i vinteren mellem 1. og 2. års vårbyg (sort jord til kvikbekæmpelse). Mineraliseringen er af samme størrelsesorden som observeret forfrugtsvirkning efter kløvergræs (Kristensen, 1997), hvor forfrugtsvirkningen er beregnet til 66 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Også Eriksen (1998) har målt omkring 100 kg N i forfrugtsvirkning af kløvergræs.

I tabel 6 er den modelberegnete udvaskning og bedriftsbalancerne sammenstillet.

**Tabel 6** Sammenligning af modelberegnet udvaskning med N-balancer for økologisk og konventionel mælkeproduktion med gylle eller dybstrøelse. Sandjord, gennemsnit af de to henfaldsmængder under afgræsning. Enhed: kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

System	Økologi		Konventionel	
	Gylle	Dybstrøelse	Gylle	Dybstrøelse
<b>Husdyrgødning</b>				
<b>Bedriftsbalance fra tabel 1.</b>				
Bedriftsoverskud	67	81	120	146
- Ammoniak tab	-12	-18	-19	-30
	55	63	101	116
<b>Overskud jord = markoverskud</b>				
<b>Modelberegnet udvaskning år 20-40, tab.5</b>	53	58	105 <sup>1)</sup>	111 <sup>1)</sup>

1) Se Petersen og Kristensen (2000)

De modelberegnete udvaskninger viser 6% højere udvaskning ved dybstrøelse i forhold til gylle.

Markoverskuddet er lig udvaskning, når jordpuljer er i balance og denitrifikationen er ubetydelig.

Markoverskud beregnet fra bedriftsbalancen minus ammoniakfordampningen viser markoverskud (udvaskning) af samme størrelsesorden som modelberegnet udvaskning, dog med 15% højere markoverskud fra bedrifter med dybstrøelse i forhold til bedrifter med gylle. Det er bemærkelsesværdigt, at de to uafhængige beregningsmetoder kommer til næsten samme estimat for udvaskningen på bedriftsniveau. Den højere beregnede udvaskning ud fra bedriftsbalancerne kan skyldes at 40 år er for kort en tidsperiode til at jordpuljerne er i balance for systemerne med dybstrøelse.

I beregningerne er input og output konstante over tid, og der er ikke forsøgt taget hensyn til, at af-

grøderne kunne give et højere udbytte som følge af højere planteoptagelse og lavere udvaskning. Ved at lade større planteoptagelse medføre et øget udbytte (øget salg og dermed mindre N-overskud) og flere afgrøderester (større fremtidig nettomineralisering) ville forskellene mellem systemerne blive større end vist i nærværende beregninger. Under de beskrevne økologiske forhold burde gyllesystemerne medføre lidt højere udbytter end på bedrifter med anvendelse af kompost. Dybstrøelse synes derimod kun at give anledning til en forskydning af udbyttet fra vårbyg med kort vækstsæson til kløvergræs med lang vækstsæson samt en lidt højere udvaskning.

## Referencer

- Addiscott, T.M. and Whitmore, A.P. 1991: Simulation of solute leaching in soil of differing permeabilities. *Soil Use and Management* 7, 94-102.
- Corwin, D.L. and Waggoner, B.L. 1991.: A Functional Model of Solute Transport that Accounts for Bypass. *Journal of Environmental Quality* 20, 647-658.
- Eriksen, J. 1998: Kløvergræssets forfrugtsvirkning og udvaskning af næringsstoffer. Bilag til økologisk konference: "Lovende perspektiver for økologisk landbrugsproduktion". Vingstedcentret d. 23.november 1998. Landbrugets rådgivningscenter og Vestegnens Erhvervsknudepunkt.
- Eriksen, J., Askegaard, M., and Kristensen, K. 1999: Nitrate leaching in an organic dairy/crop rotation as affected by organic manure type, livestock density and crop. *Soil Use and Management* 15, 176-182.
- Eriksen, J. and Søgaard, K. 2000: Nitrate leaching following cultivation of contrasting temporary grasslands. *Grassland Science in Europe*. 5, 477-79
- Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Paulsen, I. og Jensen, P.G. 1998: Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU. 252, 1-156.
- Halberg, N., Kristensen, E.S., and Kristensen, I.S. 1995: Nitrogen turnover on organic and conventional mixed farms. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 8, 30-51.
- Halberg, N. and Kristensen, I. S. 1997: Expected crop yield loss when converting to organic dairy farming in Denmark. *Biological Agriculture and Horticulture* 14[1], 25-41.
- Halberg, N., Kristensen, I. S., og Møller, B. E. 1998: Kvælstofregnskaber på husdyrbrug. *Grøn viden, Husdyrbrug*. 1, 1998.
- Hansen J.P. 2000. Synthesis of scientific knowledge for extension purpose. I: Computerstøttet rådgivning og videnformidling. Ph.D. afhandling, Institut for økonomi, Skov og Landskab, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole København. Pp. 4 - 4. 17

- Jacobsen, B.H., Petersen, B.M., Berntsen, J., Boye, C., Sørensen, C.G., Søgaard, H.T. and Hansen, J.P. 1998: An integrated economic and environmental farm simulation model (FASSET)102. Copenhagen, Agriculture and Fisheries Economic Institute.
- Jensen, L.S., Müller, T., Eriksen, J., Thorup-Kristensen, K. and Magid, J. 1999: Simulation of plant production and N fluxes in organic farming systems with the soil-plant atmosphere model DAISY. DARCOF Report 1/1999, 235-248. Designing and testing crop rotations for organic farming. Proceedings from an international workshop. Eds. Olesen, J.E.; Eltun, R.; Gooding, M.J.; Jensen, E.S.; Kópke, U.
- Knudsen, L. 2000: Pct. indhold af humus, ler, silt, finsand og grovsand fra teksturanalyser i Landskontorets forsøgsdatabase 1993-98.
- Kristensen, I.S. 1997: N-overskud på kvægbedriften - afgrødevalg, belægning, produktionsniveau og udnyttelse af husdyrgødning. 91, 19-38. Statens Husdyrbrugsforsøg, intern rapport. Driftsledelse, foderforsyning og kvælstofudnyttelse i fremtidens landbrug.
- Mogensen, L. og Kristensen, T. & Kristensen, I.S. 1998: Kvægmodeller. Red. Folkmann, P.: "Produktionsmuligheder og økonomi på økologiske jordbrugsbedrifter – en modelanalyse". SJFI- rapport 100[Appendiks 2.], 158-172.
- Paustian, K., Andrén, O., Clarholm, M., Hansson, A.-C., Johansson, G., Jägerlöf, J., Lindberg, T., Petersson, R., and Sohlenius, B. 1990: Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without N fertilization. *Journal of Applied Ecology* 27, 60-84.
- Petersen, B. M. og Kristensen, I.S., 2000: Baggrund for bedrifts- og jordmodelering af C- og N-flows på økologiske og konventionelle malkekvægsbrug. 28-3-2000.
- Poulsen, H.D. og Kristensen, V. F. 1997: Normtal for husdyrgødning. En revurdering af danske normtal for husdyrgødningens indhold af kvælstof fosfor og kalium. Danmarks JordbrugsForskning. Beretning. 736, 1-165.
- Rom, H.B. og Henriksen, K. 2000: Kvælstoftab fra stalde med dybstrøelse til kvæg. FØJO-rapport [7], 5-12. FØJO. Husdyrgødning og kompost. Næringsstofudnyttelse fra stald til mark i økologisk jordbrug. Red. Sommer, S. G.; Eriksen, J.
- Sommer, S.G. 2000: Næringsstof og kulstof tab ved kompostering samt gødningsværdien af kompost. FØJO-rapport [7], 13-22. FØJO. Husdyrgødning og kompost. Næringsstofudnyttelse fra stald til mark i økologisk jordbrug. Red. Sommer, S. G. og Eriksen, J.
- Thomsen, I. 2000: Lagringens betydning for udnyttelse af fast husdyrgødning. I "Husdyrgødning og kompost. Næringsstofudnyttelse fra stald til mark i økologisk jordbrug". Red. Sommer, S. G.; Eriksen, J. FØJO-rapport [7], 5-12.





# 5 Afsætning af næringsstoffer fra udendørs sohold

Jørgen Eriksen

Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Plantevækst og Jord

E-mail jorgen.eriksen@agrsci

*På fire økologiske gårde med svineproduktion er det analyseret, hvorledes der på langt sigt kan opretholdes et hensigtsmæssigt næringsstofniveau mht. både udbytte- og miljøforhold. Målinger af uorganisk N i jordprøver og jordvandsmålinger (N-min og sugecellemetoden) i forskellige typer folde (enkelt og fælles) har vist, at søerne afsætter gødningen meget ujævnt i marken. Specielt forårsager den intensive fodring af diegivende søer en stor udskillelse af næringsstoffer i gødningen. Der tegner sig generelt det billede, at jo tættere man kommer på fodringsstedet desto højere N-indhold i jorden. Fordeling af næringsstofferne er således en vigtig brik i bestræbelserne på at forbedre næringsstofudnyttelsen ved udendørs sohold. Overordnet har fire forhold afgørende betydning: foldtype, belægningsgrad, flytning af fodersted og hytter samt opretholdelse af plantedække. Et stort foderforbrug betyder, at der gennemgående er et stort næringsstofoverskud pr. hektar i sofoldene, vi har undersøgt. Resultaterne tyder på, at kun en mindre del af overskuddet indbygges i jordens organiske pulje, og at tabene i områder med stort overskud kan være ganske betydelige. Det er derfor vigtigt, at man som landmand indretter sine folde på en måde, som dels mindsker overskuddet og dels giver en jævn fordeling af gødningen. I praksis vil det sige en lav belægningsgrad kombineret med hyppige flytninger af først og fremmest fodringssted, men også hytter.*

## Indledning

Udendørs sohold er i fremgang i flere europæiske lande bl.a. Storbritanien, Frankrig og Danmark (Watson & Edwards, 1997; Denmat et al., 1995; Mortensen et al., 1994). Udendørs sohold har oplagte fordele mht. dyrevelfærd og lave etableringsomkostninger, men udendørsproduktionen kan dog have en skjult omkostning pga. næringsstofftab til grundvandet eller atmosfæren. Den nuværende fodringspraksis og dyretæthed resulterer i stor næringsstofafsætning i sofoldene, hvilket kombineret med begrænset græsdække og lette jorde kan forårsage næringsstofftab i efterår og vintermånederne. Selv ved en lav dyretæthed kan dyrenes gødningsadfærd bevirke, at der bliver nogle næringsstof-“hot spots” i foldene.

Det er vanskeligt at opnå en optimal udnyttelse af gødning, der afsættes under afgræsning. Den uheldige konsekvens er en betydelig risiko for tab

af næringsstoffer, og samtidig er der mindre gødning til rådighed i de øvrige marker i sædskiftet. Mens tabene er belastende for miljøet, så er et lavt næringsstofniveau i de øvrige marker belastende for produktionsresultatet. En mindre foderproduktion er ensbetydende med et mindre dyrehold og i den sidste ende en dårligere økonomi.

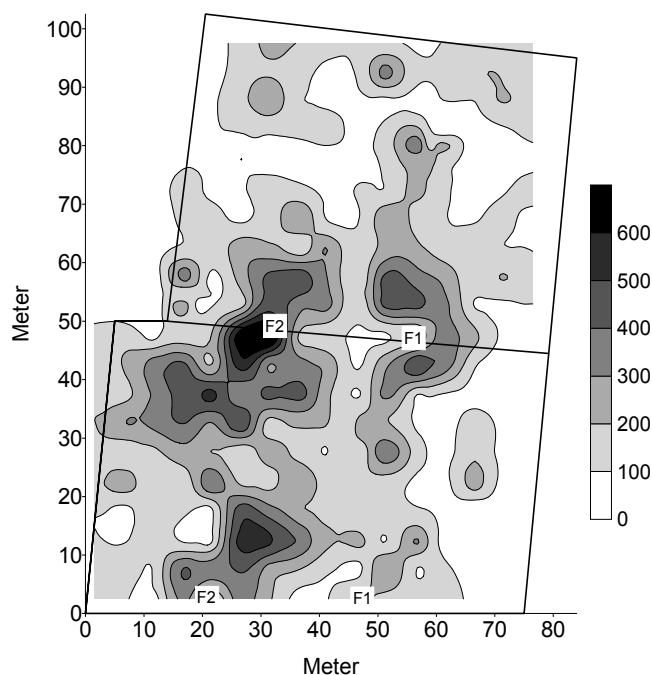
Der er således god grund til, både for miljøets og økonomiens skyld, at optimere udnyttelsen af gødningen fra det udendørs sohold. Målet med undersøgelserne, som er omtalt her, var at bestemme de væsentligste faktorer af betydning for fordelingen af næringsstoffer i foldene samt konsekvenserne heraf for udnyttelsen i den efterfølgende afgrøde og for det omgivende miljø.

## Fordeling af næringsstoffer i fællesfarefolde

Der er gennemført undersøgelser hos en økologisk svineproducent med fællesfarefolde på lerblandet sandjord. I en mark uden tidligere sohold blev der etableret to folde på ca. 3500 m<sup>2</sup>, hvor der fra marts til september 1997 var en belægning på ca. 32 diegivende søer pr. ha. Den intensive fodring af søerne i diegivningsperioden gav en stor udskillelse af næringsstoffer i dyrenes gødning, og jordens indhold af næringsstoffer i visse dele af farefoldene blev betydeligt forøget. I 312 punkter fordelt over de to folde blev jordens indhold af kvælstof (N<sub>min</sub>), fosfor (P<sub>t</sub>) og kalium, (K<sub>t</sub>) målt før søerne blev placeret i foldene, umiddelbart efter de blev fjernet og igen i det næstfølgende forår. Endvidere blev optagelsen af

N, P og K bestemt i toppene af den efterfølgende kartoffelafgrøde i hovedparten af punkterne. Hytter blev flyttet jævnlige, og foderautomater blev flyttet én gang midt i perioden. Ved hver flytning blev den nøjagtige position af hytter og foderautomater bestemt. Ved hjælp af geostatistiske metoder blev det bestemt, hvordan søernes gødningsafsætning afhang af såvel hytter som foderautomaters placering (Eriksen og Kristensen, 2000).

Som forventet var jordens indhold af uorganisk N (ammonium og nitrat) meget lavt, før søerne blev indsat i foldene: 1-3 mg N pr. kg jord i 0-20 cm og endnu lavere i 20-40 cm. Seks måneder med diegivende søer i foldene forøgede jordens uorganiske N-indhold betydeligt og med meget store rumlige variationer til følge (figur 1).



**Figur 1** Ujævn fordeling af uorganisk kvælstof (kg N pr. ha i 0-40 cm) i to fællesfarefolde efter 6 måneder med sohold. F1 og F2 angiver placering af foderautomater i henholdsvis første og sidste halvdel af perioden.

Soholdets kvælstofafsætning var meget stærkt rumligt korreleret til placeringen af foderautomaterne, især i den sidste del af perioden. Jo længere væk fra foderautomater jo lavere var N-niveauet,

og 30-40 m fra fodringsstedet fandtes områder, hvor det uorganiske N-indhold i 0-40 cm svarede til niveauet i referencearealet uden sohold (figur 1 øverst til venstre). I det efterfølgende forår blev

der kun genfundet 14-19% af det afsatte kvælstof fra efteråret, men den tilbageværende mængde var stadig korreleret til foderstedets placering. For ekstrahérbart P (Pt) og ombytteligt K (Kt) var der tilsvarende en signifikant effekt af afstanden til fodringssted med de højeste værdier tæt på fodringsautomaten. Desuden var der en svagere, men signifikant effekt af den samlede afstand til hytter med stigende Pt og Kt, jo tættere man kom på hyttens placering.

I den efterfølgende kartoffelafgrøde blev næringsstofoptagelse i toppene bestemt før nedvisning (tørstofmaksimum) ved at indsamle de tre nærmeste kartoffeltoppe i forhold til punkterne, hvor der var bestemt næringsstofindhold i jorden. Koncentrationerne af N, P og K i plantemateriale var alle signifikant påvirket af jordens koncentration af det samme næringsstof og af afstanden til fodringssted. For P og K var koncentrationerne i plantematerialet desuden påvirket af den samlede afstand til hytter. Der var store variationer i tørstofproduktionen, men disse kunne kun i begrænset omfang relateres til variationer i jordens næringsstofindhold. En statistisk analyse, som inkluderede alle næringsstofbestemmelser (N, P og K) i foråret og det forudgående efterår viste, at på trods af signifikante effekter af både jordens N og K-indhold på tørstofproduktionen, så forklarede disse kun 17% af den totale variation i tørstofproduktionen.

Umiddelbart efter perioden med sohold blev der fundet meget høje værdier for uorganisk N i jor-

dens øverste 40 cm. De høje værdier skyldes dels et stort N-input i foder og dels den meget skæve fordeling af N på arealet. I tabel 1 er opstillet estimerede N-balancer for de to folde. Under tilsvarende betingelser er N-input i foder blevet bestemt til 9,2 kg N/so/laktation. I dette tilfælde med tre på hinanden følgende sohold og en dyretæthed på 32 søer/ha var inputtet således ca. 880 kg N/ha. Med 10 fravænnede grise pr. so, en fravænningsvægt på 15 kg og 27 g N/kg smågris (Sibbesen, 1990) var output fra foldene ca. 390 kg N/ha. Dvs. balancen i foldene havde et overskud på 490 kg N/ha. Dette overskud skal fordeles på N-optagelsen i den efterfølgende kartoffelafgrøde (estimeret til 80 kg N/ha), udvaskning (det gennemsnitlige fald i uorganisk N fra efterår til forår), ammoniakfordampningen (estimeret til 70 kg N/ha af Sommer, 2000) og denitrifikation (estimeret til 70 kg N/ha af Petersen et al., 2000). Herefter er der et overskud på 120 kg N/ha, som kan bidrage til udvaskningen 2. vinter efter sohold, planteoptagelsen i den 2. afgrøde efter sohold og endelig indbygning i jordens organiske kvælstofpulje.

N-balancen i tabel 1 er naturligvis behæftet med usikkerhed både mht. de enkelte posters størrelse og mht. hvor repræsentativ netop denne driftsform og dette areal er for udendørs sohold i almindelighed. Ikke desto mindre tyder resultaterne på, at kun en mindre del af overskuddet indbygges i jordens organiske pulje, og at tabene i områder med stort overskud kan være ganske betydelige.

**Tabel 1** Estimerede N-balancer for fællesfarefolde med 32 søer/ha i perioden marts til september 1997 efterfulgt af kartofler i 1998.

		Kg N/ha/år
Balance farefolde	Input foder	880
"køb-salg"	Output smågrise	390
	Overskud I	490
Estimeret N-bortførsel	Udvaskning 1. vinter	150
tab og afgrøde	Ammoniakfordampning	70
	Denitrifikation	70
	Planteoptag kartofler	80
	Overskud II	120
	Udvaskning 2. vinter	?
	Planteoptag 2. år	?
	Indbygning jordpulje	?

## Ujævn fordeling af kvælstof og udvaskning af nitrat

For at undersøge gødningsafsætningens betydning for nitratudvaskningen blev der i 1998 igangsat et forsøg hos en økologisk svineproducent med enkeltfarefolde på sandjord. I fire enkeltfarefolde blev der installeret keramiske sugeceller i 1 m's dybde med henblik på at registrere nitratkoncentrationer i vand, som udvaskes fra rodzonen. I hver fold blev installeret fire grupper af sugeceller, som var henholdsvis 10, 16, 22 og 28 m fra fodrings- og vandingsområdet i den ene ende af folden. Hver gruppe bestod af fire sugeceller med en indbyrdes afstand på 1 m. Desuden blev der uden for foldene etableret to grupper à fire sugeceller som reference.

Fra oktober 1998 til april 1999 var der tre hold diegivende søer igennem foldene, hvorefter der blev sået byg/ærthelsød. Igennem perioden fra søerne kom på arealet og frem til og med vinteren efter helsædsafgrøden er der målt nitratkoncentrationer i sugecellerne. Desuden blev der umiddelbart efter flytning af søerne fra arealet i april 1999 udtaget jordprøver i forskellige områder i de fire folde.

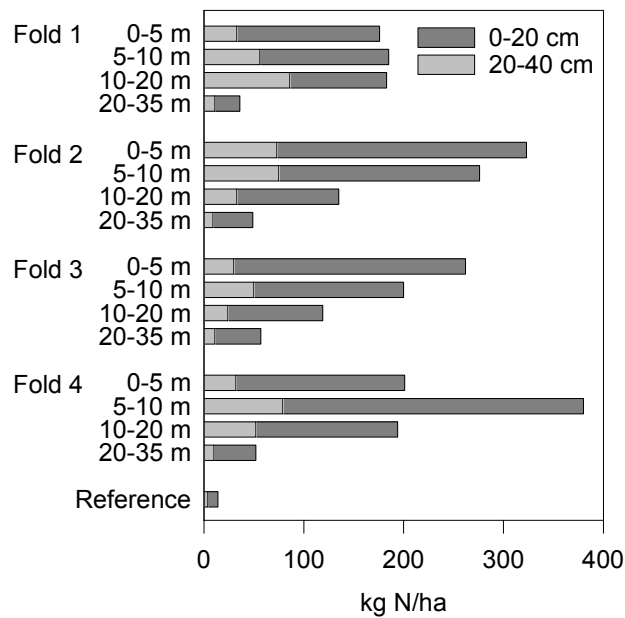
På figur 2 ses indholdet af uorganisk kvælstof i 0-40 cm's dybde efter ca. 6 måneder med sohold

som funktion af afstanden til fodringsstedet. For alle fire folde var det tydeligt, at når afstanden oversteg 20 m, var belastningen med kvælstof væsentlig mindre end tættere på foderstedet, men dog stadig større end på arealet uden sohold (referencen). Det generelle billede var, som i den ovenfor beskrevne undersøgelse i fællesfarefolde, at jo tættere man var på fodringsstedet, desto højere var kvælstofbelastning. Fold 1 adskiller sig lidt fra dette mønster, idet der inden for de første 20 m fra fodringsstedet var et nogenlunde konstant niveau af uorganisk kvælstof. Fold 1 var kun belastet med to hold søer i forhold til de øvrige folde tre hold søer. Det vil sige at N-inputtet i foder kun har været ca. 530 kg N/ha mod ca. 790 kg N/ha i de øvrige folde.

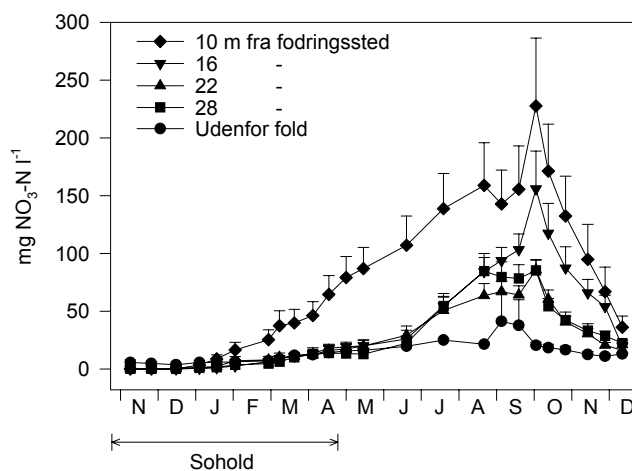
Nitratkoncentrationerne i jordvand under rodzonen udtaget vha. sugecellerne i perioden november 1998 til december 1999 er vist i figur 3. Soholdet har påvirket nitratkoncentrationerne kraftigt, og i områder tættest på foderpladsen er der målt endda meget høje koncentrationer. Jo længere væk fra fodringsstedet sugecellerne var placeret jo lavere nitratkoncentration. Den øgede nitratkoncentration viste sig tæt på fodringsstedet allerede i vinteren, hvor marken fungerede som sofold, mens det længere væk først var i den efterfølgende vinter at der kunne registreres forøget udvaskning. Der var stor variation i nitratkoncen-

trationerne selv inden for blokkene, hvor sugecellerne var placeret med 1 m's afstand, hvilket uden tvivl skyldes, at gødningen var ujævnt fordelt såvel

i hele foldens udstrækning som inden for få meter.



**Figur 2** Uorganisk kvælstof i de øverste jordlag som funktion af afstand til fodringssted i fire enkeltfarefolde. Referencen er uden sohold.



**Figur 3** Nitratkoncentrationen i 1 m's dybde bestemt vha. sugeceller i enkeltfarefolde. Effekt af sohold og afstand til fodringssted. Usikkerhedsangivelse: Standardafvigelse på gennemsnittet (n=16 i folde og n=8 uden for folde)

## Konsekvenser for udendørs sohold

I fortolkningen af resultaterne skal man være opmærksom på, at de her beskrevne foldsystemer benyttede sig af halvårslige farefolde med en stor belægning. Belægningen var begge steder på 14-15 diegivende søer/ha/år, hvilket er forholdsvis højt for en økologisk produktion. Intensiv fodring i slutningen af laktationsperioden gør, at næringsstofbelastningen med 7 ugers fravæning er væsentlig større end ved det tilsvarende antal søer med 4 ugers fravæning. Selv om de beskrevne resultater stammer fra, for økologiske forhold, intensive systemer, så er der dog ingen tvivl om, at næringsstoffordelingen er en vigtig brik i bestræbelserne på at forbedre næringsstofudnyttelsen ved udendørs sohold. Overordnet har fire forhold afgørende betydning:

- **Foldtypen:** Belastningen i farefolde er større end i drægtighedsfolde på grund af tre til fire gange større udskillelse af næringsstoffer fra diegivende søer end fra goldsøer og drægtige søer.

- **Belægningsgraden:** Bestemmer foderforbruget og dermed næringsstofinput til marken.
- **Gødningsfordeling inden for folden:** Hvis fodersted og hytter ikke flyttes hyppigt i afgræsningsperioden, bliver næringsstoffordelingen meget ujævn med store tab til følge.
- **Plantedække:** Hvis de afsatte næringsstoffer skal udnyttes videre i sædskiftet er det, især i efterårs- og vintermånederne vigtigt, at der i foldene er et græsdekke, som kan fastholde næringsstofferne.

Et stort foderforbrug betyder, at der gennemgående er et stort næringsstoffoverskud pr. hektar i sofoldene, vi har undersøgt. Resultaterne tyder på, at kun en mindre del af overskuddet indbygges i jordens organiske pulje, og at tabene i områder med stort overskud kan være ganske betydelige. Det er derfor vigtigt, at man som landmand indretter sine folde på en måde, som dels mindsker overskuddet og dels giver en jævn fordeling af gødningen. I praksis vil det sige en lav belægningsgrad kombineret med hyppige flytninger af først og fremmest fodringssted, men også hytter.

## Referencer

- Denmat, M. Le, Dagorn, J., Aumaître, A. & Vaudelet, J.C. (1995). Outdoor pig breeding in France. *Pig News and Information* **16**, 13N-16N.
- Eriksen, J. & Kristensen, K. (2000). Spatial variability of nutrient excretion by outdoor pigs. Indsendt til *European Journal of Soil Science*.
- Mortensen, B., Ruby, V., Pedersen, B.K., Smidth, J. & Larsen, V.A. (1994). Outdoor pig production in Denmark. *Pig News and Information*, **15**, 117N-120N.
- Petersen, S.O., Kristensen, K. & Eriksen, J. (2000). Udendørs sohold: Tab af kvælstof ved denitrifikation. Dette nr.
- Sibbesen, E. (1990). Kvælstof, fosfor og kalium i foder, animalsk produktion og husdyrgødning i dansk landbrug i 1980-erne. *Tidsskrift for Planteavl's Specialserie* **S2054**. 21 s.
- Sommer, S. G. (2000). Ammoniakfordampning fra diegivende søer på græs. Dette nr.
- Watson, C.A. & Edwards, S.A. (1997). Outdoor pig production: What are the environmental costs? *Environmental & Food Sciences. Research Report*. Scottish Agricultural College. pp. 12-14.

# 6 Udendørs sohold: Tab af kvælstof ved denitrifikation

Søren O. Petersen<sup>1</sup>, Kristian Kristensen<sup>2</sup> og Jørgen Eriksen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Plantevækst og Jord

<sup>2</sup>Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugssystemer

E-mail:soren.o.petersen@agrsci.dk

*Udendørs sohold er præget af en høj næringsstofomsætning med en tilsvarende stor risiko for tab. I denne undersøgelse blev denitrifikationens omfang, og dens rumlige og tidsmæssige variation beskrevet. Den rumlige variation blev kortlagt på en JB 1-jord umiddelbart efter en 6 mdr. periode med søer i folden, og igen det efterfølgende forår. De højeste tab blev målt omkring foderpladsen, og den gennemsnitlige denitrifikation faldt fra 0,5 til 0,1 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> mellem de to prøvetagninger. Den tidsmæssige variation blev fulgt på en anden bedrift (samme jordtype) ved månedligt at udtage 10 jordprøver omkring de samme punkter igennem en 11 måneders periode. Resultaterne viste tegn på effekter af både klimatiske forhold samt af foderstedets og hytternes placering. Det årlige tab blev skønnet til 69 kg N ha<sup>-1</sup>, svarende til 11% af det udskilte kvælstof.*

## Indledning

Sohold er en intensiv produktion præget af en høj foderindtagelse, og der er tilsvarende en høj udskillelse af overskydende næringsstoffer. I traditionelle staldsystemer til søer kan disse næringsstoffer opsamles, lagres, og anvendes målrettet til gødningsformål. Ved udendørs sohold er der ikke samme kontrol med næringsstofudnyttelsen, og det har medført en vis bekymring mht. den miljømæssige belastning ved denne produktionsform. En forebyggelse af tab forudsætter at betydende tabsveje, såvel som deres relation til driftsmæssige forhold identificeres.

Kvælstoffets skæbne i systemer med udendørs sohold er stort set ukendt (Worthington & Danks, 1992). Risikoen for tab er stor, eftersom gødningen afsættes på jordoverfladen, det sker under meget varierende klimatiske forhold, og fordelingen inden for folden er antagelig mindre ensartet, end det ville være tilfældet ved udbringning af lagret gødning. Områder med en høj belastning af gødning og/eller urin vil have et stort potentiale

for kvælstoftab via udvaskning, eller tab til atmosfæren via ammoniakfordampning eller denitrifikation.

Dette kapitel beskriver to undersøgelser til kortlægning af den rumlige og tidsmæssige fordeling af denitrifikationen i udendørs sohold. Denitrifikationen er en bakteriel proces som reducerer nitrat til gasformige produkter (N<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>O). Processen har tre forudsætninger: Adgang til letnedbrydelige kulstofforbindelser, adgang til nitrat, og fravær af ilt. Det er velkendt, at gødning stimulerer denitrifikationen både i naturen og i dyrket jord (Elliott et al., 1990; Petersen et al., 1996), men også at processen er karakteriseret ved en ekstrem tidsmæssig dynamik og rumlig variation, både på en makroskopisk (Robertson et al., 1988) og en mikroskopisk skala (Parkin, 1987). Formålet med denne undersøgelse har været at kvantificere denitrifikationen i forbindelse med udendørs sohold, og at beskrive processens udbredelse i lyset af jordens karakteristika og driftsmæssige forhold.

## Del 1. Rumlig variation i folden

Den første undersøgelse blev gennemført på en JB1-jord, i tilknytning til den undersøgelse af næringsstofbalancer som er beskrevet i foregående kapitel (Eriksen, 2000). Knap 150 intakte jordsøjler (diam. 4,4 cm, længde ca. 20 cm) blev udtaget i et  $5 \times 5$  m<sup>2</sup> gridmønster i og uden for Fold 1 i begyndelsen af oktober 1997 og igen omkring 1. marts 1998, altså umiddelbart efter en seks måneders periode med sohold med 32 søer ha<sup>-1</sup>, og igen sidst på vinteren. De to jordprøver fra hvert målepunkt blev udtaget i 5-10 cm afstand fra hinanden.

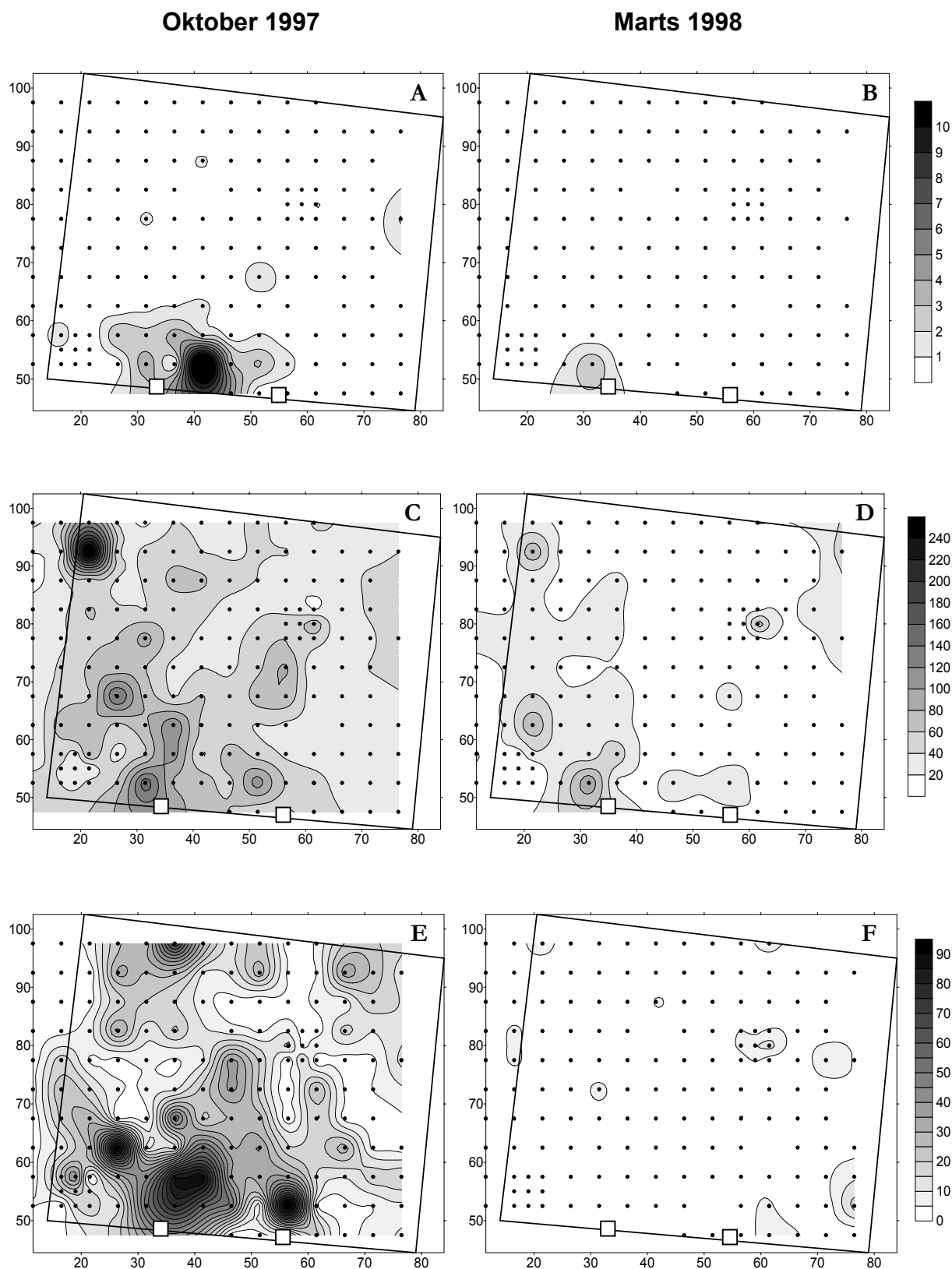
Denitrifikationsrater blev målt i klimakammer ved en fast temperatur på 10°C, og med brug af acetylen-inhiberingsteknikken som blokerer for omdannelsen af mellemproduktet N<sub>2</sub>O (lattergas) til N<sub>2</sub>. Lattergas blev målt ved hjælp af gaskromatografi. Derefter blev jordprøverne analyseret for indholdet af uorganisk N, opløst organisk kulstof (benyttet som et mål for tilgængeligheden af letnedbrydelige kulstofforbindelser), og vandindhold. Den statistiske model som er omtalt af Eriksen (2000) blev også anvendt på dette datasæt for at identificere eventuelle styrende faktorer.

I oktober 1997 varierede denitrifikationsraterne fra 0 til 4 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, dog med en enkelt afviger på >15 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (fig. 1A). Det gennemsnitlige tab var 0,5 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> inde i folden, og 0,01 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> uden for folden. Ved prøvetagningen i marts 1998 (fig. 1B) var den gennemsnitlige de-

nitri-fikation inde i folden faldet til 0,1 kg N ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, mens tabet udenfor var på samme niveau som i efteråret. Dyrenes tilstedeværelse i folden stimulerede altså klart denitrifikationen, og der var stadig en lidt forhøjet denitrifikation 5 måneder efter at folden var blevet tømt. Det fremgår af fig. 1A og B at de højeste rater blev målt omkring foderautomatens sidste placering. Dette skyldes antagelig dyrenes kompaktion af jorden omkring fodringsstedet, en forhøjet afsætning af gødning og urin og/eller tab af foderrester på jorden. Denitrifikationen stimuleres under forhold, hvor ilttilførslen hæmmes pga. et begrænset luftfyldt porevolumen, eller hvor iltforbruget i en periode overstiger ilttilførslen. Den statistiske model, som forklarede 47% af variationen, pegede på at begge faktorer stimulerede denitrifikationen i forsøget, idet både fordelingen af opløst kulstof og afstanden til foderautomaten var positivt korreleret med denitrifikationens fordeling i marken (data ikke vist).

Fordelingen af opløst kulstof (fig. 1C-D) og nitrat (fig. 1E-F) viser også forhøjede værdier omkring foderpladsen, dog ikke for nitrat i marts 1998, så sandsynligvis var nitrat begrænsende for processen på dette tidspunkt. Den gennemsnitlige temperatur i marken var i ugen forud for prøvetagningerne 12,5°C i oktober 1997 og 7°C i marts 1998, så forskellen mellem de reelle denitrifikationstab i marken på de to tidspunkter var formentlig endnu større, end målingerne gennemført ved 10°C viste.



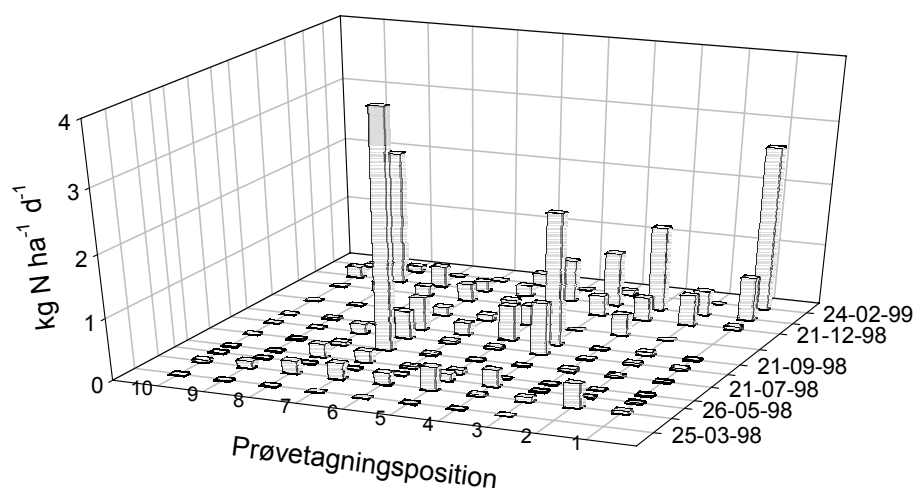


**Figur 1** Den rumlige fordeling af denitrifikation,  $\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  (A, B), opløst kulstof,  $\text{mg C kg}^{-1}$  (C, D), og nitrat,  $\text{mg N kg}^{-1}$  (E, F) i oktober 1997 og i marts 1998. Folden er markeret med den "skæve" firkant, og foderautomatens placeringer (seneste placering til venstre) er vist. Punkterne angiver, hvor der blev udtaget intakte jordsøjler til analyserne.

## Del 2. Sæsonmæssige variationer

På en tilsvarende jordtype, men hos en anden producent med udendørs sohold, blev der i perioden fra marts 1998 til februar 1999 gennemført en sæsonundersøgelse af denitrifikationen i en fold med 12 søer  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ . Den første prøvetagning fandt sted før søerne blev introduceret i folden. Ved hver prøvetagning blev 10 intakte jordsøjler udtaget med 5 m mellemrum langs en linie, der var fastlagt fra midten af den ene langside til et modstående hjørne. Det nøjagtige sted for den enkelte udtagning var afgjort før forsøgets start. For at sikre realistiske rater blev prøverne straks efter udtagning inkuberet i kamre (ca. 1 liter) som var gravet ned umiddelbart uden for folden, og denitrifikationsrater blev bestemt som beskrevet ovenfor. I sæsonundersøgelsen blev den nøjagtige placering af foderautomat og hytter ikke registreret, ud over en bemærkning hvis de var tæt på et målepunkt. Den statistiske analyse for dette datasæt er derfor kun baseret på jordens karakteristika. Jordtemperaturen varierede i perioden mellem 1,6 og 16,7°C.

Også tidsmæssigt var denitrifikationen præget af en kolossal variation (fig. 2). Før grisene blev introduceret kunne der ikke måles nogen denitrifikation på arealet. Ved to lejligheder, i april og i december 1998, blev der målt denitrifikation på et moderat niveau i de fleste af jordprøverne. Disse måletidspunkter efterfulgte perioder med megen nedbør, og jordens vandindhold var forhøjet. De højeste rater målt i sæsonundersøgelsen var på 2-4  $\text{kg N ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  og bekræftede altså de meget høje tab som blev observeret i forbindelse med Del 1 af denne undersøgelse. Men det fremgår også af fig. 2, at disse høje rater i de fleste tilfælde er afgrænset til en kortere periode. Nogle af de højeste rater kunne forbindes med foldens indretning; eksempelvis blev foderautomaten placeret tæt ved position 7 imellem 3. og 4. prøvetagning, og en hytte var placeret mellem position. 4 og 5 i juli, og nær position 8 i december. Det samlede tab blev beregnet ved interpolation mellem prøvetagningsdagene til i alt 69  $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ . Det svarer til et gennemsnit pr. dag på ca. 0,2  $\text{kg N ha}^{-1}$ , hvilket stemmer godt overens med de niveauer der blev målt i den rumlige undersøgelse (Del 1).



**Figur 2** Denitrifikationen blev fulgt fra marts 1998 (før søerne blev introduceret) til februar 1999 ved prøvetagninger med 5 m mellemrum langs en linie igennem folden. De intakte jordsøjler blev inkuberet i kamre nedgravet uden for folden for måling af aktuelle denitrifikationsrater.

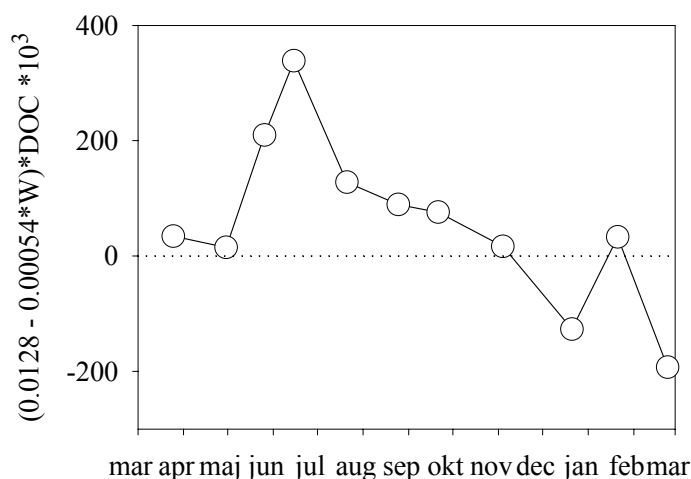
Den statistiske model viste en positiv sammenhæng mellem denitrifikationen og henholdsvis opløst kulstof og jordtemperaturen, men der var

også en signifikant vekselvirkning mellem de to faktorer, som kan udtrykkes således:

$$\text{Denitrifikation} = -0,628 + (0,0128 - 0,00054 \times \text{Jordvand}) \times \text{Opløst C} + 33,8 \times \text{Jordvand},$$

hvor denitrifikationen er angivet i  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , jordvandet i % af tørvægten, og opløst kulstof i  $\text{mg C kg}^{-1}$  jord. Det fremgår heraf, at ved vandindhold i jorden på under ca. 25%, dvs. fra forsøgets start og helt frem til november, var der en positiv effekt af opløst kulstof på denitrifikationen, men ingen eller en negativ sammenhæng i mere våd jord. Størrelsen i formlens parentes, som angiver betydningen af opløst C, er vist for

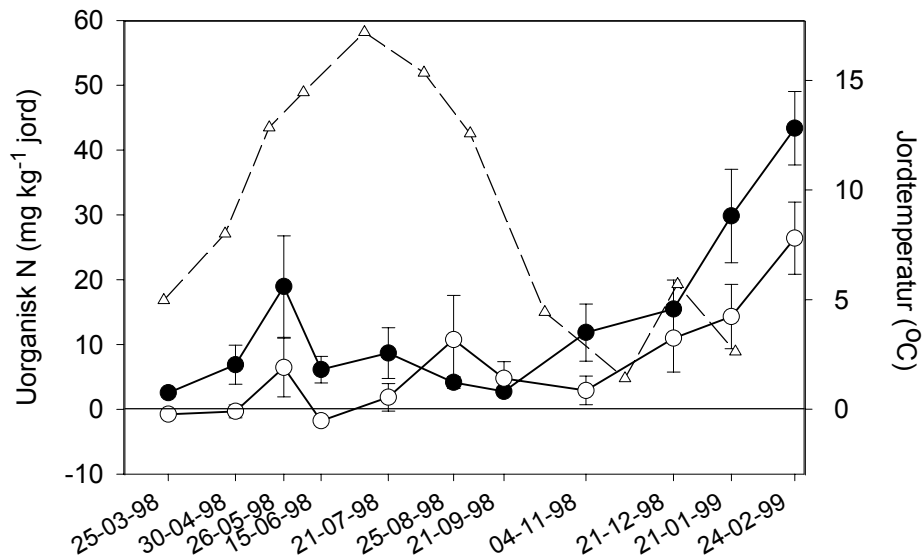
de 11 prøvetagninger i fig. 3. Det forekommer logisk, at opløst kulstof primært fremmer denitrifikationen ved lavere vandindhold, hvor et højt iltforbrug har størst betydning for etablering af iltfrie områder i jorden. Men selvom de nævnte effekter var statistisk signifikante, så forklarede den statistiske model kun ca. 5% af den totale variation.



**Figur 3** Denitrifikationens sammenhæng med koncentrationen af opløst C i jordvandet er vist som funktion af prøvetagningstidspunkt. Som det fremgår var stimulationen størst i de tørre sommermåneder, men effekten af opløst C var positiv helt frem til november.

Der blev observeret en ophobning af uorganisk N i jorden i løbet af undersøgelsen (fig. 4). I lyset af den næsten fuldstændige fjernelse af nitrat som blev observeret i det tidlige forår i Del 1 (se fig. 1

E-F) må det antages, at den målte ophobning kun repræsenterer en del af det overskud af N, som blev deponeret i vinterens løb.



**Figur 4** Jordtemperatur (stiplet kurve), ammonium (fyldte cirkler) og nitrat (åbne cirkler) i jorden under sæsonundersøgelsen. Søerne blev først introduceret i folden efter den første prøvetagning i marts 1998. De lodrette stolper angiver standardfejlen (SE) på gennemsnitsværdierne.

## Konklusion

Tabene af kvælstof via denitrifikation fra udegående søer kan være meget betydelige, og de ser i et vist omfang ud til at afspejle driftsmæssige forhold. Det årlige tab fra denne sandede jord var 69 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>, svarende til 11% af det udskilte kvælstof. Foderpladsen synes at give gode betingelser for denitrifikation, og det gælder tilsyneladende også området omkring hytterne. Ophob-

ning af næringsstoffer og letomsætteligt kulstof, såvel som kompaktion pga. intens trafik kan muligvis modvirkes gennem en hyppigere reorganisering af foldens indretning og/eller ved at fordele søerne i enkeltfolde. Ligeledes kunne overskuddet af kvælstof muligvis reduceres med fodringsstrategier, der i højere grad tager hensyn til den samlede næringsstofhusholdning.

## Referencer

- Elliott, P.W., Knight, D. and Anderson, J.M. 1990. Denitrification in earthworm casts and soil from pastures under different fertilizer and drainage regimes *Soil Biology and Biochemistry* 22, 601-605.
- Eriksen, J. (2000) Afsætning af næringsstoffer fra udendørs sohold (denne rapport).
- Parkin, T.B. 1987. Soil microsites as a source of denitrification variability. *Soil Science Society of America Journal* 51, 1194-1199.
- Petersen S.O., Nielsen T.H., Frostegård, Å. and Olesen, T. 1996. Oxygen uptake, carbon metabolism, and denitrification associated with manure hot-spots. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 341-349.
- Robertson, G.P., Huston, M.A., Evans, F.C. and Tiedje, J.M. 1988. Spatial variability in a successional plant community: Patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69, 1517-1524.
- Worthington, T.R. and Danks, P.W. 1992. Nitrate leaching and intensive outdoor pig production. *Soil Use and Management* 8, 56-60.



# 7 Ammoniakfordampning fra diegivende søer på græs

Sven G. Sommer

Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugsteknik

E-mail: SvenG.Sommer@agrsci.dk

*Der foreligger få undersøgelser af ammoniakfordampning fra græssende dyr, og der er ikke offentliggjort resultater af ammoniaktab ( $\text{NH}_3$ ) fra søer på græs. I økologisk jordbrug er søer ofte på græs hele året. Derfor er  $\text{NH}_3$ -tabet fra folde med græssende, diegivende søer blevet undersøgt i 7 perioder fra 1997 til 1999. I disse perioder var der fra 6 til 11 søer, der afgræssede et areal på mellem 0,2 og 0,378 ha. Den rumlige fordeling af  $\text{NH}_3$ -fordampningen viste sig at være betydelig, idet tabet varierede fra 0-2,8 g N  $\text{m}^2$  pr. dag. Denne variation skyldes især fordelingen af urinpletter på marken. Ammoniaktabet fra hele marken varierede fra 0,007-0,214 g N  $\text{m}^2$  dag<sup>-1</sup>. Årsagen til variationen var forskellig tildeling af foder og variation i klimaet. Undersøgelsen viste, at der årligt gik 4,8 kg N tabt pr. diegivende so. Til sammenligning er den årlige  $\text{NH}_3$ -fordampning fra søer på stald (spaltegulv) mellem 3 og 6,3 kg N pr. so. En so afsætter årligt ca. 25,7 kg N, tabet af  $\text{NH}_3$  udgør således ca. 20% af N i gødningen.*

## Indledning

Mængden af tilgængelige næringsstoffer kan være begrænsende for animalsk og vegetabilsk produktion i økologisk jordbrug, da anvendelsen af handelsgødning ikke er tilladt. Næringsstofferne i foderet udgør hovedparten af de næringsstoffer, der via husdyrgødningen tilføres en afgrøde. Økologisk husdyrproduktion har derfor et stort behov for at undgå tab af husdyrgødningens næringsstoffer.

I økologisk svinebrug skal diegivende søer have mulighed for at græsse i minimum halvdelen af året. I forbindelse med afgræsning afsætter grisen gødning i marken, og fra gødningen er der risiko for tab af kvælstof ved udvaskning, denitrifikation og ved ammoniakfordampning ( $\text{NH}_3$ ). Der er ikke offentliggjort undersøgelser om næringsstofomsætning og -tab fra søer på græs, men det antages, at  $\text{NH}_3$ -fordampning kan udgøre et betydeligt tab af kvælstof, da der for køer på græs er påvist tab på mellem 3 og 50% af kvælstof afsat i urinpletter.

Væsentlige faktorer for  $\text{NH}_3$ -fordampningens størrelse er jordoverfladens indhold af ammonium og pH. Klimatiske faktorer som temperatur, nedbør og vind vil ligeledes bidrage til årlige variationer i  $\text{NH}_3$ -fordampningen. Foruden en betydelig årsvariation vil  $\text{NH}_3$ -fordampningen også variere rumligt, fordi grise afsætter gødningen i bestemte dele af marken.

Som led i en undersøgelse af næringsstofbalancer i græsmarker med søer blev der målt  $\text{NH}_3$ -fordampning i 7 perioder fra september 1997 til maj 1999. Ammoniakfordampningen blev i hver periode bestemt 6 gange med en meteorologisk massebalanceteknik. Disse målinger blev fra juni 1998 til maj 1999 fulgt op af målinger af den rumlige fordeling af  $\text{NH}_3$ -fordampningen. Ved disse målinger blev tabet bestemt med dynamiske kamre, samtidig blev der målt temperatur og indhold af ammonium og pH i jordoverfladen.

## Klima, fodring og antal søer på græs

I løbet af undersøgelsen varierede de klimatiske variable, som vist i tabel 1. Den gennemsnitlige årstemperatur er 7,7°C, vindhastigheden er ca. 4 m s<sup>-1</sup>, nedbøren er 1,8 mm dag<sup>-1</sup>, jordtemperatu-

ren er 9,5°C og indstrålingen er 9,4 MJ m<sup>-2</sup>. Gennemsnittet af klimaforholdene i løbet af dette forsøg var således forskelligt fra et dansk normal-klima, idet temperaturen og vindhastigheden har været lavere end normalt og mængden af regn og global indstråling større.

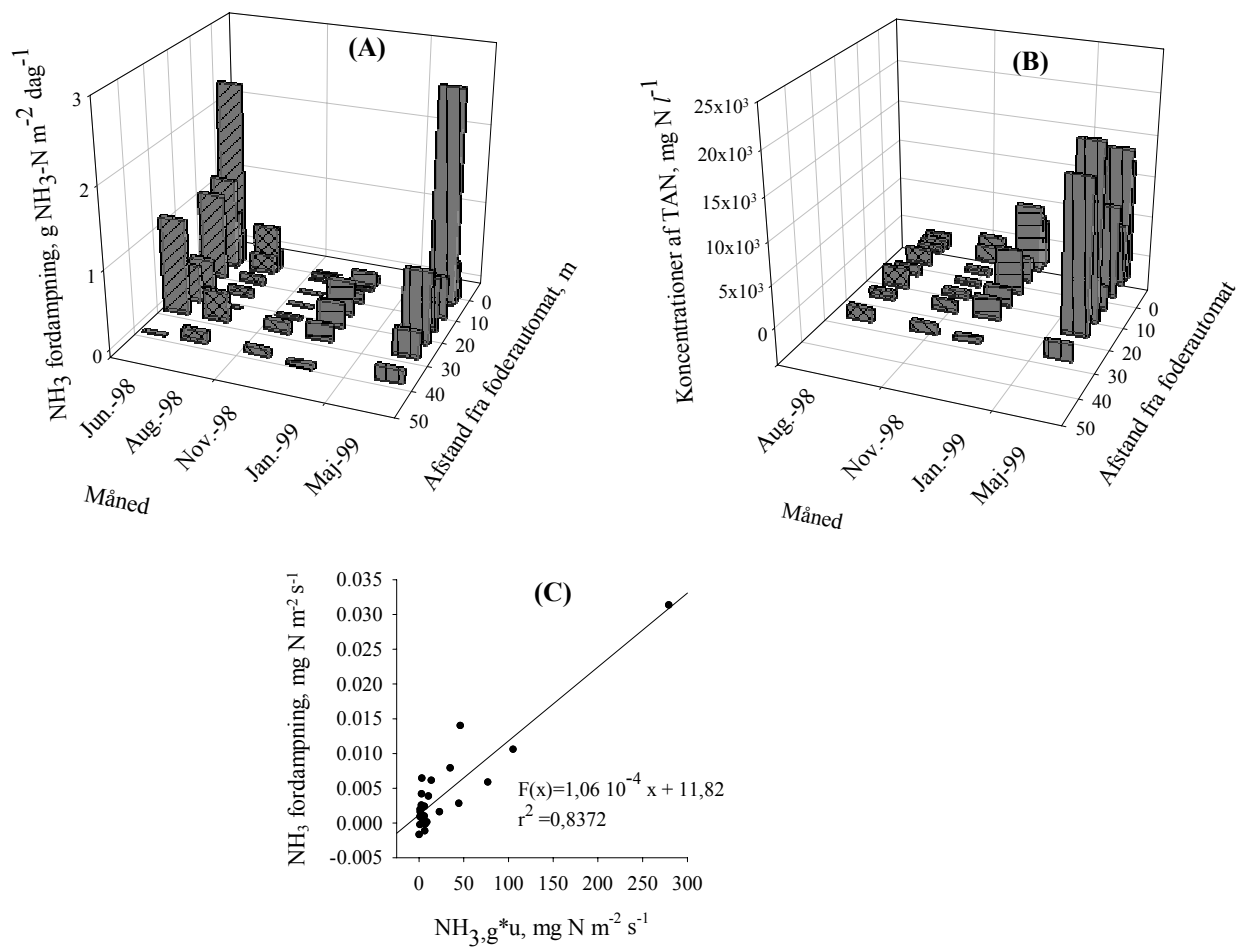
**Tabel 1** Daglig middelværdi, maks og min, for lufttemperatur, jordtemperatur, vindhastighed og indstråling (pr. dag) for de 7 perioder, hvor ammoniaktabet blev målt med den meteorologiske massebalanceteknik.

	Lufttemperatur °C	Jordtemperatur (10 cm) °C	Regn mm	Vindhastighed m s <sup>-1</sup>	Global indstråling MJ <sup>-2</sup>
Max	19,2	18,2	28,9	7,4	28,5
Min	-3,5	1,4	-0,1	1,2	0,2
Middel	9,2	11,0	3,2	3,2	8,9

I løbet af undersøgelsen var der fra 6 til 11 græssende søer, der afgræssede et areal på mellem 0,2 og 0,378 ha. Omregnet, var antallet af søer på græs i gennemsnit ca. 24 søer ha<sup>-1</sup> i måleperioderne. Der går ikke søer på de pågældende græsmarker hele året, da græsmarkerne og afgræsningen

indgår i et sædskifte. Antallet af søer kan derfor omregnes til, at der årligt græsser ca. 12 søer pr. ha. Dagligt blev søerne fodret med mellem 2,5 og 11 FE pr. so, variationen skyldes, at fodertildelingen øges fra ca. 2,25 til ca. 12 foderenheder (FE) pr. so i løbet af de 7 uger, søerne dier smågrisene.





**Figur 1** Resultater af måling af (A) ammoniakfordampning og (B) total koncentrationen af ammonium (TAN) i jordoverfladen i en mark med diegivende søer. Målingerne blev gennemført på en linie fra 0-40 m fra foderautomaten. Ca. 30 m fra foderautomaten var der placeret en hytte. C viser den lineære regression mellem ammoniakfordampningen og  $\text{NH}_3$ -koncentration ( $\text{NH}_3\text{-G}$ ) i ligevægt med ammonium i jordvæsken.

## Rumlig fordeling af $\text{NH}_3$ -fordampning

Resultatet af målingerne med de dynamiske kamre fremgår af figur 1A. Med det dynamiske kammer blev der målt tab fra 0-2,8  $\text{g N m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ . De største tab ses i området nær foderpladsen og i en afstand af 20-30 m fra foderpladsen i nærheden af hytterne. Det er kendt, at grisene urinerer nær deres hytter og ved foderpladsen, hvilket forklarer mønsteret i ammoniaktabet, da ammoniakken i hovedsagen stammer fra svinenes urin.

Efter en måling af  $\text{NH}_3$ -fordampningen blev der udtaget prøver fra jordoverfladen til bestemmelse af ammonium i jordvæsken, og pH værdien blev bestemt. Koncentrationen af ammonium varierede fra 200-20.500  $\text{mg N l}^{-1}$  (fig. 1B) og pH fra 6-8. Ammoniumkoncentrationen varierede stort set som  $\text{NH}_3$  fordampningen. De høje pH-værdier blev målt i områder med urin, fordi der sker en pH stigning i forbindelse med hydrolyse af urea. Da pH er en logaritmisk enhed, svarer 2 pH-enheder til en forskel i brintion-koncentrationen på en faktor 100, svarende til forskellen mellem

den laveste og højeste, af de målte ammonium-koncentrationer.

Det blev testet, om en enkel model kan benyttes til beregning af fordampningen. Dvs. om den målte  $\text{NH}_3$ -fordampning er lineært afhængig af den beregnede koncentration af atmosfærisk  $\text{NH}_{3,G}$ , der var i ligevægt med opløst ammoniak i jordvæsken. I modellen beregnes mængden af opløst  $\text{NH}_{3,L}$  på baggrund af pH og ammonium.

$$F = K(u) \times (\text{NH}_{3,G})$$

hvor  $F$  er tabet af atmosfærisk  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_{3,G}$  er koncentrationen af atmosfærisk  $\text{NH}_3$  gas ( $\text{g NH}_3\text{-N m}^{-3}$ ) i ligevægt med  $\text{NH}_4^+$  i jordvæsken.  $K(u)$  er en empirisk konstant, som især er afhængig af vindhastigheden, overfladens ruhed og lufttemperaturen.

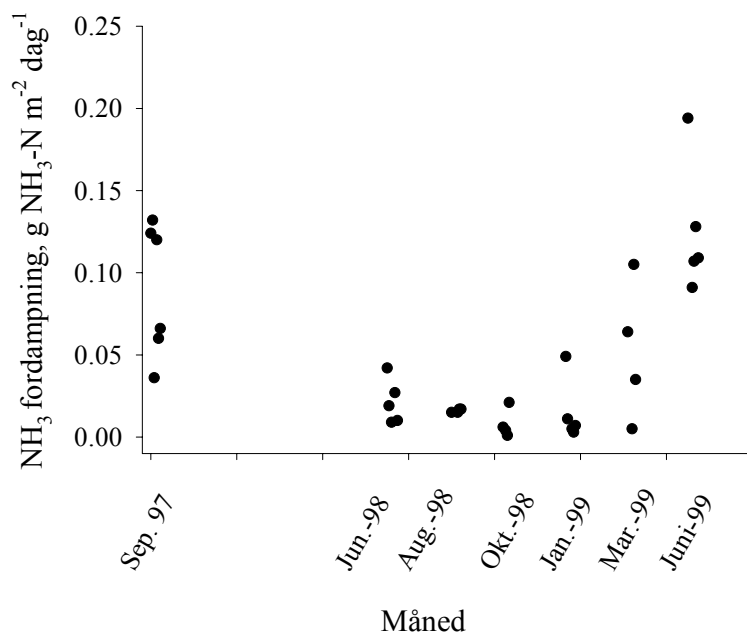
Koncentrationen af  $\text{NH}_{3,G}$  beregnes med følgende to ligninger:

$$[\text{NH}_{3,L}] = \frac{TAN}{1 + ([\text{H}_3\text{O}^+]/K_N)}$$

$$[\text{NH}_{3,G}] = [\text{NH}_{3,L}] \times K_H$$

hvor  $TAN$  er total ammonium-N ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ,  $\text{g N l}^{-1}$ ),  $\text{NH}_{3,L}$  er koncentrationen af  $\text{NH}_3$  i jordvæsken ( $\text{g N l}^{-1}$ ),  $K_N$  ligevægtskonstanten for dissocieringen af  $\text{NH}_4^+$  og  $K_H$  er Henrys lov konstanten mellem  $\text{NH}_{3,L}$  og  $\text{NH}_{3,G}$ . De to konstanter er afhængige af temperaturen.

Resultatet af denne test viste, at der er en lineær sammenhæng ( $r^2=0,84$ , figur 1C) mellem  $\text{NH}_3$ -fordampning og indholdet af opløst  $\text{NH}_{3,L}$  i jordvæsken. Hældningskoefficienten var  $1,06 \cdot 10^{-4}$ , hvilket er af samme størrelse som beregnet ved modellering af ammoniaktab fra udspredt urea.



**Figur 2** Ammoniakfordampning fra en mark med diegivende søer, målt i 7 perioder fra september 1997 til maj 1999. I perioderne, hvor markerne blev afgræsset, svarede antallet af søer til et gennemsnit på 24 søer pr. ha.

## Ammoniaktabet fra marken

I de 7 perioder, hvor NH<sub>3</sub>-fordampningen blev målt med en meteorologisk massebalanceteknik, varierede tabet fra 0,007-0,214 g N m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> (fig. 2). Med den atmosfæriske massebalanceteknik måles den integrerede NH<sub>3</sub> fordampning fra hele marken, derfor er fordampningsraterne mindre end ved punktmålingerne med det dynamiske kammer. Tabet var større i 1997 end i 1998, både fordi der var flest søer i marken i 1997, og tildelingen af foder pr. so var højest i 1997 som følge af en højere alder på smågrisene. Mængden af afsat urin vil stige både med antallet af søer og mængden af foder tildelt søerne.

Den statistiske analyse viser, at mængden af foder, tildelt de diegivende søerne, er den faktor, der har størst betydning for NH<sub>3</sub>-fordampningens størrelse (tabel 2), og at NH<sub>3</sub>-tabet stiger med mængden af foder givet pr. arealenhed. Grisene udnytter og indlejrer mere kvælstof ved en høj end en lav tildeling af foder, men indlejringen stiger ikke proportionalt med stigningen i fodertildelingen, derfor stiger afsætning af kvælstof i gødning, når tildeling af foderet øges. Ammoniakfordampningen i slutningen af en diegivningsperiode må derfor forventes at være større end i periodens begyndelse.

Lufttemperatur og indstråling i løbet af måleperioden har også en betydelig og positiv effekt på NH<sub>3</sub>-fordampningen (tabel 2). Begge faktorer bidrager til en opvarmning af overfladen af jorden og med energi til NH<sub>3</sub>-fordampningsprocessen. Der var også en effekt af temperaturen dagen før og af indstråling to dage før måling af NH<sub>3</sub>-fordampningen, idet den målte NH<sub>3</sub>-fordampning faldt med stigende temperatur og indstråling i dagene før målingen. Dette skyldes, at høj temperatur og indstråling i dagene forud for en måling vil øge NH<sub>3</sub>-fordampningen før måleperioden, hvilket reducerer jordens indhold af ammonium og mindsker NH<sub>3</sub>-tabspotentialet i måleperioden. Regn to dage før målingen af NH<sub>3</sub>-fordampning kan medføre et stigende målt tab, fordi regnen har reduceret tabet i perioden før målingen og dermed bidraget til, at der er mere ammonium i jorden og dermed et større NH<sub>3</sub>-tabspotentiale under selve målingerne.

Der var ikke en signifikant effekt af vinden, formentlig fordi vindhastigheden i Danmark normalt er så høj, at vind ikke er en begrænsende faktor. I undersøgelser af ammoniaktabet fra udbragt gylle er der således hidtil ikke vist nogen korrelation mellem aktuelle vindhastigheder og ammoniaktab.

**Tabel 2** Lineær regressionsanalyse af NH<sub>3</sub>-fordampningen (g N m<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>) fra en græsmark med diegivende søer med smågrise (1-7 uger). Modellen var signifikant (P>F ved 0,1 promille niveauer, DF=10), regressionskoefficienten for modellen var 0,8066.

Variable <sup>@</sup>	DF	Estimat,	Standard avgivelse	T for H0	P > T
Afskæring med X-akse <sup>**</sup>	1	-0,09316	0,029691	-3,138	0,0033
0-Foderenheder <sup>***</sup>	1	3,207791	0,530104	6,051	0,0001
0-Lufttemperatur <sup>***</sup>	1	0,022985	0,004543	5,06	0,0001
0-Vindhastighed	1	0,010022	0,006044	1,658	0,1057
0-Indstråling <sup>***</sup>	1	0,009936	0,001731	5,739	0,0001
1-Lufttemperatur <sup>***</sup>	1	-0,02203	0,003623	-6,08	0,0001
2-Regn <sup>**</sup>	1	0,003797	0,001079	3,52	0,0012
2-Indstråling <sup>**</sup>	1	-0,0072	0,002118	-3,399	0,0016

<sup>@</sup>Tallet angivet for variabelnavnet viser, om klimavariablen er målt i dagene, hvor ammoniaktabet blev målt (0), én (1) eller to (2) dage før måling af NH<sub>3</sub> tab.

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup>, angiver signifikans niveau ved henholdsvis P < 1% og P < 0.1%.

## Samlet årlig NH<sub>3</sub>-fordampning

Ved brug af den statistiske model (tabel 2) kan der beregnes et vægtet gennemsnit af den årlige NH<sub>3</sub>-fordampning for den pågældende ejendom. Resultatet af beregningen viser, at der årligt tabes 4,8 kg N pr. diegivende so. Til sammenligning, er den årlige NH<sub>3</sub>-fordampning fra søer på stald (spaltegulv) mellem 3 og 6,3 kg N pr. so. En so

afsætter årligt ca. 25,7 kg N, tabet af NH<sub>3</sub> er således ca. 20% af N i gødningen fra de græssende søer. Det samlede ammoniaktab fra gødningen, produceret af søer på stald, vil være større end 3-6,3 kg N pr. so, fordi ca. 15% af N i husdyrgødningen tabes som NH<sub>3</sub> under lagring og efter udbringning.

# 8 Frilandssohold - Balancer på mark- og bedriftsniveau

Vivi Aarestrup Larsen, Anne<sup>1)</sup> Grete Kongsted og Ib Sillebak Kristensen  
Danmarks JordbrugsForskning Afd. for Jordbrugssystemer

<sup>1)</sup>E-mail: ViviAa.Larsen@agrsci.dk

*For at sikre en fortsat udvikling af systemer til søer på friland er der behov for at afdække systemernes miljøpåvirkning. Derudover er der behov for at afdække, hvordan næringsstofudnyttelsen kontrolleres og styres i systemerne, så der opnås højst mulig udnyttelse af næringsstoffer. Problemstillingerne er behøvet, dels ved resultater fra private gårde for at beskrive faktiske forhold og dels ved modelberegninger for at udpege potentielle styringstiltag. Resultaterne fra de private gårde viser højere næringsstofbalancer end forudsat i regelgrundlaget for frilandssohold. Dette skyldes primært et højere foderforbrug. En anden årsag er manglende tilpasning af markplan til øget græsareal i forbindelse med besætningsudvidelse. Modelberegningerne viser, at det ved at sænke foderniveau, proteinindhold i foder eller belægning er muligt at sænke næringsstofbalancerne betydeligt.*

## Indledning

Udgangspunktet for nærværende indlæg er dels en øget interesse for frilandssohold (Larsen et al., 1999a; Kongsted et al., 2000), dels regelgrundlaget for frilandssohold (Landbrugets Byggeblade, 1997).

Den stigende interesse for frilandssohold begrundes bl.a. med, at systemet er billigt at etablere, og at det lever op til krav og ønsker om løsgående søer. Ved Afdeling for Jordbrugssystemer, Danmarks JordbrugsForskning, indgår systemer med frilandssohold i flere projekter (Lauritsen & Larsen, 1998; Larsen et al., 1999a; Kongsted et al., 2000). Projekterne har bl.a. som mål at opnå øget viden om hvilke tekniske, økonomiske, miljø- og sundhedsmæssige resultater, der kan opnås under forskellige betingelser. Yderligere er det formålet at identificere kritiske forhold af betydning for opretholdelse af god sundhed og produktionsøkonomi samt en acceptabel miljøpåvirkning. I projekterne indgår både besætninger med konventionelt og besætninger med økologisk uden-

dørs sohold. Indretning og drift af faldsystemer til udendørs sohold er sammenlignelig for konventionel og økologisk produktion. Da der er flere og længevarende erfaringer med konventionelt sohold, udnyttes denne viden ved udvikling og diskussion af økologisk sohold på friland.

En betydende faktor ved diskussion af næringsstofbalancer i systemer med frilandssohold er regelgrundlaget. Regler med hensyn til belægningsgrad er ens for såvel gårde med frilandssohold som for andre svineproduktioner, så den tilladte belægningsgrad er 1,7 dyreenheder (DE) per ha. Da al gødning og urin (bortset fra evt. indendørs løbeafdeling) falder på de arealer, som søerne beslaglægger, så kan belægningen med søer højst være 1,7 DE per ha i foldarealet. Dette svarer til 15 søer per ha, hvis pattegrisene fravænes ved fire uger og 13,6 søer per ha ved syv ugers fravæning. Arealerne tilså med en kvælstofforbrugende afgrøde året efter, at soholdet har benyttet arealet. Afgrøden efter soholdet må ikke tildeles husdyrgødning. Belægningen på 15 søer per ha fordeles med 10 diegivende henholdsvis 18

drægtige søer per ha. Baggrunden for dette er, at diegivende søer tildeles mere foder per dag sammenlignet med drægtige søer (Landbrugets Byggeblade, 1997). Byggebladet revideres efter tre år, hvilket vil sige, at næste planlagte revision er for året 2000, og denne proces er indledt.

I indlægget anvendes data fra gårde (Larsen et al., 1999a; Kongsted et al., 2000) og modelberegninger. Gårddata beskriver faktiske forhold på de deltagende gårde, mens modelberegninger indikerer potentielle styringstiltag for at påvirke frilandssoholdets miljøpåvirkning.

## Gårddata

Gårdene varierer bl.a. med hensyn til sædskifteareal (54-184 ha), besætningsstørrelse (71-325 årssøer) og andel af sædskifteareal, som udgør svinesædskifte (23-77%). Hvis svinesædskiftet er et to-markssædskifte, udgør det mellem 23% og 55% af det samlede areal. Hvis svinesædskiftet er tre- eller fire-markssædskifte, udgør det ca. 70% af det samlede areal (tabel 1).

**Tabel 1** Gårdbeskrivelser for tre gårde med konventionelt og tre gårde med økologisk frilandssohold, 1999.

Gårdnr.	9621	9631	9661	9701	9702*	9704
Driftsform	Konv	Konv	Konv	Øko	Øko	Øko
Fareafdeling	Ude	Ude	Ude	Ude	Ude	Ude
Løbeafdeling	Ude	Inde	Inde	Ude	Ude	Inde
Drægtighedsafdeling	Ude	Inde/Ude	Ude	Ude	Ude	Ude
Besætningsstørrelse (årssøer)	120	300	325	71	236	270
Areal (ha)	67	54	101	65	67	184**
Svinesædskifte (ha)	16	27	56	45	51	29
Svinesædskifte ift. markareal	23%	47%	55%	68%	77%	32%
År imellem grise	1	<1	1	3-4	>1***	1
Første år med frilandssøhold	Sept. 94	Marts 95	Sommer 94	1997****	1993	1997

\* 1998

\*\* heraf 94 ha vedvarende græs

\*\*\* Mindst et år. Det eksakte antal kendes ikke, da gården kun deltog i projekt i 1997-98

\*\*\*\* På denne ejendom

### Græsdække og græsoptagelse

Et led i at begrænse miljøpåvirkning er at bevare græsdække – både for at holde på næringsstoffer og optage næringsstoffer, men især for at udgøre en foderkilde til søerne, så foderinput til foldarealet kan begrænses. Græsdækket har klare sæsonmæssige udsving. Når søerne indsættes på et vel-etableret græsdække i foråret, bevares græsdækket i vækstsæsonen. Græsdækket falder betydeligt i

efterårs- og vinterperioden pga. græsning efter, at græsvæksten er ophørt og pga. slid. Slid kan desuden skyldes øget belægning, hvor høj belægning medfører faldende græsdække (Larsen et al., 1999b).

Drægtige søer har et relativt stort potentiale for at optage grovfoder fx som græs eller ensilage (Sehested et al., 1999). Der er mindre erfaring med hensyn til diegivende søers potentiale for grovfo-

deroptagelse, men pga. de diegivende søers betydelige energibehov til mælkeproduktion vil deres potentiale for grovfoderoptagelse sandsynligvis være begrænset.

### Næringsstofbalancer

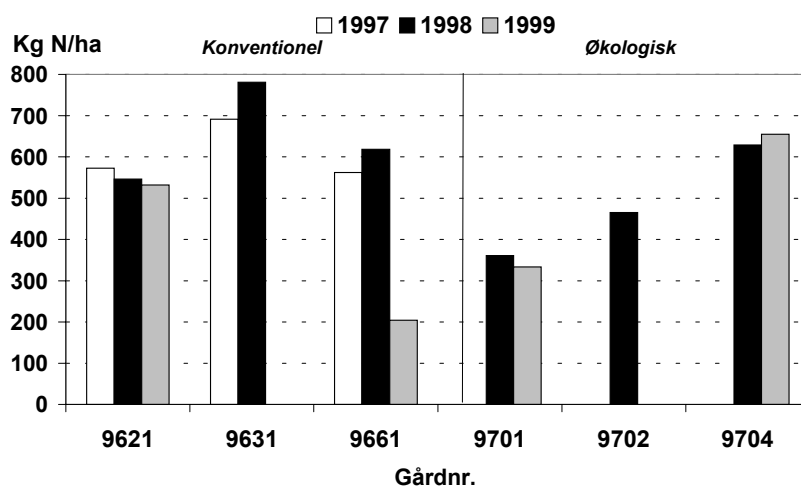
Næringsstoffordeling og –balancer kan vurderes inden for folde, for foldareal, for svinesædskifte, for markdrift og for hele bedriften. Ligesom der kan være punktbelastninger inden for en fold (Eriksen, 2000), kan folde opfattes som potentielle punktbelastninger i sædskiftet. Det er således vigtigt at diskutere og udvælge styringstiltag afhængigt af, om gården som helhed har høje næringsstofbalancer, eller der udelukkende er høje næringsstofbalancer i foldarealerne.

### Næringsstofbalancer – foldarealer

En simpel måde at vurdere næringsstofbalancer i foldarealer er ved simple input-output betragtninger, hvor input er kvælstof tildelt i foder, og output er kvælstof i fravænnede grise. Sidstnævnte beregnes som kg fravænnede pattegris, multipliceret med kvælstofindholdet per kg pattegris. Balancerne korrigeres for besætningstilvækst og –forskydning. Der er tale om balancer ab dyr, hvorfor der ikke korrigeres for tab. For tre gårde med

konventionelt frilandssøhold i tre år og tre gårde med økologisk frilandssøhold i et-to år er der beregnet kvælstofbalancer (ab dyr). Kvælstofbalancerne (ab dyr) er derefter fordelt på de arealer, som er brugt til afgræsning (figur 1). I Byggebladet (Landbrugets Byggeblade, 1997) er målsætningen 340 kg N/ha ab lager. Dette svarer til ca. 395 kg N/ha ab dyr ved 16% ammoniaktab.

Balancerne (figur 1) er generelt højere end målet ifølge Byggebladet (Landbrugets Byggeblade, 1997). Dette skyldes først og fremmest et højere foderforbrug og dermed kvælstofinput end antaget i Byggebladet. Dernæst har nogle af gårdene indendørs løbeafdelinger (tabel 1), og på gård 9631 er en del af de drægtige søer desuden på stald i en periode. En del af foderet tildeles således indendørs. Derudover har fx gård 9631 udvidet besætningen betydeligt, og dette har der ikke været taget højde for i markplanen. Gård 9661 har en betydelig lavere balance i 1999 sammenlignet med tidligere år og andre gårde. Årsagen er, at gårdens besætning blev saneret (udsat og nye dyr indkøbt) pga. sygdom. Gård 9701 har et mål om høj selvforsyning og høj udnyttelse af gødning fra søer, så søerne tildeles et større areal, og søerne indgår aktivt i gårdens sædskifte.

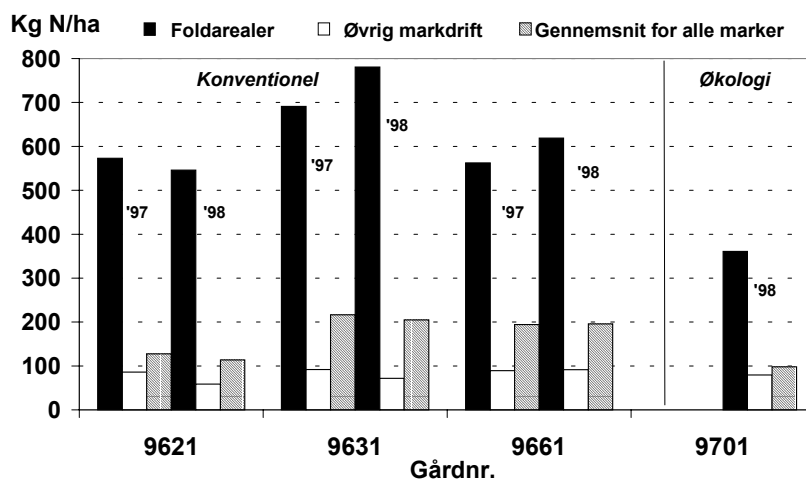


**Figur 1** Næringsstofbalancer (kg N/ha) for foldarealer på tre gårde med konventionelt og tre gårde med økologisk frilandssøhold, 1997-1999

### Næringsstofbalancer - markdrift

Det er forskelligt, hvor stor en del af gårdens arealer, som beslaglægges af frilandssoholdet. Næringsstofbalancerne, som er illustreret i figur 1, viser kun en del af gårdenes markdrift. For at vurdere næringsstofbalancer for gårdens sædskifte er beregnet gennemsnitlige markbalancer, balancer for foldarealer (ab dyr) og balancer for øvrige markarealer (ab lager). Beregningerne er foretaget for tre gårde med konventionel produktion og en gård med økologisk produktion.

Kvælstofbalancer ab dyr (figur 1 og figur 2) er høje for foldarealer, mens kvælstofbalancerne (ab lager) (figur 2) for den øvrige markdrift er på niveau med planteavlsbedrifter (Landbrugets Rådgivningscenter, 1998; Landbrugets Rådgivningscenter, 1999). Da foldarealerne kun udgør en mindre del af det totale areal, er gennemsnitlige kvælstofbalancer for markdriften på gårde med frilandssohold (figur 2) på niveau med kvægbedrifter og planteavlsbedrifter (Landbrugets Rådgivningscenter, 1999).



**Figur 2** Næringsstofbalancer (kg N/ha) for markdrift (eksklusiv stald- og lagertab for opsamlet husdyrgødning) på tre gårde med konventionelt og en gård med økologisk frilandssohold, 1997-1998

Kvælstofbalancerne (ab dyr) for foldarealerne er således umiddelbart højere end, hvad der kan udnyttes af den efterfølgende afgrøde. Der sker dog betydelige tab ved henholdsvis udvaskning, denitrifikation samt ammoniakfordampning. Kvælstoftabet er i Eriksen (2000) estimeret til ca. 30% ved udvaskning, ca. 14% ved denitrifikation og ca. 14% ved ammoniakfordampning. Tabene afhænger af totalbalancen (ab dyr) i forhold til arealstørrelse, fordeling indenfor arealet samt årstiden. Det kan derfor overvejes, om input eller output kan ændres for derved at opnå lavere balancer (ab dyr). Potentialet for og konsekvenser af

ændringer i input og output diskuteres i nedenstående modelbetragtninger. En mere jævn fordeling inden for arealet kan bl.a. opnås ved enkeltfarefolde i stedet for fælles, farefolde samt hyppige flytninger af foderplads og hytter.

### Modelbetragtninger

#### Næringsstofbalancer – foldarealer - modelberegninger

Gårddata illustrerer faktiske forhold, men som nævnt ovenfor har der på gårdene bl.a. været relativt høje foderforbrug og høje belægninger pga. besætningsudvidelse. Modelberegninger gør det



muligt at kvantificere konsekvensen af ændrede styringstiltag, hvilket der i nedenstående er vist eksempler på. Yderligere er der foretaget beregninger for at illustrere forskelle mellem folde til diegivende og folde til drægtige søer. Ifølge Byggebladet (Landbrugets Byggeblade, 1997) skal belægningen differentieres for diegivende og drægtige søer. Årsagen er, at diegivende søer tildeles mere protein per so per dag end drægtige søer.

#### Modelberegninger - styringstiltag

Som grundlag for valg af styringstiltag er foretaget modelberegninger for lavt, mellem og højt

foderniveau, proteinindhold og belægning for henholdsvis arealer med diegivende og arealer med drægtige søer. Forudsætningerne er vist i tabel 3, og resultaterne (ab dyr) i figur 3, figur 4 og figur 5. I resultaterne for varieret tilskudsforderniveau (figur 3) er proteinniveau og belægningsgrad fastholdt på mellemniveau (jf. tabel 2). Tilsvarende er tilskudsforderniveau og belægningsgrad fastholdt på mellemniveau (jf. tabel 2) ved varieret proteinniveau (figur 4). Endelig er tilskudsforderniveau og proteinniveau fastholdt på mellemniveau (jf. tabel 2) ved varieret belægningsgrad (figur 5).

**Tabel 2** Forudsætninger for modelberegninger

	Tilskudsforderniveau (FEs/so/dag)			Proteinniveau (% råprotein i foder)			Belægningsgrad (antal søer per ha)		
	Lavt	Mellem	Højt	Lavt	Mellem	Højt	Lav	Mellem	Høj
Diegivende	5	7	9	15	15	20	7	10	15
Drægtige	1,5	2,5	3	10	12	20	15	18	22

Et lavt input via foder (figur 3) kan fx forekomme, hvor græsset i foldene udgør en betydelig del af søernes foderoptagelse. Et højt foderniveau (figur 3) kan fx være et udtryk for foderspild.

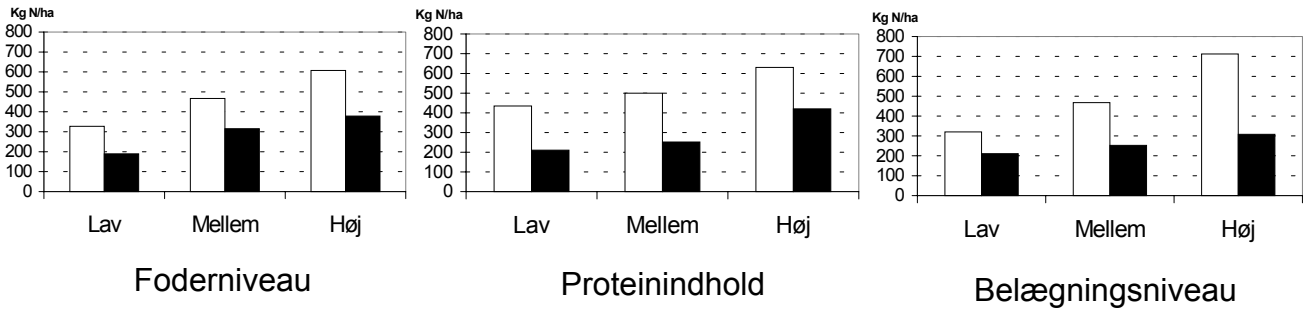
Et lavt proteinindhold i foder (figur 4) kan forekomme ved anvendelsen af syntetiske aminosyrer. Ifølge de nye EU-regler for økologisk husdyrproduktion (Rådet for den Europæiske Union, 1999) er syntetiske aminosyrer ikke tilladte. Dette kan føre til, at landmændene vælger at hæve proteinindholdet i foderet. Et højt proteinindhold i drægtighedsfoder kan forekomme, hvis producenten vælger at anvende samme foderblanding til diegivende og drægtige søer.

Belægningen (figur 5) kan fx sænkes ved at søerne samgræsser med andre dyrearter (Sehested et al., 1999) som kvæg eller får. Alternativt kan en græsmark bruges til slæt i vækstsæsonen, og sene-

re på året kan søernes areal udvides ved at inddrage slætmarken. En høj belægning kan forekomme, hvis fx en besætningsudvidelse ikke er rettidigt indarbejdet i markplanen.

I praksis er det ikke nødvendigvis en "enten-eller-situation". En mulighed er, hvis producenterne mener, at der er behov for betydelige energimængder til søerne på friland, at tildele høj mængde foder, men samtidig sænke proteinindholdet per FEs. Kombinationen "højt foderniveau – lavt proteinindhold – mellem belægning" medfører en kvælstofbalance på 444 kg N per ha (ab dyr) for diegivende søer, hvorimod situationen "lav foderniveau – høj proteinindhold – mellem belægning" medfører en kvælstofbalance på 565 kg N per ha (ab dyr) for diegivende søer. Ved 15% ammoniakfordampning er balancerne henholdsvis 377 kg N per ha og 481 kg N per ha.

□ Diegivende ■ Drægtige



**Figur 3** Kvælstofbalancer ved lavt, mellem og højt foderniveau (modelberegninger).

**Figur 4** Kvælstofbalancer ved lavt, mellem og højt proteinindhold (modelberegninger).

**Figur 5** Kvælstofbalancer ved lav, mellem og høj belægning (modelberegninger).

Kvælstofbalancerne er højere i farefolde sammenlignet med drægtighedsfolde. Ved konstant belægning på hhv. 10 og 18 søer per ha er kvælstofbalancerne 20% højere ved "højt foderniveau mellem proteinindhold" (tabel 2) og 90% ved "lavt foderniveau lavt proteinindhold" (tabel 2) i farefolde sammenlignet med drægtighedsfolde. Det kan derfor være en fordel at veksle mellem, hvilket areal, der benyttes til farefolde, og hvilket areal, der benyttes til drægtighedsfolde.

Som alternativ til at vurdere næringsstofbalancer for de enkelte dyregrupper (figur 3, 4 og 5), kan balancerne vurderes per årssø (tabel 3). Frilandsproducenternes styringsmuligheder afhænger af forholdene i den enkelte besætning. I nogle besætninger vil det være aktuelt at fokusere på input, mens det i andre besætninger vil være aktuelt at fokusere på "udnyttelse på marken", "tab fra marken" og/eller "output".

**Tabel 3** Modelberegninger af kg N per ha (ab dyr) ved ændret input, produktion hhv. belægning.

Variable	Udgangspunkt	Ændringer			
		FEs/årssø	Protein i foder	Produktion	Belægning
FEs	1350	1655	1350	1350	1350
Pct. råprotein i foder	13.9	13.9	17	13.9	13.9
Frav. grise per sø	24	24	24	10	24
Frav. vægt per gris	8.5	8.5	8.5	5	8.5
Antal søer per ha	15	15	15	15	19.5
<b>Kg N pulje i foldarealer</b>	339.2	440.9	439.6	390.9	440.9

Modelberegninger (tabel 3) viser, at ved foderinput på 1.350 FEs per årso (13,9% råprotein), en produktion på 24 grise per årso (8,5 kg fravænningsvægt per gris) og en belægning på 15 søer per ha, kan der opnås en potentiel kvælstofpulje i græsmarken på 339 kg N/ha (ab dyr). I tabellen er desuden vist hvilke ændringer i *input* (mængde eller indhold), der vil medføre en forøgelse af kvælstofpuljen med 100 kg N/ha (ab dyr). De to væsentligste faktorer, der påvirker næringsstofinput per ha, er fodertildeling per so samt belægning (antal søer per ha). Ændringer i produktionen (*output*) ved betydeligt færre fravænnede grise eller lavere fravænningsvægt har derimod begrænset indflydelse på næringsstofbalancerne. Modsat vil en mindre forøgelse af *belægningsgraden* (4,5 søer ekstra per ha) føre til 100 kg N ekstra i kvælstofpuljen i marken (alt andet lige).

## Konklusion

Resultater fra gårdstudier viser høje kvælstofbalancer (ab dyr) i foldarealerne sammenlignet med harmonikrav. Derimod adskiller balancerne for den øvrige markdrift og gennemsnit for hele markdriften sig ikke fra planteavls- eller kvægbedrifter.

På foldniveau er der flere muligheder for at sænke næringsstofbelastningerne. Modelberegninger viser, at det især har betydning at kontrollere og begrænse foderniveau, proteinindhold i foder samt belægning. Ligeledes viser modelberegninger højere kvælstofbalancer i farefolde sammenlignet med drægtighedsfolde. Det anbefales derfor at veksle mellem anvendelse af arealer til farefolde og drægtighedsfolde.

## Referencer

- Eriksen, J., 2000. Næringsstofafsætning fra udendørs sohold. FØJO-rapport nr. 7, "Husdyrgødning og kompost – Næringsstofudnyttelse fra stald til mark i økologisk jordbrug". 117pp
- Kongsted, A.G., Larsen, V.A. & Kristensen, I.S., 2000. Frilandssohold. Resultater fra gårdstudier – 1998. DJF rapport Husdyrbrug nr. 3(11). 85 pp.
- Landbrugets Byggeblade, 1997. Landbrugets Byggeblade. Love og vedtægter vedrørende miljø. Vejledning vedrørende indretning og drift af udendørs sohold. Gr.nr. 95.03-02, 4pp
- Landbrugets Rådgivningscenter, 1998. Studielandbrug, Gårdrapporter 1997. Landbrugets Rådgivningscenter, Skejby.
- Landbrugets Rådgivningscenter, 1999. Studielandbrug, Gårdrapporter 1998. Landbrugets Rådgivningscenter, Skejby.
- Larsen, V.A., Nissen, P.M. & Kristensen, T., 1999a. Frilandssohold. Resultater fra gårdstudier – 1997. DJF rapport Husdyrbrug nr. 2(8). 85 pp.
- Larsen, V.A., Kongsted, A.G. & Kristensen, I.S., 1999b. Næringsstofomsætning og udnyttelse ved frilandssohold. Studielandbrug - Årsrapport 1999. Driftskontoret for Studielandbrug, Landbrugets Rådgivningscenter. p. 44-51
- Lauritsen, H.B. & Larsen, V.A., 1998. Økologiske svinebedrifter – Produktionsbetingelse og –resultater. FØJO-Rapport nr. 1, Ed. John E.Hermansen. Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, p. 23-32.
- Rådet for den Europæiske Union, 1999. Ændret forslag til Rådets forordning om indføjeelse af bestemmelser om animalsk produktion i forordning (EØF) nr. 2092/91 om økologisk produktionsmetode for landbrugsprodukter og om angivelse heraf på landbrugsprodukter og levnedsmidler. 9104/99. 62 pp

Sehested, J., Breinhild, K.K., Søgaard, K., Danielsen, V., Fernández, J.A. & Kristensen, V.F., 1999.  
Græsningssystemer og søers græsoptagelse på friland – foreløbige resultater fra Rugballegaard. Intern Rapport nr. 117, Ed. Kirsten Jacobsen og Viggo Danielsen. Danmarks JordbrugsForskning, p. 14-20.

# 9 Udnyttelse af husdyrgødning i sædskifter til økologisk planteavl

Jørgen E. Olesen<sup>1</sup>, Margrethe Askegaard<sup>1</sup> og Ilse A. Rasmussen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Plantevækst og Jord

<sup>2</sup> Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Plantebeskyttelse

<sup>1</sup> E-mail: JorgenE.Olesen@agrsci.dk

*På planteavlsbrug er mulighederne for indkøb af husdyrgødning ofte begrænset til indkøb af konventionel husdyrgødning inden for grænsen på 25% af kvælstofbehovet. Muligheder for at tilgodese afgrødernes næringsstofbehov på denne måde afhænger af bortførsel af næringsstoffer med afgrøderne og hvor store især udvaskningstabene er. Disse aspekter undersøges i et forsøg med forskellige sædskifter på fire forskellige jordtyper. Sædskifterne repræsenterer systemer med forskellige andele af korn og kvælstoffikserende afgrøder. Sædskifterne afprøves på fire forskellige måder, henholdsvis med og uden brug af efterafgrøder og med og uden brug af husdyrgødning. I de gødede parceller blev sædskiftet gødet med gylle svarende til 40% af de ikke-fikserende afgrøders kvælstofbehov.*

*Udbyttet i vårbyg viste en nedadgående tendens over de første tre år af forsøget i systemet uden gødning og efterafgrøde. De mest stabile og højeste udbytter opnåedes i systemet med fangafgrøde, og især hvor der også anvendtes gødning. Udvasnkningen af både kvælstof og kalium viste store forskelle mellem forsøgsstederne. Udvasnkningen af kvælstof var beskedent, og kaliumudvasnkningen kunne ignoreres på den sandblandende lerjord på Sjælland og lerjorden på Lolland. Derimod forekom der stor udvasnkning af både kvælstof og kalium på den grovsandede jord på Lyndevad og nogen udvasnkning på den lerblandede sandjord ved Foulum. Udvasnkningen af kvælstof kan begrænses ved anvendelse af efterafgrøder og kompenseres gennem dyrkning af kvælstoffikserende afgrøder. Der vil derimod være behov for yderligere gødskning med godkendte kaliumgødninger på den grovsandede jord på Lyndevad. Det er endnu for tidligt at afgøre, om der også vil være et yderligere behov for gødskning med kalium på Foulum.*

*Der var betydelig variation mellem forsøgssteder og år i de opnåede udnyttelsesprocenter af kvælstof i den tilførte gylle. Dette kan hænge sammen med at gyllen blev udlagt med slæbeslanger om foråret, og ikke nedfældet eller nedpløjet. En sådan nedfældning eller nedpløjning vil muligvis også kunne medvirke til at øge afgrødens konkurrenceevne over for ukrudtet.*

## Indledning

Der er et stort behov for mere økologisk korn, både for at tilfredsstille behovet for mere økologisk brød og for at kunne øge den økologiske svine- og fjerkræproduktion. I økologisk jordbrug vil en øget kornproduktion ske på bekostning af kløvergræsmarkerne, som udgør en vigtig kerne i den dyrkningsmæssige stabilitet og produktions-evne i de fleste økologiske sædskifter (Askegaard et al., 1999). En øget kornproduktion vil derfor

kunne mindske stabiliteten i planteproduktionen. Det kan blive vanskeligt at styre ukrudtet, der vil kunne optræde flere sygdomsangreb og nærings-tilførslen kan blive kritisk lav. Det er derfor nødvendigt at undersøge, hvor langt vi kan gå med at øge kornandelen i sædskifterne, og hvordan kløvergræsmarkerne kan suppleres eller erstattes af andre dyrkningsforanstaltninger, herunder tilførsel af husdyrgødning og anvendelse af efterafgrøder.

Beregninger af næringsstofbalancer for økologiske planteavlbrug har antydnet, at sådanne sædskifter som helhed vil være omtrentlig i balance med hensyn til N, P og K, såfremt der importeres konventionel husdyrgødning svarende til det tilladte niveau på 25% af behovet (Olesen og Vester, 1995). Hvis gødningen importeres som dybstrøelse, kan der endog opstå et betydeligt K- og N-overskud på langt sigt. En tilstrækkelig kvælstofforsyning er betinget af anvendelse af dyrkning af kvæstoffikserende afgrøder alene til grøngødningsformål. Af hensyn til kvælstofforsyningen er det også væsentligt at optimere sædskiftet med hensyn til reduktion af udvaskningen, og her spiller især dyrkning af vårsæd med efterafgrøder en stor rolle (Hansen og Kristensen, 1998).

Ønsket om at sikre en god kvælstofforsyning gennem dyrkning af grøngødningsafgrøder kan dog modvirke ønsket om en høj og rentabel produktion, fordi en del af arealet vil ligge hen i afgrøder, der ikke er salgbare. Samtidigt spiller næringsstofforsyningen også en rolle for andre

aspekter i dyrkningssystemet, herunder forekomst af ukrudt og sygdomme. I denne artikel tages udgangspunkt i et forsøg med forskellige sædskifter til kornproduktion i økologisk jordbrug. Der lægges særlig vægt på de aspekter af forsøget, der vedrører anvendelse og udnyttelse af husdyrgødning.

## Metode

For at belyse mulighederne for at dyrke mere økologisk korn til modenhed blev der i 1996/97 anlagt et økologisk sædskifteforsøg på fire lokaliteter i Danmark—henholdsvis Jyndevad (grovsandet jord) i Sønderjylland, Foulum (lerblandet sandjord) i Midtjylland, Flakkebjerg (sandblandet lerjord) på Sjælland og Holeby (lerjord) på Lolland. Sædskifterne repræsenterer systemer med forskellige andele af korn og kvæstoffikserende afgrøder (tabel 1). Sædskifterne afprøves på fire forskellige måder, henholdsvis med og uden brug af efterafgrøder og med og uden brug af husdyrgødning.

**Tabel 1** De fire sædskifter i forsøget og deres fordeling på lokaliteterne

Sædskifte 1	Sædskifte 2	Sædskifte 3	Sædskifte 4
Vårbyg m. udlæg	Vårbyg m. udlæg	Vårbyg m. udlæg	Havre
Kløvergræs	Kløvergræs	Kløvergræs	Vinterhvede
Vårhvede	Vinterhvede	Vinterhvede	Vinterhvede/triticale
Lupin	Ært/byg	Sukkerroer	Ært/byg
Kun i Jyndevad	Alle fire steder	Flakkebjerg og Holeby	Foulum, Flakkebjerg og Holeby

På de lette jorder i Jyndevad og Foulum anvendes forårsplojning. I Flakkebjerg og Holeby, hvor jorderne er lerede, pløjes om vinteren. Al husdyrgødning tilføres som gylle om foråret i en mængde svarende til i gennemsnit 40% af N-behovet i korn og roer med udgangspunkt i kvælstofnormerne fra 1997 (Plantedirektoratet, 1997). Som gennemsnit af forsøgsstederne og markerne i sædskifterne er kvælstofbehovet opgjort til 60, 60, 93 og 113 kg N/ha. Behovet for kløvergræs og ært/byg er sat til nul. Fordelingen af gødningen i sædskiftet er vist i tabel 2. Den aktuelle gød-

ningsmængde fastsættes svarende til indholdet af ammoniumkvælstof i husdyrgødningen, og der benyttes den gylletype, som er til rådighed på forsøgsstedet. Gyllens indhold af ammoniumkvælstof i procent af totalkvælstof har i gennemsnit været 58% ved Jyndevad, 63% ved Foulum, 65% ved Flakkebjerg og 86% ved Holeby. Gødningen fordeles ligeligt mellem de ikke-fikserende arter i sædskifte 1 til 3, hvorimod vintersæden i sædskifte 4 gives præference over havren (tabel 2). Gyllen udbringes med slæbeslanger. I vårsæden udbringes gødningen efter plojning og fældning af jor-

den, men inden såbedsharvningen. I vintersæden harvning. tilføres gødningen om foråret efter en ukrudts-

**Tabel 2** Tilførsel af gylle til afgrøderne i de fire sædskifter i sædskifteforsøget angivet i  $\text{NH}_4\text{-N}$  og i den tilsvarende dyretæthed ( $\text{de ha}^{-1}$ ) Jyndeved (Jy), Foulum (Fo), Flakkebjerg (Fl) og Høleby (Ho). En dyreenhed (de) svarer til 100 kg total N produceret per år.

	Sædskifte			
	1	2	3	4
<b>Gødede afgrøder</b>	<b><math>\text{NH}_4\text{-N}</math> in gylle (kg/ha/år)</b>			
Vårbyg	50	50	50	-
Vårhvede	50	-	-	-
Havre	-	-	-	40
Vinterhvede/triticale	-	50	50	70
Sukkerroer	-	-	50	-
Gns. i sædskiftet	25	25	38	45
<b>Gylletype</b>	<b>Dyretæthed (de/ha)</b>			
Kvæggylle (Jy)	0,5	0,5	-	-
Svinegylle (Fo, Ho)	-	0,4	0,6	0,7
Afgasset gylle (Fl)	-	0,4	0,6	0,7

I systemerne uden efterafgrøder kontrolleres ukrudt ved hjælp af harvning eller radrensning. På Foulum sås vintersæd i sædskifte 4 uden efterafgrøder på større rækkeafstand for at muliggøre radrensning. På Jyndeved benyttes denne fremgangsmåde i alle kornafgrøder (bortset fra ært/byg) uden fangafgrøder eller kløvergræsudlæg.

Alle afgrøder høstes ved modenhed. Kløvergræsmarkerne, der alene fungerer som grøngødningsafgrøder, afslås 4-5 gange i løbet af vækstsæsonen, og det afklippede plantemateriale efterlades, ligesom halm og roetop, på marken. Hvor der ikke er efterafgrøder, kan der efter høst udføres stubharvninger, hvis der er behov. I Jyndeved vandes afgrøderne efter anbefalingerne i PC-MarkVand.

Efterafgrøderne i sædskifte 1, 2 og 3 er enten en sildig rajgræs eller en blanding af sildig rajgræs og fire kløverarter (kællingetand, humlesneglebælg, serradel og jordkløver), som undersås i dæksæden i foråret. I sædskifte 4, som er helt uden kløvergræs, dyrkes vintersæden i et tæppe af hvidkløver. Ideen er, at denne hvidkløver, som udlægges i havre, skal erstatte grøngødningsafgrøden. Såning

af vintersæden i dette system sker på dobbelt rækkeafstand i opfræsedede bånd, og hvidkløver og ukrudt bliver efterfølgende kontrolleret ved hjælp af børsterensning.

Der måles udbytte og indhold af N, P og K i udbyttet i alle parceller. Ukrudtsbiomassen måles ved tidspunktet for kornets skridning, og forekomst af sygdomme bedømmes ved blomstrings-tidspunktet i kornet. Udvaskningen af kvælstof og kalium måles med sugeceller i udvalgte parceller.

## Resultater og diskussion

Udviklingen i udbytterne i vårbyg i sædskifte 2 er vist i tabel 3 for hver af de tre forsøgssteder. Udbyttet er faldende i det ugødede system uden efterafgrøder, hvorimod udbyttene synes at være stabiliseret i de øvrige systemer. Det mest stabile og højeste udbytte fås i systemet med fangafgrøde, hvor der har været dyrket en kløvergræsblanding som efterafgrøde i ært/byg forud for vårbyggen. Den positive effekt af efterafgrøden synes at være steget betydeligt fra 1998 til

1999. Merudbyttet for gødsningen med gylle har været størst i 1999 og generelt størst i systemet uden fangafgrøde. Resultaterne viser således, at der sker en forholdsvis hurtig udbyttenedgang i økologiske dyrkningssystemer, hvor der hverken anvendes gødning eller efterafgrøder. Udbyttenedgangen sker på et enkelt år i på den grovsandende jord, men kræver flere år på jord med høje-

re lerindhold. Der var store forskelle i arealernes forhistorie, hvilket er forklaringen på det forskellige udbyttensniveau i udgangssituationen. Ved Foulum havde der således været dyrket kløvergræs på en del af forsøgsarealet inden for de forudgående fem år, mens der på forsøgsarealet på Flakkebjerg kun havde været dyrket korn.

**Tabel 3** Kerneudbytte i vårbyg i sædskifte 2 (hkg/ha) med og uden gødning. For årene 1998 og 1999 er der også foretaget en opdeling med og uden fangafgrøde.

Sted	År	Uden fangafgrøde		Med fangafgrøde	
		Ugødet	Gødet	Ugødet	Gødet
Jyndeved	1997	31	38		
	1998	14	17	17	23
	1999	13	24	22	40
Foulum	1997	36	46		
	1998	47	56	45	63
	1999	19	37	36	43
Flakkebjerg	1997	22	42		
	1998	29	33	26	34
	1999	15	33	25	43

Effekten af gødsningen kan opgøres som kvælstofudnyttelsesprocenten, der beregnes som (Petersen, 1996):

$$\text{Udnyttelsesprocent} = 100 \frac{[\text{kvælstofoptag}(\text{gødet}) - \text{kvælstofoptag}(\text{ugødet})]}{\text{kvælstoftilførsel}}$$

Kvælstofoptag er her bestemt som høstet kvælstof i kerne. Denne kvælstofudnyttelsesprocent er vist for nogle af kornafgrøderne i tabel 4. Udnyttelsesprocenten er her beregnet i forhold til mængden af ammoniumkvælstof i gyllen. Udnyttelsesprocenten varierede en del mellem både forsøgssteder og år, og den var højest og mest stabil ved Foulum. I gødningsforsøg under Landsforsøgene lå udnyttelsesprocenten af de første 50

kg N i handelsgødning på 41% som gennemsnit for årene 1991 til 1998 (Knudsen, 2000). På Foulum var der derfor en udnyttelse af ammoniumkvælstof i gyllen, der var på højde med eller højere end den normale udnyttelsesprocent af kvælstof i handelsgødning. Den lave udnyttelse af kvælstof i gylle ved Jyndeved i 1998 skyldes formentlig, at det regnede inden gylleudbringningen, hvilket førte til en skorpedannelse, der bevirkede, at gyllen løb ud i sporene med en meget uensartet fordeling af gyllen til følge. På Flakkebjerg havde der også dannet sig skorpe på jorden i 1998, men her blev der lavet en opharvning inden gylleudbringning, uden at dette tilsyneladende havde den ønskede effekt på udnyttelsesprocenten.



**Tabel 4** Kvælstofudnyttelsesprocenten for gødskning med gylle til vårbyg, havre og vinterhvede i 1997 og 1998 på de enkelte forsøgssteder. For vinterhvede er kun medtaget vinterhvede i sædskifte 2. Kvælstofudnyttelsesprocenten er udtrykt i forhold til indholdet af ammoniumkvælstof i gyllen.

Afgrøde	År	Jynde vad	Foulum	Flakkebjerg
Vårbyg	1997	33	42	31
	1998	7	41	15
Havre	1997		40	61
	1998		71	30
Vinterhvede	1997	27	54	24
	1998	17	50	10

Udvaskningen af kvælstof og kalium fra alle afgrøder i sædskifte 2 uden fangafgrøde og med tilførsel af gylle er vist i tabel 5. Der er nogen variation mellem de to udvaskningssæsoner, der indgår i opførelsen, men variationen mellem forsøgssteder er betydeligt større. Der var en meget stor kvælstofudvaskning på Jynde vad, som i de fleste afgrøder og i begge år oversteg 100 kg N/ha/år. Kvælstofudvaskningen var kun ca. halvt så stor på Foulum og blev yderligere mere end halveret på Flakkebjerg og Holeby. Disse forskelle er betinget af forskelle i rodtybde, jordens vandholdende evne og nedbøroverskud. For kvælstofudvaskningens vedkommende var der også forskelle mellem afgrøderne med størst udvaskning efter kløvergræs og mindst efter vårbyg.

Kaliumudvaskningen viser ifølge tabel 5 betydelig mindre variation mellem afgrøderne, men en noget større variation mellem forsøgsstederne end kvælstofudvaskningen. Kaliumudvaskningen ved Foulum var således kun en tredjedel af udvaskningen ved Jynde vad, og ved Flakkebjerg og Holeby var der stort set ingen kaliumudvaskning. Koncentrationen af kalium i det afstrømmende vand er jævnt faldende ved både Jynde vad og Foulum, og det er derfor sandsynligt at kaliumudvaskningen fremover vil blive lidt mindre end værdierne i tabel 5.

I tabel 6 er næringsstofbalancerne for kvælstof, kalium og fosfor opgjort som gennemsnit for årene 1997 og 1998 i de enkelte sædskifter med og uden tilførsel af husdyrgødning. Der er tale om en bruttobalance, der kun omfatter tilført nærings-

stof med gødning og vanding minus fraført næringsstof i udbyttet. Opgørelsesmetoden bevirker, at balancen for de ugedede afgrøder i tabel 6 stort set svarer til fraførslen i den høstede afgrøde, og denne balance er derfor negativ. Gødsningen har i de fleste tilfælde kunnet rette op på dette for kalium og fosfors vedkommende. Undtagelsen er sædskifte 3, hvor der fraføres store mængder kalium i roeroden. Balancen i tabel 6 tager ikke højde for det betydelige tab af kvælstof og kalium, der kan forekomme ved udvaskning. En sammenligning med tabel 6 viser derfor, at både kvælstof- og kaliumbalancerne vil være betydeligt mere negative på Jynde vad og Foulum. Det forekommer sandsynligt, at der i løbet af kort tid vil optræde kaliummangel på Jynde vad, og sådanne mangelsymptomer blev da også konstateret her i foråret 1999. På denne grovsandede jord er der derfor behov for gødskning med godkendte kaliumgødninger ud over den kalium, der tildeles med gylle. Det er endnu for tidligt at afgøre, om der også vil være et yderligere behov for gødskning med kalium på den lerblandede sandjord på Foulum.

Gødsningen påvirker ikke alene afgrøden og dennes vækst, men også forekomsten af ukrudt og sygdomme. Der var som vist i tabel 7 en generel tendens til lidt større ukrudtsbiomasse i de parceller, som har fået tilført gødning. I 1998 var dette dog kun signifikant for ukrudtet i vinterhvede ved Foulum. Da afgrøden samtidig også er blevet styrket ved gødsningen, har denne stigning i ukrudtsbiomassen ikke nødvendigvis ført til en forholdsmæssig større konkurrence fra ukrudtet. Tabel 8 viser et betydeligt større meldugan-

greb i havre, der er gødet. Tilsvarende forhold gjorde sig ikke gældende i vårbyg og vinterhvede, hvor en høj grad af specifik resistens forhindrede meldugangreb.

**Tabel 5** Udvasning af kvælstof og kalium (kg/ha/år) i afgrøderne i sædskifte 2 uden fangafgrøder og med tilførsel af gylle for to udvasningsæsoner, begge opgjort fra 1/4 til 31/3.

Afgrøde	Jydevad		Foulum		Flakkebjerg		Holeby	
	97/98	98/99	97/98	98/99	97/98	98/99	97/98	98/99
<i>Kvælstof</i>								
Vårbyg	73	88	15	36	7	14	12	
Kløvergræs	172	110	65	76	17	49		5
Vinterhvede	95	120	66	53	8	16	21	
Ært/byg	115	126	21	55	7	37		16
<i>Kalium</i>								
Vårbyg	38	47	14	16	3	2	1	
Kløvergræs	44	40	17	15	2	1		1
Vinterhvede	46	36	12	19	1	1	1	
Ært/byg	57	47	15	13	2	1		1

**Tabel 6** Næringsstofbalancer for kvælstof, kalium og fosfor (kg/ha/år) opgjort som tilført næringsstof med gødning og vanding minus høstet næringsstof i udbyttet (kun kerne). Næringsstofbalancerne er vist som gennemsnit af årene 1997 og 1998 af alle markerne i hvert sædskifte og for hvert forsøgssted.

Sted	Sædskifte 1		Sædskifte 2		Sædskifte 3		Sædskifte 4	
	Ugødet	Gødet	Ugødet	Gødet	Ugødet	Gødet	Ugødet	Gødet
<i>Kvælstof</i>								
Jydevad	-26	4	-45	-16				
Foulum			-62	-38			-67	-23
Flakkebjerg			-40	3		19	-47	11
Holeby				-20		-14		-21
<i>Kalium</i>								
Jydevad	-6	19	-12	12				
Foulum			-17	-3			-18	9
Flakkebjerg			-12	3		-7	-14	9
Holeby				-4		-32		0
<i>Fosfor</i>								
Jydevad	-5	1	-8	-2				
Foulum			-11	-3			-12	2
Flakkebjerg			-7	-4		6	-9	7
Holeby				-3		-4		-3

**Tabel 7** Ukrudtets biomasse (g/m<sup>2</sup>) i afgrøder med og uden gødning i 1998.

Sted	Gødning	Vårbyg	Vinterhvede	Havre	Vårhvede
Jyndevad	Uden	17	23		20
	Med	14	31		21
Foulum	Uden	13	18	4	
	Med	19	39	16	
Flakkebjerg	Uden	5	9	5	
	Med	15	19	21	

**Tabel 8** Effekt af gødsning på meldug i havre bedømt som gennemsnitlig procent dækning af de tre øverste blade på blomstringstidspunktet.

Sted	År	Ugødet	Gødet
Foulum	1997	3.4	6.6
Foulum	1998	5.6	28.6
Flakkebjerg	1998	1.0	2.1

Ved planlægningen af forsøgsbehandlinger blev disse forsøgt gennemført så godt som muligt under de givne forhold (Askegaard et al., 1999). Et af de dilemmaer, som dog optrådte i denne sammenhæng, har været, at fordelingen af gødningen i sædskifte burde være forskellig med og uden fangafgrøder for i bedst muligt omfang at tilgode etablering af udlæg af grøngødningsmarker og efterafgrøder. I forsøget har vi dog valgt at give samme mængde for at kunne sammenligne de to behandlinger. Dette kan føre til, at udlægget bliver trykket i systemet med efterafgrøder og husdyrgødning.

Udnyttelse af den tilførte gødning har i nogle tilfælde været for lav, og denne vil formentlig kunne øges ved nedfældning af gyllen eller ved udbringning om foråret inden pløjning. Den første mulighed er fravalgt, på grund af mangel på udstyr, og den anden er fravalgt fordi dette kan føre til en større variabilitet i parcellerne (striber). Begge disse muligheder vil dog formentlig have den yderligere fordel, at de ville kunne øge afgrødens konkurrencekraft i forhold til ukrudtet. Der er derfor behov for at undersøge effekten af nedbringning og placering af gødningen i denne sædskiftemæssige sammenhæng.

## Referencer

- Askegaard, M., Eriksen, J., Søgaard, K. & Holm, S. (1999). Nutrient management and plant production in four organic dairy farming systems. I J.E. Olesen, R. Eltun, M.J. Gooding, E.S. Jensen & U. Köpke (Red) Designing and testing crop rotations for organic farming. *DARCOF Report* no. 1. s. 257-266.
- Askegaard, M., Olesen, J.E. & Rasmussen, I.A. (1999). Agronomic considerations and dilemmas in the Danish crop rotation experiment. I J.E. Olesen, R. Eltun, M.J. Gooding, E.S. Jensen & U. Köpke (Red) Designing and testing crop rotations for organic farming. *DARCOF Report* no. 1. s. 63-70.
- Hansen, B. & Kristensen, E.S. (1998). N-udvaskning og balancer ved omlægning fra konventionelt til økologisk jordbrug. I E.S. Kristensen & J.E. Olesen (Red) Kvælstofudvaskning og -balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer. *FØJO rapport* nr. 2. s. 87-114.

- Knudsen, L. (2000). Personlig meddelelse. Landskontoret for Planteavl. Landbrugets Rådgivningscenter.
- Olesen, J.E. & Vester, J. (1995). Næringsstofbalancer og energiforbrug i økologisk jordbrug - fokus på kvægbedrifter og planteavl. *SP rapport* nr. 9.
- Petersen, J. (1996). Husdyrgødning og dens anvendelse. *SP rapport* nr. 11.
- Plantedirektoratet (1997). Vedledning og skemaer, mark- og gødningsplan, gødningsregnskab, grønne marker 1997/98. Plantedirektoratet. 37 s.

# 10 Gødningsplaceringens indflydelse på afgrødens vækst og kvælstofoptagelse

Jens Petersen og Peter Sørensen  
Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Plantevækst og Jord  
E-mail:Jens.Petersen@agrsci.dk

*Almindeligvis anbefales en hurtig nedbringning af overfladeudbragt gylle, hvilket vil begrænse risikoen for ammoniaktab. En god indarbejdning sikrer, at vårsædsafgrøden efter fremspiring har let adgang til det udbragte kvælstof, men samtidig øges den mikrobielle immobilisering af det tilførte kvælstof. Ved omhyggelig direkte nedfældning kan ammoniaktabet elimineres, og samtidig vil immobiliseringen reduceres, idet den udbragte gylle ligger i en afgrænset streng.*

*Udbringningsmetodens indflydelse på andre kvælstofomsætninger i jord-plante-systemet blev undersøgt således, at forstyrrende tab af kvælstof ved ammoniakfordampning var elimineret. I mikroparceller blev i praksis forekommende gyllendbringningsmetoder eftergjort. Ammoniumkvælstoffet i den anvendte gylle var <sup>15</sup>N-mærket, så skæbnen af det tilførte ammoniumkvælstof kunne behyses.*

*For kvæggylle fandtes der både større kvælstofoptagelse og mindre immobilisering ved direkte nedfældning end ved god indarbejdning. En tilsvarende forskel fandtes ikke for den anvendte svinegylle, der imidlertid var atypisk pga. et meget lavt indhold af vandopløseligt organisk kulstof. Effekten af placeringsdybde blev behøvet ved anvendelse af svinegylle i to marker med forskellig dyrkningshistorie. I begge marker hæmmede dyb placering ukrudtets optagelse af kvælstof fra den tilførte gylle, men samtidig gik der længere tid inden afgrøden fik gavn af de tilførte næringsstoffer.*

## Indledning

På baggrund af forsøg med placering af handelsgødning formodes det, at en optimal geometrisk placering af husdyrgødningen vil øge optagelsen af det med husdyrgødningen tilførte kvælstof. En hurtig planteoptagelse af uorganisk kvælstof (ammoniumkvælstof i husdyrgødning) umiddelbart efter tilførsel vil reducere jordens indhold af mineralsk kvælstof og derved både reducere risikoen for kvælstoftab ved denitrifikation og kvælstofbinding som følge af immobilisering. I forsøg med handelsgødning findes den største effekt af gødningsplacering sædvanligvis under ugunstige vækstbetingelser, hvilket f.eks. kan være lave til moderate gødningsniveauer.

I økologisk planteavl er kilderne for næringsstoffertilførsel begrænsede, og derfor er det særlig vigtigt at opnå en høj planteudnyttelse af kvælstof i husdyrgødning. Dette kan ved anvendelse af gylle ske ved tilførsel og nedbringning umiddelbart forud for etablering af vårsæd. I henliggetiden, indtil nedbringning foretages, sker der ofte tab af kvælstof i form af ammoniakfordampning. Ved direkte nedfældning kan dette tab næsten elimineres. Desuden nedbringes gyllen i koncentrerede strenge, hvis geometriske placering i forhold til afgrøderækken kan variere. Med den nuværende teknik er det i almindelig praksis dog ikke muligt at foretage både direkte nedfældning og såning af vårsæd således, at der kan opnås en forudbestemt placering af flydende husdyrgødning.

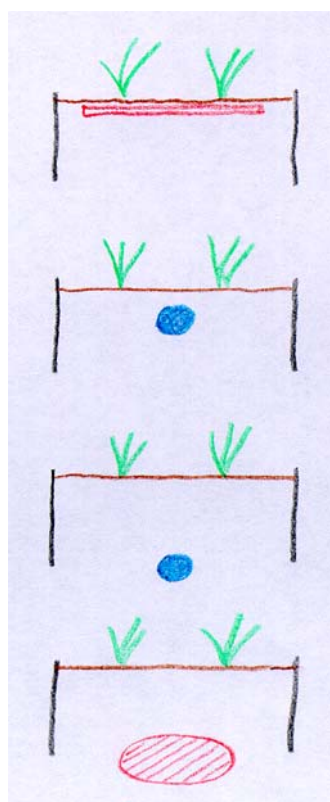
I praksis og i traditionelle markforsøg er det imidlertid vanskeligt at adskille udbringningsmetodernes effekt på henholdsvis ammoniakfordampning og fordeling i jorden. Den rumlige fordeling i jorden omfatter både indarbejdningsgraden og placeringen i forhold til afgrøderækken. Derfor blev der i 1999 udført to mikroparcelforsøg med vårbyg på Forskningscenter Foulum, hvor ammoniaktab i forbindelse med udbringning blev elimineret helt. Således belyser forsøgene alene effekten af indarbejdningsgraden og placeringsdybden. I forsøgene blev der anvendt gylle beriget med  $^{15}\text{N}$ -ammoniumkvælstof således, at der kan redegøres for skæbnen af det i gylle tilførte ammoniumkvælstof.

Formålet med forsøgene har været, at belyse hvorledes genfindelsen af  $^{15}\text{N}$  i afgrøden kan påvirkes af indarbejdningsgrad og placeringsdybde af udbragt gylle. Det drejer sig således om at påvi-

se et potentiale, der kan danne grundlag for yderligere undersøgelser med henblik på at øge afgrødens optagelse af tilført ammoniumkvælstof i gylle.

## Kort beskrivelse af to forsøg udført i 1999

Det ene forsøg belyser effekten af indarbejdningsgrad og placeringsdybde (figur 1) på afgrødens og ukrudtets optagelse af  $^{15}\text{N}$ -kvælstof tilført som ammoniumkvælstof i svinegylle (tabel 1). Dette forsøg blev gennemført i to vårbygmarker i det økologiske kvægbrugssædskifte på Foulumgård (tabel 2). De to marker blev valgt således, at de repræsenterer to forskellige niveauer af organisk stof i jorden.



Bredspredt og indarbejdet i jorden. Et lag frisk jord hindrer  $\text{NH}_3$ -tab.

Direkte nedfældning til 6 cm dybde. Gødningszonen ligger som en koncentreret streng.

Direkte nedfældning til 15 cm dybde. Gødningszonen ligger som en koncentreret streng.

Indarbejdet i jorden ved nedpløjning og placeret i bunden af furen.

**Figur** Fejl! Ukendt argument for parameter.

Illustration af de 4 forsøgsbehandlinger.

Den ene halvdel af forsøget i hver mark blev holdt fri for ukrudt ved håndlugning (tabel 2). I den anden halvdel fik den naturlige flora lov til at spire frem. Denne bestod overvejende af Hane-

kro, Pileurt, Rød Tvetand, Ærenpris, Agerkål/sennep, Sort Natskygge, men også kløverarter (frøkastning fra kløvergræsmarkerne). Græsukrudt forekom derimod ikke.

**Tabel** Fejl! Ukendt argument for parameter.

Karakterisering af de to anvendte typer gylle.

Gylle-type	Tørstof	Total-N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	<sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	P	K	Vandopløseligt organisk kulstof
	[%]	[mg/g]	[mg/g]	[atom %]	[mg/g]	[mg/g]	[mg/g]
Svin	2,96	3,50	2,76	1,875	1,13	1,85	0,84
Kvæg	7,46	4,95	3,19	1,872	0,71	4,01	7,0

**Tabel** Fejl! Ukendt argument for parameter.

Karakterisering af de to marker i det økologiske kvægbrugssædskifte, samt dato for høst af afgrøde og ukrudt.

Prøvetagnings-tidspunkt	Mark S01	Mark S04
	Forfrugt og for-forfrugt: roer og havre 6-800 ukrudtsplanter/m <sup>2</sup> Afgroden var i god vækst	Forfrugt: 2. Års kløvergræsmark Ca. 200 ukrudtsplanter/m <sup>2</sup> Kombination af kaliummangel og kolde nætter efter fremspiring gav svag afgrødevækst med klorotiske blade
31. maj	Afgrøde + ukrudt	Afgrøde + ukrudt
1. juli	Afgrøde (ukrudt bortluget)	Afgrøde (ukrudt bortluget)

I det andet forsøg belyses hvorledes det tilførte <sup>15</sup>N-kvælstof fordeler sig mellem planteoptagelse, mikrobiel immobilisering i jorden og kvælstoftab ved denitrifikation. I dette forsøg blev forsøgsled 1 og 2 (figur 1) gennemført i kombination med både kvæg- og svinegylle (tabel 1). Forsøget blev ligeledes udført på Foulumgård, men på et areal, hvor der har været dyrket vårbyg i de tre foregående år. Forsøget blev høstet omkring skridning.

Resultaterne fra de to forsøg angives som genfindelsen [%], der udtrykker mængden af <sup>15</sup>N-kvælstof optaget i afgrøden (eller immobiliseret) i forhold til den tilførte mængde <sup>15</sup>N-kvælstof. Genfindelse af <sup>15</sup>N i afgrøden kan fortolkes som afgrødens effektivitet mht. optagelse af tilført ammonium kvælstof i den tilførte gylle.

## Resultater

### *Optagelse af tilført N i afgrøde og ukrudt*

Høsttidspunktet 31. maj blev bestemt som det tidspunkt, hvor afgrøden ved en visuel bedømmelse begyndte at få gavn af den dybt placerede gylle. Det var således forventeligt, at der på denne dato ville forekomme vekselvirkning mellem forsøgsbehandling og mark. Effekten af forsøgsbehandlingerne på genfindelsen i afgrøden var da også forskellig i de to marker (tabel 3). I mark S01 blev der ikke konstateret sikre forskelle i genfindelsen, mens der i mark S04 blev fundet den største genfindelse ved nedfældning til 6 cm dybde.

**Tabel** Fejl! Ukendt argument for parameter.  
 mark for genfindelse af  $^{15}\text{N}$ -kvælstof i bygafgrøden høstet den 31. maj og 1. juli, samt ukrudt høstet 31. maj.

Vekselvirkning mellem forsøgsbehandling og

<b>Genfindelse [% af tilført <math>^{15}\text{N}</math>]</b>	<b>Mark</b>	<b>Bredspredning</b>	<b>Nedfældet 6 cm</b>	<b>Nedfældet 15 cm</b>	<b>Pløjet 15 cm</b>
Afgrøde 31. maj	S01	46	50	49	48
LSD <sub>.95</sub> 7.9	S04	34	55	28	36
Ukrudt 31. maj	S01	4,9	3,8	0,4	0,9
LSD <sub>.95</sub> 1.93	S04	2,7	1,4	0,7	0,5
Afgrøde 1. juli	S01	62	67	70	74
LSD <sub>.95</sub> 16.9	S04	48	58	57	56

Ukrudtsbiomassen var på 5-12% i forhold til afgrøden, og bestemmelse af genfindelsen i ukrudtet har derfor været forbundet med større usikkerhed. Genfindelse i ukrudtet blev reduceret ved dyb placering (tabel 3), selvom der var tendens til flere ukrudtsplanter (data ikke vist). Det har imidlertid drejet sig om spæde planter, idet der var betydeligt mindre ukrudtstørstof i forsøgsled med dyb placering. Ved sammenligning af de to overliggende placeringer (tabel 3), var der tendens til den laveste genfindelse i ukrudt ved nedfældning til 6 cm dybde.

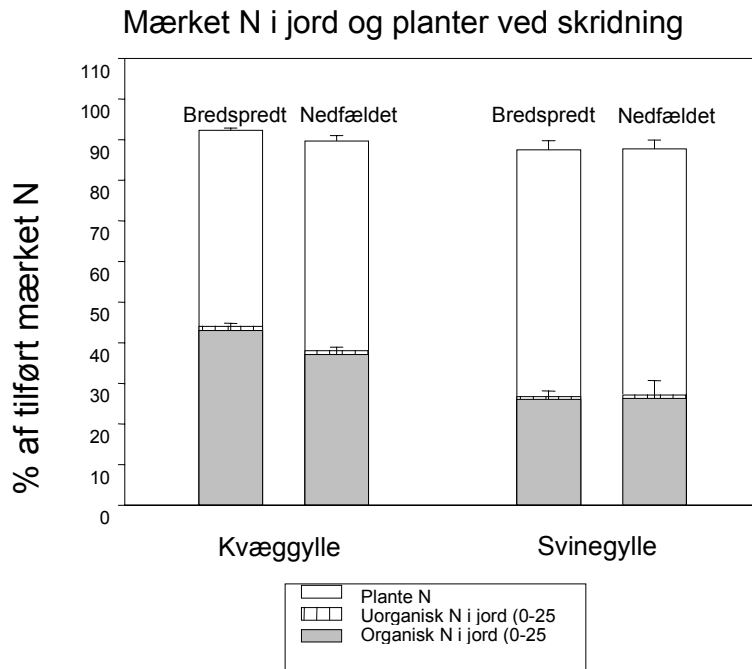
Høsttidspunktet 1. juli valgtes, idet maksimal genfindelse i afgrøden som regel opnås inden eller ved skridning. I den efterfølgende kernefyldningsperiode kan optaget  $^{15}\text{N}$ -kvælstof igen tabes fra afgrøden via bl.a. pollen, ammoniaktab via stomata, bladtab og udvaskning fra plantedele.

Forskellen i mark S04 var reduceret i forhold til 31. maj, men der var fortsat en tendens til, at genfindelse efter bredspredning var mindre end for de øvrige forsøgsbehandlinger, som var meget lig hinanden (tabel 3).

#### *Sammenligning af kvæg- og svinegylle ved skridning*

I det andet forsøg fandtes der vekselvirkning mellem indarbejdningsgrad og gylletype. For svinegylle var der ingen forskel i genfindelsen af  $^{15}\text{N}$ -kvælstof i afgrøden ved skridning, mens der ved anvendelse af kvæggylle var en større genfindelse ved direkte nedfældning til 6 cm i forhold til bredspredning (figur 2). Samtidig var genfindelsen i jordens organiske pulje højere ved bredspredning af kvæggylle i forhold til direkte nedfældning til 6 cm dybde (figur 2).





**Figur** Fejl! Ukendt argument for parameter. Genfindelse af  $^{15}\text{N}$ -mærket ammoniumkvælstof hidrørende fra den tilførte gylle i jordens organiske og uorganiske puljer samt i afgrøden ved skridning.

Den grundige indarbejdning af kvæggylle i de øverste jordlag medførte øget mikrobiel immobilisering, hvorved en mindre andel af det i gylle tilførte kvælstof var tilgængeligt for afgrøden. Endvidere blev tabet af kvælstof ved denitrifikation målt, men dette var lavt for alle forsøgsbehandlinger og uafhængig af gylletype og indarbejdningsgrad.

## Diskussion

Forsøgene blev udført på i alt 3 forskellige marker med hver deres dyrkningshistorie. Markens dyrkningshistorie har tilsyneladende betydning for, hvilken effekt indarbejdningsgraden har på genfindelsen af  $^{15}\text{N}$ -kvælstof i afgrøden. Generelt er der dog en tendens til størst genfindelse ved direkte nedfældning til 6 cm frem for indarbejdning i et større jordvolumen (bredspredning).

Den anvendte svinegylle havde et lavt indhold af vandopløseligt kulstof, og desuden fandtes 4/5 af kvælstof som ammoniumkvælstof (tabel 1). Dette skyldes formentlig, at svinegyllen havde været lagret i 1-1½ år forud, og der var ikke tilført frisk gylle til lagerbeholderen i denne periode. Der er derfor sket en omsætning af det organiske stof i lagerbeholderen, og den anvendte svinegylle minder derfor mere om en biogasgylle. Immobilisering af ammoniumkvælstof i svinegyllen er derfor forårsaget alene af jordens immobiliseringspotentiale. I modsætning hertil var indholdet af vandopløseligt organisk kulstof i kvæggyllen tættere på normalniveauet. Dette betydeligt højere indhold af vandopløseligt organisk kulstof udgør i sig selv et immobiliseringspotentiale. Effekten af indarbejdningsgraden af kvæggylle på både planteoptagelse og immobilisering var derfor større end for den anvendte svinegylle (figur 2). Dette er samstemmende med markforsøg udført i 1999 ved Landskontoret for Planteavl, hvor den største

effekt for direkte nedfældning blev opnået i kvæggylle sammenlignet med afgasset gylle.

Ved overlig udbringning tyder resultaterne på, at afgrøden ved en høj indarbejdningsgrad unddrages en væsentlig andel af det tilførte kvælstof ved immobilisering, mens ukrudtets optagelse af tilført <sup>15</sup>N-kvælstof kun reduceres lidt ved direkte nedfældning til 6 cm sammenlignet med en høj indarbejdningsgrad. Derimod reduceres ukrudtets optagelse væsentligt ved dyb placering, men samtidig går der længere tid inden afgrøden får gavn af næringsstofferne. Dette understøttes af reflektansmålinger, der blev udført dagligt i første halvdel af byggenes strækningsfase.

I de to marker i det økologiske kvægbrugssædskifte medførte den overlige placering en hurtigere vækststart i forhold til dyb placering. I mark S01 blev forspringet indhentet i løbet af 10-14 dage, mens dette ikke var tilfældet i mark S04, hvor forsøgsled med dyb placering havde klorotiske blade. Dette observeredes især i dagene efter en kold og ustadig periode, hvor afgrøden stod i stampe. Desuden er kløvergræs en kaliumkrævende afgrøde, og kaliumtallet efter denne afgrøde var da også lavere end i mark S01, hvor der i de 3 foregående år var blevet gødet med gylle. I mark S04 kan der således have forekommet kortvarig kaliummangel, som kan være blevet forstærket af det kølige vejr.

I de udførte forsøg skete tilførslen af gylle på en sådan måde, at kvælstoftab ved ammoniakfordampning kan udelukkes. Det betyder, at forsøgsbehandlinger ikke direkte kan relateres til udbringningspraksis, idet de alene udtrykker effekten af gødningens fordeling i jorden. Desuden kan forsøgsbehandlinger være konfunderet med

andre faktorer, idet der især ved de dybe placeringer skete en fysisk påvirkning af jorden, hvilket kan have givet anledning til en øget mineralisering fra jordens kvælstofpujle. Imidlertid peger resultaterne på nogle interessante aspekter ved direkte nedfældning af gylle, som bør belyses nærmere.

## Konklusion

Overlig placering af gylle (bredspreddning og direkte nedfældning til 6 cm dybde) gav en hurtigere afgrødetilvækst og optagelse af tilført kvælstof end ved dybere placering af den tilførte gylle. Senere i strækningsfasen udjævnedes forskellene sig, og ved skridning fandtes der ingen signifikante forskelle i genfindelsen af tilført <sup>15</sup>N-kvælstof i gylle.

Resultaterne peger på, at afgrødens optagelse af tilført kvælstof kan øges ved udbringning af gylle i en koncentreret streng frem for indarbejdning i et større jordvolumen. Effekten afhænger bl.a. af gylletype og jordens potentiale for immobilisering, men sammenhængen er endnu uklar og bør belyses nøjere.

For en målrettet placering af gyllestrengen bør effekten af afstanden fra gyllestrengen til afgrøderækken belyses.

## Erkendtlighed

Laboranterne i forskergrupperne for *Organisk stof* og *Jordfysik- og kemi* ved Afd. for Plantevækst og Jord takkes for en ihærdig indsats, specielt i forbindelse med udbringningen af gylle og etableringen af forsøgene.

# 11 Gyllehåndteringens betydning for ukrudtsregulering i vårsæd

Karsten Rasmussen

Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Plantebeskyttelse

E-mail, Karsten.Rasmussen@agrsci.dk

*Markforsøg på to lokaliteter har vist, at nedfældning af gylle i vårsæd sammenlignet med bredspredning kan bidrage til ukrudtsbekæmpelsen ved at forbedre afgrødens konkurrence over for ukrudt samt forbedre selektiviteten ved ukrudtsharvning. Nedfældning har stimuleret væksten af både byg og havre og givet merudbytte i begge afgrøder. Der er set karakteristiske vækstforskelle i de to afgrøder, således at nedfældning stimulerer byggens vækst allerede før strækning, mens der i havren først sås en øget vækst efter begyndende strækning. Dermed er der i byg et potentiale for at øge den tidlige konkurrence og forbedre selektiviteten ved ukrudtsharvning før strækning. I havre er der kun mulighed for at forbedre konkurrencen senere i væksten, hvilket kan have en positiv effekt specielt over for langsomt voksende ukrudt. Der er oftest ikke forskel i havrens følsomhed over for harvning før strækning, men tilsyneladende forbedrer nedfældning havrens genvækst efter harvning, og dermed også konkurrence over for overlevende ukrudt.*

## Indledning

Hypotesen for en række forsøg, som var en del af ”Korn & Bælgsædsprojektet” i FØJO I, har været, at nedfældning af gødning (gylle, ajle eller kunstgødning) tæt på udsæden giver afgrøden en hurtigere start og dermed et forspring til ukrudtet, som normalt spirer jævnt fordelt i de øverste 2-3 cm af pløjelaget. Ved spredning af gødning på overfladen og indarbejdning i det øverste jordlag gør man den derimod let tilgængelig for ukrudtet, som så får et forspring. Den største effekt fås antagelig, hvis der kun er lidt gødning tilgængelig i forvejen, f.eks. på sandjord eller nogle år efter at der har været bælgplanter i sædskiftet. Ved ukrudtsharvning vil en kraftig afgrøde være mere robust og en svagere ukrudtsplante mere følsom. Derved forbedres selektiviteten, som er forholdet mellem effekt over for ukrudtet og skade på afgrøden. Kombinationen af gødningsplacering og ukrudtsharvning har i tidligere forsøg givet en klar forbedring af både bekæmpelseseffekt og udbytte i vårbyg (Rasmussen & Petersen, 1997).

## Materialer og metoder

I perioden 1996 til 1999 er udført 10 markforsøg med det formål at belyse betydningen af gylleudbringningsmetode for ukrudtsbekæmpelsen i vårsæd. Forsøgene er udført på Lunggård Forsøgsstation (JB 1) og på Forskningscenter Flakkebjerg (JB 6). Nedfældning og slangeudlægning af gylle umiddelbart før såning er sammenlignet. Gylle i de mængder, der anvendes i praksis, vil ved nedfældning fordele sig i bånd fra 0 til 10 cm i dybden og 3-4 cm i bredden, hvilket begrænser muligheden for forskydning ved den almindelige rækkeafstand på 12 cm i korn, hvis kontakt mellem gylle og udsæd skal undgås. Derfor er der valgt kun at anvende normal sårækkeafstand på 12 cm og en gødningsrækkeafstand på 24 cm i alle forsøgene. Det er prioriteret at opnå en bred viden om konkurrence og effekt ved ukrudtsharvning med de ovennævnte udbringningsmetoder. Forsøgene er udført med nøgen havre og byg som afgrøde. Havren er brugt for at opnå større erfaring med dyrkning af nøgen havre under økologiske dyrkningsbetingelser og for at undersøge om

tidligere erfaringer med ukrudtsharvning og konkurrence i vårbyg direkte kan overføres.

Ved forsøgene på Lundgård blev anvendt en specialudviklet parcelgyllespreder (Petersen, 1992), og her var sårækkerne placeret vilkårligt i forhold til gødningsstrengene. I Flakkebjerg blev nyindkøbt udbringningsudstyr til gylle taget i brug i 1997. Vognen var med en glasfibertank på 3,5 ton fra MOI A/S (Kverneland), og nedfælderen var en Kaweco på 2,4 m med 10 rulleskær og slæbesko. Det første år fungerede udstyret ikke helt optimalt. Specielt de forskellige doseringer var vanskelige at gentage, og derfor fik vi i 1998 i samarbejde med Kverneland udskiftet pumpen på gyllevognen til en Vogelsang rotationspumpe. Herved kunne vi opnå en meget præcis dosering (én omdrejning på pumpen svarer til 1,16 l udpumpet gylle) og dermed også meget præcise gentagelser. Desuden købte vi en ny Nordsten såmaskine med koniske hjul, så vi kunne så efter styreriller, som vi lavede med gyllenedfælderen. Herved blev placeringen af gyllen i forhold til sårækken meget mere præcis i 1998 og 1999 end de foregående år. Forsøgene i 1998 og 1999 i Flakkebjerg blev flyttet

uden for det økologiske værkstedsareal, da der i det økologiske sædskifte kommer havre efter to år med lucerne. Her ville der antageligt være et meget lille behov for gødningstilførsel og dermed sandsynligvis ingen forskel på udbringningsmetoderne.

## Forsøgsoversigt

Der er udført tre forsøgstyper.

Den første er en række *strategiforsøg*, og en oversigt over resultater fra disse forsøg er vist i tabel 1. I 1996 blev et indledende strategiforsøg i vårbyg udført på Lundgård Forsøgsstation (JB 1) med tre faktorer:

1. Ukrudtsregulering: Ubehandlet – herbicid (PC-Planteværn) - ukrudtsharvning (3 harvninger)
2. Gyllehåndtering: nedfældet – slangeudlægning
3. Gødningsniveauer: 10, 20 og 30 ton gylle/ha (ca. 30 – 60 – 90 kg NH<sub>4</sub>-N ha<sup>-1</sup>).

**Tabel 1** Oversigt over ukrudtsbiomasse og udbytter i strategiforsøgene vist som procent i forhold til ubehandlet slangeudlagt gylle (kontrol). Standardafvigelse på slangeudlagt kontrol i parentes.

Ukrudt biomasse								
			ubehandlet		ukrudtsharvet		herbicid	
			slangeudlagt	nedfældet	slangeudlagt	nedfældet	slangeudlagt	nedfældet
			(kontrol = 100%)					
			g/m <sup>2</sup>	%	%	%	%	%
1996	Lundgård	byg	143 (45,1)	96	90	31	20	6
1997	Lundgård	byg	42 (13,5)	74	38	34	22	9
1998	Flakkebjerg	havre	103 (20,1)	98	42	39	14	10
1998	Flakkebjerg	byg	49 (9,3)	50	53	4	40	11
Middel			100%	80	56	27	24	9
Udbytte								
			hkg ha <sup>-1</sup>	%	%	%	%	%
1996	Lundgård	byg	22,0 (8,5)	131	110	161	126	161
1997	Lundgård	byg	19,8 (59)	119	95	126	101	102
1998	Flakkebjerg	havre	28,1 (2,3)	138	99	134	120	140
1998	Flakkebjerg	byg	36,3 (3,5)	122	111	129	99	133
Middel			100%	128	104	138	112	134

Forsøget blev gentaget på Lundgård i 1997, men med kun to gødningsniveauer (20 og 40 ton gylle  $\text{ha}^{-1}$  - 40 og 80 kg  $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ ) og udvidet til også at omfatte nøgen havre.

Strategiforsøget blev samme år gentaget på det økologiske værkstedsareal i Flakkebjerg (JB 6) efter samme design som på Lundgård i 1997. Forsøget blev gentaget i Flakkebjerg i 1998 med kun et gødningsniveau (20 ton  $\text{ha}^{-1}$  - ca. 80 kg  $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ ).

Den anden forsøgstype var en række *konkurrenceforsøg* i havre, som blev startet i Flakkebjerg i 1997 og gentaget i 1998 og 1999 med to faktorer:

1. Gyllehåndtering: nedfældet - slangeudlægning (20 ton  $\text{ha}^{-1}$  - ca. 80 kg  $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ )
2. Ukrudtstæthed: 5 tætheder af udsået raps (+ naturligt ukrudt).

Den tredje forsøgstype var en række *selektivetsforsøg* i havre, som blev startet på det økologiske værkstedsareal i Flakkebjerg i 1997 og gentaget uden for det økologiske areal i 1998 og 1999 med to faktorer:

1. Gyllehåndtering: nedfældet - slangeudlægning (20 ton  $\text{ha}^{-1}$  - ca. 80 kg  $\text{NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ )
2. Intensitet af ukrudtsharvning: 5 intensiteter opnået ved øget kørselshastighed.

## Resultater

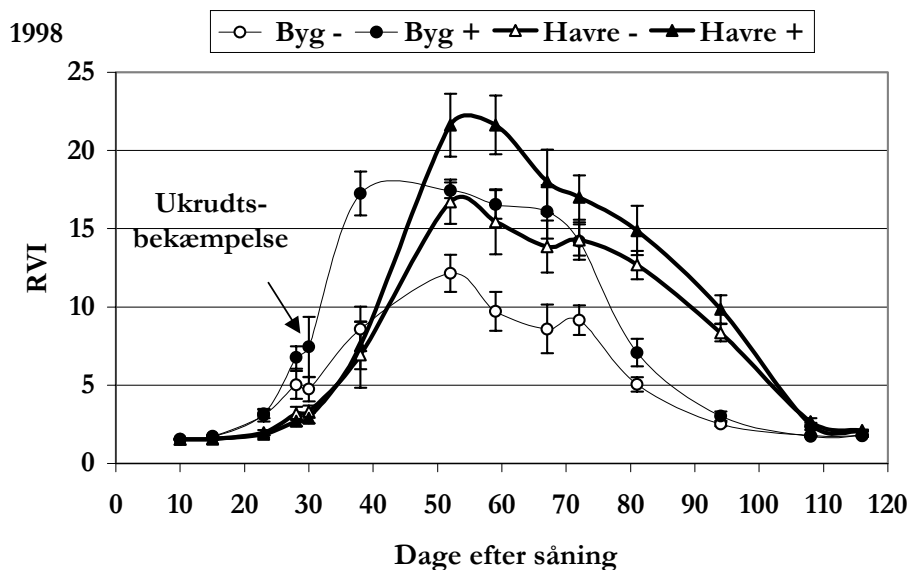
Strategiforsøget på Lundgård i 1996 viste en markant forbedret effekt af ukrudtsharvning og et markant merudbytte ved nedfældning af gylle (tabel 1). Uden ukrudtsbekæmpelse havde gyllehåndteringen ingen sikker effekt på ukrudtsbiomassen. Ved nedfældning viste forsøget stor udbytteforskel mellem sammenfaldende gødnings- og sårækker (ca. 3,5 g plante<sup>-1</sup>) og forskudte gød-

nings- og sårækker (ca. 1,5 g plante<sup>-1</sup>, hvilket svarede til bredspredning). Gødningsniveauerne havde ikke sikker effekt på ukrudtsbiomassen, men med stigende niveau øgedes udbyttet som forventet (Rasmussen & Petersen, 1997).

I 1997 blev havren kraftigt angrebet af nematoder i visse dele af marken på Lundgård, hvilket betød misvækst i pletter, og havre fra dette forsøg er derfor ikke med i tabel 1. Ved nedfældning viste både byg og havre et markant merudbytte. I de ubehandlede led var ukrudtsbiomassen reduceret, mens effekten af ukrudtsharvningen ikke var påvirket. Som i 1996 havde gødningsniveauerne heller ikke sikker effekt på ukrudtsbiomassen dette år, men med stigende niveau øgedes udbyttet også her (Rasmussen, 1999).

Tekniske problemer med det nyindkøbte udstyr til gylleudbringning gav i strategiforsøget i Flakkebjerg i 1997 usikre resultater, der ikke stemmer overens med de øvrige resultater. Resultaterne er derfor ikke vist i tabel 1.

Strategiforsøget i Flakkebjerg i 1998 viste markant merudbytte ved gyllenedfældning i både byg og havre, men ellers viste forsøget karakteristiske forskelle på de to kornarter. Byg spirede hurtigere end havren og havde større bladmasse (målt ved telemåling) indtil ca. 45 dage efter fremspiring, hvorefter havren blev kraftigst (figur 1). Hos byggen sås tydelig effekt af nedfældning før strækning (ca. 30 dage efter såning), mens der i havren først sås effekt efter strækningen (ca. 45 dage efter såning). I ubehandlede led med bredspredt gylle var der dobbelt så meget ukrudtsbiomasse i havre som i byg. Nedfældning alene havde ingen effekt på ukrudtsbiomassen i havre, men halverede mængden i byggen. Nedfældning havde heller ikke indflydelse på ukrudtsbekæmpelsen i havre, men den forbedrede effekten af både ukrudtsharvning og herbicid i byggen.



**Figur 1** Resultater fra telemålinger i herbicidbehandlede parceller i strategiforsøget fra Flakkebjerg 1998. Det relative vegetationsindeks (RVI) beskriver refleksion fra grøn bladmasse og er vist for byg og nøgen havre ved nedfældning (+) og slangeudlægning (-) af gylle i hele vækstperioden (Rasmussen, 2000 a).

Konkurrenceforsøget viste i 1997 et markant merudbytte i havre ved nedfældning af gylle, mens gyllehåndteringen ikke havde effekt på ukrudtsbiomassen. I 1998 var der også et markant merudbytte ved nedfældning af gylle. Gyllehåndteringen havde ikke effekt på ukrudtsbiomassen af raps, som er en konkurrencesterk art, mens biomassen af det naturlige ukrudt, der hovedsageligt bestod af den konkurrencesvage Ager-Stedmoder, blev reduceret. Konkurrenceforsøget mislykkedes delvist i 1999 på grund af kraftigt reduceret/forsinket fremspiring af både rapsen og det naturlige ukrudt. En 3 uger lang tørkeperiode efter såning antages at være årsag til dette. Udbyttet var markant forøget og ukrudtsbiomassen upåvirket ved nedfældning, som set i de tidligere forsøg.

Foreløbige opgørelser af selektivetsforsøgene har vist, at selektiviteten kun i ét ud af tre år er forbedret i havren. I 1998 viste forsøget en større bekæmpelseeffekt over for ukrudtet ved en konkret afgrødetildækning. Der var tendens til merudbytte ved harvning kombineret med nedfældning og reduceret udbytte ved harvning kombi-

ret med slangeudlægning, men data er ikke færdig-analyseret. Selektivetsforsøget viste i 1999 samme tendens som i 1998, med mindre afgrødeskade ved harvning kombineret med nedfældning, end ved harvning kombineret med slangeudlægning, men selektiviteten var ikke sikkert påvirket.

## Diskussion

Generelt var forsøgene i 1998 de mest vellykkede med pæne udslag for behandlinger og meget mindre variation end de foregående år. Der var på forsøgsarealet en tæt ensartet ukrudtsbestand domineret af Ager-Stedmoder, som er rimelig nem at bekæmpe med ukrudtsharvning i vårsæd. På trods af ugunstige vejrforhold fik vi udført behandlingerne optimalt, hvilket har medvirket til de gode resultater. Det skal bemærkes, at standardafvigelsen er mindre i Flakkebjerg i 1998 og 1999 end på Lundgård i 1997 og 1998. Måske skyldes den mindre variation, at gyllen kunne placeres mere præcist imellem sårækkerne, men en direkte sammenligning er ikke mulig.

Formålet med strategiforsøgene har været at undersøge, om der var vekselvirkning mellem gødningshåndteringen og ukrudtsregulering. En sådan vekselvirkning er kun fundet i byg, hvor effekten af ukrudtsharvning er forbedret ved nedfældning af gyllen i både 1996 og 1998. En tilsvarende effekt er tidligere fundet ved placering af mineralisk gødning i vårbyg (Rasmussen *et al.*, 1996). Forsøgene har vist, at der er nogle grundlæggende forskelle mellem byg og havre (figur 1). Generelt har der været merudbytte ved nedfældning i både byg og havre, som svarer til tidligere forsøg (Larsen *et al.*, 1992), men byggen spirer hurtigere, vokser hurtigere tidligt i vækstperioden og reagerer tidligere på gødningsplaceringen. Derfor giver nedfældning større effekt på konkurrenceforholdet mellem byg og ukrudt end mellem havre og ukrudt. I byggen har nedfældning alene kunnet halvere ukrudtsbiomassen i 1998, mens nedfældning ikke har påvirket ukrudtsbiomassen i samme grad med havre. Trods dette har konkurrenceforsøgene vist, at nedfældning i havre kan øge udbyttet uden, at den totale ukrudtsmængde stiger, og svagt konkurrerende arter kan reduceres. Vækstforskellene gør også, at havre, i modsætning til byg, ikke er begyndt at reagere på udbringningsmetoden før efter ukrudtsharvningen på 3-4 blad stadiet ca. 30 dage efter såning (figur 1). Derfor er der ikke klar effekt på afgrødetildækningen ved en konkret harvningsintensitet. De observerede udbytteforskelle mellem nedfældning og slangeudlægning ved ukrudtsharvning i havre kan derfor skyldes, dels forbedret konkurrence over for overlevende ukrudt, og dels forbedrede genvækstmuligheder for havren.

Generelt kan det konkluderes, at

1. nedfældning forbedrer den tidlige vækst i vårbyg og den senere vækst (efter begyndende strækning) i nøgen havre. I begge afgrøder blev udbyttepotentialet forbedret med ca. 15 – 35%.

2. nedfældning reducerer ukrudtsmængden i byg med op til 50% men har mindre effekt på ukrudtsmængden i nøgen havre.
3. nedfældning i visse tilfælde kan forbedre effekten af ukrudtsharvning og reducere skaden på afgrøden.

Disse resultater ser ud til at være robuste over for de varierende klimaforhold og forskellige jordtyper, der har været gældende i forsøgene. Resultaterne er opnået under forsøgsbetingelser, der ikke umiddelbart kan overføres til praksis. Gylleudbringning på sort jord umiddelbart før såning vil logisk kunne give store strukturskader. Der er dog allerede fundet praktiske løsninger, som kan videreudvikles til nye kombinations redskaber i den nærmeste fremtid. Krav om øget udnyttelse af husdyrgødningen og øget interesse for alternativer til den direkte ukrudtsbekæmpelse har mærkbart øget interessen for problemstillingen i løbet af projektperioden. Blandt økologer er der også en naturlig interesse for at reducere behovet for direkte mekanisk bekæmpelse. Kombination af forskellige tiltag til ukrudtsbekæmpelse (Rasmussen *et al.*, 1997) kan bidrage til visioner om et helhedsorienteret landbrug med en effektiv ukrudtsregulering og planteproduktion.

## Perspektiver

Der kan peges på to områder, der kan give væsentlige bidrag til forbedring af metoden:

1. Yderligere viden om forskellige sorters og arters (ukrudt og afgrøde) spiringshastighed, tidlige vækst og rodvækst, da dette anses for afgørende for effekten af lokalt placeret gødning (som illustreret ved forskellen på byg og havre).
2. Udvikling af teknik der optimalt og rationelt kan servere gødningen, så afgrøden kan udnytte den optimalt og så vidt muligt begrænser tilgængeligheden for ukrudtet.

## Referencer

- Larsen KE; J Petersen; JF Hansen & SG Sommer (1992) Kvælstofvirkning af ubehandlet og afgasset gylle efter overfladeudbringning og nedfældning. *Tidsskrift for Planteavl*, 96: 223-243.
- Petersen J (1992). Parcelgyllsprederen ved Askov Forsøgsstation – opbygning og virkemåde. *Tidsskrift for Planteavls Specialserie*. Beretning nr. S 2187.
- Rasmussen IA; B Melander; K Rasmussen & J Rasmussen (1997). Regulering af Ukrudt. Økologisk Planteproduktion. *SP-rapport* nr. 15:63-86.
- Rasmussen K (1999). Feed the crop and starve the weeds. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International IFO-AM Scientific Conference, Mar del Plata, Argentina, November 15<sup>th</sup> – 19<sup>th</sup>, 1998. 186-189.
- Rasmussen K & J Petersen (1997) Gødningsplacerings indflydelse på mekanisk ukrudtsbekæmpelse i vårbyg. 14. Danske Planteværnskonference, Pesticider og Miljø, Ukrudt. *SP-rapport* nr. 7:193-202.



# 12 Forbedring af spredningsteknik til spredning af fast husdyrgødning

Martin Nørregaard Hansen  
Danmarks Jordbrugsforskning, Afd. for Jordbrugsteknik.  
E-mail: MartinN.Hansen@agrsci.dk

*En betragtelig del af den danske husdyrgødning håndteres stadig i fast form. Spredningen af den faste husdyrgødning foretages med staldgødningspredere. Undersøgelser har imidlertid vist, at eksisterende staldgødningspredere ikke er i stand til at sikre en jævn fordeling af den faste husdyrgødning. Formålet med nærværende projekt har derfor været at udvikle en ny type staldgødningspredere med forbedrede spredningsegenskaber. Forbedringen blev foretaget ved at undersøge, hvordan forskellige tekniske ændringer påvirkede spredjævnheden. Undersøgelsen viste, at det primært er spredervalsernes udformning, der har betydning for forbedring af sprederesultatet. På baggrund af resultaterne blev der udviklet en ny type staldgødningspredere, hvis spredningsegenskaber blev testet. Afprøvningen viste, at den nyudviklede type staldgødningspredere er i stand til at sikre en mere jævn fordeling af forskellige typer fast husdyrgødning.*

## Indledning

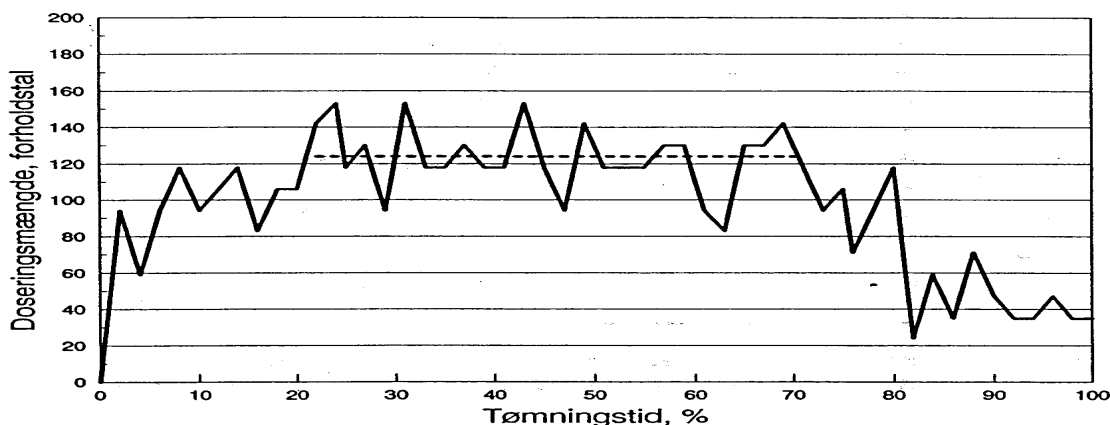
Mens hovedparten af husdyrgødningen fra svin i dag opbevares og håndteres i flydende form (gylle), håndteres ca. en tredjedel af husdyrgødningen fra kvæg stadig som fast staldgødning. De senere års øgede fokus på dyrevelfærd betyder desuden, at der er stigende interesse for staldsystemer, som muliggør brug af strøelse, hvilket nødvendiggør, at husdyrgødningen kan håndteres i fast form.

Den faste husdyrgødning har generelt en lavere gødningsværdi end flydende husdyrgødning. Den lavere gødningsværdi skyldes, at fast husdyrgødning er udsat for et stort kvælstoftab under lagring, og at en mindre andel af den faste staldgødnings kvælstofindhold findes i plantetilgængelig form. Gødningsværdien af fast staldgødning kan dog stadig være betragtelig, og de øgede udnyttelseskrav, som sidst er blevet udmøntet i Vandmiljøplan 2, øger behovet for, at den faste staldgødning betragtes som en vigtig gødningskilde. En

optimal udnyttelse af husdyrgødningens næringsstoffer forudsætter imidlertid, at husdyrgødningen kan fordeles jævnt.

Den faste husdyrgødning spredes på markerne ved hjælp af staldgødningspredere. Undersøgelser har imidlertid vist, at hovedparten af de staldgødningspredere, der benyttes i dag, fordeler staldgødningen uensartet, både på langs af kørselretningen og på tværs af kørselsretningen. I længderetningen er udspretningsmængden således typisk kun konstant i ca. 50% af aflæsningstiden, idet den er lavere i de første 10-20% af aflæsningstiden og faldende mod slutningen af aflæsningsperioden (fig. 1).

Den uens fordeling i længderetningen vil dog normalt blive forsøgt udlignet ad køreteknisk vej, og flere fabrikanter af staldgødningspredere har i dag udviklet ekstraudstyr, som er i stand til at sikre en næsten ens fordeling i længderetningen.

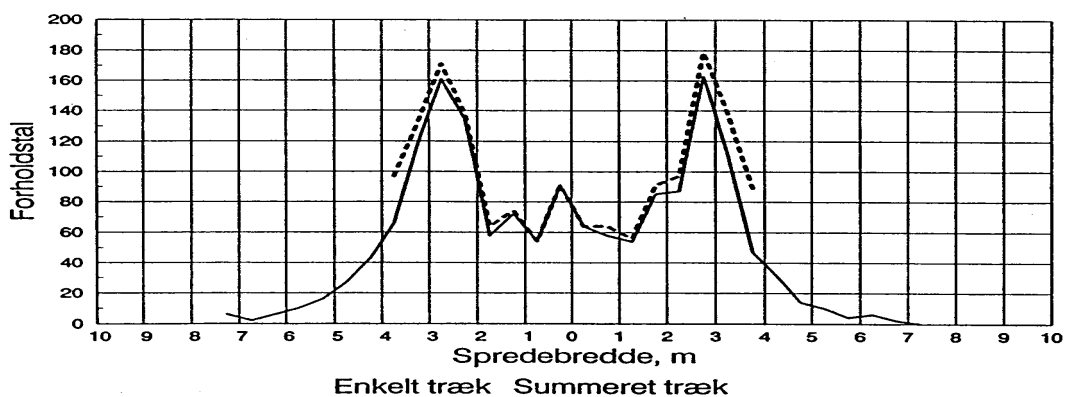


**Figur 1** Dosering på langs af kørselsretningen. Typisk billede ved tømning af et helt læs fast husdyrgødning. Doseringen er kun konstant i ca. 50% af tømningstiden (SJF rapport nr. 866, 1992).

Den uens fordeling på tværs af kørselsretningen har imidlertid vist sig at være vanskeligere at forbedre.

Hovedparten af den danske staldgødning spredes i dag af staldgødningsspredere med et spredesystem, som typisk består af to lodretstående spredevalser. Valserne roterer som et piskeris, og tappe på valserne står for sønderdelingen og fordelingen af materialet. Systemet er robust, har en høj kapacitet og kan håndtere en bred vifte af organiske gødninger. Som "gødningsspredere" betragtet har flere fabrikater imidlertid det problem, at de oftest danner et M-formet sprederbillede, dvs. at der under spredningen placeres mindre materiale umiddelbart bag vognen, end der

placeres på begge sider af køresporet (fig. 2). Spredeljævnheden og arbejdsbredden varierer stærkt med typen af materiale. Ved spredning af staldgødning med et lavt tørstofindhold kan der opnås tilfredsstillende fordelinger ved arbejdsbredder på op til 12 m, mens arbejdsbredden er væsentlig lavere ved spredning af f.eks. frisk dybstrøelse. Det høje halmindhold i dybstrøelse stiller desuden store krav til spredningsteknikken, og mange landmænd vælger derfor at kompostere dybstrøelsen før udspreddingen, bl.a. for at forbedre dybstrøelsens spredbarhed. Komposteringen kan imidlertid føre til et kraftigt kvælstoftab, idet mellem 20 og 40 procent af husdyrgødningens kvælstofindhold kan tabes under lagringen, primært ved ammoniakfordampning.



**Figur 2** Sprededefordeling på tværs af kørselsretningen. Typisk sprederbillede ved spredning af fast husdyrgødning med en staldgødningsspreder med to lodretstående spredevalser (SJF prøverapport nr. 866, 1992).

## Forbedring af staldgødningsspredere

For at kunne sikre en mere ensartet spredning af den faste husdyrgødning blev der i foråret '98 igangsat et projekt for undersøgelse af muligheden for at forbedre staldgødningssprederes spredningsegenskaber. Formålet var at udvikle en staldgødningsspreder, som ville være i stand til at sikre en mere ensartet spredning på tværs af kørselsretningen, og som også ville være i stand til at sikre en jævn fordeling af ikke-lagret dybstrøelse.

Projektet blev udført i samarbejde med en maskinfabrikant, som stod for den tekniske udvikling. Projektet tog udgangspunkt i en type staldgødningsspreder, som tidligere havde vist spredningsegenskaber tæt på det optimale, men som stadig havde et svagt M-formet spredbillede. Første del af undersøgelsen bestod i at undersøge, hvordan forskellige tekniske ændringer af staldgødningssprederens spredesystem påvirkede spredbilledet.

De spredetekniske undersøgelser blev foretaget på en cementeret plads, omgivet af et læhegn af bigballer. En standardstaldgødningsspreder, som blev stillet til rådighed af maskinfabrikanten, blev benyttet til at bestemme effekten af forskellige tekniske modifikationer. Efter hver teknisk ændring blev der med staldgødningssprederen spredt et læs dybstrøelse over en række bakker på hver 0,25 m<sup>2</sup>. Bakkernes indhold blev efterfølgende vejjet, og den beregnede variationskoefficient blev benyttet

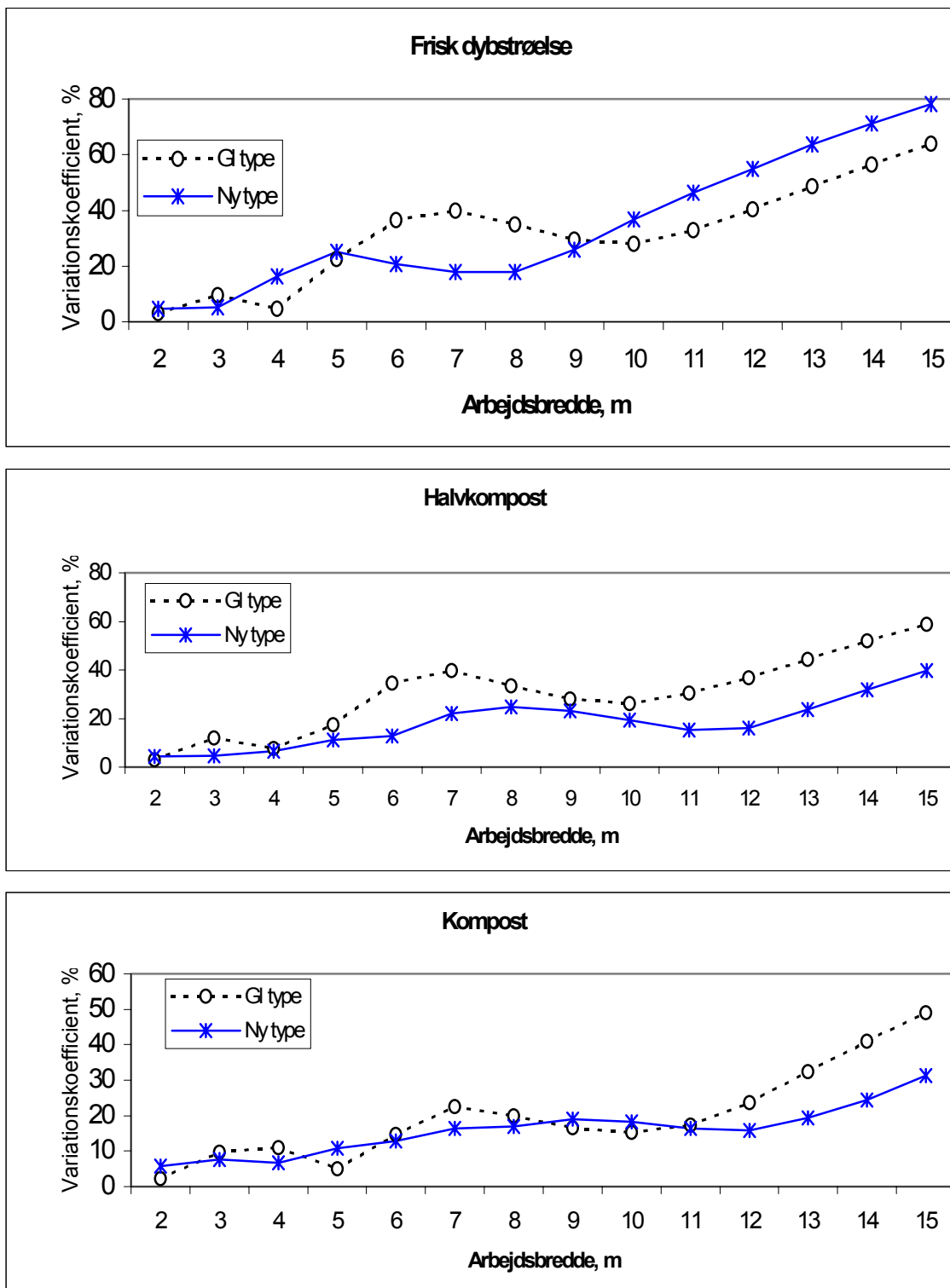
som mål for spredjævnheden. I første omgang blev der udført 15 forskellige tekniske modifikationer. På baggrund af resultaterne af disse undersøgelser blev der få måneder senere udført fem nye tekniske modifikationer.

På baggrund af resultaterne af disse undersøgelser blev der udviklet en staldgødningsspreder med en række tekniske ændringer, der hver for sig havde vist sig at føre til et forbedret spredbillede. Denne spreders spredningsegenskaber blev derefter testet med følgende tre forskellige typer staldgødning:

1. Kvægdybstrøelse, ikke-lagret (frisk dybstrøelse).
2. Kvægdybstrøelse, lagret 6 mdr. (halvkompost).
3. Kvægdybstrøelse, lagret 18 mdr. (kompost).

## Resultater

Resultatet af de femten første tekniske modifikationer viste, at det primært var valsernes udformning, der påvirkede spredkvaliteten, hvorimod ændring af valsernes vinkel i længde- og bredde retningen og af vognens højde førte til uændrede eller dårligere spredningsegenskaber. Placeringen af valserne i forhold til vognens bagende havde dog også effekt på spredjævnheden. Spredningen blev således forbedret ved at rykke valserne 8 cm længere bagud.



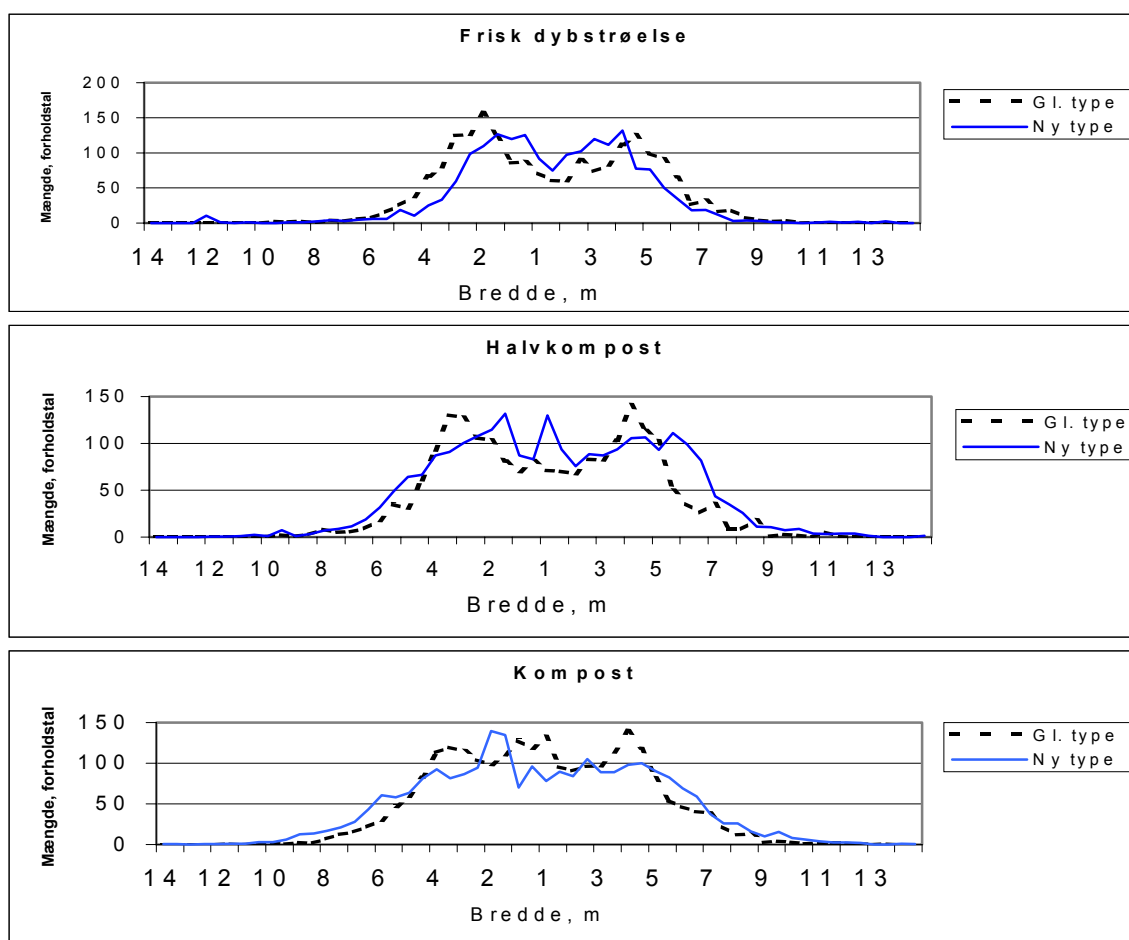
**Figur 3** Spredjævnheden ved spredning af forskellige typer staldgødning med den ikke ændrede type staldgødningsspreder (Gl. type) og den nyudviklede type (Ny type) staldgødningsspreder. Variationskoefficienten benyttes som mål for spredjævnheden. Ved variationskoefficienter under 20 betegnes fordelingen som værende god, mens fordelingen er utilfredsstillende ved variationskoefficienter over 30.

På baggrund af ovenstående resultater blev der arbejdet videre med ændring af valsernes udformning og placering, og resultatet af dette viste, at den rette udformning af valsernes tappe havde stor effekt på spredjævnheden.

Testningen af den nyudviklede staldgødnings-spreader viste, at den havde væsentlig bedre spredningsegenskaber end den ikke-modificerede staldgødnings-spreader, og at forbedringen var uafhængig af typen af staldgødning (fig. 3). Den nyudviklede type var således i stand til at sikre god fordeling af alle de tre typer staldgødning og havde for alle typer staldgødning bedre spredningsegenskaber end

den ikke ændrede staldgødnings-spreader. Den optimale arbejdsbredde afhang af staldgødningstypen, men for alle tre typer gjaldt det, at afvigelse fra den optimale arbejdsbredde havde mindre effekt på spredjævnheden for den nyudviklede staldgødnings-spreader end for den ikke-modificerede type.

De forbedrede spredningsegenskaber af den nyudviklede staldgødnings-spreader skyldtes primært, at de tekniske forbedringer havde ændret det M-formede spredbillede hen imod et mere optimalt sinusformet spredbillede (fig. 4).



**Figur 4** Sammenligning af spredbilledet ved spredning af forskellige typer dybstrøelse med den ikke ændrede type staldgødnings-spreader (Gl. type) og den nyudviklede type (Ny type).

Den nyudviklede staldgødnings-spreader er i dag sat i produktion og indgår som standardstaldgødnings-spreader i Samsonserien, der benyttes ved spredningen af en væsentlig andel af den faste

husdyrgødning i Danmark. Forbedringen vurderes derfor at være med til at sikre en forbedret udnyttelse af næringsstofferne i fast husdyrgødning.



# 13 Lagringens betydning for udnyttelse af fast husdyrgødning

Ingrid K. Thomsen

Danmark JordbrugsForskning, Afdeling for Plantevækst og Jord

E-mail: ingrid.thomsen@agrsci.dk

*Tre faste gødninger, hvori en af de tre komponenter fæces, urin eller halm var <sup>15</sup>N-beriget, blev fremstillet. Halvdelen af hver gødning blev lagret aerobt (komposteret) med varmeudvikling, den anden halvdel blev lagret anaerobt. Tab af kulstof (C) og kvælstof (N) fra gødningerne under lagring og ved en efterfølgende inkubation i jord blev bestemt. Plantetilgængeligheden af N fra gødningernes forskellige komponenter blev undersøgt i et markforsøg. Betydeligt højere mængder C og N gik tabt ved kompostering sammenlignet med anaerobt lagring. Efter tilførsel af gødningerne til jord bevirkede en højere udskillelse af CO<sub>2</sub> fra den anaerobt lagrede gødning, at mængden af C, der blev tilbageholdt i jord, var omtrent den samme uanset lagringsmetode. Tilførsel af anaerobt lagret gødning medførte netto N-immobilisering i jord, hvorimod der skete en netto N-mineralisering fra komposteret gødning. Ved tilførsel af de to gødninger før såning af vinterhvede optog hveden, hvad der svarede til 8 og 10% af N tilført med hhv. komposteret og anaerobt lagret gødning. Lagringsmetoden påvirkede ikke plantetilgængeligheden af <sup>15</sup>N fra fæces, hvorimod der blev optaget mest <sup>15</sup>N fra urin fra den anaerobt lagrede gødning. Den samlede genfindelse i planter og jord var et år efter tilførsel højere for anaerobt lagret gødning (66%) sammenlignet med komposteret gødning (56%).*

## Indledning

Ved lagring af fast husdyrgødning kan der, hvis lufttilførslen er tilstrækkelig, starte en komposteringsproces med temperaturstigninger op til 70°C. Komposteringen kan medvirke til, at gødningen bliver mere homogen end ikke-komposteret gødning, og temperaturstigningen kan virke sanerende mht. ukrudtsfrø og sygdomskim. En ulempe ved kompostering er imidlertid, at der tabes en del C og N under lagringen. Dette reducerer dels mængden af N, der er til rådighed for plantedyrking, dels mængden af organisk materiale som kan anvendes som jordforbedringsmiddel.

Dette projekt har til formål at belyse C og N omsætning i fast husdyrgødning under lagring og efter udbringning til jord. Komposteret gødning blev sammenlignet med anaerobt lagret gødning mht. C-balance, N-tab og N-tilgængelighed. Der blev anvendt tre typer gødninger, hvor enten fæ-

ces, urin eller halm var beriget med isotopen <sup>15</sup>N. Dette gjorde det muligt at klarlægge, fra hvilken fraktion i gødningen N-tabet skete, samt hvordan plantetilgængeligheden af N fra de tre puljer blev påvirket af lagringen.

## Resultater

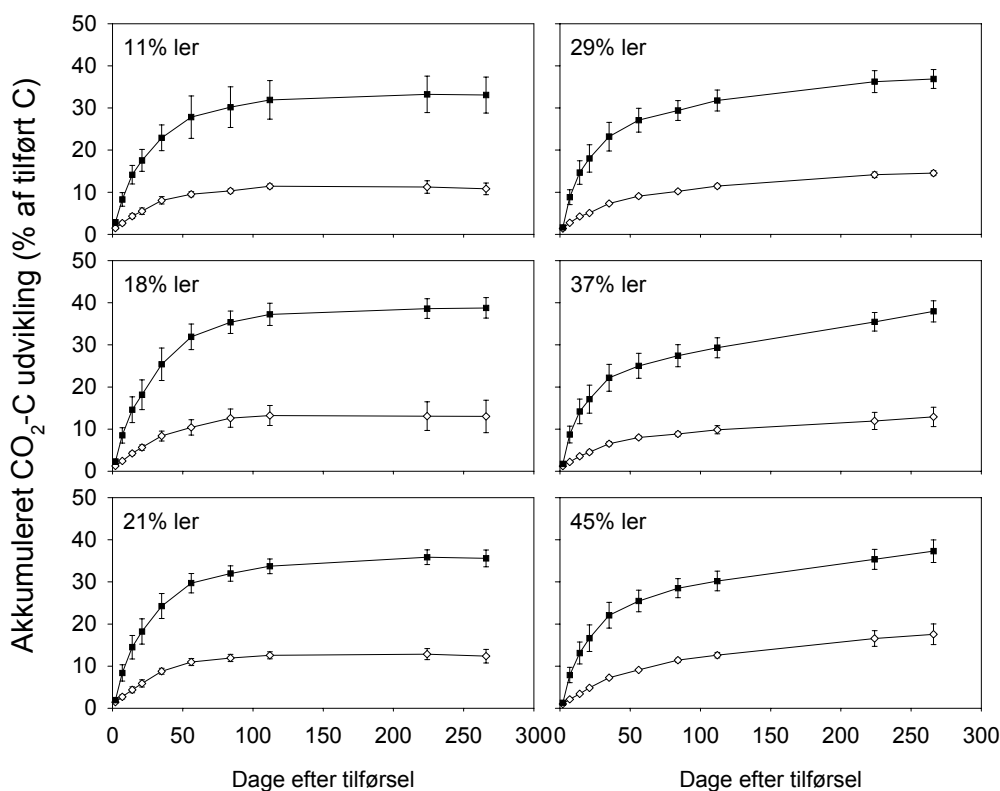
### Lagring

Gødningerne blev blandet i forholdene 9:10:3 af foreliggende fæces, urin og halm, hvilket svarede til, at 37% af gødningens N stammede fra fæces, 56% fra urin og 7% fra halm. I forbindelse med komposteringen af den faste gødning blev der ved gasformige tab mistet henholdsvis 53% og 46% af gødningernes oprindelige indhold af C og N. Ved at lagre gødningen anaerobt blev tabene reduceret til 24% (C) og 18% (N). Hovedparten af N, der gik tabt, stammede fra gødningernes urin. Ved lagringens ophør var det procentvise

indhold af N det samme (3,6% af tørstof) uanset lagringsmetode. Der var dog stor forskel på indholdet af uorganisk N ved de to typer lagring. I den anaerobt lagrede gødning fandtes næsten halvdelen (48%) af gødningens totale N-indhold på uorganisk form, medens kun 9% af N i den komposterede gødning var på uorganisk form. C/N-forholdet i gødningerne var før lagring 14. Da tabene af C og N ved hhv. kompostering og anaerob lagring ikke afveg væsentligt fra hinanden indbyrdes, havde gødningerne efter lagring også næsten samme C/N-forhold (11-12).

### Omsætning i jord

Efter tilførsel til jord var den biologiske aktivitet bestemt som CO<sub>2</sub>-udvikling betydelig højere efter tilførsel af anaerobt lagret husdyrgødning sammenlignet med komposteret gødning (figur 1). Den større omsætning der fandt sted under lagringsperioden i den komposterende gødning, bevirkede altså, at der var en mindre mængde let-omsætteligt C til rådighed for jordens mikrobielle biomasse efter tilførsel af gødningen til jord. Udviklingen af CO<sub>2</sub> forløb forskelligt afhængig af jordens tekstur. I de mere lerholdige jorde fortsatte CO<sub>2</sub>-udviklingen gennem hele inkubationsforløbet, medens CO<sub>2</sub>-udviklingen aftog hurtigere i de sandede jorde efter en ret høj aktivitet umiddelbart efter gødningstilførslen (figur 1). Mængden af C, der blev frigivet som CO<sub>2</sub>, var generelt størst i de mest lerholdige jorde.



**Figur 1** Akkumuleret CO<sub>2</sub>-C udvikling efter tilførsel af komposteret (◇) og anaerobt lagret (■) fast husdyrgødning til jorde med forskelligt lerindhold.



Ved at sammenholde tab af C under lagring med C udskilt efter tilførsel af gødningerne til jord kunne det bestemmes, hvor meget C der blev efterladt i jorden. Som det fremgår af tabel 1, var der kun små forskelle i de mængder af C, der resterende i jorden efter anvendelse af de to lag-

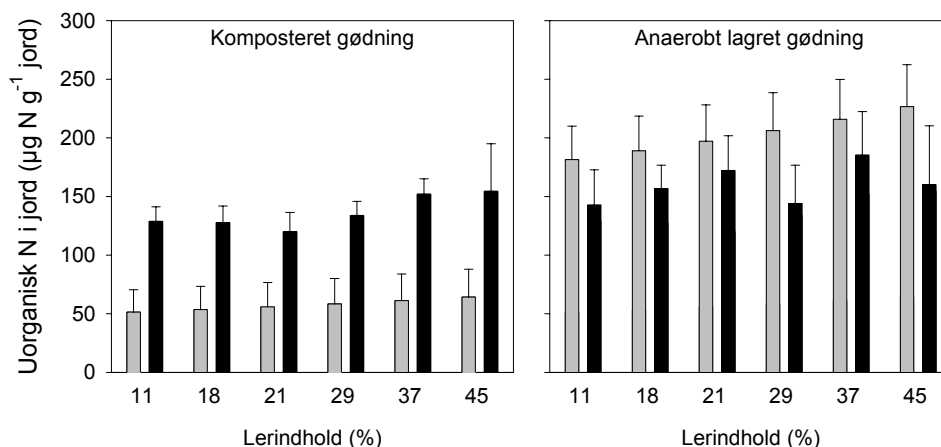
ringsmetoder. Resultaterne tyder på, at en letomsættelig del af en gødning omsættes i forbindelse med lagring og de første måneder efter udbringning. Lagringsbetingelserne bestemmer, om denne omsætning hovedsageligt finder sted under lagringen eller i jorden efter tilførsel.

**Tabel 1** Total C balance efter kompostering eller anaerob lagring (86 dage) af fast husdyrgødning efterfulgt af inkubation i jord (266 dage). Gns. af seks jorde.

	Kompostering	Anaerob lagring
C tabt under lagring (% af oprindelig C)	53	24
C tilbage efter lagring (% af oprindelig C)	47	76
C tabt fra jord (% af tilført)	14	39
C tabt i alt fra lagring og jord (% af oprindelig C)	60	54
C tilbageholdt i jord (% af oprindelig C)	40	46

En stor del af N i den anaerobt lagrede gødning var på uorganisk form, hvilket betød, at jord tilført anaerobt lagret gødning indeholdt mere uorganisk N sammenlignet med jord tilført komposteret gødning (figur 2). Den større biologiske aktivitet, der fulgte efter tilførsel af anaerobt lagret gødning, betød imidlertid, at en del af det uorganiske N tilført med anaerobt lagret gødning blev immobiliseret i jorden (figur 2). Immobiliseringen svarede til, at op til 30% af det uorganiske N, der blev tilført med anaerobt lagret gødning,

stadig var immobiliseret i jorden ni måneder efter tilførsel. Tilførsel af komposteret gødning bevirkede derimod en netto mineralisering af N svarende til, at ca. 16% af det tilførte organiske N blev mineraliseret. På grund af de modsatte processer, der forløber, når gødningerne tilføres jord, vil jordens indhold af plantetilgængeligt N ikke være så forskellig for anaerobt lagret og komposteret gødning, som det kunne forventes ud fra gødningernes indhold af uorganisk N på tilførselstidspunktet.



**Figur 2** Uorganisk N i jord tilført med husdyrgødning dag 0 (grå søjler) og efter 266 dages inkubation (sorte søjler) af komposteret og anaerobt lagret fast husdyrgødning i jorde med forskelligt lerindhold.

### Planteoptagelse af N

Plantetilgængeligheden af  $^{15}\text{N}$  fra de forskelligt lagrede gødninger blev undersøgt i et markforsøg, hvor komposteret og anaerobt lagret gødning blev udbragt før såning af vinterhvede i september 1997. Der blev af begge gødninger tilført 1,8 kg våd vægt  $\text{m}^{-2}$ , men på grund af lavere tørstofindhold i den anaerobt lagrede gødning blev der til-

ført mindre N ( $16,9 \text{ g N m}^{-2}$ ) med denne gødning sammenlignet med den komposterede gødning ( $22,6 \text{ g N m}^{-2}$ ). Udbytte og N-optagelse var af samme størrelse i den gødede og ugødede hvede høstet efter ca. 3 måneders vækst i december 1997 (tabel 2). I løbet af disse første måneders vækst havde hveden tilsyneladende ikke behov for yderligere N, end hvad jorden selv kunne bidrage med.

**Tabel 2** Tørstofudbytte og N-optagelse i top og rod af vinterhvede sået september 1997 efter tilførsel af komposteret ( $22,6 \text{ g N m}^{-2}$ ) eller anaerobt lagret ( $16,9 \text{ g N m}^{-2}$ ) fast husdyrgødning.

Høsttidspunkt	Tilført gødning	Tørstofudbytte		N-optagelse		
		Top	Rødder	Top	Rødder	Total
		(g tørstof $\text{m}^{-2}$ )		(g N $\text{m}^{-2}$ )		
December 1997	Komposteret	27,9 <sup>a</sup>	34,6 <sup>a</sup>	1,1 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>
	Anaerobt lagret	29,6 <sup>a</sup>	36,1 <sup>a</sup>	1,1 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>
	Uden gødning	27,1 <sup>a</sup>	22,7 <sup>a</sup>	1,1 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>
Marts 1998	Komposteret	70,5 <sup>a</sup>	61,2 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>
	Anaerobt lagret	65,7 <sup>ab</sup>	60,2 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>
	Uden gødning	49,5 <sup>b</sup>	43,4 <sup>a</sup>	1,8 <sup>b</sup>	1,1 <sup>a</sup>	2,9 <sup>b</sup>

<sup>ab</sup>Værdier efterfulgt af forskellige bogstaver indenfor et høsttidspunkt er signifikant forskellige ( $P < 0,05$ ).

Efter yderligere tre måneders vækst var udbytte og N-optagelse i marts stadig af samme størrelse i hvede tilført komposteret og anaerobt lagret gødning, men den ugødede hvede havde nu lavere tørstofudbytte og N-optagelse end den gødede

hvede (tabel 2). Ved høst af den modne hvede i august fandtes tilsvarende, at udbytteneiveauet var det samme i de to gødede hvedeafgrøder, som begge havde højere udbytte og N-optagelse end den ugødede hvede (tabel 3).

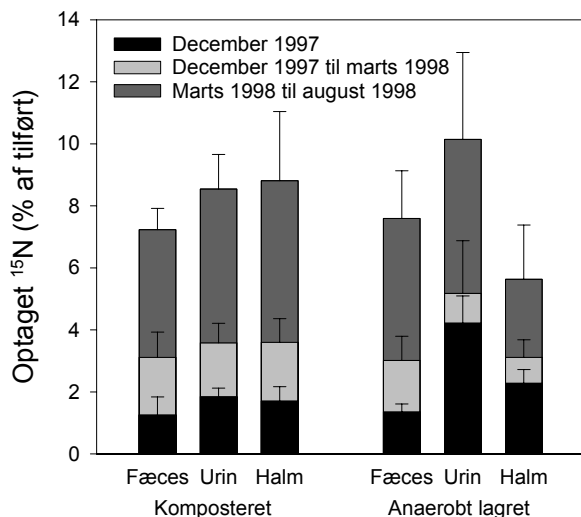
**Tabel 3** Tørstofudbytte og N-optagelse i vinterhvede høstet ved modenhed året efter tilførsel af komposteret ( $22,6 \text{ g N m}^{-2}$ ) eller anaerobt lagret ( $16,9 \text{ g N m}^{-2}$ ) fast husdyrgødning.

Høsttidspunkt	Tilført gødning	Tørstofudbytte		N-optagelse		
		Kerne	Halm	Kerne	Halm	Total
		(g tørstof $\text{m}^{-2}$ )		(g N $\text{m}^{-2}$ )		
August 1998	Komposteret	254 <sup>a</sup>	864 <sup>a</sup>	3,6 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	9,5 <sup>a</sup>
	Anaerobt lagret	260 <sup>a</sup>	873 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	5,8 <sup>ab</sup>	9,7 <sup>a</sup>
	Uden gødning	175 <sup>b</sup>	730 <sup>b</sup>	2,6 <sup>b</sup>	5,0 <sup>b</sup>	7,6 <sup>b</sup>

<sup>ab</sup>Værdier efterfulgt af forskellige bogstaver er signifikant forskellige ( $P < 0,05$ ).

Den modne hvede havde optaget 7-9% af  $^{15}\text{N}$  tilført med fæces, urin og halm i komposteret gødning (figur 3). Optagelsen af  $^{15}\text{N}$  fra fæces var den samme for begge gødninger uanset lagringsmetode, hvorimod der var højere optagelse af  $^{15}\text{N}$  fra urin i anaerobt lagret gødning sammenlignet med komposteret gødning. Den lavere udnyttelse

af N fra urin i den komposterede gødning skyldes, at hovedparten af den mængde N, der var tilbage efter komposteringen, var blevet bundet på organisk form, hvorimod en stor del af N fra urin i den anaerobt lagrede gødning stadig var på uorganisk form. Optagelsen af  $^{15}\text{N}$  fra halm var lavest i den anaerobt lagrede gødning.



**Figur 3**  $^{15}\text{N}$  optaget i overjordiske plantedele af vinterhvede fra fæces, urin og halm i komposteret og anaerobt lagret fast husdyrgødning.

af hvedens optagelse af  $^{15}\text{N}$  fra fæces, urin og halm kunne den samlede optagelse af N fra gødningerne bestemmes (tabel 4). Der var til alle høsttidspunkter en højere optagelse af N fra den anaerobt lagrede gødning sammenlignet med komposteret gødning. Forskellene mellem den relative optagelse af de to gødninger var dog små bortset fra den første høst i december, hvor den optagne N-mængde fra den anaerobt lagrede gødning var omtrent dobbelt så stor som fra den komposterede gødning. Den højere optagelse af N fra anaerobt lagret gødning var dog i stand til udbyttmæssigt at kompensere for, at N i denne gødning kun blev tilført i en mængde, der svarede

til 75% af, hvad der blev tilført med komposteret gødning.

Under komposteringen blev der tabt 46% af gødningens N, og optagelsen på 8,1% af den aktuelt tilførte mængde komposteret gødning (tabel 4) svarede derfor til, at kun omkring 4% af den mængde N, der var til rådighed i den friske gødning før lagring, blev optaget af den efterfølgende afgrøde. Til sammenligning blev der af den anaerobt lagrede gødning, som under lagring tabte 18% N, optaget næsten 8% af den mængde N, som oprindeligt var i gødningen. Forskellen i beregnet udnyttelse af de to gødninger bliver således væsentligt forøget, hvis der korrigeres for de forskellige tab under lagring.

**Tabel 4**  $^{15}\text{N}$  optaget i vinterhvede efter tilførsel af komposteret eller anaerobt lagret fast husdyrgødning.

	Komposteret	Anaerobt lagret
	(% af tilført N)	
December 1997 (top)	1,6 <sup>b</sup>	2,9 <sup>a</sup>
December 1997 (rødder)	1,2 <sup>b</sup>	2,2 <sup>a</sup>
Total december 1997	2,8 <sup>b</sup>	5,1 <sup>a</sup>
Marts 1998 (top)	3,4 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>
Marts 1998 (rødder)	2,0 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>
Total marts 1998	5,3 <sup>b</sup>	6,3 <sup>a</sup>
August 1998 (kerne)	3,2 <sup>b</sup>	4,0 <sup>a</sup>
August 1998 (halm)	4,8 <sup>b</sup>	5,7 <sup>a</sup>
Total august 1998	8,1 <sup>b</sup>	9,6 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup>Værdier efterfulgt af forskellige bogstaver i en række er signifikant forskellige ( $P < 0,05$ ).

### Genfindelse af $^{15}\text{N}$

Den samlede genfindelse af  $^{15}\text{N}$  i hvede og jord (øverste 20 cm) var 56% af  $^{15}\text{N}$  tilført med komposteret gødning. Genfindelsen af  $^{15}\text{N}$  tilført med anaerobt lagret gødning var højere svarende til 66% af tilført  $^{15}\text{N}$ . Den højere genfindelse af  $^{15}\text{N}$  fra anaerobt lagret gødning viser, at på trods af denne gødnings større indhold af uorganisk N har immobilisering (figur 2) og højere planteoptagelse (tabel 4) bevirket et lavere tab sammenlignet med den komposterede gødning. Der har dog fra begge gødninger været tale om ret betydelige tab, som formentligt er sket ved udvaskning og denitrifikation.

### Konklusion

Anaerobt lagret fast husdyrgødning medfører netto immobilisering efter udbringning, hvorimod der sker en netto frigivelse af N fra komposteret gødning. Komposteret gødning kan derfor umiddelbart forekomme at have den bedste gødningsværdi. Lagringen synes ikke væsentligt at påvirke den relative plantetilgængelighed af N i de forskellige fraktioner af gødningen, men på grund af høje N-tab under kompostering vil der være betydeligt mindre N til rådighed efter kompostering end ved anaerob lagring. Mængden af C der tilbageholdes i jord efter tilførsel af fast husdyrgødning, er omtrent den samme uanset lagringsmetode.

# 14 Virkning af husdyrgødning på jordens næringsstofomsætning på kort og langt sigt

Lars Stoumann Jensen og Jesper Luxhøj  
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole  
Laboratoriet for Planternes Ernæring, Institut for Jordbrugsvidenskab,  
E-mail: Lars.S.Jensen@agrsci.kvl.dk

*Både grønne afgrøderester, såsom efterafgrøder og kløvergræsmarker, og husdyrgødning giver anledning til en langt større øgning af bruttomineraliserings- og immobiliseringsraterne end hidtil antaget. Desuden har vi vist, at der i tiden umiddelbart efter tilførsel ikke sker nogen særlig reduktion i netto N-mineraliseringen fra disse med faldende temperatur. Efterhånden som omsætningen forløber og det tilbageværende organiske materiale bliver mere og mere svært nedbrydeligt, må vi antage, at der bliver større temperaturafhængighed, som det også ses for mineraliseringen fra jordens oprindelige organiske stof.*

*Eftervirkningen af afgrøderester og husdyrgødning vil få øget betydning for afgrødernes N-forsyning på de økologiske bedrifter. Vi ved, at eftervirkningen kan være både væsentligt større og væsentligt mindre end de lovbefalede 10% for husdyrgødningen. Set i lyset heraf er det naturligtvis utilfredsstillende, at vi stadig mangler en hensigtsmæssig metode som sikkert kan forudsige størrelsen af denne forventede netto-N-mineralisering igennem vækstsæsonen. Forhåbentlig vil den igangværende forskningsindsats på området, såvel i økologisk som konventionelt regi, bidrage til væsentligt at forbedre beslutningsgrundlaget for husdyrgødningsanvendelsen i det økologiske såvel som det konventionelle jordbrug.*

## Indledning

På økologiske bedrifter er det indlysende, at et godt og sikkert kendskab til virkningen af N i husdyrgødningen er vigtig, da udbytteresponsen for en ændret N-forsyning bliver større jo mindre det generelle N-niveau er. I den økologiske planteproduktion stilles der derfor store krav om en optimeret udnyttelse af næringsstofferne i den tilgængelige husdyrgødning. Ikke mindst er det vigtigt at have godt styr på størrelsen af kvælstof-eftervirkningen. Både gylle og fast husdyrgødning påvirker imidlertid også næringsstofomsætningen på kort sigt. Nyere forskning tyder på, at påvirkningen af mineraliserings- og immobiliseringsprocesserne er noget større end hidtil antaget. Dette kan have betydning for netto-frigivelsen af organisk bundne næringsstoffer ved f.eks. lave

temperaturer eller i forbindelse med jordbearbejdning.

Forårsudbringning nedsætter risikoen for udvaskning af N fra husdyrgødningen betydeligt i forhold til efterårsudbringning, men giver ikke altid den bedste virkning på den efterfølgende afgrøde. Forårsudbringning af de fleste husdyrgødningstyper medfører nemlig ofte en betydelig, men midlertidig, fastlæggelse af jordens plantetilgængelige N, således at den voksende afgrøde udsættes for en kortvarig N-mangel. Desuden kan der på de lidt sværere jorde være en god virkning af efterårsudbragt husdyrgødning i år med en relativt lav vinternedbør. N fra husdyrgødningen vaskes nok nedad, men ikke helt ud af rodzonen og dermed virker som en slags en dybt placeret gødskning der stimulerer afgrøden til en dybere rodvækst,

med større tørketolerance, vand- og næringsstofudnyttelse til følge (Jensen et al., 2000). Det har været hævdet, at der også kunne være andre gunstige virkninger af efterårsudbringning, f.eks. på jordens frugtbarhed og struktur, men indtil nu er disse ikke dokumenteret eller undersøgt i tilstrækkeligt omfang.

Hensynet til dyrevelfærd gør, at staldsystemer med dybstrøelse i disse år bliver mere og mere almindelige på såvel økologiske som konventionelle husdyrbrug. Husdyrgødning baseret på dybstrøelse har en meget stor andel af sit N på organisk form, og det er derfor svært at opnå en høj udnyttelse det første år. Eftervirkningen af N bliver derimod større end for gylle, men dens størrelse og forløb er imidlertid endnu svært at forudsige med rimelig sikkerhed.

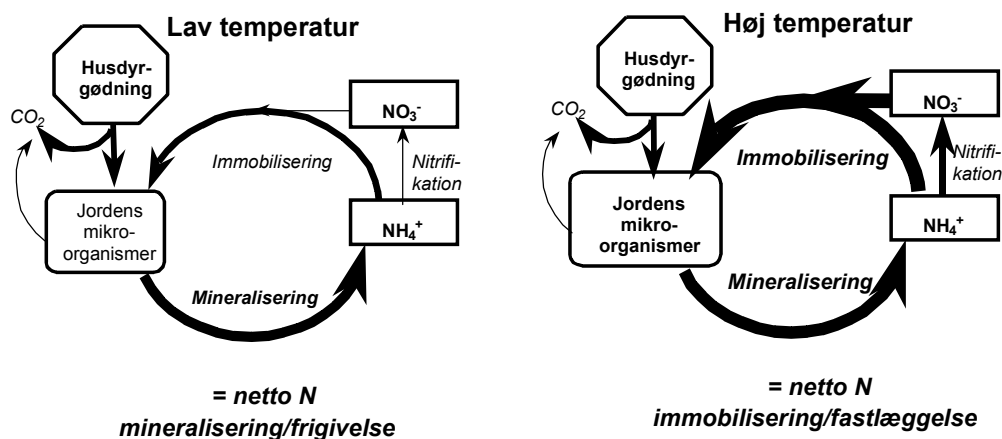
Igennem de seneste 10 år er der i Danmark gennemført en betydelig forskningsindsats med henblik på optimering af husdyrgødningsudnyttelsen indenfor det konventionelle jordbrug. Dette skyldes ikke mindst Vandmiljøplanernes identifikation af husdyrgødningen som en af de væsentligste årsager til nitratudvaskning. Med den fornuftige danske organisation af forskningen i økologisk jordbrug, hvor eksisterende forskningseksperter er inddraget i økologiske forskningsprojekter, er det i økologisk sammenhæng oplagt at trække på og udnytte viden fra disse konventionelle husdyrgødningsprojekter så meget som muligt.

Denne artikel sætter fokus på den nye viden, der er erhvervet om virkningen af husdyrgødning på kvælstofomsætningen på såvel kort som langt sigt, hvad der kontrollerer omsætningsprocesserne og hvilke konsekvenser, det har for vores anvendelse af husdyrgødning som gødningsmiddel i økologisk jordbrug.

## **Virkingen på kvælstof-mineralisering-immobilisering på kort sigt**

Med husdyrgødningen udbringes betydelige mængder N bundet i gødningens organiske fraktion, det vil sige ufordøjet foder og ikke mindst tarmvægsceller og døde mikroorganismer fra dyrenes fordøjelsessystem. Typisk vil mellem 25% (svinegylle) og 80% (dybstrøelse) af gødningens totale N-indhold være bundet på organisk form, og dette N skal naturligvis først mineraliseres for at blive plantetilgængeligt. Allerede i løbet af det første år sker der en betydelig mineralisering af N fra den organiske fraktion, typisk mellem 20-40% af det tilførte organiske N (Sørensen, 1999a). Mineraliseringshastigheden afhænger af det organiske materials nedbrydelighed, f.eks. er det organiske N i gødningen fra drøvtyggere umiddelbart mere svært nedbrydeligt end fra enmavede dyr - man kan sige, at det afspejler dels foderets kvalitet og dels den omsætning og nedbrydning foderet allerede har gennemgået i dyrenes fordøjelsessystem.

Kvælstof-netto-mineraliseringen er imidlertid resultatet af to modsat rettede omsætningsprocesser, brutto-mineralisering og brutto-immobilisering, se figur 1. Disse to processer forløber samtidigt, og det er balancen mellem dem, som afgør, hvorvidt der forekommer en netto-mineralisering eller en netto-immobilisering. Dette betyder også, at man kan have den samme netto-mineraliseringsrate ved vidt forskellige brutto-omsætningsrater, blot forskellen mellem dem er den samme. Dette er f.eks. vist for de langvarige hvede- og græsmarkforsøg på Rothamsted i England, hvor netto-N-mineraliseringsraten var den samme, men brutto mineraliseringen var ca. 40 gange højere i græsmarken end i hvedemarken (Tlustos et al, 1998). Endvidere fremgår det, at hvis brutto mineraliserings- og immobiliseringsraterne er forholdsvis høje, så kan selv relativt små ændringer i brutto-raterne betyde en væsentlig ændring i netto-raten.



**Figur 1** Betydningen af temperatur for reguleringen af N-mineraliseringen. Netto-N-mineralisering er balancen mellem henholdsvis brutto-mineralisering og brutto-immobilisering. Når organisk materiale tilføres øges begge brutto-processer, men immobiliseringen øges mere af stigende temperatur end mineraliseringen.

Kvælstof-netto-mineraliseringen er imidlertid resultatet af to modsat rettede omsætningsprocesser, brutto-mineralisering og brutto-immobilisering, se figur 1. Disse to processer forløber samtidigt, og det er balancen mellem dem, som afgør, hvorvidt der forekommer en netto-mineralisering eller en netto-immobilisering. Dette betyder også, at man kan have den samme netto-mineraliseringsrate ved vidt forskellige brutto-omsætningsrater, blot forskellen mellem dem er den samme. Dette er f.eks. vist for de langvarige hvede- og græsmarkforsøg på Rothamsted i England, hvor netto-N-mineraliseringsraten var den samme, men brutto mineraliseringen var ca. 40 gange højere i græsmarken end i hvedemarken (Tlustos et al, 1998). Endvidere fremgår det, at hvis brutto mineraliserings- og immobiliseringsraterne er forholdsvis høje, så kan selv relativt små ændringer i brutto-raterne betyde en væsentlig ændring i netto-raten.

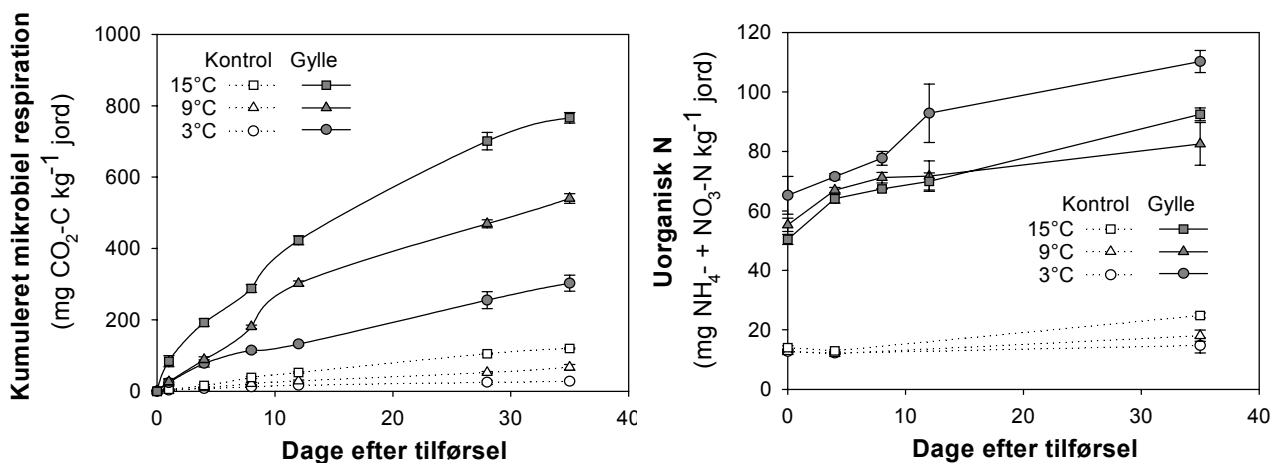
Det er imidlertid vanskeligt at måle de to processer hver for sig, da det kræver anvendelse af den såkaldte <sup>15</sup>N pool-dilution-teknik (Barraclough, 1995). Først igennem de seneste år at der er fremkommet studier hvor både brutto-mineralisering og immobilisering er målt under realistiske markforhold (Murphy et al., 1998; Recous et al., 1999). Disse resultater viser at brutto-omsætningsraterne

generelt er væsentligt højere end hidtil antaget, typisk 2-5 gange højere end netto-mineraliseringen i landbrugsjorde i omdrift. Endvidere har anden nyere forskning også vist, at netto-kvælstof-mineraliseringen ikke altid reduceres ved faldende temperatur. En række udenlandske såvel som danske studier (Andersen & Jensen, 2000) har således vist, at der selv ved meget lave temperaturer tæt på frysepunktet kan ske en betydelig netto-N-mineralisering fra grønne planterester, såsom efterafgrøder og ompløjede kløver-græsmarker. Andersen & Jensen (2000) har vist, at dette overvejende kan tilskrives at brutto-immobiliseringen hæmmes mere af lave temperaturer end brutto-mineraliseringen, som det er illustreret i figur 1, og at dette kan føre til at der i nogle tilfælde faktisk netto frigives mere kvælstof fra planteresterne ved lav i forhold til høj temperatur.

Disse nye erkendelser af sammenhængen mellem temperatur og kvælstofomsætning fra planterester har naturligvis væsentlige implikationer for rådgivning om f.eks. nedmuldningstidpunkter for både efterafgrøder og kløvergræsmarker. Men de vil også have betydning for den forventede virkning af husdyrgødning, såfremt de samme principper gælder her. Dette har vi undersøgt i et laboratoriestudie, hvor vi tilførte en blandet kvæg-

og svinegylle til jord (50 mg NH<sub>4</sub>-N/kg jord, svarende til ca. 125 kg NH<sub>4</sub>-N/ha), som blev pakket til en konstant densitet og inkuberet ved henholdsvis 3°, 9° og 15° i 35 dage. Under inkubationen målt CO<sub>2</sub> udviklingen, som udtryk for den mikrobielle aktivitet, og indholdet af uorganisk N (ammonium og nitrat) over tid som udtryk for netto-N-mineraliseringen. Ved dag 0 injiceredes

endvidere en lille mængde <sup>15</sup>N mærket ammonium til hver jordprøve og fordelingen af <sup>15</sup>N i ammonium, nitrat og den organiske pulje bestemtes derefter til dag 0, 4 og 8. Ud fra disse målinger og ved anvendelse af pool-dilution principper kan man ved hjælp af en beregningsmodel (FLUAZ, Mary et al., 1998) bestemme de samtidige brutto-mineraliserings og -immobiliseringsrater.

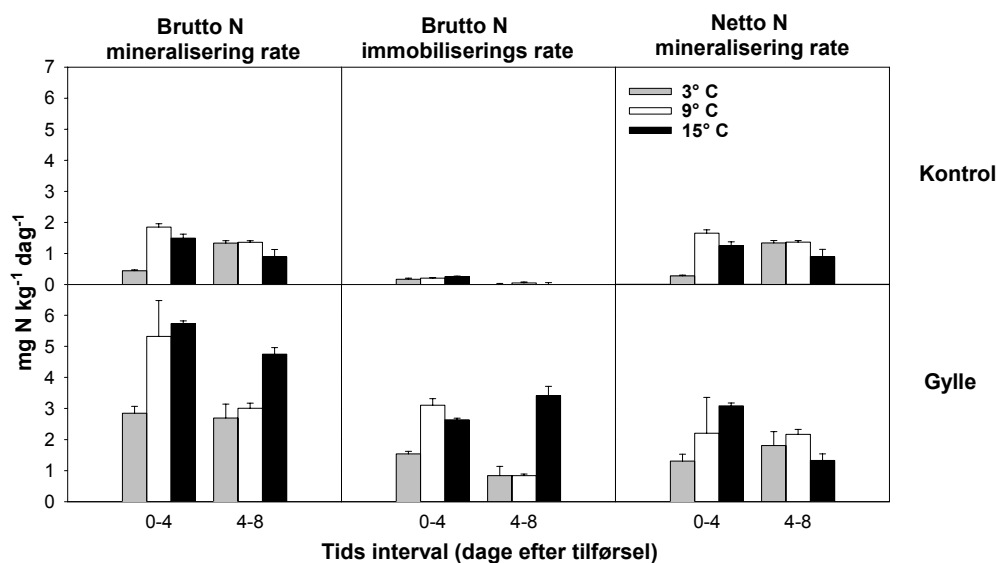


**Figur 2** Kulstof omsætning (mikrobiel respiration, venstre) og kvælstof-mineralisering (udvikling i uorganisk N, højre) fra jord med og uden tilførsel af gylle, ved henholdsvis 3°, 9° og 15°C. Usikkerhedsangivelsen er std.err. (n=3)

Som det fremgår af figur 2 (venstre) påvirkes kulstof-omsætningen både af gylletilførslen og af temperaturen. Den mikrobielle respiration over de 35 dage er 6-8 gange højere med gylle i forhold til uden gylle uanset temperaturen, og aktiviteten øges med en faktor 2-3 fra 3° til 15°C. Tilsvarende ses det, at der i jord uden gylle er en højere

netto N-mineralisering (stigning af uorganisk N over de 35 dage) ved 15°C end ved 3°C, mens netto-N-mineraliseringen med gylle viser et andet billede. Her ses der ved alle 3 temperaturer en større og nogenlunde ens stigning i uorganisk N over tid.





**Figur 3** Brutto N mineraliserings- og -immobiliseringsrater samt netto-mineraliseringsrater i jord med og uden (kontrol) tilførsel af gylle, ved henholdsvis 3°, 9° og 15°C i dagene 0-4 og 4-8 efter tilførsel. Usikkerhedsangivelsen er std.err. (n=3)

Brutto-omsætningsraterne påvirkes imidlertid ligesom den mikrobielle aktivitet ganske voldsomt af gylletilførslen. Mens netto-N-mineraliseringen kun øges 2-3 af gylletilførslen, så fremgår det af figur 3, at brutto-N-mineraliseringen øges 3-6 gange ved gylletilførslen, men især brutto-N-immobiliseringen øges voldsomt, 10-15 gange ved alle temperaturer. Denne kraftige øgning af immobiliseringen drives af gyllens indhold af meget letomsættelige komponenter, flygtige fede syrer m.m., ophobet under den anaerobe opbevaring. Disse vil imidlertid efter forholdsvis kort tid være nedbrudt, og den kraftige immobilisering vil klinge af, afhængig af den øvrige organiske fraktions sammensætning og nedbrydelighed. Der ses i figur 3 især en temperaturafhængighed ved brutto-omsætningsraterne når der er tilført gylle, men beregner man netto-N-mineraliseringen over dag 0 til 8 som differens mellem bruttoraterne viser det sig, at netto-frigivelsen af N fra gyllen er stort set ens ved alle 3 temperaturer (figur 3). Brutto omsætningsraternes størrelsesorden bekræftes endvidere af tilsvarende studier gennemført af Sørensen (1999b).

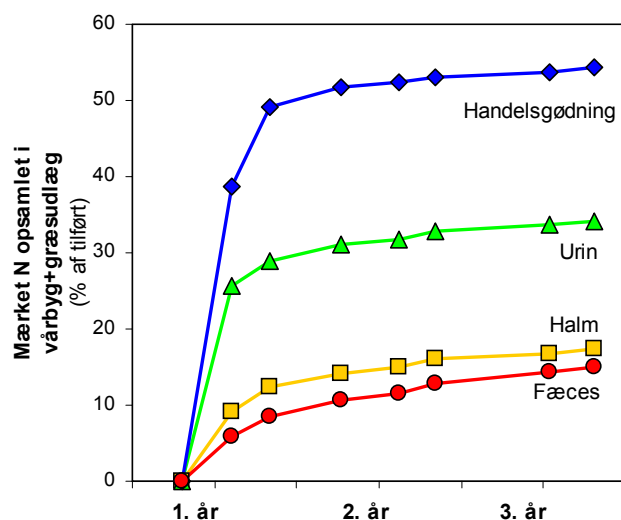
Dette betyder altså, at selvom gylle udbringes ved lave temperaturer i sent efterår eller tidligt forår, så kan der forekomme en betydelig netto-N-mineralisering. Man skal dog samtidig lægge mærke til, at immobiliseringen hæmmes væsentligt ved lavere temperaturer. Dette vil være af betydning for, i hvor høj grad det mineraliserede kvælstof vil kunne være tilgængeligt for planterne eller stabiliseres i mere svært tilgængelige mikrobielle omsætningsprodukter, der først nedbrydes væsentligt langsommere og over længere tid. Som tidligere nævnt, så vil der i så godt som alle tilfælde ske en øgning i brutto immobiliseringsraten ved tilførsel af husdyrgødning. Men hvis immobiliseringen kan hæmmes f.eks. ved lav temperatur eller ved at husdyrgødningens indhold af letomsættelige bestanddele er fjernet ved bioforgasning, så vil dette kunne bidrage til en højere og mere forudsigelig virkning.

### Virkingen på næringsstofomsætningen på længere sigt

På længere sigt vil brutto-mineraliserings-immobiliseringsraten efter en husdyrgødningstilførsel

sel naturligvis falde. Hvordan den opfører sig på lang sigt ved gentagne års tilførsel af husdyrgødning, grøngødninger og efterafgrøder vides ikke i nærmere detaljer, men er emnet for igangværende forskning. Man kunne f.eks. tænke sig, at mange

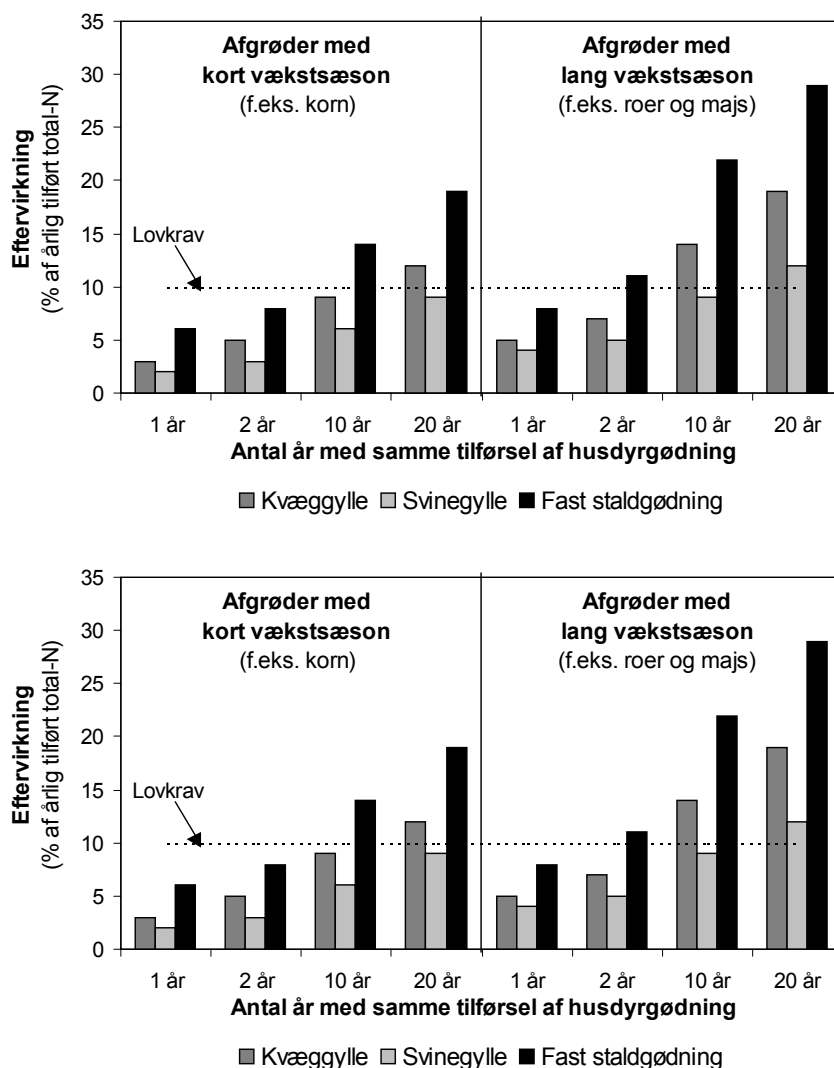
års jævnlig input af organisk materiale kunne øge brutto-raterne betydeligt. I et sådant system ville man formentligt kunne få større udslag i netto N-mineraliseringen ved f.eks. jordbearbejdning end i et system med et minimum af organisk N-input.



**Figur 4** Optagelse (målt i overjordisk afgrøde) af isotop-mærket N i vårbyg efterfulgt af rajgræs igennem 3 år, hvor forsøget var tilført fast staldgødning (kvæg) og handelsgødning i foråret det første år. Henholdsvis handelsgødning, fæces, urin eller halm i den faste gødning var mærket med  $^{15}\text{N}$ -isotopen. Modifieret efter Jensen et al., (1999)

Et detaljeret billede af N-mineraliseringen på længere sigt fra forskellige gødningstyper og deres bestanddele kan fås, hvis de forskellige fraktioner af gødningerne er mærket med  $^{15}\text{N}$ . Man har således vist, at N i strølseshalmen faktisk mineraliseres hurtigere det første år end N fra fæcesfraktionen, som er særdeles svært nedbrydeligt (figur 4). Endvidere tyder nyere undersøgelser på, at for en given husdyrtype vil en højere N-koncentration i gødningen give en hurtigere mineralisering af N i jorden (P. Sørensen, pers. medd.). I de efterfølgende år er mineraliseringen væsentligt mindre, typisk 10-15% af det oprindeligt tilførte organiske N i 2. år, og 3-5% i det 3. år. Herefter findes omkring halvdelen af det oprindeligt tilførte organiske N stadig i jorden, og der sker en lav, men forholdsvis konstant frigivelse af N fra

denne pulje igennem en længere årrække. I modsætning til det første år afhænger mineraliserings-hastigheden i de følgende tilsyneladende ikke af hvilken gødningstype det kom fra (kvæg eller svin, fast eller flydende, urin eller fæces, Jensen et al., 1999). Dette kan ses af figur 4, hvor stigningen på kurverne i 2. og 3. år er nogenlunde ens for alle gødningsfraktioner. Derimod skal man huske på, at mængden af tilført organisk N ofte varierer meget mellem gødningstyper, f.eks. er der per 50 kg effektivt N/ha i dybstrøelse tilført ca. 200 kg organisk N/ha, mens der med 50 kg effektivt N/ha i svinegylle ikke er tilført mere end ca. 20 kg organisk N/ha. Dermed bliver mineraliseringen i kg N/ha naturligvis langt større efter dybstrøelsen, selvom den er den samme i procent af tilført organisk N.



**Figur 5** Beregnet samlet eftervirkning af N i forskellige typer husdyrgødning, ved tilførsel af samme mængde husdyrgødning til marken hvert år. Eftervirkningen er beregnet som % af årlig tilførsel af total-N i husdyrgødningen. Modificeret efter Sørensen (1999a)

Nu er det sjældent, at en mark kun tilføres husdyrgødning et enkelt år og aldrig senere. Typisk vil bedriften have husdyr igennem en længere årrække, og markerne vil derfor regelmæssigt have fået tilført husdyrgødning. Akkumuleres den årlige frigivelse fra hver enkelt tilførsel, kan den samlede eftervirkning derfor blive ganske betydelig (Sørensen, 1999a). I figur 5 er dette forsøgt illustreret for en konstant tilførsel af husdyrgødning hvert år gennem 1, 2, 10 eller 20 år. Som det fremgår af figuren, kan den akkumulerede eftervirkning være

væsentligt mindre end lovkravet på 10% eftervirkning, først ved 5-10 års stadig tilførsel kan man forvente en samlet eftervirkning, der reelt svarer til de 10%. Det er dog også meget vigtigt at notere sig, at ved fast staldgødning og ved varige tilførsler i mere end 10 år, må eftervirkningen forventes at overstige lovkravet ganske betydeligt. Især for afgrøder med en lang vækstsæson, hvor eftervirkningen kan være på op til 20-30% på gamle husdyrbedrifter.

## Referencer

- Andersen, M.K. and Jensen L. S. (2000) Low soil temperature effects on short term gross N mineralization-immobilization turnover after incorporation of a green manure. *Soil Biology and Biochemistry*, submitted
- Barracough, D. (1995).  $^{15}\text{N}$  isotope dilution techniques to study soil nitrogen transformations and plant uptake. *Fert. Res.*, 42, 185-192
- Jensen, B., Sørensen, P., Thomsen, I.K.T., Jensen, E.S., Christensen, B.T. (1999) Availability of nitrogen in  $^{15}\text{N}$ -labelled ruminant manure components to successively grown crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 416-423
- Jensen L. S., Pedersen I. S., Hansen T. B. and Nielsen N. E. (2000) Turnover and fate of  $^{15}\text{N}$ -labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *European Journal of Agronomy.* 12, 23-35.
- Mary, B., Recous, S., Robin, D. 1998. A model for calculating nitrogen fluxes in soil using N-15 tracing. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 1963-1979.
- Murphy, D. V., Fillery, I. R. P., Sparling, G. P. (1998). Seasonal fluctuations in gross N mineralisation, ammonium consumption, and microbial biomass in a Western Australian soil under different land uses. *Austral. J. Agric. Res.*, 49, 523-535.
- Recous, S., Aita, C., Mary, B. (1999). *In situ* changes in gross N transformations in bare soil after addition of straw. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 119-133.
- Sørensen, P. (1999a) Lang eftervirkning af kvælstof i husdyrgødning. *Planteavlsorientering* 07.369. Landskontoret for Planteavl og DJF.
- Sørensen, P. (1999b) Gross N transformation in soil amended with animal manure. In: *10th N Workshop* (Ed. by N. Nielsen, J. Schjoerring, E. Jensen, M. Mattson), Copenhagen: The Royal Vet. and Agricultural Univ.
- Tlustos, P., Willison, T. W., Baker, J. C., Murphy, D. V., Pavlikova, D., Goulding, K. W. T., Powlson, D. S. 1998. Short-term effects of nitrogen on methane oxidation in soils. *Biol. Fertil. Soils*, 28, 64-70.

# Bilag 1

## Deltagere

Bent Hindrup Andersen  
Danmarks JordbrugsForskning  
Afd. for Jordbrugsteknik  
Forskningscenter Bygholm  
Postboks 536  
8700 Horsens  
Tlf.: 76 29 60 11

Birgitte Popp Andersen  
Sønderjydske Landbrugsrådgivning  
Peberlyk 2  
6200 Åbenrå  
Tlf.: 74 62 01 01

Hella Andresen  
Landwirtschaftlicher Hauptverein für  
Nordschleswig  
Industriparken  
6360 Tinglev

Inger Bertelsen  
Landskontoret for Planteavl  
Udkærvej 15  
Skejby  
8200 Århus N  
Tlf.: 87 50 50 00

Torkild Birkmose  
Landskontoret for Planteavl  
Udkærvej 15  
Skejby  
8200 Århus N  
Tlf.: 87 40 54 32

Erik Damgaard  
Danmarks JordbrugsForskning  
Askov Forsøgsstation  
Vejenvej 55  
6600 Vejen  
Tlf.: 75 36 02 77

Richard de Visser  
De Fynske Landboforeninger  
Agrogården  
Lombjergevej 1  
5750 Ringe  
Tlf.: 62 62 10 02

Åse Ditlevsen  
Økologiens Hus  
Frederiksgade 72  
8000 Århus C  
Tlf.: 87 32 27 00

Ove Ø Edlefsen  
Danmarks JordbrugsForskning  
Flensborgvej 22  
St. Jyndeved  
6360 Tinglev  
Tlf.: 74 64 83 16

Kristian Gadegård  
Åbenrå Amts Landboforening  
Landbogården  
Peberlyk 2  
6200 Aabenrå  
Tlf.: 74 62 01 01

Birgitte Hansen  
Forskningscenter for Økologisk Jordbrug  
Foulum  
Postboks 50  
8830 Tjele  
Tlf.: 89 99 16 77

Jesper Hansen  
Køge-Ringsted Landboforening  
Møllevvej 15  
4140 Borup  
Tlf.: 57 56 17 00

Peter Hillerup  
Vestjysk Landboforening  
Ørnevej 9  
6920 Videbæk  
Tlf.: 97 17 14 77

Anders Højlund Nielsen  
Danmarks JordbrugsForskning  
Afd. for Jordbrugssystemer  
Forskningscenter Foulum  
Postboks 50  
8830 Tjele  
Tlf.: 89 99 12 02

Jan Jensen  
Frukt og Grønt Rådgivningen Fyn  
Ruggårdsvej 197  
5210 Odense NV  
Tlf.: 63 16 75 80

Jan B. Jensen  
Kronjysk Landboforening  
Marsvej 1  
Paderup  
8900 Randers  
Tlf.: 70 10 73 33

Ole Tyrsted Jørgensen  
Økologikontoret, Sjællandske Familielandbrug  
Maglehøjen 19  
4000 Roskilde  
Tlf.: 46 37 11 12

Susanne Kjær-Hansen  
Sønderjysk Landboforening  
Aabenråvej 22  
6240 Løgumkloster  
Tlf.: 74 74 42 88

Ingvar Kristensen  
Lemvig Egnens Landboforening  
Industrivej 53  
7620 Lemvig  
Tlf.: 96 63 05 44

Sybille Kyed  
Økologiens Hus  
Frederiksgade 72  
8000 Århus C  
Tlf.: 87 32 27 00

Henrik B. Lauridsen  
Danske Slagterier  
Axelborg  
Axeltorv 3  
1609 København V  
Tlf.: 33 11 60 50

Ejo Lund  
Vejle Amts Familiebrug  
Niels Finsensvej 20  
7100 Vejle

Carsten Markussen  
Familiebruget K270  
Sandfeldparken 36  
6933 Kibæk  
Tlf.: 97 17 18 11

Poul Erik Nielsen  
Landwirtschaftlicher Hauptverein für  
Nordschleswig  
Industriparken  
6361 Tinglev  
Tlf.: 73 64 30 00

Lene Sørensen  
Kolding Herreds Landbrugsforening  
Niels Bohrsvej 2  
6000 Kolding  
Tlf.: 76 34 17 00

Peter Sørensen  
Danmarks JordbrugsForskning  
Afd. for Plantevækst og Jord  
Forskningscenter Foulum  
8830 Tjele  
Tlf.: 89 99 17 48

Michael Tersbøl  
Landskontoret for Planteavl  
Udkærvej 15  
Skejby  
8200 Århus N  
Tlf.: 87 40 50 00

Claus Østergaard  
Sønderjysk Landbrugsrådgivning  
Peberlyk 2  
6200 Aabenrå  
Tlf.: 74 62 01 01

## Publikationer m.m. udgivet af FØJO

Maj 2000

<b>FØJO-rapporter</b>	<b>Nr.</b>	<b>Udgivet</b>
Forskning i økologisk svineproduktion	1	juni 1998
Kvælstofudvaskning og –balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer	2	oktober 1998
Natur, miljø og ressourcer i økologisk jordbrug	3	juni 1999
Plantebeskyttelse i økologisk jordbrug	4	oktober 1999
Simulering af fossilt energiforbrug & emission af drivhusgasser	5	april 2000
Sundhed, velfærd og medicinanvendelse ved omlægning til økologisk mælkeproduktion	6	april 2000
Husdyrgødning og kompost	7	maj 2000

<b>DARCOF-reports</b>	<b>Nr.</b>	<b>Udgivet</b>
Designing and testing crop rotations for organic farming	1	December 1999
Ecological Animal Husbandry in the Nordic Countries	2	Maj 2000

<b>Interne rapporter, udredninger, bilag m.m.</b>	<b>Udgivet</b>
Årlige statusrapporter fra igangværende projekter	Årligt
Forskningsmetodik i økologisk jordbrug	Oktober 1998
Den gode jord (temanummer af Miljøforskning, udgivet af SMP)	Juni 1999
Kvalitet og forarbejdning af økologisk mælk	Oktober 1999
Aktionsplan II (diverse bidrag til Det Økologiske Fødevareråd)	November 1998
Økologiske scenarier for Danmark (delrapporter til Bicheludvalget)	Marts 1999
Evaluering af forskningsaktiviteter i FØJO (dansk og engelsk udgave)	April 1999
Danske Økologiprojekter	August 1999
Analyse af det økologiske regelsæt vedr. husdyrsundhed og husdyrvelfærd	Februar 2000
Analyse af det økologiske regelsæt vedr. gødsning og miljøpåvirkning	Februar 2000

<b>Fortløbende udgivelser</b>
Toårsrapport fra FØJO (dansk og engelsk udgave)
FØJO-Nyt (internt blad som udkommer ca. 10 gange årligt)
Nyhedsbrev fra FØJO (Eksternt nyhedsbrev som udkommer 6 gange årligt)
Dansk redaktion af Forskningsnytt om Økologisk Landbrug i Norden
Månedlige artikler i bl.a. Økologisk Jordbrug, Bovilogisk, Landsbladet kvæg, svin og mark

<b>Møder, workshops m.m.</b>	<b>Afholdt</b>
Markvandring på de økologiske værkstedsarealer m.fl.	Årligt
Workshop om forskningsmetodik om økologisk jordbrug	Oktober 1998
International workshop on crop rotations for organic farming	August 1999
Ecological Animal Husbandry in the Nordic Countries (NJF seminar)	September 1999
Temamøde om forarbejdning af økologisk mælk	Oktober 1999
Workshop om forskningsfaciliteter i økologisk jordbrug	Oktober 1999
Workshop om forskningsbehov i forhold til naturindholdet i økologisk jordbrug	Oktober 1999

*For en oversigt over rapporter, bøger, artikler i internationale tidskrifter og fagblade m.m. henvises til FØJO's publikationsdatabase, som kan findes via [www.foejo.dk](http://www.foejo.dk)*