

631.8  
B15

# NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. A9 1990

## Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

## Om NPo-forskningsprogrammet

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen  
Nr. A9 1990**

# **Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder**

Anne-Margrethe Lind, Kasia Debosz,  
Jørgen Djurhuus, Michael Maag,  
Statens Planteavlsforsøg

**MILJØSTYRELSEN  
BIBLIOTEKET  
Strandgade 29  
1401 København K**

**Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen**

Dette projekt er delvist støttet  
af EF's miljøforskningsprogram  
gennem deltagelse i projektet  
EV-4V-0098 »Nitrate in Soils«.

## Indholdsfortegnelse

	<u>SAMMENDRAG</u>	7
<u>1.</u>	<u>INDLEDNING OG FORMÅL</u>	13
<u>2.</u>	<u>MATERIALER OG METODER</u>	17
2.1	Forsøgsarealer	17
	2.1.1 Arealernes forhistorie	19
2.2	Forsøgsplan	19
2.3	Delperioder	20
2.4	Registrering af klima og jordens vandindhold	21
2.5	Jordbundskemiske og -fysiske analyser	21
2.6	Denitrifikation	22
2.7	N-mineralisering	23
	2.7.1 Metodik i markforsøg	23
	2.7.2 Metodik i laboratorieforsøg til sammenligning med <u>in situ</u> forsøg på Askov jord	25
2.8	N-udvaskning	26
2.9	Planteoptagelse	26
2.10	Metodik i modelforsøg	27
<u>3.</u>	<u>RESULTATER</u>	29
3.1	Temperatur og nedbør	29
3.2	Jordens vandindhold	31

3.3	Uorganisk N i jord	34
3.4	Denitrifikation	35
	3.4.1 Resultater af markforsøg	35
	3.4.1.1 Supplerende undersøgelser	40
3.5	N-mineralisering	40
	3.5.1 Markforsøg	40
	3.5.2 Hastigheden af N-mineralisering på Askov jord i mark- og laboratorieforsøg	44
3.6	Nitrat-udvaskning	46
	3.6.1 Nitratkoncentrationer	46
	3.6.2 Nitratudvaskning	49
3.7	Planteoptagelse	55
3.8	Resultater af modelforsøg	55
	3.8.1 Denitrifikation og N <sub>2</sub> O-dannelse	55
	3.8.1.1 N <sub>2</sub> O-dannelse	55
	3.8.1.2 Denitrifikation	59
	3.8.2 Vandindhold, temperatur og organisk stofindflydelse på N- og C-mineralisering	61
<u>4.</u>	<u>DISKUSSION</u>	67
4.1	Denitrifikation	67
	4.1.1 Klimatiske forholds indvirkning på denitrifikation	67
	4.1.2 Dyrkningsmæssige forholds indvirkning på denitrifikation	69
	4.1.3 Jordbundsmæssige forholds indvirkning på denitrifikation	70

4 . 2	N-mineralisering	73
	4 . 2 . 1 Netto N-mineralisering <u>in situ</u>	73
	4 . 2 . 2 Netto N-mineralisering under kontrollerede forhold i laboratoriet	76
<u>5.</u>	<u>REFERENCER</u>	79
<u>6.</u>	<u>APPENDIKS</u>	87
6 . 1	N-balancer	87
6 . 2	Tidspunkt, mængde og N-indhold i tilført svinegylle gennem forsøgsperioden	94
	<u>Registreringsblad</u>	96



## SAMMENDRAG

N-undersøgelser i markforsøg	Projektet har omfattet undersøgelser af de-nitrifikation og N-mineralisering i to land-brugsjorde; en sandblandet lerjord (JB5, Askov) og en grovsandet jord (JB1, Jyndevad). Undersøgelserne blev gennemført under såvel markforhold som i laboratoriet, og N-udvaskningsmålinger blev udført i tilknytning til markforsøgene. Hovedafgrøden i markforsøgene var vårbyg, der blev gødet med handelsgødning eller svinegylle. På lerjordslokaliteten indgik gødskning med kalkammonsalpeter (KAS) ( $133 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ), forårsudbragt svinegylle ( $100 \text{ kg NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) samt et ugødet led.
Forsøgsplan	På sandjordslokaliteten blev der gødet med $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ i KAS samt $50$ og $100 \text{ kg NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ i forårsudbragt svinegylle. Desuden indgik der i forsøget yderligere $2$ forsøgsled; svinegylle ( $100 \text{ kg NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1}$ ), forårsudbragt og med udlæg, og $100 \text{ kg NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1}$ efterårsudbragt. Endvidere var der et ugødet led, som det foregående år havde fået tilført $100 \text{ kg NH}_4^+ \text{-N}$ i forårsudbragt svinegylle. Udstyr til N-udvaskningsmålinger (sugeceller) har været permanent placeret i forsøgsarealerne, mens udstyr til målinger af N-mineralisering har været udskiftet løbende gennem året. Denitrifikation blev bestemt ved prøveudtagning af intakte jordsøjler i rør og efterfølgende laboratoriemålinger ved hjælp af acetylenhæmningsmetoden. Klimatisk har årene på de to lokaliteter generelt været præget af store nedbørsmængder og varme vintre med meget få frostdage.
N-mineralisering i laboratoriet	N-mineraliseringsforsøg i laboratoriet har omfattet både kortvarige inkuberinger (model-

forsøg) til udarbejdelse af submodeller til en rodzonemodel (DAISY), og langtidsinkuberinger til vurdering af netto N-mineraliseringshastigheder bestemt ved markmålinger (in situ metoden).

Sammenholdtes N-mineralisingsrater bestemt i laboratorieforsøg og i markforsøg, sås den største rate i laboratorieforsøgene. Dette skyldtes de optimale betingelser for N-mineralisering ved inkubering under laboratorieforhold i modsætning til betingelserne under markforhold, der var styret af de naturlige klimaforhold.

N-mineralisering <u>in situ</u>	Årlige estimerter af netto N-mineralisering ( <u>in situ</u> metoden) viste, at der på lerjordslokaliteten (Askov) i det ugødede led gns. blev mineraliseret $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . På sandjordslokaliteten (Jyndevad) lå værdien for netto N-mineralisering i det ugødede led højere end på lerjord med i gennemsnit $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Dette afspejlede sikkert, at Jyndevad blev gjort med husdyrgødning ( $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) i 0 N leddet året inden det blev anvendt som forsøgsled (vs. 0 N leddet i Askov).
Ugødede led	
Handelsgødning	Ved gødkning med handelsgødning blev afgrødemængden øget i forhold til afgrødemængden i det ugødede led, og dermed blev jorden tilført mere organisk N i form af afgrøderester. Dette gav en forøget N-mineralisering og samtidig en forøget N-udvaskning i Askov jorden, mens der ikke var nogen signifikant effekt i Jyndevad jorden.
Svinegylle	I led behandlet med gylle forår (Askov og Jyndevad) og efterår (Jyndevad) blev der fundet en N-immobilisering af en del af den tilførte gylle. N-immobiliseringen umiddelbart efter gødk-

ning bevirkede, at udvaskningsrisikoen blev mindsket. Imidlertid syntes immobiliseringen kun at være midlertidig, og i ledet med efterårsudbragt gylle skete da også en stor N-udvaskning 2-3 måneder efter gylleudbringning.

Selv om jorden i Jyndevad blev tilført mere organisk N i form af afgrøderester ved dyrkning af rajgræs som udlæg end ved dyrkning uden udlæg havde dyrkning med udlæg kun ringe effekt på netto N-mineraliseringen.

Der blev generelt ikke fundet de store forskelle i netto N-mineraliseringen mellem handelsgødede led og gyllegødede led.

Denitrifikation  
i lerjord

Denitrifikationstabene var lave i 1987 og 1988 fra lerjordslokaliteten (Askov) ( $0.01-5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ). En undtagelse var forårsperioden marts til maj i 1989, hvor der blev registreret et tab på  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  i det handelsgødede led. Årsagen hertil var et højt indhold af nitrat kombineret med et højt vandindhold. Tabene i forårsperioden var af samme størrelsesordenen som det, der tidligere er fundet i andre danske lerjorde.

Denitrifikation i  
sandjord

Denitrifikationstabet fra den undersøgte sandjordslokalitet viste sig at være forsvindende lille, selv under de mest gunstige betingelser for denitrifikation (umiddelbart efter gytetildeling og ved højt vandindhold).

Denitrifikation  
og vandindhold

Vandindholdet havde stor betydning for denitrifikation i lerjorden, idet der var en klar sammenhæng mellem vandindhold og denitrifikationsaktivitet.

Modelforsøg i laboratoriet	<p>En del af resultaterne for netto N-mineralisering og denitrifikation fra markforsøgene kunne forklares ved hjælp af modelforsøg, hvor temperatur, vandindhold og tilsætning af organisk stof kunne styres. Disse parametre viste sig at have afgørende betydning for nettoresultatet af N-mineralisering, N-immobilisering og N-tab ved denitrifikation.</p> <p>Det blev således fundet, at når vandindholdet i jorden oversteg markkapaciteten, så var det væsentligt at korrigere værdier for netto N-mineralisering for denitrifikationstab.</p>
Nitratudvaskning	<p>Udvaskningsmålingerne af nitrat dækker perioden fra foråret 1987 til foråret 1990. Resultaterne er opgjort pr. år dækende perioden fra 1. april til 31. marts.</p>
Nitratudvaskning i lerjord	<p>I Askov har nitratudvaskningen efter tilførsel af 133 kg N ha<sup>-1</sup> i handelsgødning i gennemsnit af de 3 år været 61 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (50-79 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>). Tilsvarende har nitratudvaskningen efter tilførsel af 100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> i svinegylle været gns. 51 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (31-82 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>). Fra en ugødet parcel, som ikke har været gødet siden 1984, har nitratudvaskningen imellem årene varieret betydeligt mere, idet der de to første år var en nitratudvaskning på henholdsvis 27 og 23 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>, mens der det sidste år var en udvaskning på 71 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>, hvilket er i overensstemmelse med de gødede led, hvor nitratudvaskningen ligeledes var størst det sidste år. De høje udvaskningstal det sidste år må tilskrives klimaforholdene.</p>
Nitratudvaskning i sandjord	<p>I Jyndevad har nitratudvaskningen efter tilførsel af 120 kg N ha<sup>-1</sup> i handelsgødning i gennemsnit af de 3 år været 63 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup></p>

år<sup>-1</sup> (47-78 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>). Nitratudvaskningen efter tilførsel af 100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> i svinegylle om foråret var 82 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (68-110 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>). Ved at halvere mængden af tilført svinegylle blev nitratudvaskningen reduceret til i gennemsnit 75 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (68-80 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>). For ugede parceller, der indtil det år, hvor der blev målt udvaskning, er blevet gødet med 100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N i forårsudbragt gylle, var den gennemsnitlige udvaskning 62 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (49-81 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>).

I Jyndevad var den gennemsnitlige nitratudvaskning størst ved efterårsudbringning af gylle og mindst i led med udlæg af rajgræs i vårbyggen.

I led, hvor der omkring 1. december hvert år blev tilført 100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> i svinegylle, blev mængder svarende til det tilførte uorganiske kvælstof udvasket som nitrat i løbet af vinteren eller i den efterfølgende vækstsæson/efterår. I de år, hvor det tilførte kvælstof ikke var udvasket inden vækstsæsonen, var det resterende kvælstof vasket så langt ned i rodzonen, at planterne kun i ringe grad kunne udnytte det.

#### Nitratudvaskning eftersudlæg

Ved udlæg af alm. rajgræs om foråret, hvor der blev tilført 100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> i svinegylle om foråret, var nitratudvaskningen i gennemsnit 47 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Det første år var der kun en meget ringe effekt af udlægget, idet nitratudvaskningen blev reduceret fra 110 i led uden udlæg til 95 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> i det tilsvarende led med udlæg. I de to sidste år var nitratudvaskningen henholdsvis 18 og 28 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Årsagen til den ringe effekt af udlægget det første år var en meget sen høst af vårbyg, hvilket dette år medførte en dårligere

vækst af udlægget end de følgende forsøgsår.

Ud over at understrege betydningen af klima og jordtype viser resultaterne fra Askov og Jyndevad betydningen af N-mineraliseringsprocessen på nitratudvaskningen, idet der i denne undersøgelse ikke er fundet en entydig sammenhæng mellem gødskningsniveau og udvaskning.

## 1. INDLEDNING OG FORMÅL

N-omsætning i og N-tab fra dyrket jords rodzone er et væsentligt element i NPo-undersøgelsene. N-balancer på årsbasis under danske forhold har i det seneste årti været genstand for en del rapporter og udredninger (Aslyng, 1978, Hansen og Kyllingsbæk, 1983).

### N i jord

N-forbindelser i jorden, organiske såvel som uorganiske, omdannes fra en form til en anden ved en række biologiske og kemiske processer. Hastigheden af de processer, hvorved kvælstof omsættes og transportereres, er bestemt af Jordens fysiske og kemiske miljø samt klimaet. For de biologiske omsætninger af kvælstof er især følgende faktorer af betydning: Jordens iltstatus, mængde og type af organisk stof, vandindhold, temperatur og pH. Der er flere processer, der danner og forbruger N i jorden, og de er ofte meget komplicerede at måle under markforhold.

Da de processer, der omdanner N i jorden, er medvirkende til jordens aktuelle nitratindhold, har de tillige stor indflydelse på N-udvaskningen således, at dennes størrelse kan være vanskelig at tolke i forhold til enkelte ydre faktorer (tilført gødnings-N, andre N-tilførsler, f.eks. deposition samt klimaforhold).

En øget viden om N-omsætningsprocesserne kan fås ved forsøg i laboratoriet under kontrollerede forhold.

Formålet med dette projekt har været at kvalificere denitrifikation og N-mineralisering under markforhold ved varierende dyrkningsbedingelser og med varierende dyrkningsforanstaltninger samt at udarbejde en submodel til anvendelse i en operationel rodzonemodel.

Med projektets udvikling (inkludering af udvaskningsmålinger) er målsætningen blevet specificeret og afgrænset således:

Projektets hovedmål	At kvantificere kvælstofomsætning og kvælstoftransport i rodzonen i relation til dyrkningsbetingelser og dyrkningsforanstaltninger med henblik på at øge kvælstofudnyttelsen og reducere kvælstoftab til omgivelserne.
Projektets delmål	<ol style="list-style-type: none"><li>1. At kvantificere denitrifikation, N-mineralisering og N-udvaskning<ul style="list-style-type: none"><li>- på forskellige jordtyper</li><li>- under forskellige klimaforhold</li><li>- ved varierende gødsningsstrategi (typer og mængder)</li></ul></li><li>2. At sammenkoble delundersøgelser for opstilling af N-balancer</li><li>3. At anvende de indsamlede data for kvælstofomsætning og kvælstoftransport til indarbejdelse i submodeller (Vinther, 1990) til en operationel rodzonemodel (DAISY, Hansen et al., 1990).</li></ol>
Projektets omfang	Dette projekt omfatter både markforsøg til bestemmelse af netto N-mineralisering, denitrifikation og N-udvaskning på de samme forsøgslokaliteter, samt laboratorieforsøg under kontrollerede betingelser til brug for opstilling af submodeller for processerne. Der blev tillige gennemført en række langvarige inkubationsforsøg i laboratoriet til bestemmelse af netto N-mineraliseringen med det formål at relatere denne til in-situ målinger i marken. Markmålingerne blev tillige anvendt til at opstille N-balancer for forsøgsarealer gennem perioder af året. Ved markundersøgelserne på de to lokaliteter er N-procesmålinger og N-udvaskning blevet ko-

ordineret. Prøveudtagning og beregningsgrundlag er baseret på en opdeling af året i delperioder afhængig af afgrødens udvikling.

Der blev en gang om året foretaget analyser af total N i de to jorde. Uorganisk N i jorden samt planteoptaget N blev desuden målt i tilknytning til de valgte delperioder i vækstsæsonen. På de to forsøgslokaler var der endvidere installeret automatiske klimastationer.

Denne undersøgelse har især fokuseret på virkningen af gødsningsstrategi på ler- og sandjord samt virkning af en efterafgrøde på vårbyg på sandjord.



## 2. MATERIALER OG METODER

### 2.1 Forsøgsarealer

Beskrivelse af  
forsøgsarealer

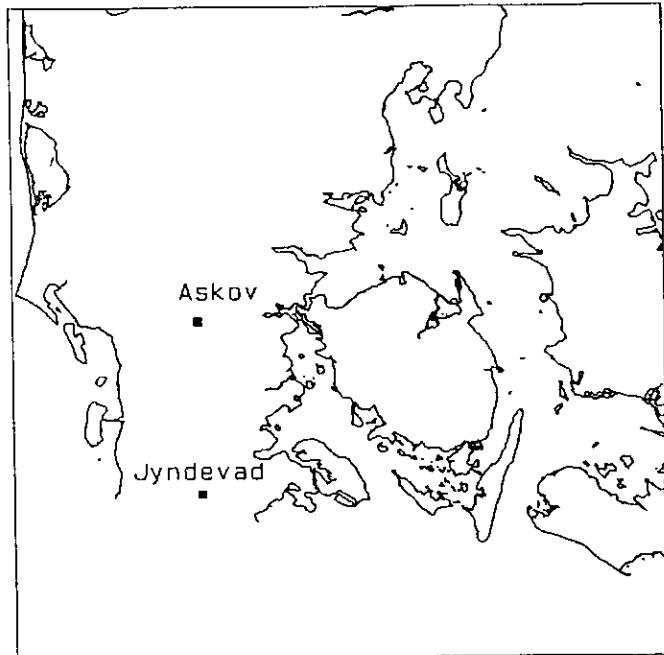
Markforsøgene har været gennemført på 2 lokaliteter (fig. 1), Askov Forsøgsstation (Afd. for Planteernæring og -fysiologi) og Jyndevad Forsøgsstation (Afd. for Kulturteknik). De øverste jordlags væsentligste fysiske og kemiske egenskaber er vist i tabel 1 og 2 (Heidmann, 1989).

Tabel 1. Fysisk og kemisk karakterisering af forsøgsarealet på Askov, sandblandet lerjord (JB5) i jorddybden 0-20 cm.

Tekstur				
ler	silt	grov silt	finsand	grov sand
<2µ	2-20µ	20-63µ	63-200µ	200-2000µ
%	%	%	%	%
10.8	10.8	14.5	25.2	36.4
Vol.vægt	Porositet	pH(H <sub>2</sub> O)	Tot. N	Org. C
g cm <sup>-3</sup>	vol%		%	%
1.58	38.7	5.9	0.12	1.34

Tabel 2. Fysisk og kemisk karakterisering af forsøgsarealet på Jyndevad, grovsandet jord (JB1) i jorddybden 0-20 cm.

Tekstur				
ler	silt	grov silt	finsand	grov sand
<2µ	2-20µ	20-63µ	63-200µ	200-2000µ
%	%	%	%	%
4.4	3.1	2.7	17.3	69.8
Vol.vægt	Porositet	pH(H <sub>2</sub> O)	Tot. N	Org. C
g cm <sup>-3</sup>	vol%		%	%
1.49	43.3	6.4	0.11	1.70



Figur 1. Placering af forsøgslokaliteterne  
på to af Statens Planteavlsforsøgs forsøgssta-  
tioner.

### 2.1.1 Arealernes forhistorie

Forsøgsarealernes  
anvendelse

Askov, sandblandet lerjord. Forsøgsarealet indgik i et eksisterende forsøg som del af et fællesnordisk projekt, dvs. forsøgsbehandlingerne har været anvendt 2 år forud for denne undersøgelse. Der er desuden i de seneste 10 år anvendt husdyrgødning i varierende, moderate mængder på arealet, bl.a. til forsøg med afgasset og alm. gylle.

Jyndevad, grov sandjord. Forsøgene er nyanlagt til projektet, og har ikke tidligere været anvendt til fastliggende forsøg.

### 2.2 Forsøgsplan

Afgrøden er i alle forsøgsled vårbyg
Lerjord (Askov) JB 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1. 0 N</li> <li>• 4. 100 N G Fo</li> <li>• 8. 133 N KAS</li> </ul>
Sandjord (Jyndevad) JB 1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1. 120 N KAS</li> <li>* 2. 50 N G Fo</li> <li>• 3. 100 N G Fo</li> <li>* 4. 100 N G Ef</li> <li>• 5. 100 N G Fo, udlæg</li> <li>• 6. 0 N</li> </ul>
<p>Forkortelser:  KAS = Kalkammonsalpeter, G = svinegylle, Fo = forårs-gødskning, Ef = efterårs-gødskning, udlæg = alm. raj-gras. N-mængder er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. N-mængden i svinegylle er angivet som NH<sub>4</sub>-N.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forsøgsbehandlinger hvor der måltes N-mineralisering og denitrifikation.</li> <li>* Forsøgsbehandlinger, hvor der påbegyndtes N-mineraliseringsmålinger fra 1988.</li> </ul>

Afgrøder

Hovedafgrøden har været vårbyg, der dog i en enkelt behandling på Jyndevad er suppleret med rajgræs som efterafgrøde (led 5, 100 N G Fo, udlæg).

## Forsøgsplan

Markforsøgene blev udlagt som blokforsøg med 4 blokke og 6 behandlinger på Jyndevad, og 2 blokke og 3 behandlinger på Askov.

De angivne mængder af N i forsøgsplanen vil variere lidt mellem de enkelte forsøgsår, specielt da gyllesammensætningen varierer. I resultatafsnittet vil de aktuelle tilførte ammonium-N mængder fremgå af tabellerne.

De aktuelt tilførte N-mængder i  $\text{NH}_4^+$  og tot N i svinegylle er angivet i tabel 1 i appendiks 2. Gyllen blev begge steder overfladeudbragt. I Askov blev gyllen indarbejdet i jorden i løbet af 1-3 timer enten ved harvning eller med en tallerkenplov. I Jyndevad blev gyllen nedbragt ved pløjning inden for  $\frac{1}{2}$ -1 time efter udbringning. Ud fra lufttemperatur og tidsrum fra udbringning til nedbringning i jorden er tabet af tilført ammonium vurderet til at have været 1-4% med undtagelse af Askovforsøget i 1987, hvor tabet er vurderet til 7-15% (Sommer, pers. kommunikation).

I forsøget på Jyndevad blev 0 N leddet hvert år flyttet til parceller, der havde fået tilført gylle ( $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) i det foregående år. 0 N leddet på Askov var uændret siden forsøgets start.

Forsøgsarealet i Jyndevad har været vandet ved ca. 30 mm's underskud.

### 2.3 Delperioder

#### Forsøgsstrategi (prøveudtagning)

Året blev opdelt i 6 delperioder bestemt af tidspunktet for gødningstilførsel og vårbyggens aktuelle udvikling. I disse delperioder blev der udtaget jordprøver i rodzoneprofilerne i 5 dybder på Jyndevad og 6 på Askov, samt fore-

taget prøvehøstninger af afgrøden, procesmålinger og opstilling af N-balancer.

1. Foråret "starter".
2. Tilførsel af husdyrsgødning/såning/tilførsel af handelsgødning.
3. Afsluttende buskning af vårbyg.
4. Skridning.
5. Høst af vårbyg.
6. Efterårstilførsel af husdyrgødning (Jyndevad)/ efterårspløjning (Askov).

#### 2.4 Registrering af klima og jordens vandindhold

Klimaregistrer-  
inger

Air temperaturen i 2 m højde og nedbør i 1,5 m højde blev registreret af automatiske klimastationer på de to lokaliteter. Desuden blev der på selve forsøgsarealet hver time registreret jordtemperatur i 5, 15 og 30 cm's dybde med opsamling på en datalogger. Der har dog været perioder, hvor dataopsamlingen ikke har virket. Derfor blev temperaturen målt manuelt ved prøveudtagninger til denitrifikation. Jordens vandindhold blev bestemt i 8 dybder (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 og 80 cm) på Jyndevad og Askov samt i dybden 90 og 100 cm på Askov ved ugentlige målinger med neutronmoderationsmetoden. Der blev ikke målt i vinterperioden.

#### 2.5 Jordbundskemiske og -fysiske analyser

Nitrat og ammonium blev efter ekstraktion med 2M KCl bestemt med Autoanalyser (Henriksen og Selmer-Olsen, 1970) eller med Flow Injection Analyser (Giné et al., 1980). Øvrige bestemmelser blev udført efter "Fælles arbejdsmetoder

for jordbundsanalyser" (Landbrugsmisteriet, 1985).

## 2.6 Denitrifikation

- Metodik for denitrifikation Denitrifikationstabet på Askov og Jyndevad blev bestemt ved at udtagte uforstyrrede jordprøver med 2 ugers mellemrum på henholdsvis Askov og Jyndevad. PVC-rør (diameter = 3 cm, længde = 30 cm) blev banket 10 cm ned i jorden, løftet forsigtigt op og lukket i bunden med en tætslutende gummidprop. Der blev ialt pr. gang udtaget 6 rør pr. parcel, d.v.s. 24 gentagelser pr. behandling i Jyndevad og 12 gentagelser i Askov. Ved hjemkomsten til laboratoriet blev rørene straks fordelt i gastætte 20 l kar. Rørene blev inkuberet i en atmosfære med 10% acetylen. Volumenforholdet mellem inkuberingskammer og jordmængden var aldrig mindre end 100:1, hvilket sikrede, at O<sub>2</sub> og/eller udviklet N<sub>2</sub>O aldrig nåede en koncentration, der influerede på denitrifikationsraten. Efter 1 døgns inkubation blev rørene taget op, forseglet med et septum og der blev fra hvert rør, med 2 timers mellemrum, 3 gange udtaget en luftprøve, der efter opbevaring i en præ-evakueret Venojekt® ampul, blev analyseret for N<sub>2</sub>O på en gaskromatograf.
- Acetylen-inhiberingsteknik Denitrifikationsmålingerne i mark og laboratorieforsøg blev udført ved hjælp af en modificeret acetyleninhiberingsteknik (Christensen, 1985). Metodikken bygger på acetylens evne til at blokere det sidste trin i denitrifikationsprocessen, reduktionen af N<sub>2</sub>O (lattergas) til N<sub>2</sub>, hvorfor akkumuleringsraten af N<sub>2</sub>O er et mål for denitrifikationsaktiviteten.

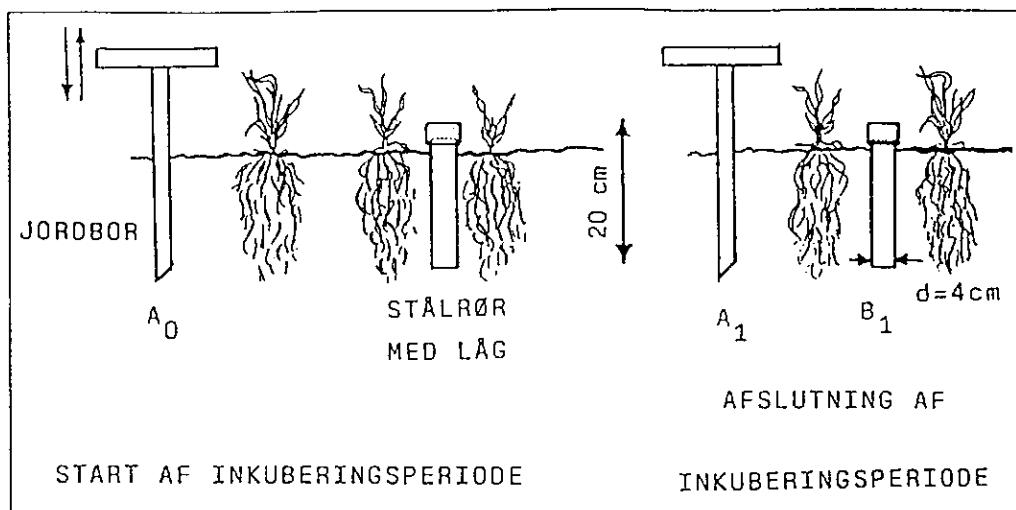
Princip i denitrifikationsmålinger	<p>Ud fra stigningen i <math>N_2O</math> indhold mellem de 3 prøveudtagninger blev denitrifikationsraten beregnet for hvert rør, under hensyntagen til: Bunsen's koefficient for <math>N_2O</math>'s opløselighed i vand (Tiedje, 1982), jordprøvens vægt, vandindhold i jord og rørets volumen.</p> <p>Inkubering ved aktuel marktemperatur blev anvendt fra foråret 1988. Målingerne fra 1987 er korrigeret til aktuel døgn temperatur (15 cm's dybde) ifølge resultater fra undersøgelse i NPo-projekt A3 "Temperatur og denitrifikation" (Vinther, 1990).</p>
Beregning af denitrifikationstab	<p>Tidligere målinger af denitrifikationsrater i landbrugsjord (Maag, 1989) har vist, at målinger foretaget i hver af delperioderne 1, 2-3-4 samt 5 er logaritmisk normalfordelte. For at opnå bedst mulig statistisk sikkerhed på denitrifikationstabet blev målingerne i hver af delperioderne 1, 2-3-4 samt 5 slæt sammen. Der blev foretaget en analyse af de logaritmisk transformerede data. I den transformerede skala blev gennemsnit og konfidensinterval fundet. For at komme tilbage til den oprindelige skala benyttes en modsat rettet transformation. Finney (1941) har angivet en metode, der er statistisk optimal. Denne metode blev også benyttet i flere udenlandske studier (Parkin 1987, Parkin et al. 1985.). Idet tilbagetransformationen foretages, bliver konfidens intervalerne ikke længere symmetriske omkring gennemsnittet.</p>

## 2.7. N-mineralisering

### 2.7.1 Metodik i markforsøg

Markmålinger netto N-mineralisering	Princippet i projektets netto N-mineraliseringsundersøgelser var en <u>in situ</u> måleteknik (Raison et al., 1987). Figur 2 viser
-------------------------------------	--

forløbet i prøveudtagning og analyser. Ved starten af hver periode blev der udtaget jordprøver ( $A_0$ ) og samtidig blev der placeret overdækkede stålrør (diameter = 4 cm, længde = 21 cm) i forsøgsparkellerne i 0-20 cm's dybde). Inkuberingssperioderne var de delperioder, der blev nævnt i afsnit 2.3. Der blev målt ændringer i uorganisk N ( $NH_4^+ + NO_3^-$ ) i dækkede rør og i jordprøver udtaget uden for rørene (jvf. figur 2), når de blev sat ned.



Figur 2. Princip for in situ målinger af netto N-mineralisering.

Metodens anvendelighed i marken

Fra den overdækkede jordprøve antages det, at der ikke sker planteoptagelse eller nedvaskning af kvælstof. Netto N-mineraliseringen for perioden kan derfor sættes lig med det uorganiske kvælstof i de overdækkede rør ( $B_1$ ) minus det uorganiske kvælstof ved periodens start ( $A_0$ ), korrigteret for evt. denitrifikation.

#### 2.7.1.1 Prøveudtagningsprocedure i felten

Statistisk beskrivelse af prøveudtagning til netto N-mineralisering

Fra 1987 til slutningen af 1988 var rørene placeret omtrentlig på en linie i hver parcel. Denne linie blev forskubbet inden for parcellen gennem året. Ulemplen herved var imidlertid, at målingerne af N-mineralisering gennem året blev konfunderet med ændringer i jordegenskaberne inden for parcellen (rumlig variabilitet). Fra december 1988 blev en mere randomiseret udtagning inden for parcellerne valgt. Hver parcel blev opdelt i subparceller à  $0.5 \times 0.5$  m. Det gav for Jyndevad 72 subparceller pr. parcel og for Askov 24 subparceller pr. parcel. I hver prøveperiode blev der tilfældigt valgt 6 af disse subparceller, hvori rør blev placeret således, at der i alt for hver behandling var 24 gentagelser i Jyndevad og 12 gentagelser i Askov.

#### 2.7.2 Metodik i laboratorieforsøg til sammenligning med *in situ* forsøg på Askov jord

Netto N-mineralisering under kontrollerede temperatur- og vandforhold

Ved overgangen mellem de delperioder, der har været benyttet ved markforsøgene, blev der udtaget jordprøver fra parcellerne i 0-20 cm's dybde. Prøverne blev sigtet gennem en 2 mm sige. Inkuberingen gennemførtes i plastposer under aerobe forhold. Vandindholdet i jordprøverne (200 g) blev justeret til 15 vægtprocent vand (80% FC). Inkuberingstid og -temperatur var henholdsvis 13 uger og 20°C. Luftens sammensætning ( $O_2$  og  $CO_2$ ) og vandindholdet i poserne blev kontrolleret hver uge. Ved starten af inkuberingsforsøget og med en uges mellemrum blev der udtaget 4 prøver pr. behandling til bestemmelse af nitrat og ammonium. Netto N-mineralisering blev beregnet som ændring i kon-

centrationen af uorganisk N i de inkuberede prøver. De daglige N-mineraliseringshastigheder blev beregnet fra inkuberingsforsøgene over 13 uger og er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Statistik. Middelværdi og standard error af netto N-mineraliseringen blev beregnet som gennemsnit af målinger i delperioder, samt vækstsæson og efterår/vinterperiode. Til N-balancer blev middelværdi og LSD værdi estimeret på basis af en variansanalyse, hvor der var taget hensyn til de manglende observationer, (SAS Institute, 1989).

## 2.8 N-udvaskning

Princip for N-udvaskningsberegninger

Beregningerne af N-udvaskningen er gennemført på basis af ugentlige koncentrationsmålinger af nitrat i jordvæske, der blev udtaget fra keramiske sugeceller samt vandbalanceberegninger på basis af målinger af vandindhold ved neutronmoderationsmetoden, nedbør og potentiel evapotranspiration ( $E_p$ ) (Simmelsgaard, 1985). Afstrømning i vinterhalvåret er beregnet ifølge Hansen og Aslyng (1984). Sugecellerne var i Askov placeret i 100 cm's dybde og i Jyndevad i 80 cm's dybde, hvilket regnes for at være bunden af rodzonen på de to lokaliteter. Der var anbragt 2 sugeceller i hver parcel, dvs. 4 sugeceller pr. behandling i Askov og 8 sugeceller pr. behandling i Jyndevad.

## 2.9 Planteoptagelse

Prøvehøstning af overjordisk plantemateriale (AGB) blev foretaget på 0.5 m<sup>2</sup> i hver parcel på

følgende 5 tidspunkter: 14 dage efter spiring, ved afsluttende buskning, skridning, gulmodenhed og ved høst.

Prøverne blev analyseret for tørstof og total N.

#### 2.10. Metodik i modelforsøg

Principper for  
modelforsøg i  
laboratoriet

Mineralisering,  $N_2O$  dannelse og denitrifikation ( $N_2O + N_2$ ) blev bestemt ved laboratorieforsøg med Askov jord, under kontrollerede temperatur- og fugtighedsforhold og med tilsætning af svinegylle (20 g  $kg^{-1}$  jord), kvæggylle (20 g  $kg^{-1}$  jord), rajgræs (1.6 g tørstof  $kg^{-1}$  jord) eller halm (0.4 g tørstof  $kg^{-1}$  jord). Indholdet af total N i svine- og kvæggyllen var henholdsvis 4.6 kg N  $m^{-3}$  og 4.9 kg N  $m^{-3}$ , mens indholdet af tørstof var 7%. Analyse af det tilsatte rajgræs og halm tørstof viste, at indholdet af total C var henholdsvis 46% og 47%, mens indholdet af total N var henholdsvis 1.7% og 1.1%. Ubehandlet jord var medtaget som reference. Jorden blev tørret til 9 vægtprocent vand og sigtet (2 mm) og blev derefter forinkuberet ved 5°C i 2 uger. Før forsøgets start blev vandindholdet justeret til 13.5; 18.0 og 22.5 vægtprocent vand, hvilket svarede til henholdsvis 75, 100 og 125% FC. 100% FC blev bestemt ud fra vandretentionskurven ved  $pF=2$  (Schjønning, 1985). Derefter blev jorden tilsat de forskellige organiske materialer og pakket til naturlig volumenvægt i rør (Petersen og Nielsen, 1988) og placeret i lufttætte inkubationsbeholdere (henkogningsglas). Rørene blev inkuberet aerobt ved 5, 10, 20°C. Glassene blev henholdsvis inkuberet med og uden acetylen (6%); glassene med acetylen blev benyttet til bestemmelse af produktion af  $N_2O + N_2$ , mens

glassene uden tilslætning af acetylen blev benyttet til bestemmelse af N<sub>2</sub>O-dannelse. På forskellige tidspunkter blev den inkuberede jord analyseret for uorganisk N og raterne for udviklingen af CO<sub>2</sub>-C og N<sub>2</sub>O-N blev bestemt. Raten for N-mineralisering blev bestemt som gennemsnitlig daglig rate fra den dag inkuberingen påbegyndtes. Raten af C-mineralisering blev bestemt som gennemsnitlig daglig rate for hver måleperiode. Raten for dannelse af N<sub>2</sub>O og denitrifikation blev for hver måling beregnet som en gennemsnitlig rate ( $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{ time}^{-1}$ ). Raterne blev beregnet ud fra 3 prøvetagninger fra glas med og uden acetylen. Det i afsnit 2.6 nævnte princip blev benyttet.

### 3. RESULTATER

#### 3.1 Temperatur og nedbør

Månedlige gennemsnit af temperatur og nedbør igennem forsøgsperioden er angivet i henholdsvis tabel 3 og 4 for Askov og for Jyndevad.

Der skal kun omtales nogle generelle tendenser i forhold til "normalværdier", som dog ikke er medtaget i tabellerne. Selv om klimadata hele 1987 er medtaget i tabellerne, er procesmålingerne først startet sommeren 1987.

Nedbørsforhold	Fra sommeren 1987 til sommeren 1988 samt i foråret 1989 har der været et meget stort nedbørsoverskud. Forsommeren og vækstsæsonen 1989 var derimod ekstremt tørre. Der har iøvrigt kun i nogle få måneder været væsentlig forskel på nedbøren på de to lokaliteter, nemlig i august 88 og august 89.
Temperatur-forhold	Sommeren 1987 var noget koldere end normalt, mens det sene efterår og vinteren 87-88 var betydelig varmere end normalt. Gennemsnitstemperaturen i de tre vintre i forsøgsperioden var generelt over frysepunktet. Der har ikke været de store forskelle på gennemsnitstemperaturen på de to lokaliteter.

Tabel 3. Månedlige gennemsnit af temperatur og nedbør (1.5 m's højde), Askov (1987-1990).

Måned	1987		1988		1989		1990	
	Temp.	Nedbør	Temp.	Nedbør	Temp.	Nedbør	Temp.	Nedbør
Januar	-4.6	32	3.5	130	4.4	37	4.0	107
Februar	-0.6	32	2.3	108	4.3	58	5.4	123
Marts	-1.7	49	2.0	119	5.5	114	6.0	47
April	6.9	26	5.8	23	5.7	60		
Maj	9.5	44	12.0	55	11.4	13		
Juni	11.0	117	14.7	55	14.6	35		
Juli	15.0	49	15.3	159	16.0	45		
August	14.1	111	14.6	122	14.8	36		
September	12.1	122	12.8	117	13.5	39		
Oktober	9.1	100	8.4	102	10.1	99		
November	5.7	105	4.0	61	3.8	32		
December	2.7	67	3.9	76	2.7	62		

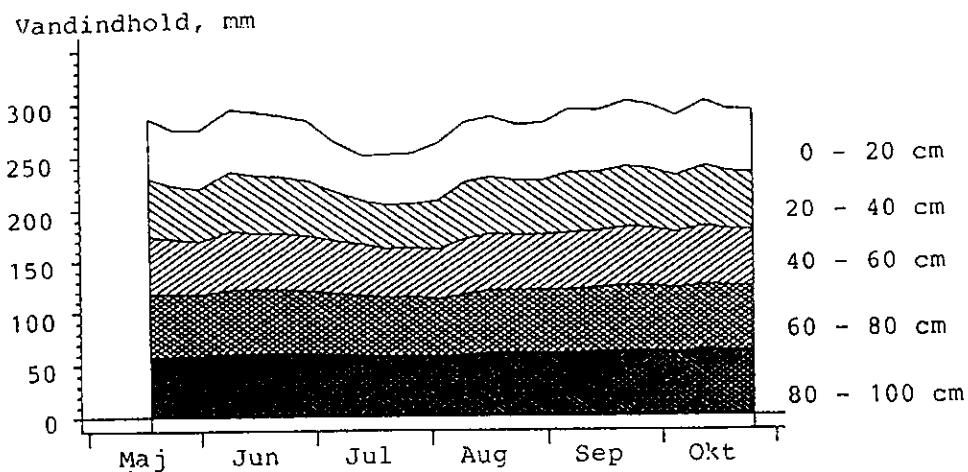
Tabel 4. Månedlige gennemsnit af temperatur og nedbør (1.5 m's højde), Jyndevad (1987-1990).

Måned	1987		1988		1989		1990	
	Temp.	Nedbør	Temp.	Nedbør	Temp.	Nedbør	Temp.	Nedbør
Januar	-3.8	39	3.8	148	4.5	23	3.7	85
Februar	-0.2	30	2.6	120	4.4	55	5.7	92
Marts	-0.6	54	2.4	114	6.1	93	6.3	45
April	7.4	23	6.0	20	6.0	58		
Maj	8.9	66	12.0	53	11.7	13		
Juni	11.7	125	14.8	67	14.6	55		
Juli	15.0	72	15.7	155	16.2	67		
August	14.2	93	14.9	79	15.1	68		
September	12.3	110	12.9	125	14.0	31		
Oktober	9.3	96	8.8	84	10.3	104		
November	5.5	119	4.2	55	3.5	25		
December	2.4	63	4.3	78	2.7	76		

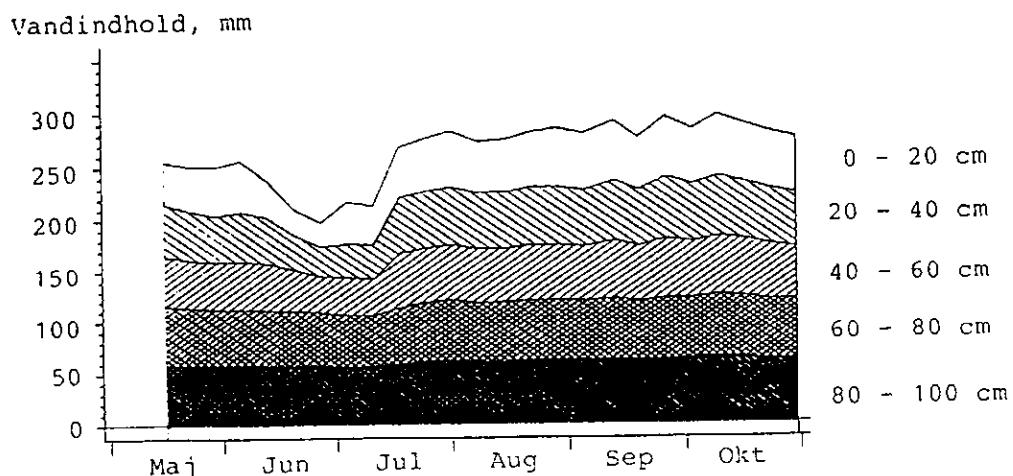
### 3.2. Jordens vandindhold

variationer i  
jordens vand-  
indhold

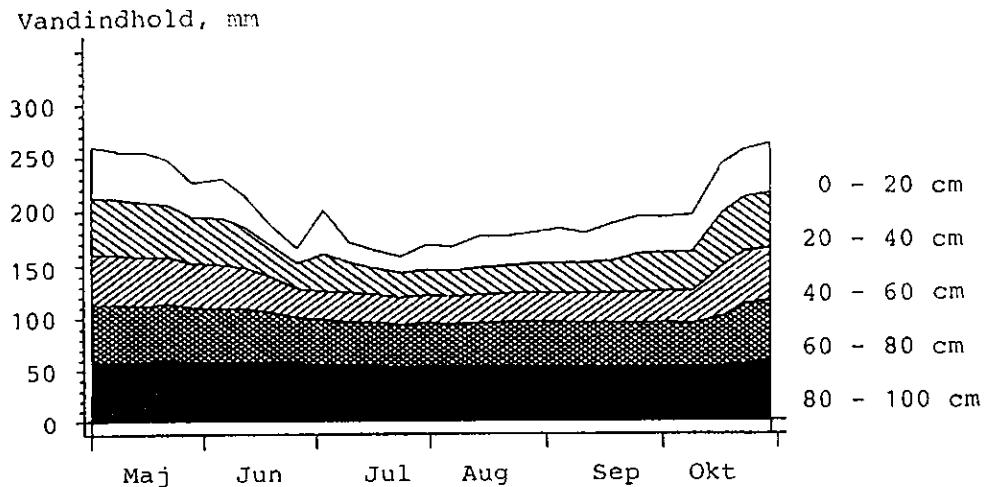
I Fig. 3-8 er vist vandindholdet for 5 dybde-  
intervaller i rodzoneren for de to lokalite-  
ter gennem måleårene.



Figur 3. Vandindhold i rodzoneprofilen, Askov  
1987.



Figur 4. Vandindhold i rodzoneprofilen, Askov  
1988.

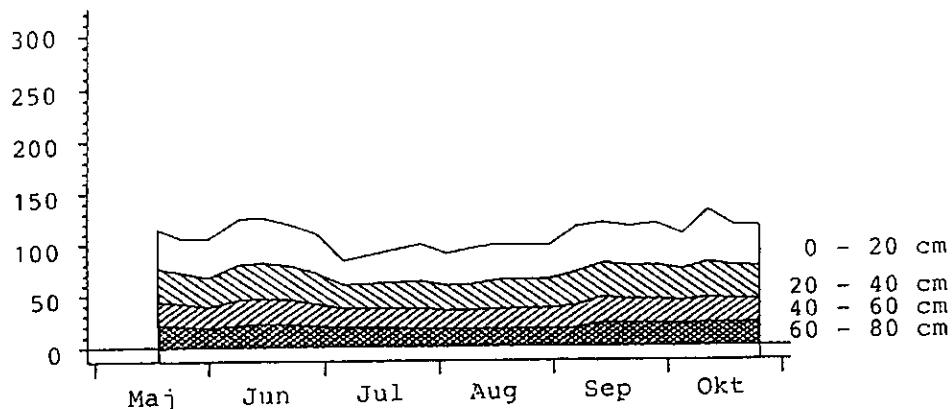


Figur 5. Vandindhold i rodzoneprofilen, Askov 1989.

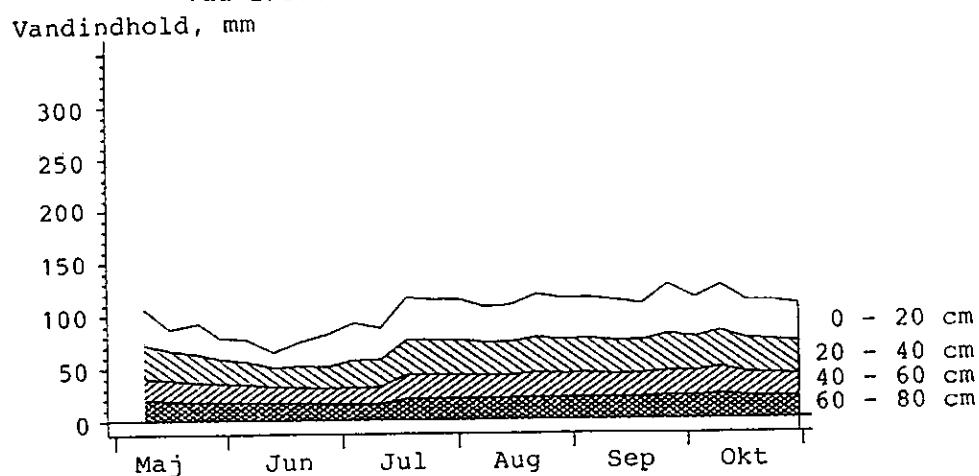
De viste figurer repræsenterer alle handelsgødede led (133 KAS, Askov og 120 KAS, Jyndevad).

Resultaterne i disse figurer illustrerer de beskrivelser af nedbørsforholdene, som er angivet i afsnittet om klimaregistreringer. Dette kommer især til udtryk i figurerne fra Askov: Et næsten konstant højt indhold af vand, også gennem vækstsæsonen i 1987 (Fig. 3), tillige et højt indhold i 1988, bortset fra en periode i slutningen af juni og starten af juli (Fig. 4). I 1989 ser billedet helt anderledes ud (Fig. 5), da hele perioden fra juli og frem til oktober viser et vandindhold, der er væsentligt lavere end de to foregående år.

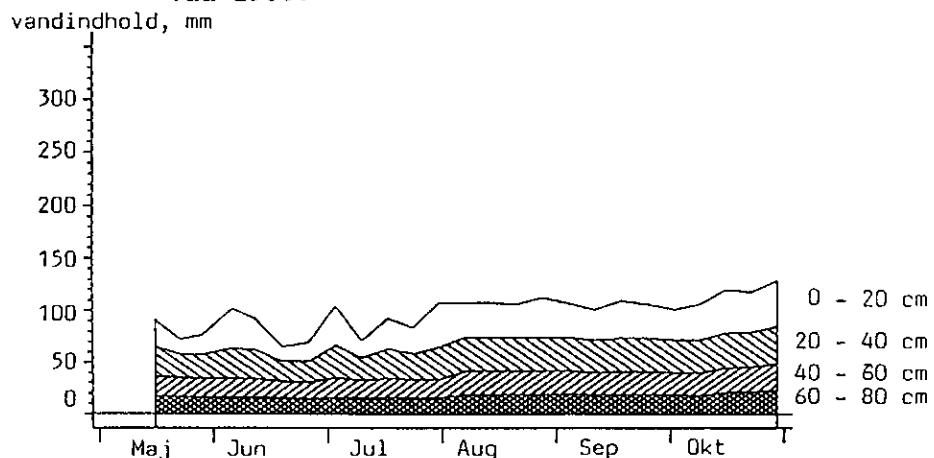
For Jyndevad ses, at vandindholdet generelt ligger på et helt andet niveau end for Askov (under halvdelen) (Fig. 6, 7 og 8), på grund af de forskellige jordtyper (grovsandet jord i Jyndevad).



Figur 6. Vandindhold i rodzoneprofilen, Jyndevad 1987.



Figur 7. Vandindhold i rodzoneprofilen, Jyndevad 1988.



Figur 8. Vandindhold i rodzoneprofilen, Jyndevad 1989.

### 3.3 Uorganisk N i jord

Variationer i  
uorg. N i 0-20  
cm's dybde

Både i Askov (tabel 5) og i Jyndevad (tabel 6)  
var der meget høje værdier for uorg. N i vækst-  
sæsonen 1989.

Tabel 5. Uorganisk N ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ) i jordlaget  
0-20 cm i Askov gennem forsøgsperioden. Tallene  
er angivet i kg N  $\text{ha}^{-1}$ .

Dato	100 N		133 N	
	D N	G Fo	KAS	LSD
<b>1987</b>				
25.AUG.	13	15	14	ns
15.SEP.	7	9	6	ns
7.DEC.	8	12	10	ns
<b>1988</b>				
30.MAR.	14	14	13	ns
21.APR.	20	68	110	ns
30.MAJ.	12	24	58	20
3.AUG.	8	11	11	1
22.AUG.	9	11	13	ns
7.DEC.	9	9	9	ns
<b>1989</b>				
13.MAR.	19	17	12	ns
6.JUN.	13	50	94	36
28.JUL.	8	7	20	3
17.AUG.	13	22	32	ns
28.NOV.	11	12	9	ns

ns = ikke signifikant (95%)

Prøven den 21. april 1988 fra Askov er taget  
lige efter udbringning af gylle og er derfor  
behæftet med stor usikkerhed.

Tabel 6. Uorganisk N ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) i jordlaget 0-20 cm i Jyndevad gennem forsøgsperioden. Talslene er angivet i kg N  $\text{ha}^{-1}$ .

Dato	100 N							
	50 N O N	100 N G Fo	100 N G Ef	G Ef Udtag	120 N KAS	LSD		
<b>1987</b>								
1.JUN.	6	16	35	nd	27	31	17	
17.AUG.	7	n.d.	7	nd	8	5	ns	
21.SEP.	8	9	11	nd	11	8	ns	
26.NOV.	6	6	7	7	7	6	ns	
<b>1988</b>								
24.MAR.	6	6	7	8	6	6	2	
24.MAJ	9	9	18	10	24	40	6	
1.AUG.	10	10	10	10	8	9	ns	
18.AUG.	17	21	20	22	17	15	4	
6.DEC.	9	9	10	12	9	8	3	
<b>1989</b>								
28.MAR.	7	7	8	11	6	7	2	
30.MAJ	14	10	19	13	56	30	18	
25.JUL.	11	10	9	10	7	7	2	
16.AUG.	17	14	16	16	15	12	ns	
4.DEC.	12	10	10	10	9	8	2	

ns = ikke signifikant

nd = ikke målt

Der er målt uorganisk N i hele rodzoneprofilen (6 dybdeintervaller). Disse værdier indgår i N-regnskaberne i appendix 1.

### 3.4 Denitrifikation

#### 3.4.1 Resultater af markforsøg

##### Lerjord 1987

I 1987, hvor forsøget blev igangsat, startede denitrifikationsmålingerne midt i vækstsæsonen. I perioden fra 10.juni til 24. august var tabet henholdsvis 0.01, 4 og 2 kg N  $\text{ha}^{-1}$  i leddene ON, gyllegødet og handelsgødet. I den efterfølgende periode (25.august-15.september) faldt denitrifikationstabten fra de gødede led til under 1 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (tabel 7). Der var ikke statistisk sikre forskelle imellem behandlingerne i 1987-88 bortset fra det handelsgødede led, der i vinperioden gav et tab på 5 kg N  $\text{ha}^{-1}$ .

Tabel 7. Denitrifikationstab i Askov 1987/88 i delperioder ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

Askov 1987 - 1988	0 N	96 N G Fo	133 N KAS	n*
10.JUN-24.AUG	0.01 (0.005-0.03)	4 (2-8)	2 (1-4)	10
25.AUG-15.SEP	0.09 (0.05-0.17)	0.06 (0.01-0.11)	0.3 (0.2-0.6)	20
16.SEP-30.MAR	0.5 (0.3-1)	0.7 (0.4-1.4)	5 (3-10)	16
10.JUN-30.MAR	0.6 (0.2-2.2)	4.5 (1.3-15)	7.4 (2-26)	46

Tallene i parantes er 95% konfidens interval

n\*: Antal prøver udtaget pr. behandling

#### Lerjord 1988

I 1988 sås de samme tendenser som i 1987 (tabel 8), idet der var mindre tab i vækstsæsonen end i perioderne før og efter. Dog lå niveauet generelt lidt højere end i 1987.

Tabel 8. Denitrifikationstab i Askov 1988 i delperioder ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

Askov 1988	0 N	105 N G Fo	133 N KAS	n*
01.APR-30.MAJ	4 (1-15)	1 (0-6)	3 (1-9)	8
31.MAJ- 4.AUG	2 (1-4)	2 (1-3)	1 (0.5-3)	20
5.AUG-23.DEC	3 1-6	3 (1-7)	2 (1-5)	20
01.APR-23.DEC	9 (2-48)	6 (1-31)	6 (1-34)	48

Tallene i parantes er 95 % konfidens interval

n\*: Antal prøver udtaget pr. behandling

#### Lerjord 1989

I det handelsgødede led fandt der i foråret 1989 et større tab sted (tabel 9). I perioden 15. marts - 30. maj blev der denitrificeret 30  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Der blev i denne periode fundet signifikante forskelle imellem alle 3 led. I de 2 efterfølgende perioder, 31. maj til 26. juni og 27. juni til 10. august, var denitrifikationen lille ( $0.02-0.2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ periode}^{-1}$ ) og uden sikre forskelle. I den næste periode (11. august - 4.december) steg denitrifikationen, og

det største tab ( $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ periode}^{-1}$ ) blev igen fundet i det handelsgødede led.

Tabel 9. Denitrifikationstab i Askov 1989 i delperioder ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

Askov 1989	0 N	105 N G Fo	133 N KAS	n*
15.MAR-30.MAJ	1 (0.5-1.5)	4 (2-6)	30 (20-40)	68
31.MAJ-26.JUN	0.02 (0.01-0.03)	0.02 (0.01-0.04)	0.02 (0.01-0.04)	24
27.JUN-10.AUG	0.1 (0.06-0.16)	0.2 (0.1-0.3)	0.13 (0.08-0.2)	60
11.AUG-4.DEC	1 (0.5-5)	2 (0.5-8)	5 (1-20)	6
15.MAR-4.DEC	2 (1-10)	6 (1-30)	35 (20-80)	158

Tallene i parantes er 95 % konfidens interval

n\*: Antal prøver udtaget pr. behandling

### Sandjord

På den grove sandjordslokalitet i Jyndevad har denitrifikationen efter 3 års målinger vist sig at være forsvindende lille. Resultatet for 1988, opdelt i delperioder er vist i tabel 10. Denitrifikationen var i alle forsøgsår mindre end  $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Det største denitrifikationstab ( $0.32 \text{ kg N}$ ) blev fundet i efterårs/-vinterperioden i ledet med efterårsudbragt gylle. Tabet var signifikant større end tabet i den foregående periode ( $0.06 \text{ kg N}$ ).

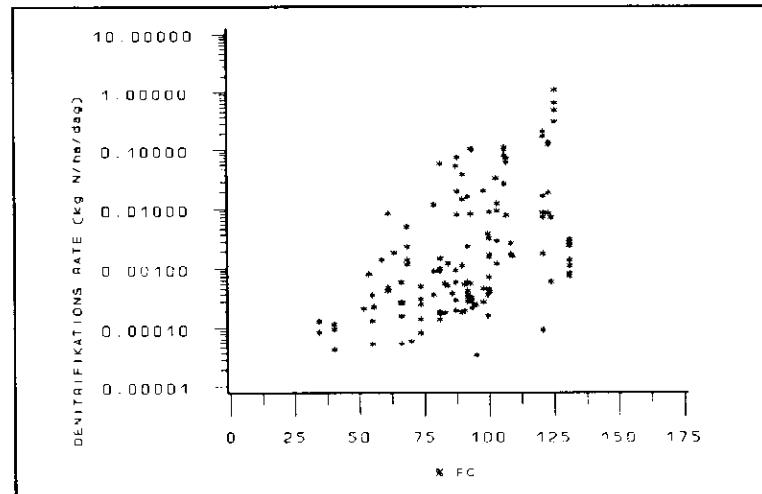
Tabel 10. Denitrifikationstab i Jyndevad 1988 i delperioder ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

1989	0 N	93 kg N G Fo	101 kg N G Ef	125 kg N KAS	n*
24.MAR-24.MAJ	0.02 (0-0.03)	0.02 (0-0.3)	0.12 (0-0.12)	0.11 (0-0.19)	16
25.MAJ-18.AUG	0.1 (0-0.11)	0.11 (0-0.14)	0.06 (0-0.07)	0.05 (0-0.06)	24
19.AUG-28.MAR	0.29 (0-0.32)	0.16 (0-0.18)	0.32 (0.1-0.38)	0.08 (0-0.1)	24

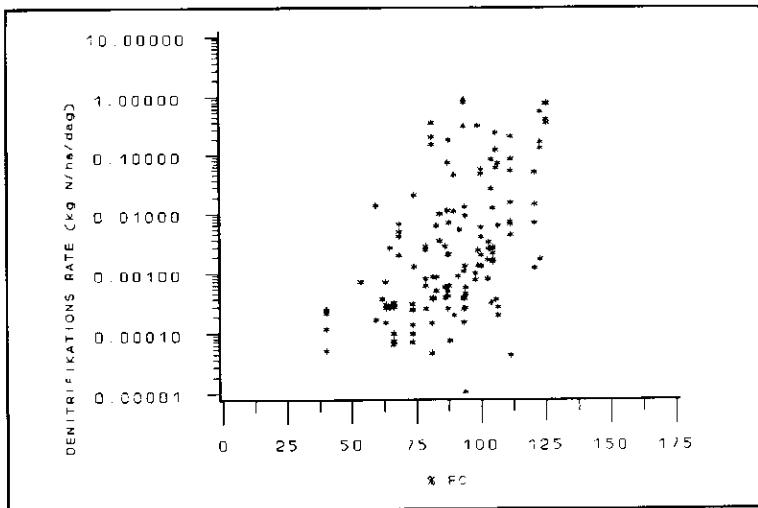
Tallene i parantes er 95% konfidens interval

Denitrifikation  
og vandindhold

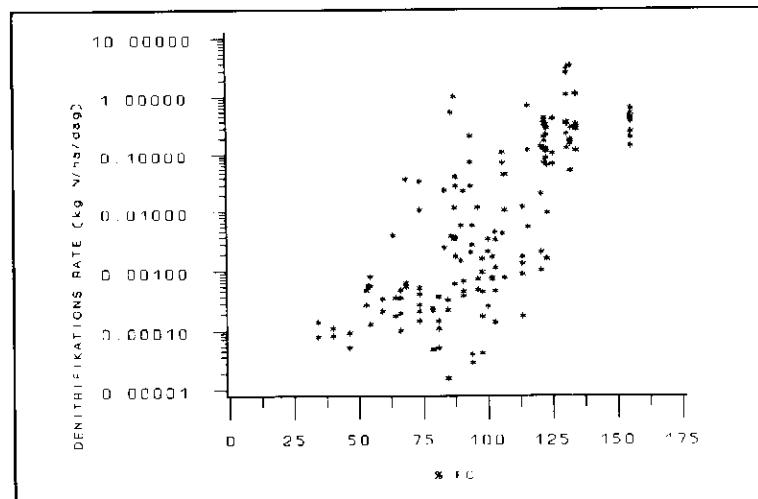
Denitrifikationshastigheden i Askov jorden udviste en tydelig sammenhæng med jordens vandindhold. I ugødet jord (Figur 9) var de største tab ( $0.5 - 1.2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ ) fra jord med et vandindhold omkring 125% FC. Derimod udviste gyllegødet jord (Figur 10) al-lerede tilsvarende rater ved et vandindhold over 90% FC. Denitrifikationsraten i handelsgødet jord havde et tydeligt maximum ved 125% FC (Figur 11), hvor enkelte rør havde rater på  $1 - 3.5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ . Sådanne rater fra enkelte rør bidrager dog meget lidt til det samlede tab.



Figur 9. Effekt af jordens vandindhold (% FC) på denitrifikationsraten i samtlige jordprøver ( $n=206$ ) udtaget 1988-1989 fra det ugødede led i Askov.



**Figur 10.** Effekt af jordens vandindhold (%FC) på denitrifikationsraten i samtlige jordprøver ( $n=206$ ) udtaget 1988-1989 i det gyllegødede led i Askov.



**Figur 11.** Effekt af jordens vandindhold (%FC) på denitrifikationsraten i samtlige jordprøver ( $n=206$ ) udtaget i 1988-1989 i det handelsgødede led i Askov.

### 3.4.1.1 Supplerende undersøgelser

Potentiel denitrifikation	De lave denitrifikationsværdier på Askov gennem forsøgsperioden bekræftes af målinger i samme tidsrum på Ødum Forsøgsstation i et andet projekt: Kulturtekniske foranstaltningers indvirken på kvælstofomsætning og kvælstoftab. På disse prøver blev der tillige i laboratoriet foretaget målinger af denitrifikation ved vandindhold over markkapacitet. Aktiviteten steg herved 10-100 gange, når vandindholdet kom over 125% FC, afhængig af parcellens behandling (F. P. Vinther, pers. kommunikation).
Specielle denitrifikationsundersøgelser	Med baggrund i de meget små denitrifikationstab på Jyndevad blev der i en 14 dages periode omkring tidspunktet for spredning af gylle i foråret 1989 gennemført daglige målinger af denitrifikation med et udvidet antal gentagelser ( $n = 24$ pr. parcel). Resultaterne viste ingen nævneværdig aktivitet efter gødskning (data ikke vist).

### 3.5 N-mineralisering

#### 3.5.1 Markforsøg

N-mineralisering i markforsøg	Resultaterne af netto N-mineralisering målt <u>in situ</u> er angivet såvel for delperioder gennem året samt som summerede værdier for vækstsæsonen og for efterår/vinter-perioden. Det gælder generelt for alle målinger, som blev foretaget kort efter gødskning, at de er præget af stor usikkerhed, muligvis p.g.a. vanskeligheden ved en hel jævn fordeling af gødningen samt usikkerhed ved prøveudtagning. Dette giver en ekstra usikkerhed oven i den rumlige variabilitet i jorden.
-------------------------------	--

Tabel 11. Netto N-mineralisering in situ i Askov i delperioder, forår 1987 til forår 1990, samt opsummeret for vækstsæson og efterår/vinter. Værdierne er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> ± s.e.

ASKOV 1987-1988	0 N	133 N KAS	96 N G Fo
05.MAJ-09.JUN	nd	nd	nd
10.JUN-24.AUG	nd	nd	nd
25.AUG-15.SEP	22±4	18±2	43±19
16.SEP-15.DEC	24±3	26±1	31±4
16.DEC-30.MAR	12±1	12±2	6±2
VÆKSTSÆSON EFTERÅR-VINTER	nd	nd	nd
	36±3	38±2	37±4

nd = ikke bestemt

ASKOV 1988-1989	0 N	133 N KAS	95 N G Fo
21.APR-30.MAJ	6±4	129±39	56±50
31.MAJ-04.AUG	17±4	10±35	38±12
22.AUG-29.NOV	21±2	13±4	31±5
23.DEC-14.MAR	19±4	19±2	54±24
VÆKSTSÆSON EFTERÅR-VINTER	23±4	139±39	94±51
	40±4	32±4	85±25

63 171 179

ASKOV 1989-1990	0 N	133 N KAS	105 N G Fo
28.APR-30.MAJ	1±4	-90±41	1±39
01.JUN-26.JUN	9±6	-105±36	-35±19
27.JUN-10.AUG	20±3	nd	nd
17.AUG-21.NOV	25±4	55±18	17±3
04.DEC-29.MAR	21±5	24±5	16±2
VÆKSTSÆSON EFTERÅR-VINTER	30±8	nd	nd
	46±6	79±19	33±4

nd = ikke bestemt 76

Netto N-mineralisering på  
lerjord

N-mineraliseringen i 0 N ledet på Askov var gns.  $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  (tabel 11) i alle forsøgsår og med stabil mineraliseringsrate ( $0.2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ ) gennem året (fig. 12).

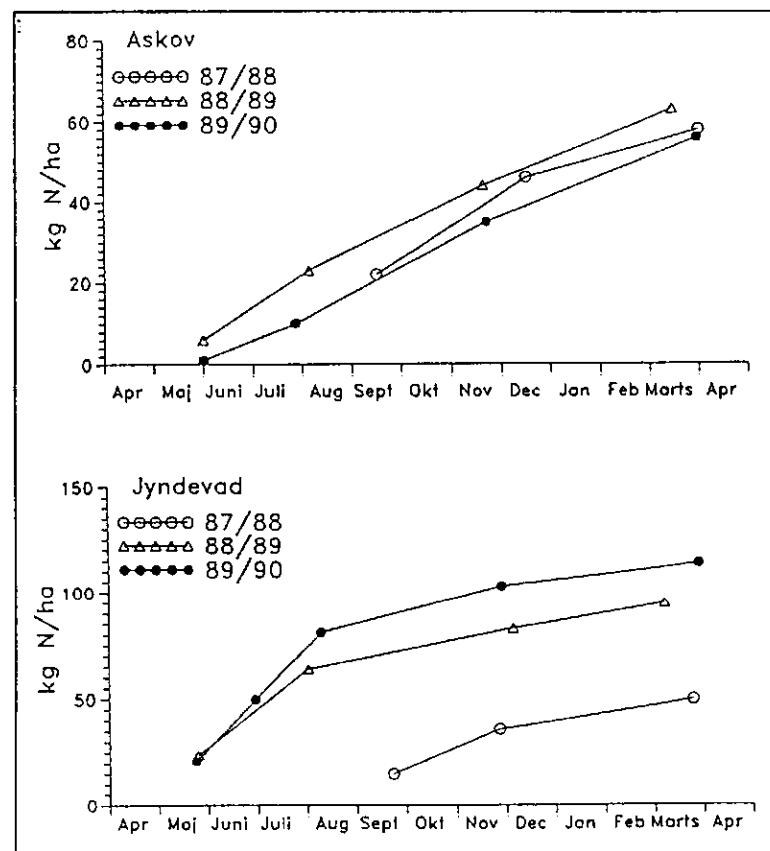


Fig 12. Akkumuleret N-mineralisering in situ på Askov og Jyndevad i ugødede led (0N) i de 3 forsøgsår.

De gylle- og handelsgødede led viser en meget forskellig netto N-mineralisering i vækstsæsonen (apr.-aug.) i de to år: Høj positiv netto-N-mineralisering i 1988 og stor negativ netto-

N-mineralisering i 1989, dvs. immobilisering.

Tabel 12. Netto N-mineralisering *in situ* i Jyndevad i delperioden, forår 1987 til forår 1990, samt opsummeret for vækstsæson og efterår/vinter. Værdierne er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> ± s.e.

JYNDDEVAD 1987-1988	0 N KAS	123 N G Fo	110 N G Fo	110 N udlæg
30.APR-01.JUN	nd	nd	-21±28	nd
02.JUN-17.AUG	nd	nd	-18±10	nd
18.AUG-22.SEP	15±1	19±2	25±2	24±2
23.SEP-26.NOV	21±2	16±1	23±3	15±3
27.NOV-24.MAR	14±1	15±1	20±1	20±4
VÆKSTSÆSON EFTERÅR-VINTER	nd 35±2	nd 31±1	-14±30 43±3	nd 35±5

nd = ikke bestemt

JYNDDEVAD 1988-1989	0 N KAS	125 N G Fo	93 N G Fo	93 N G Fo	47 N G Fo	101 N G Ef
12.APR-24.MAJ	24±3	nd	10±39	21±35	37±32	18±3
25.MAJ-01.AUG	40±4	33±17	27±4	25±5	44±4	42±6
14.AUG-05.DEC	19±6	20±3	38±13	36±11	24±9	25±4
06.DEC-07.MAR	12±3	18±4	nd	15±1	13±2	-40±21
VÆKSTSÆSON EFTERÅR-VINTER	64±5 31±7	nd 38±5	37±39 nd	46±35 51±11	81±32 37±9	60±7 -15±21

nd = ikke bestemt

JYNDDEVAD 1989-1990	0 N KAS	119 N G Fo	108 N G Fo	108 N G Fo	54 N G Fo	96 N G Ef
25.APR-23.MAJ	21±3	3±15	36±44	-1±20	-3±18	19±3
29.MAJ-29.JUN	29±2	22±6	42±6	15±10	27±3	24±2
30.JUN-09.AUG	31±3	24±2	11±3	28±3	27±4	26±1
23.AUG-28.NOV	22±3	22±2	33±5	27±4	17±3	22±3
06.DEC-28.MAR	11±1	11±2	15±3	14±2	12±3	-1±4
VÆKSTSÆSON EFTERÅR-VINTER	81±5 33±3	49±16 33±2	89±45 48±6	42±23 41±4	51±19 29±3	69±4 21±5

Netto N-mineralisering på sandjord

For Jyndevad (tabel 12 og fig. 12) var der ret høj N-mineralisering i 0 N-leddet i både 88/89 og 89/90 på henholdsvis 95 og 114 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Dette skyldes at 0 N leddene på Jyndevad skønt ikke behandlet med N i de pågældende år har været tilført N i det foregående forår (100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N i svinegylle) (jvf. Askov). N-

mineraliseringen afspejler således her efter-virkning af gylle.

I leddene behandlet med svinegylle om foråret og om efteråret blev der fundet en N-immobilisering (tabel 12) umiddelbart efter udbringning.

Imidlertid syntes immobiliseringen kun at være midlertidig, idet der efter kort tid igen blev målt mineralisering.

### 3.5.2 Hastighed af N-mineralisering på Askov jord i mark- og laboratorieforsøg

N-mineralisering  
ved konstant  
temperatur og  
fugtighed

N-mineraliseringen var for de ugødede led (laboratoriemålinger)  $0.7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  i jorden, der blev udtaget i begyndelsen af vækstsæsonen (tabel 13). I jord, der var udtaget efter høst og om vinteren var N-mineraliseringen henholdsvis  $0.9$  og  $0.6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ .

Tabel 13. N-mineraliseringshastigheder ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ ) ved konstant fugtighed (15 vægtpct. vand) og temperatur ( $20^\circ\text{C}$ ). Laboratorieforsøg med jordprøver udtaget ved start af delperioder i Askov i 1988/89. Gennemsnit  $\pm$  s.e. beregnet over 13 uger.

Forsøgs-behandling	Tidspunkt for prøveudtagning		
	Vækstsæson Apr. 88	Efter høst Aug. 88	Vinter Jan. 89
0 N	$0.7 \pm 0.1$	$0.9 \pm 0.1$	$0.6 \pm 0.2$
95 kg N ha <sup>-1</sup> svinegylle	$1.1 \pm 0.1$	$0.9 \pm 0.1$	$0.9 \pm 0.1$
133 kg N ha <sup>-1</sup> KAS	$1.1 \pm 0.1$	$0.8 \pm 0.02$	$0.8 \pm 0.1$

I både uorganisk og organisk gødede parceller var N-mineraliseringen i jordprøverne udtaget tidligt om foråret  $1.1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ , mens den ved de andre prøveudtagningstidspunkter var på

0.8-0.9 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> for alle de gødede led  
(tabel 13).

N-mineraliserings-  
hastigheder under  
markforhold I de ugødede parceller var netto N-minerali-  
seringen (målt in situ) 0.1 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> i  
begyndelsen af vækstsæsonen og 0.3 og 0.2 kg N  
ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> i de følgende perioder (tabel 14). I  
de handelsgødede led steg N-mineraliseringen i  
foråret efter gødningstilførsel (3.2 kg N ha<sup>-1</sup>  
dag<sup>-1</sup>) og faldt derefter til 0.1-0.2 kg N ha<sup>-1</sup>  
dag<sup>-1</sup> i de følgende perioder. I de gyllebehand-  
lede led steg N-mineraliseringshastigheden til  
1,4 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup> i perioden lige efter gyl-  
leudbringning, mens mineraliseringshastigheden  
efter høst og i efterårs-vinter perioden var  
henholdsvis 0.3 og 0.7 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>.

Tabel 14. N-mineraliseringshastigheder (kg N  
ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>) med in-situ metoden i Askov i de  
angivne perioder. Gennemsnit ± s.e.

Forsøgs- behandling	Delperioder 1988-89			
	Vækstsæson Apr-maj Maj-aug	Efterår - vinter Aug-nov Dec-mar		
0 N	0.1±0.1	0.3±0.1	0.2±0.02	0.2±0.1
95 kg N ha <sup>-1</sup> svinegylle	1.4±1.2	0.6±0.2	0.3±0.05	0.7±0.3
133 kg N ha <sup>-1</sup> KAS	3.2±1.0	0.1±0.5	0.1±0.04	0.2±0.02

### 3.6 Nitratudvaskning

#### 3.6.1 Nitratkoncentrationer

For Askov 1987/88 og 1988/89 er målingerne i det vand, der afstrømmer fra rodzonen, vist i fig. 13. Tilsvarende er målingerne for Jyndevad 1987-88 og 1988-89 vist i fig. 14.

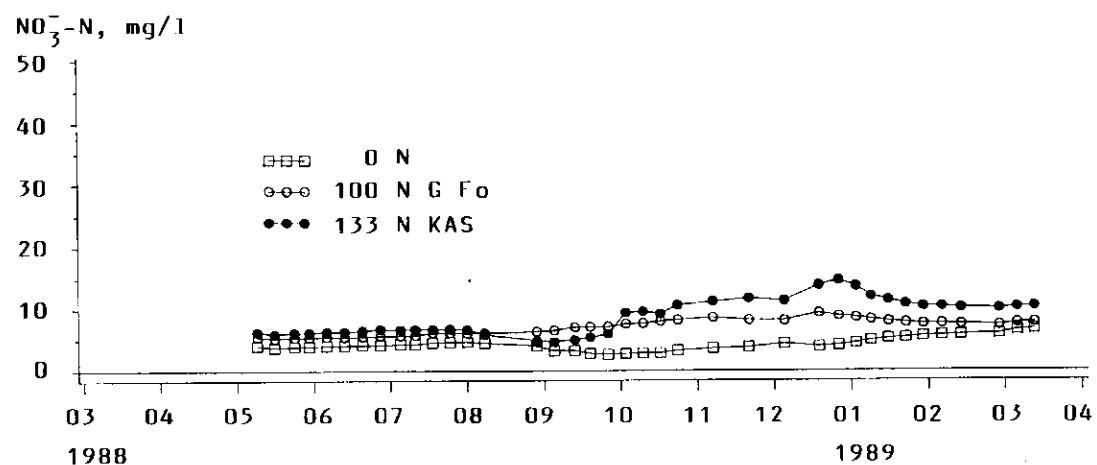
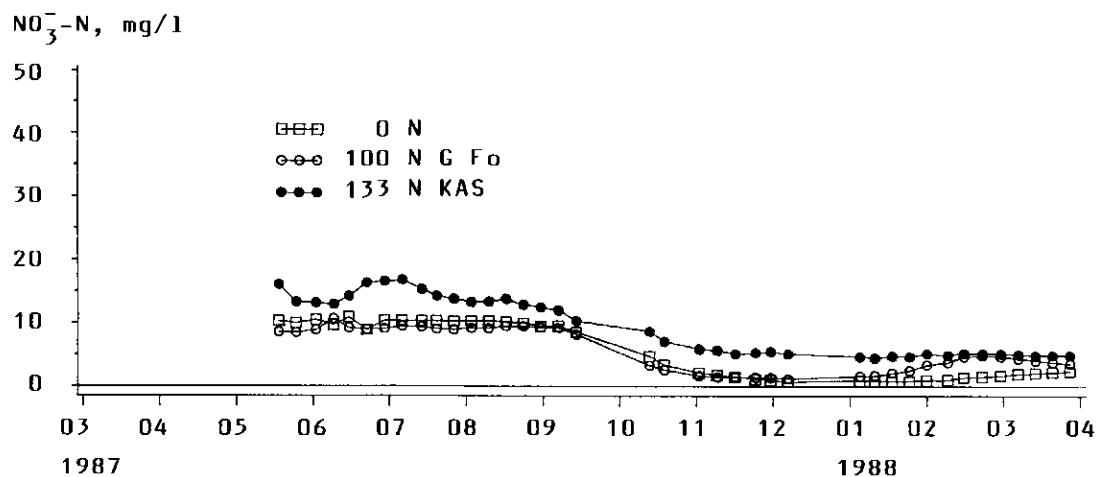
Nitratmålingerne repræsenterer en prøveudtagningsperiode på 3 døgn og er i figurerne angivet for de tidspunkter, prøverne blev udtaget. Resultaterne fra 1989-90 er ikke vist, men der er i det sidste år anvendt den samme målehypothese som i de 2 første år.

For en given jordtype vil nitratindholdet i det vand, der afstrømmer fra rodzonen, være et resultat af tilført N, N-processerne i rodzonen og afstrømningen herfra.

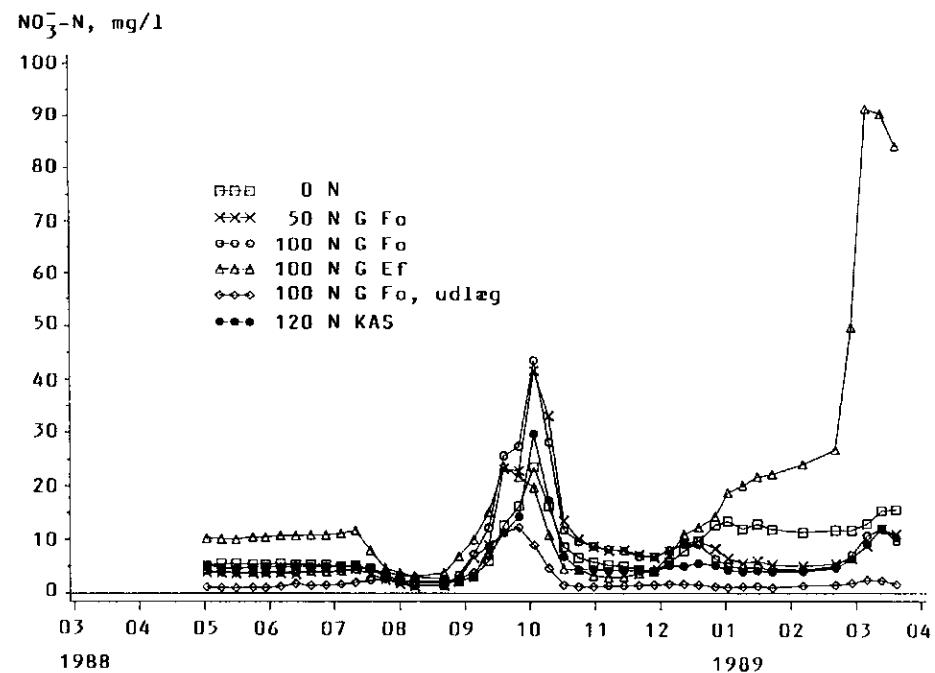
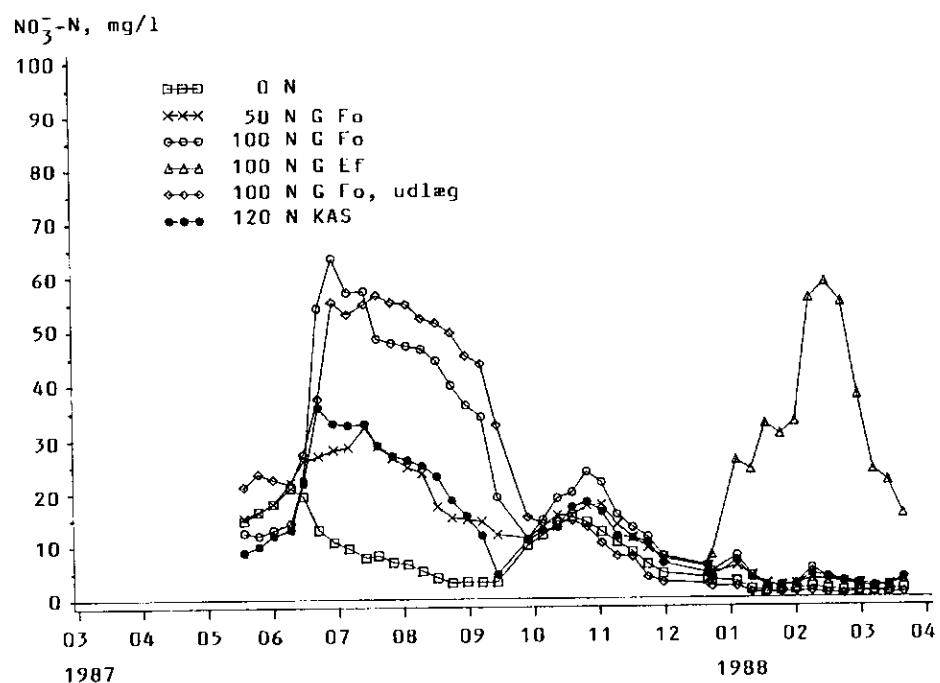
#### Nitratkoncentration og jordtype

Efter tilførsel af en given mængde nitrat vil ca. halvdelen heraf være udvasket fra rodzonen, når en vandmængde svarende til markkapacitet er strømmet gennem profilen (Aslyng, 1976). Dette betyder, at nitrat hurtigere vil blive udvasket i Jyndevad i forhold til Askov, samtidig med at der vil finde en større fordeling af nitrat over rodzoneprofilen sted i Askov i forhold til Jyndevad.

Ovennævnte jordfysisk betingede forskelle mellem de to lokaliteter kommer tydeligt til udtryk i nitratkoncentrationsmålingerne, idet målingerne fra Jyndevad viser betydelig større og hurtigere udsving end målingerne fra Askov, ligesom kvælstofmineraliseringen, når der er afstrømning, tydeligere kommer til udtryk i målingerne fra Jyndevad end fra Askov. F.eks. ses i Jyndevad 1987 og 1988 en koncentrations-top i løbet af efteråret, der bl. a. må tilskrives mineraliseringen af efterladte rod- og stubrester.



Figur 13. Koncentration af  $\text{NO}_3^-$ -N ( $\text{mg l}^{-1}$ ) i jordvæske fra 1 meters dybde, Askov 1987/88 og 1988/89.

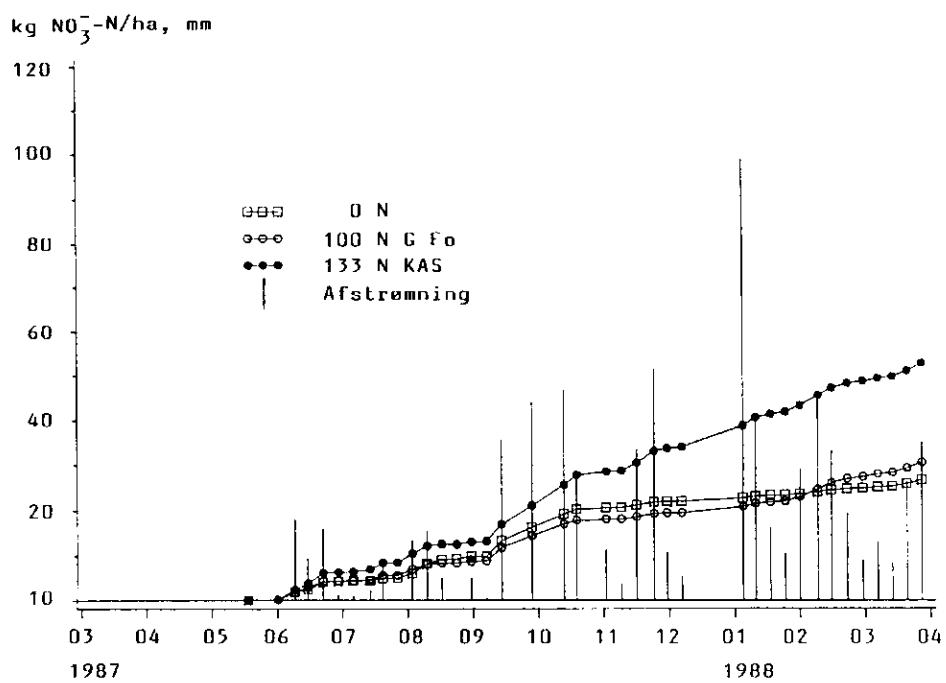


Figur 14. Koncentration af  $\text{NO}_3^-$ -N ( $\text{mg l}^{-1}$ ) i jordvæske fra 0,8 meters dybde, Jyndevad 1987/88 og 1988/89.

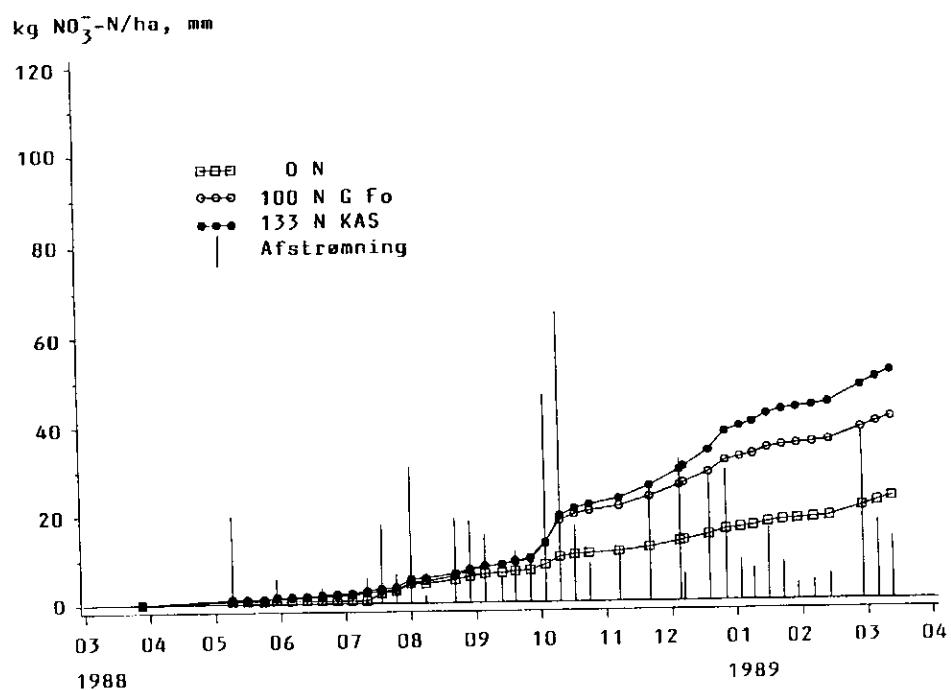
### 3.6.2 Nitratudvaskning

Akkumuleret  
nitratudvaskning

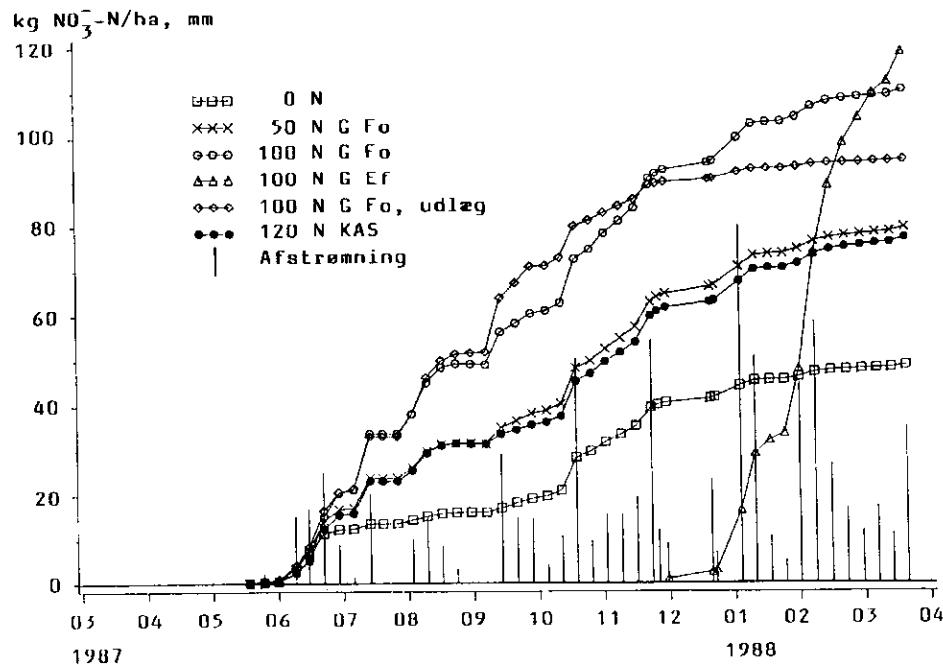
På baggrund af de målte nitratkoncentrationer og en beregnet vandbalance er der for hver periode mellem to målinger beregnet nitratudvaskning. Resultaterne heraf er for Askov 1987/88 og 1988/89 vist i fig. 15 og 16 som akkumulerede udvaskningskurver. Endvidere er afstrømmingen for hver periode angivet. Tilsvarende resultater er for Jyndevad 1987/88 og 1988/89 vist i fig. 17 og 18.



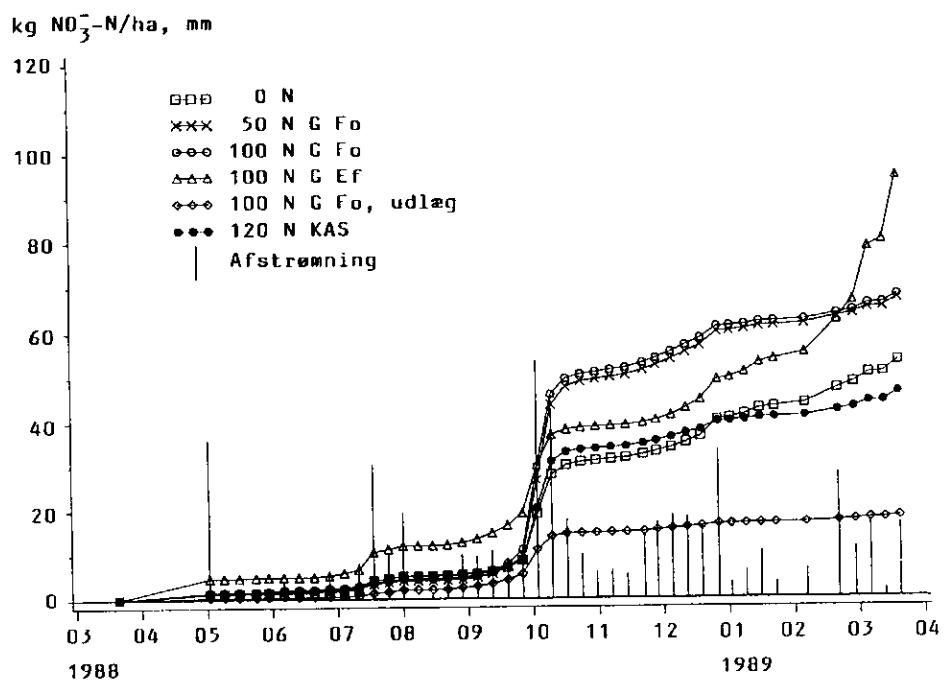
Figur 15. Akkumuleret nitratudvaskning (kg N ha<sup>-1</sup>) og afstrømning (mm pr. måleperiode), Askov 1987/88.



Figur 16. Akkumuleret nitratudvaskning (kg N  $\text{ha}^{-1}$ ) og afstrømning (mm pr. måleperiode), Askov 1988/89.



Figur 17. Akkumuleret nitratudvaskning (kg N  $\text{ha}^{-1}$ ) og afstrømning (mm pr. måleperiode), Jyndevad 1987/88.



Figur 18. Akkumuleret nitratudvaskning (kg N ha<sup>-1</sup>) og afstrømning (mm pr. måleperiode), Jyndevad 1988/89.

Årsværdier for  
nitratudvaskning

I tabel 15 og 16 er akkumulerede årsværdier for nitratudvaskning angivet for Askov og Jyndevad. De angivne årsværdier dækker perioden fra ca. 1. april til 31. marts. Tabelværdierne svarer ikke helt til de perioder, der er akkumuleret for i fig. 15-18. Årsagen hertil er, at der i forbindelse med "årsskiftet" omkring 1. april blev foretaget interpolation, sådan at perioderne for tabelværdierne passede sammen med bestemmelse af uorganisk kvælstof i rodzoneprofilen.

I 1987 kom målingerne af nitrat i jordvandet først i gang i midten af maj måned, men da der ikke har været afstrømning fra 1. april og indtil målingerne starter - hverken i Askov eller Jyndevad - kan tallene for det første år betragtes som årsværdier.

Tabel 15. Nitratudvaskning i kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> for Askov fra maj 87 - marts 90.

	MAJ 87 -MAR.88	MAR.88 -MAR.89	MAR.89 -MAR.90
ON	27	23	71
100 N G Fo	31	40	82
133 KAS	53	50	79
LSD <sub>95</sub>	ns	1	ns

Tabel 16. Nitratudvaskning i kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> for Jyndevad maj 87 - marts 90.

	MAJ 87 -MAR.88	MAR.88 -MAR.89	MAR.89 -MAR.90
ON	49	55	81
50 N G Fo	80	68	76
100 N G Fo	110	68	68
100 N G Ef	212(2)	106	198
100 N G Fo, udlæg	95	18	28
120 KAS	78	47	65
LSD <sub>95</sub>	38(1)	21	43

(1). - led 4

(2). Forsøget startede først i 1987. Led 4 har derfor fået gylle i foråret 1987 i stedet for efteråret 1986. Det anførte tal er derfor beregnet som summen af udvaskningen i led 3 indtil d. 26.11.1987 plus udvaskningen i led 4 efter denne dato.

Under ens dyrkningsmæssige forhold vil forskelle mellem årene mht. udvaskningen være bestemt af de klimatiske forskelle - primært nedbørsmængder, nedbørsfordeling og temperaturforhold. Årene 1987-90 har på de to lokaliteter generelt været præget af store nedbørmængder og varme vintre med meget få frostdage, jvf. afsnit 3.1.

#### Nitratudvaskning fra lerjord

I Askov har nitratudvaskningen været mindst fra det ugødede led. Det er dog kun det andet år, at forskellene er signifikante. I de to første år har nitratudvaskningen været størst i det handelsgødede led. En del af forklaringen herpå er sandsynligvis, at der bliver tilført 133 kg N ha<sup>-1</sup> i handelsgødning i forhold til 100 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ha<sup>-1</sup> i gylle. Det sidste år i Askov ad-

skiller sig markant fra de andre år, idet nitratudvaskningen i alle 3 led har været betydeligt højere end de foregående år og på samme niveau for alle behandlingerne.

I Jyndevad har nitratudvaskningen ved de tilsvarende behandlinger som i Askov generelt været på et højere niveau, hvilket bl.a. skyldes den tidligere nævnte forskel i markkapacitet.

Nitratudvaskning  
fra ugødet led

Ved vurdering af resultaterne fra de ugødede led og sammenligning til Askov skal det tages i betragtning, at i Askov har disse parceller været ugødet siden 1984, mens parcellerne i Jyndevad har været optimalt gødet indtil det år, hvor der blev målt udvaskning. Fra 1987 blev de "ugødede" parceller gødet med 100 kg  $\text{NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1}$  i svinegylle om foråret indtil målet.

Efterårsudbring-  
ning af gylle

I Jyndevad var den gennemsnitlige nitratudvaskning størst ved efterårsudbringning af gylle og mindst i led med udlæg af rajgræs i vårbyggen. I det led, hvor der omkring 1. december hvert år blev tilført 100 kg  $\text{NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1}$  i svinegylle, blev mængder svarende til det tilførte uorganiske kvælstof udvasket som nitrat i løbet af vinteren eller i den efterfølgende vækstsæson/efterår. I de år, hvor det tilførte kvælstof ikke var udvasket inden vækstsæsonen, var det resterende kvælstof vasket så langt ned i rodzonen, at planterne kun i meget ringe grad kunne optage det, hvilket understreges af, at udbytterne i dette led har været på niveau med det ugødede led (data ikke vist).

Virkning af  
rajgræs

Ved udlæg af alm. rajgræs i foråret i led, der blev tilført 100 kg  $\text{NH}_4^+ \text{-N ha}^{-1}$  i svinegylle om foråret, var nitratudvaskningen i gennemsnit 47

$\text{kg NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ . Det første år var det kun en meget ringe effekt af udlægget, idet nitratudvaskningen blev reduceret fra 110 til 95  $\text{kg NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  i forhold til tilsvarende led uden udlæg. I de to sidste år var nitratudvaskningen henholdsvis 18 og 28  $\text{kg NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , hvilket var 50 og 41  $\text{kg NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  mindre end tilsvarende led uden udlæg.

Årsagen til den ringe effekt af udlægget det første år var, at vårbyggen først blev høstet i slutningen af september, hvilket medførte en dårlig vækst af udlægget, i modsætning til de to sidste år, hvor der blev høstet i august måned.

Som tidligere nævnt var forsøgsperioden generelt præget af store nedbørsmængder. Specielt var sommeren 1987 nedbørsrig, hvilket medførte nitratudvaskning både i Askov og Jyndevad. I de andre år var der ingen eller kun en ringe udvaskning i løbet af sommerperioden.

Klima, jordtype og N-mineralisering  
Ud over at understrege betydningen af klima og jordtype viser resultaterne betydningen af kvælstofmineraliseringen for nitratudvaskningen, idet der ikke er fundet en entydig sammenhæng mellem gødskningsniveau og nitratudvaskning. I de år, hvor der finder en betydelig afstrømning sted i løbet af vækstperioden, specielt inden planterne har optaget det tilførte kvælstof, vil der dog ofte være en mere entydig sammenhæng mellem udvaskning og gødskningsniveau end de år, hvor størrelsen af udvaskningen primært er bestemt af kvælstofmineraliseringen i løbet af efteråret og vinteren. Ovnnævnte forhold kan bl.a. ses ved at sammenligne resultaterne fra Jyndevad 1987-88 med det efterfølgende år, hvor det meste af udvaskningen foregår i efteråret og vinteren.

### 3.7 Planteoptagelse

Resultat af både prøvehøstninger og endelig høst indgår i resultaterne med opstilling af N-balancer (se 6.1, tabel 1-6). Det er her angivet som overjordisk plantemateriale (AGB = above ground biomass).

N-indhold i rodmassen er således ikke medtaget her på grund af meget tidkrævende forbehandling (rodvask), hvorfor kun en del af resultaterne foreligger.

#### Afgrøder i N-balancen

Den overjordiske planteoptagelse i de gødede parceller i Askov har været lidt mindre end tilført N (se 6.1, tabel 1-3). En lille del af tilført N samt mineraliseret N må således være indbygget i rodmassen. Det samme gælder også Jyndevad i vækstsæsonen 1988 (se 6.1, tabel 5) bortset fra led med  $\frac{1}{2}$  mængde gylle tilført om foråret.

Efterafgrøden på Jyndevad har i 1987-88 optaget 15 kg N  $ha^{-1}$  og i 1988-89 18 kg N  $ha^{-1}$  (se 6.1, tabel 4 og 6) hvilket var en mindre forskel end der afspejledes i udvaskningen.

### 3.8 Resultater af modelforsøg

#### 3.8.1. Denitrifikation og $N_2O$ -dannelse

##### 3.8.1.1 $N_2O$ -dannelse

Dannelsen af  $N_2O$  i jorden blev både påvirket af typen og mængden af organisk stof samt af temperaturen og fugtigheden i jorden.

## Vandindhold

Målinger ved markkapacitet (FC = 100%): For alle de undersøgte behandlinger gjaldt, at N<sub>2</sub>O dannelsen var yderst ringe ved vandindhold på eller under 100% FC. Ydermere udviste raten ingen tidsmæssig variation og var tilnærmelsesvis 0.

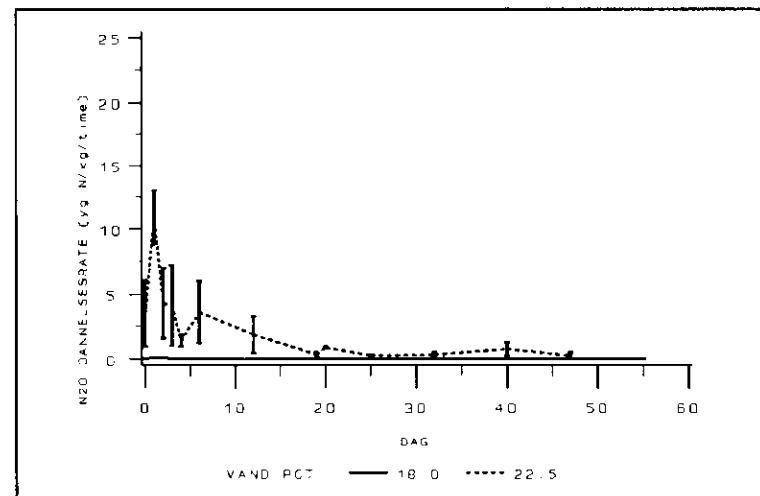
### Målinger ved højere vandindhold:

Ved et vandindhold på 125% FC var N<sub>2</sub>O dannelsen meget afhængig af typen af det tilsatte organiske materiale.

Vandindholdets indflydelse ses af Fig. 19-24, hvor 18 vægtprocent vand svarer til FC = 100% og 22,5 vægtprocent vand svarer til FC = 125%.

### Ubehandlet

Inkubering af ubehandlet jord ved 20 °C (fig. 19) resulterede i en kraftig udviklingen af N<sub>2</sub>O op til et maximum på 10 µg N kg<sup>-1</sup> time<sup>-1</sup> efter 2 dage. Raten faldt dog hurtigt ned til under 1 µg N kg<sup>-1</sup> time<sup>-1</sup>.

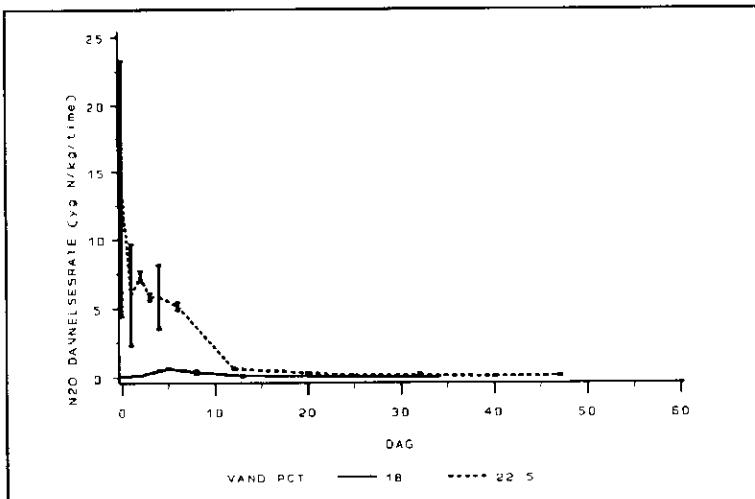


Figur 19. N<sub>2</sub>O-dannelsesrate i ubehandlet Askov jord som funktion af inkuberingstid, gns ± std.

### Afgrøderester

Varierende typer  
org. stof til  
modelforsøg

I blanding af halm (fig. 20) (svarende til 4 t  $\text{ha}^{-1}$ ) forøgede den maximale  $\text{N}_2\text{O}$ -udvikling fra 10 til 15  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$  (ikke signifikant). Derimod forblev aktiviteten lige indtil dag 10 på et noget højere niveau end ubehandlede prøver.

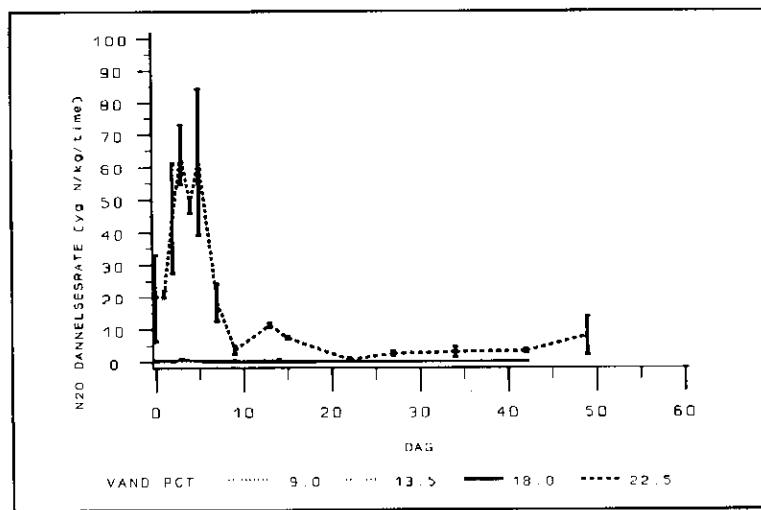


Figur 20.  $\text{N}_2\text{O}$ -dannelsesrate i Askov jord tilsat halm (4 t  $\text{ha}^{-1}$ ) som funktion af inkuberingstid, gns  $\pm$  std.

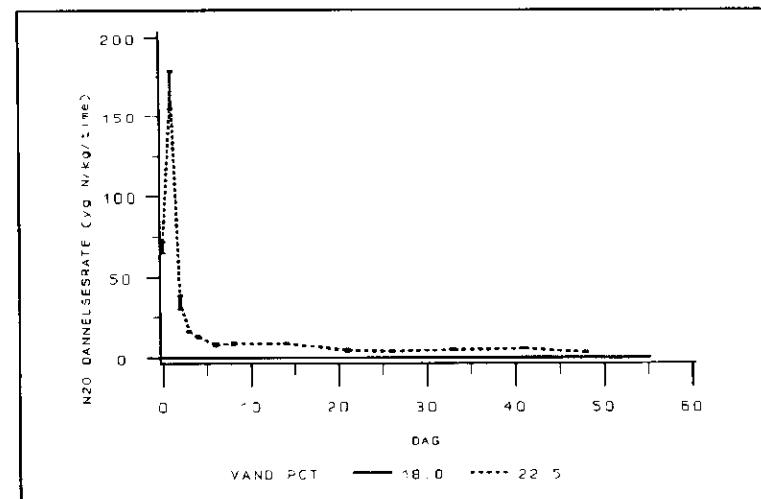
### Gylle

$\text{N}_2\text{O}$  og gylle-  
tilførsel

Tilførsel af gylle (svarende til 50 t  $\text{ha}^{-1}$ ) påvirkede  $\text{N}_2\text{O}$ -dannelsen markant. Imidlertid var der forskelle mellem iblanding af svine- og kvæggylle. Ved iblanding af svinegylle (fig. 21) nåede  $\text{N}_2\text{O}$ -udviklingen sin maximale værdi på 60  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$  mellem dag 4 og 7, mens kvæggylle (fig. 21) forårsagede en maximal aktivitet på 160  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$  allerede på dag 3. Virkningen af kvæggylle aftog imidlertid meget hurtigt og aktiviteten var allerede på dag 5 nede på under 10  $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$ . Derefter var  $\text{N}_2\text{O}$  udviklingen ens fra de to behandlinger.



Figur 21.  $\text{N}_2\text{O}$ -dannelsesrate i Askov jord behandlet med svinegylle ( $50 \text{ t ha}^{-1}$ ) som funktion af inkuberingstid, gns  $\pm$  std.



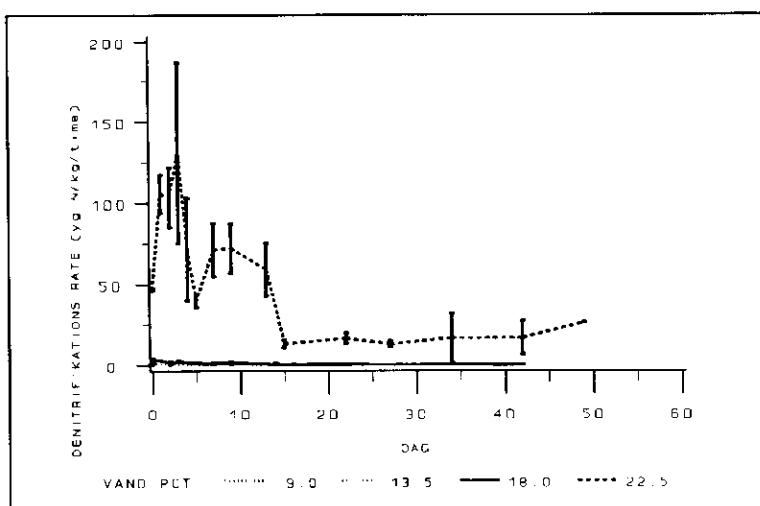
Figur 22.  $\text{N}_2\text{O}$ -dannelsesrate i Askov jord behandlet med kvæggylle ( $50 \text{ t ha}^{-1}$ ) som funktion af inkuberingstid, gns  $\pm$  std.

### 3.8.1.2 Denitrifikation

Eksempel på det tidlige forløb af denitrifikationsaktiviteten ved tilsatning af organisk materiale er vist for tilsatning af svinegylle i fig. 23 og rajgræs i fig. 24.

#### Denitrifikation og gylletilførsel

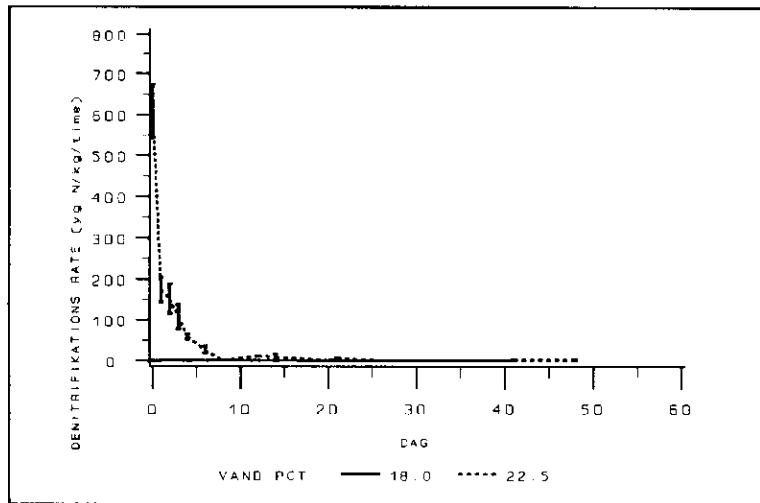
Tilsætning af svinegylle resulterede i en hurtigt stigende og derefter langsomt henfaldende denitrifikationsaktivitet (fig. 23). Efter 3 dage var aktiviteten maximal ( $120 \mu\text{g N/kg/time}$ ) og først efter dag 15 var aktiviteten faldet under  $20 \mu\text{g N/kg/time}$ . Derefter var aktiviteten konstant.



Figur 23. Denitrifikationsaktivitet ( $\mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$ ) i Askov jord tilført svinegylle ( $50 \text{ t ha}^{-1}$ ) som funktion af tiden, gns  $\pm$  std.

#### Denitrifikation og rajgræs

I blanding af rajgræs (fig. 24) (svarende til  $1 \text{ t ha}^{-1}$ ) bevirkede en meget stor denitrifikationsaktivitet allerede dag 1. Aktiviteten var  $550 \mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$ , men faldt allerede den næste dag til  $153 \mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$ . Derefter aftog aktiviteten og var på dag 7 ca.  $25 \mu\text{g N kg}^{-1} \text{time}^{-1}$ . I den efterfølgende periode var aktiviteten konstant.



Figur 24. Denitrifikationsrate i Askov jord tilført rajgræs ( $1 \text{ t ha}^{-1}$ ) som funktion af inkuberingstid, gns  $\pm$  std.

#### Steady-state rate

Ved tilsætning af de organiske materialer sås et "flush" fra en forøget denitrifikationsaktivitet, forårsaget af let omsættelige organiske forbindelser. Dette "flush" var dog af kortere varighed, og derefter sås en stabil denitrifikationsrate. Den gennemsnitlige rate i dagene 14 – 56 er angivet i tabel 17. Ved tilsætning af rajgræs, svine- og kvæggylle steg raten ca. 10 gange i forhold til ubehandlet, både ved 100% og ved 125% FC. Denitrifikationsraten var betydelig større ( $>100$  gange) ved et vandindhold på 125% FC i forhold til 100% FC, undtagen ved tilsætning af rajgræs.

Tabel 17. Gennemsnitlig denitrifikationsrate (mg N kg<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>) samt forholdet mellem raten ved 125% FC og 100% FC i Askovjord (0-20 cm) i dagene 14 - 56 ved forskellige behandlinger. Tal i parantes er 95% konfidens interval.

Temperatur 20°C	Jordfugtighed		Rate v. 125% FC
	100% FC	125% FC	
Ubehandlet overjord	0.0005 (0.0002-0.001)	0.05 (0.03-0.1)	100
Ubehandlet underjord	0.0003 (0.0002-0.0004)	nd	nd
Halm, 4 t ha <sup>-1</sup>	0.0005 (0.0003-0.001)	0.2 (0.1-0.4)	400
Rajgræs, 1 t ha <sup>-1</sup>	0.009 (0.0005-0.002)	0.1 (0.02-0.4)	10
Svinegylle, 50 t ha <sup>-1</sup>	0.004 (0.002-0.01)	0.4 (0.2-1.0)	100
Kvæggylle, 50 t ha <sup>-1</sup>	0.003 (0.001-0.013)	0.5 (0.3-0.8)	160

### 3.8.2 Vandindhold, temperatur og organisk stof-indflydelse på N- og C-mineralisering

Netto N-mineralisering og C-mineralisering i Askov jord blev påvirket af temperatur og fugtighed samt type af tilsat organisk materiale.

#### Vandindhold

Optimalt vandindhold for N- og C-mineralisering var for både overjord (tabel 18) og underjord (tabel 19) på 100% FC ved 20°C. Ved lavere (75% FC) og højere vandindhold (125% FC) var hastigheden for N- og C-mineralisering mindre end ved optimalt vandindhold (data for C-mineralisering er ikke vist her).

Tabel 18. Hastighed for netto N-mineralisering  
(mg N kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov overjord (0-20 cm)

Temp.: 20°C Jordfugtighed	Inkuberingstid, dage		
	28	56	86
75% FC	0.2	0.2	0.2
100% FC	0.3	0.3	0.3
125% FC	0.3	0.3	0.2
Jordfugtighed:			
100% FC			
Temperatur			
5°C	0.1	0.1	0.1
10°C	0.1	0.1	0.1
20°C	0.3	0.3	0.3

Tabel 19. Hastighed for netto N-mineralisering  
(mg N kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov underjord (20-40 cm)

Temp.: 20°C Jordfugtighed	Inkuberingstid, dage		
	28	56	86
75% FC	0.2	0.1	0.1
100% FC	0.3	0.2	0.3
125% FC	0.2	0.2	0.2
Jordfugtighed:			
100% FC			
Temperatur			
5°C	0.1	0.1	0.1
10°C	0.1	0.1	0.1
20°C	0.3	0.2	0.3

Raten af N-mineralisering i over- og underjord ved optimalt vandindhold og temperaturen 5, 10 og 20°C var konstant i løbet af inkubationsperioden (tabel 18 og 19).

For de jorde, der var tilsat halm, rajgræs og kvæggylle, gjaldt også, at optimalt vandindhold for mineralisering var på 100% FC (tabel 20, 22 og 23). En undtagelse herfra er behandling med svinegylle (tabel 21). Højere (125%) og lavere (75%) vandindhold øgede immobiliseringen.

Tabel 20. Hastighed for netto N-mineralisering  
(mg N kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov jord tilsat kvæggylle  
(50 t ha<sup>-1</sup>)

Temp.: 20°C	Inkuberingstid, dage		
Jordfugtighed	28	56	86
75% FC	-0.01	-0.5	0.2
100% FC	0.3	0.4	0.3
125% FC	-0.3	0.1	0.2
<hr/>			
Jordfugtighed:			
100% FC			
Temperatur			
5°C	0.04	0.1	0.1
10°C	0.2	0.04	0.1
20°C	0.3	0.4	0.3

Tabel 21. Hastighed for netto N-mineralisering  
(mg N kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov jord tilsat svinegylle  
(50 t ha<sup>-1</sup>)

Temp.: 20°C	Inkuberingstid, dage		
Jordfugtighed	28	56	86
75% FC	0.2	0.1	0.3
100% FC	-0.2	0.1	0.1
125% FC	-1.4	-0.1	-0.1
<hr/>			
Jordfugtighed:			
75% FC			
Temperatur			
5°C	-0.2	0.1	-0.3
10°C	-1.4	-0.1	0.2
20°C	0.2	0.1	0.3

Temperatur

Hastighederne for netto N-mineralisering var negative (N-immobilisering) ved lave temperaturer (5 og 10°C) og positive (N-mineralisering) ved 20°C efter tilsætning af halm (tabel 22) og svinegylle (tabel 19). Det fremgik også af undersøgelser af ubehandlet overjord (tabel 18) og underjord (tabel 21), samt efter tilsætning af rajgræs (tabel 23) og kvæggylle (tabel 20), at hastighederne af N-mineralisering var stigende ved stigende temperatur fra 5 til 20°C.

Tabel 22. Hastighed for netto N-mineralisering  
(mg N kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov jord tilsat halm (4 t ha<sup>-1</sup>).

Temp.: 20°C	Inkuberingstid, dage		
Jordfugtighed	28	56	86
75% FC	-0.3	-0.1	0.1
100% FC	-0.3	0.1	0.1
125% FC	-0.4	-0.2	-0.1
 Jordfugtighed:			
100% FC			
Temperatur			
5°C	-0.01	-0.1	-0.1
10°C	-0.3	-0.1	-0.1
20°C	-0.3	0.1	0.1

Tabel 23. Hastighed for netto N-mineralisering  
(mg N kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov jord tilsat rajgræs  
(1 t ha<sup>-1</sup>).

Temp.: 20°C	Inkuberingstid, dage		
Jordfugtighed	28	56	86
75% FC	0.2	0.2	0.2
100% FC	0.2	0.3	0.2
125% FC	-0.3	-0.1	0.2
 Jordfugtighed:			
100% FC			
Temperatur			
5°C	0.1	0.1	0.04
10°C	0.04	0.2	0.04
20°C	0.2	0.3	0.2

Organisk stof og C-mineralisering

Raten af C-mineralisering ved 125% FC og ved 20°C afhæng meget af det tilsatte organiske materiale. Den var størst for kvæggylle (tabel 24). Raten var størst ved starten af inkuberingen, faldt derefter gradvist i løbet af inkuberingstiden, og efter 2 måneder blev den stabiliseret til et konstant niveau for alle jorde.

Tabel 24. Hastighed for C-mineralisering  
(mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> døgn<sup>-1</sup>) i Askov over- og underjord,  
ubehandlet samt efter tilsætning af forskelligt  
organisk materiale til overjord.

Temp.: 20°C Fugtighed: 125% FC.	Inkuberingstid, dage								
	1	2	4	7	14	28	56	70	84
Overjord	43	29	24	22	19	14	12	10	10
Underjord	46	14	14	12	14	14	10	10	7
Halm, 4t ha <sup>-1</sup>	56	51	48	37	34	29	23	17	16
Rajgræs, 1t ha <sup>-1</sup>	44	34	29	22	17	10	10	10	
Svinegylle, 50t ha <sup>-1</sup>	141	94	48	48	26	17	7	7	7
Kvæggylle, 50t ha <sup>-1</sup>	216	96	52	38	26	22	12	12	10

Den totale mængde af mineraliseret kulstof ved 125% FC og 20°C efter 12 ugers inkubering afhæng af det tilsatte organiske materiale, og følgende rækkefølge kan opstilles: halm > kvæggylle > svinegylle > rajgræs > overjord > underjord (tabel 25).

Tabel 25. Akkumuleret mængde af C-mineraliseret samt forholdet mellem C/N mineraliseret efter 12 ugers inkubering i Askov over- og underjord ubehandlet, samt efter tilsætning af forskelligt organisk materiale til overjord.

Temp.: 20°C Fugtighed: 125% FC.	Total C-mine-	C/N
	raliseret mg C kg <sup>-1</sup> jord	
Overjord	316	17
Underjord	263	15
Halm, 4t ha <sup>-1</sup>	565	-
Rajgræs, 1t ha <sup>-1</sup>	336	17
Svinegylle, 50t ha <sup>-1</sup>	346	-
Kvæggylle, 50t ha <sup>-1</sup>	463	36

Forholdet mellem C mineraliseret og N mineraliseret (C/N) var størst i jord tilsat kvæggylle. I ubehandlet overjord og i jord tilsat rajgræs var forholdet mellem mineraliseret C og N ens. Da der i jorde tilsat halm og svinegylle blev målt N-immobilisering var det umuligt at udregne forholdet mellem mineraliseret C og N for disse jorde.



## 4. DISKUSSION

### 4.1 Denitrifikation

variationer i denitrifikationstabet på de undersøgte jorde viste meget store forskelle; på lokaliteten med grovsand var tabet i størrelsesorden  $0.1 \text{ kg N år}^{-1}$ , mens tabet i den sandblandede lerjord i et enkelt år kom helt op på  $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  i det handelsgødede led. Dette er dog langt fra det største tab der er rapporteret under danske forhold, idet Maag (1989) fandt et meget stort denitrifikations tab i 1987 ( $240 \text{ kg N år}^{-1}$ ) på en lerjord ved Roskilde gødet med 100 tons gylle  $\text{ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ .

I midlertid var de klimatiske, dyrkningsmæssige og jordbundsmæssige forhold på de tre lokaliteter (Jyndevad, Askov og Roskilde) så væsentligt forskellige, at ekstremerne kan tilskrives dette.

#### 4.1.1. Klimatiske forholds indvirkning på denitrifikation.

Temperatur og denitrifikation

Dyrket jords evne til at reducere nitrat til luftformige kvælstofforbindelser påvirkes i meget stærk grad af temperatur og nedbør. Temperaturen udover, uddover en direkte indflydelse på reaktionshastigheden af biokemiske processer, en meget stor indirekte påvirkning på denitrifikationstabet ved at indvirke på forholdet mellem det anaerobe og det aerobe volumen i jorden.

Dette forhold forøges kraftigt ved stigende temperatur p.g.a. øget jordrespiration og dermed iltforbrug. Forsøg med temperaturens indflydelse på denitrifikationsraten antyder, at i intervallet  $10-30^\circ \text{ C}$  er  $Q_{10}$  ca. 2-3 (Vintner, 1990;  $Q_{10}$  er defineret som forholdet

mellem raterne ved en forøgelse af temperaturen med  $10^{\circ}$  grader). Ved temperaturer under  $10^{\circ}$  C er det vanskeligt at bestemme  $Q_{10}$  sikert og der hersker derfor en del usikkerhed om størrelsen. En meget stor del af det årlige denitrifikationstab finder dog sted i perioder, hvor temperaturen er under eller omkring  $10^{\circ}$  C, som i foråret 1989 på Askov; jvf. Thompson (1989) og Maag (1989) for andre jordtyper. Dette skyldes en kombination af en meget højt vandindhold ( $> 125\% FC$ ) og et højt nitratindhold.

Store denitrifikationstab er dog ikke begrænset til regnfulde perioder efter gødskning. I et forsøg på lerjord hvor der blev fundet et tab på  $90 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  (Maag, 1989) skete hovedparten af denitrifikationstabet i forårsperioden inden gødskning.

#### Frost/tø

Optøningen af jorden efter et par måneders streng frost frigjorde sandsynligvis en stor pulje let omsætteligt organisk stof hvis nedbrydning bevirkede en meget stor denitrifikationsrate ( $> 2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ ). Tilsvarende effekt af en fryse/tø periode er set i andre undersøgelser (Edwards og Killham, 1986; Christensen og Tiedje, 1990). Det må formodes, at grunden til det lavere tab i Askov jorden var de milde vintre i forsøgsperioden. I vækstsæsonen om sommeren er denitrifikationstabet normalt moderat ( $0.1 - 2 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), men kan i meget nedbørsrige somre være betydelige,  $25-50 \text{ kg N ha}^{-1}$ , (jvf. Maag, 1989).

#### Vandindhold

Vandindholdet i jorden har ligeledes stor indvirkning på denitrifikationstabet, idet en forøgelse af vandindholdet øger det anaerobe volumen i jorden. Denitrifikationsaktiviteten udgør først en betydelig post i kvælstofkredsløbet ved vandindhold over 100% FC. I

modelforsøgene sås dette meget tydeligt, idet aktiviteten var  $0.05 - 0.5 \text{ mg N kg}^{-1} \text{ dag}^{-1}$  ved 125% FC. Dette fænomen kunne også ses i markforsøget på Askov, idet der var en tydelig lineær sammenhæng mellem vandindholdet og logaritmen til denitrifikationsraten ( $P < 0.01\%$ ). Tilsvarende sammenhæng mellem vandindhold og denitrifikationsrate er også fundet af Lalisse-Grundmann et al. (1983).

#### 4.1.2. Dyrkningsmæssige forholds indvirkning på denitrifikation.

Dyrkningsforhold udøver en stor indflydelse på jordens kvælstofomsætning. Samspillet af gødskning, jordbehandling og afgrødevalg, for at nævne nogle af de vigtigste, indvirker alle på denitrifikationstabets størrelse. Gødskningstidspunkt og -mængde indvirker på fire vigtige forhold: Nitratkoncentrationens størrelse i jordvæsken, dens tidslige variation, samt mængden og variationen i tid af lettilgængeligt organisk stof.

##### Nitrat

I dyrket jord, gødet med nitrat, vil nitratkoncentrationen meget sjældent være begrænsende for denitrifikationen (Fillery, 1983). Da tidspunktet for gødskning normalt falder i forårsperioden, er der ofte risiko for et tidsmæssigt sammenfald af en høj nitratkoncentration og et højt vandindhold p.g.a. kraftig nedbør. Som et eksempel kan nævnes, at i april 1989 var nedbørsmængden større end i de foregående år, hvilket bevirkede et stort denitrifikationstab i Askov.

##### Gylle

Ved gødskning med gylle i foråret minimeres denitrifikationstabet fra gyllen, da gyllens ammoniumkvælstof først skal nitrificeres før den kan denitrificeres. Gyllens indhold af letomsættelige organiske materialer kan der-

imod bevirke denitrifikation af det fra jorden dannede nitrat, hvis vandindholdet er stort ( $> 125\% FC$ ). Dette er øjensynligt især tilfældet for kvæggylle som i laboratorieforsøget efter 2 dages inkubation bevirkede en denitrifikationsrate svarende til  $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$ , men raten var allerede efter 1 dags yderligere inkubation stærkt faldende. Indflydelsen af nedmuldning af halm eller rajgræsafgrøderester på denitrifikation i lerjord blev undersøgt ved optimalt vandindhold og temperatur i laboratorieforsøg. Tilsætning af halm til jord ( $125\% FC, 20^\circ C$ ) bevirkede en øget  $\text{CO}_2$  udskillelse i forhold til rajgræs. Denitrifikationsraten blev tilsvarende noget højere (ikke signifikant), sandsynligvis p.g.a. et forøget anaerobt volume. I forhold til ubehandlet jord var stigningen i denitrifikationsraten signifikant ved  $125\% FC$ , derimod var raten ved  $100\% FC$  totalt upåvirket af halmtilsætning. Tilsvarende stimulering af denitrifikationen er fundet af Craswell (1978), Gök og Ottow (1988) samt Van Cleemput et al. (1989).

#### 4.1.3. Jordbundsmæssige forholds indvirkning på denitrifikation.

Den parameter, der mest af alt bestemmer om mikroorganismerne i en jord er i stand til at denitrificere, er jordens evne til at udvikle anaerobe niches. Disse opstår når iltkoncentrationen i jordvæsken falder under et vist niveau. Iltfattige (anaerobe) niches kan opstå i tilsyneladende velitede jorde, når hastigheden af det biologiske iltforbrug overstiger hastigheden af ilttilførslen (Fillery, 1983).

Det biologiske iltforbrug afhænger hovedsagelig af mængden af lettliggændeligt

Jordfysiske  
forhold

organisk stof (se afsnit 4.1.2).

Hastigheden af ilttilførslen afhænger af jordens vandindhold og af dens textur og struktur. Målinger af den relative diffusivitet, som er et udtryk for jordens evne som transportmedium for luft i forhold til atmosfærisk luft, viste store forskelle imellem Askov og Jyndevad. Den relative diffusivitet var således ved  $pF=2$   $4-11\%$  og  $36-46\%$  i pløjelaget i henholdsvis Askov og Jyndevad. Målinger foretaget ved  $pF=2.7$  gav meget større forskelle, idet den relative diffusivitet var  $16-27\%$  og  $67-82\%$  i henholdsvis Askov (P. Schjønning pers. kommunikation) og Jyndevad jord (Heidmann, 1989). Dette betyder, at jorden i Askov har en meget større mulighed til at blive anaerob end Jyndevad jorden, hvilket også afspejlede sig i det ubetydelige denitrifikationstab på Jyndevad i forhold til Askov (Conrad og Seiler, 1980). Et tilsvarende lille denitrifikationstab er fundet i en 3-årig undersøgelse af kvælstofkredsløb efter "marginalisering" af en sandet, opdyrket jord, JB 1-2, (Christensen et al., 1990). Da sandjordsarealerne af samme type som på Jyndevad (JB1) udgør 23% af det dyrkede landbrugsareal, er det af interesse at vide, om der kan generaliseres ud fra resultaterne i Jyndevad. Man kan nok generelt forvente lave denitrifikationstab i samme jordtyper ved samme forbehandling og dyrkningssystem som på Jyndevad. Men man kan ikke udelukke større tab under samme betingelser på samme jordtype som f.eks. jord tilført husdyrgødning både i større mængder og gennem adskillige år (Jacobsen og Vinther, 1990).



## 4.2 N-mineralisering

### 4.2.1 Netto N-mineralisering in situ

Optagelse af N i afgrøde og akkumulerig af mineralsk N i jorden er afhængig af N-mineralisering og af N-immobilisering. Netto N-mineraliseringen i jord måles som ændringer i den uorganiske kvælstofmængde ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) over tiden, under forudsætning af, at der i måleperioden ikke tilføres, fjernes eller tabes N. Idet mineraliseringen (dannelse af  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{NH}_4^+$ ) og immobiliseringen (optagelse og indbyggelse af mineralsk N i mikrobiel biomasse) sker samtidig i jorden betragtes ændringerne i uorganisk N i jorden som netto resultat af de to modsat rettede processer (Stevenson, 1986).

#### Vurdering af in situ metoden

En nylig beskrevet metode (Raison et al., 1987) har gjort det muligt at foretage en mere direkte bestemmelse af netto N-mineralisering i marken. Princippet for in situ metoden er at måle N-mineralisering i uforstyrrede jordsøjler, hvorfra planteoptagelse er minimeret og N-nedsivning udelukket. Metoden indebærer, at der i perioder, hvor der foregår denitrifikation i jorden, korrigeres for dette N-tab. Man kunne overveje, om der var forskel på mikroklimaet (specielt vandindhold) inden i og uden for rørene. Ved hjælp af en række kontrolmålinger af vandindhold og temperatur i og uden for rørene har det vist sig, at forskellene har været forsvindende (jvf. Raison et al., 1987).

Netto N-mineralisering blev ved hjælp af in situ målinger estimeret i skotske landbrugsjorde i vinterperiode (Redman et al., 1989), i danske landbrugsjorde (Debosz og Vinther, 1989) og engjord (Schou, 1990). Når metoden

blev anvendt i skovjord (Raison et al., 1987) gav den underestimering af N-mineralisering. Årsagerne hertil kan bl. a. være, at der ved ned sætning af mineraliseringsrørene skete en overskæring af rødder og dermed stigende input af C, hvilket kan registreres som en øget N-immobilisering.

Netto N-mineralisering i ugødet lerjord

Lineært forløb af N-mineralisering gennem 3 års forsøg på en dyrket lerjord (Askov) i 0 N gødet led tyder på, at røddernes indvirkning på mineraliseringens størrelse under disse forhold er ringe. I lerjord (Askov) var N-mineraliseringen meget ens i alle forsøgsårene på det ugødede led (ugødet gennem 5 år). Mineraliseringen var gns. 70 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> og med stabil mineralisering rate (0.2 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>) gennem året. På Askov kan den angivne værdi for netto N-mineralisering betragtes som jordens egen mineraliseringevne (Bertilsson, 1989).

Kvælstofmineraliseringen er meget høj sammenlignet med andre resultater fra Danmark og Skandinavien (Jansson, 1986, Kofoed, 1987, og Dissing og Østergaard, 1990).

Netto N-mineralisering i ugødet sandjord

I grovsandet jord (Jyndevad) blev mineraliseringen på det 0 N gødede led ret høj, fra 95 til 114 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Den gennemsnitlige mineraliseringrate i vækstsæsonen var på 0.6-0.7 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>, mens der i efterår/vinter perioden kun blev mineraliseret 0.2 kg N ha<sup>-1</sup> dag<sup>-1</sup>. N-mineraliseringen i vækstsæsonen afspejler således eftervirkningen af gylle (100 kg N ha<sup>-1</sup>) tilført ledet om foråret i de foregående år, inden det blev anvendt som forsøgsled (vs. 0 N leddet i Askov).

Gylle behandling Stor usikkerhed ved prøveudtagning kort efter gylleudbringning var grunden til, at alle målinger i de perioder var præget af store variationer. I leddene behandlet med gylle blev der både i lerjord og sandjord fundet N-immobilisering. Imidlertid synes immobiliseringen kun at være midlertidig, idet der efter næste måleperiode igen blev målt mineralisering. I denne sammenhæng kan det nævnes, at Neeteson et al. (1986) ca. 10 dage efter gødskning kun kunne genfinde 15% af det tilførte gødningsskvælstof i jorden (tolket som immobilisering) og efter 5 uger kunne måle N i jorden svarende til N-mængderne i den udbragte gødning (tolket som mineralisering). Den forøgede N-immobilisering umiddelbart efter gødskning bevirker, at udvaskningsrisikoen mindskes, - men altså kun på kort sigt. N-immobiliseringen i leddet behandlet med gylle om efteråret var mindre end de tilførte mængder. Dette led gav en meget stor N-udvaskning 2 - 3 måneder efter gylleudbringningen. En N-mængde, der både i 1987/88 og 1989/90 oversteg den tildelte N-mængde i efteråret og i 1988/89 udgjorde 4/5 af den tildelte N-mængde i gylle.

Handels-gødning Ved gødskning af jorden med handelsgødning, blev afgrødemængden øget i forhold til afgrødemængden på de ugødede led, og dermed blev jorden tilført mere organisk N i form af afgrøderester. Dette gav en forøget N-mineralisering ( $171 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  i 1988/89 i Askov jord), dog var forskellene til de andre led kun signifikante i vækstsæsonen. Gødskning med handelsgødning resulterede samtidig i en forøget mængde af N-udvaskning i Askov jorden, mens der ikke var signifikant effekt i Jyndevad jorden. De samme tendenser til in-

direkte forøgelse af mængden af organisk N i jorden har man observeret ved langtids gødskningsforsøg i Rothamsted (Glendining et al., 1990). I Lundgård (sandjord) gav 10 års gødskning med NPK forøget N-mineralisering (Pedersen og Nielsen, 1988).

#### Udlæg

Ved dyrkning af rajgræs som udlæg blev udvaskningen reduceret. Selv om jorden blev tilført mere organisk N ved dyrkning med end ved dyrkning uden udlæg (flere afgrøder), havde dyrkning med udlæg kun en ringe effekt på netto N-mineraliseringen. Lysimeterforsøg over indflydelsen af rajgræs som udlæg for N-udvaskning antyder, at udvaskningen blev formindsket, og at det opsamlede kvælstof kom afgrøderne til gode i den følgende vækstsæson (Martinez og Guiraud, 1990; Jensen, 1990).

#### 4.2.2 Netto N-mineralisering under kontrollerede forhold i laboratoriet

Det kan udledes af litteraturen (Adams og Attiwill, 1986), at den aerobe inkuberingsmetode sandsynligvis er den bedst egnede til studier af netto N-mineralisering i jord under laboratorieforhold. In situ forsøg har vist, at N-mineralisering i marken ofte vekslede med N-immobilisering, mens N-mineralisering målt i laboratorieforsøg altid viste høj positiv (N-mineralisering) rate.

#### Temperatur

Da den varierende temperatur i marken er svær at simulere i laboratoriet blev der anvendt optimum temperatur til sammenligningsforsøg.

#### Vandindhold

Optimalt vandindhold for N-mineralisering var

100% FC og ved lavere (75% FC) og højere (125% FC) vandindhold var hastigheden for N-mineralisering mindre eller negativ (N-immobilisering) end ved optimalt vandindhold. Det blev således fundet, at når vandindholdet i jorden oversteg markkapaciteten, skulle netto N-mineralisering korrigeres for denitrifikationstab. Det bør dog tilføjes, at det er vanskeligt under laboratorieforhold helt at efterligne markforholdene. Således kan der være forskydninger i den beregnede FC værdi i relation til værdien under markforhold i den samme jordtype. Både modelforsøg og markforsøg viste betydelige denitrifikationstab ved vandindhold over 100% FC.

#### C/N-forholdet

Organisk stof havde en afgørende betydning for nettoresultatet af de to modsat rettede processer, N-mineralisering og N-immobilisering. Organisk stof med et C/N-forhold på ca. 46 (halm) resulterede i en sækning af Jordens indhold af uorganisk N, forårsaget af mikrobiel immobilisering eller denitrifikation i tilfælde, hvor vandindholdet var stort (125% FC). Modsat skete der en frigørelse af uorganisk N, når det organiske stof havde et C/N-forhold på ca. 30.

#### Gylletype

Tilførsel af svinegylle bevirke, at der blev målt høj N-immobilisering, mens kvæggylle forårsagede N-mineralisering. Både svine- og kvæggyllens indhold af letomsætteligt organisk materiale øgede den totale mikrobielle aktivitet, og der skete en stor frigørelse af CO<sub>2</sub>-C.



## 5 REFERENCER

Adams, A.M. og Attiwill, M.P. (1986). Nutrient Cycling and Nitrogen Mineralization in Eucalypt Forest of South-eastern Australia. II. Indices of Nitrogen Mineralization. Plant and Soil 92, 341-362.

Andersen, A. (1986). Rodvækst i forskellige jordtyper. Tidsskrift for Planteavl. Beretn. nr. S 1827.

Aslyng, H.C. (1976). Klima, jord og planter. DSR, København.

Aslyng, H.C. (1978). Miljø og jordbrug. DSR. København.

Bertilsson, G. (1989). Nitrogen transformations and nitrogen balances in Scandinavian Soils. The Fertilizer Society, Proceedings nr. 287, 3-24.

Christensen, S. (1985). Denitrification in a sandy loam soil as influenced by climatic and soil conditions. Tidsskrift for Planteavl, 89, 351-365.

Christensen, B.T. og Sommer, S. (1990). NH<sub>3</sub>-fordampning fra gylle under og efter udbringning. NPo-forskning A7. Miljøstyrelsen.

Christensen, S. og Tiedje, J.M. (1990): Brief and vigorous N<sub>2</sub>O production by soil at spring thaw. Journal of Soil Science, 41, 1-4.

Christensen, N., Ernstsøen, V., Jørgensen, F. og Vinther, F. P. (1990). *Ændringer i næringssstofomsætningen på marginaliseret landbrugsjord*. NPo-forskning A13. Miljøstyrelsen.

Conrad, R. og Seiler, W. (1980). Field measurements of the loss of fertilizer nitrogen into the atmosphere as nitrous oxide. *Atmospheric Environment*, 44, 555-558.

Craswell, E.T. (1978). Some factors influencing denitrification and nitrogen immobilization in clay soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 10, 141-145.

Debosz, K. og Vinther, F.P. (1989). An in situ technique for simultaneous measurements of mineralization, leaching and plant uptake of nitrogen applied to agricultural soils. I: *Nitrogen in Organic Wastes Applied to Soils* (Eds. Hansen J. Aa. og Henriksen, K.), 3-10.

Dissing, N.J. og Østergaard, S.H. (1990). Jordanalyser for kvælstof. *Tidsskrift for Planteavl, Beretn.* nr. S 2056.

Edwards, A.C. og K. Killham (1986): The effects of freeze/thaw on gaseous nitrogen loss from upland soil. *Soil Use and Management*, 2, 86-91.

Fillery, I.R.P. (1983). Biological denitrification. I: *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems*, (Eds. Freney, J.R. og Simpson, J.R.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk publishers, Den Haag, 33-64.

Finney, D.J. (1941): On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. Journal of the Royal Statistical Society, Supplement 7, 155-161.

Giné, M.F., H. Bergamin, E.A.G. Zagatto og B.F. Reis (1980): Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow injection analysis. Analytica et Chimica Acta, 114.

Glendining, J.M., Powlson, S.D. og Poulton, R. (In press, 1990). Some agricultural and environmental consequences of long-term applications of inorganic nitrogen fertilizer. In: International Symposium on "Fertilization and the Environment", K.U. Leuven, Belgium, August 27-30, 1989.

Gök, M. og Ottow, J.C.G. (1988). Effect of cellulose and straw incorporation in soil on total denitrification rates and nitrogen immobilization in soil at initial aerobic and permanent anaerobic conditions. Biology and Fertility of Soils, 5, 317-322.

Hansen, J. og Kyllingsbæk, A. (1983). Kvælstof og planteproduktion. Tidsskrift for Planteavl. Beretn. nr. S 1669.

Hansen, S. og Aslyng, H.C. (1984). Nitrogen Balance in Crop Production. Simulation model NITCROS. Hydrotechnical laboratory, Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, København. 113 pp.

Hansen, S., Jensen, H., Nielsen, N.E. og Svendsen, H. (1990). DAISY, a soil plant system model. NPo-forskning A10. Miljøstyrelsen.

Heidmann, T. (1989): Startkarakterisering af arealer til systemforskning.IV. Resultater fra arealet ved Jyndevad. Tidsskrift for Planteavl. Beretn. nr. S 2021.

Henriksen, A. og A.R. Selmer-Olsen (1970): Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and soil extracts. The Analyst, 95, 514-518.

Jacobsen, O.S. og Vinther, F.P. (1990). Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord. NPo-forskning B11. Miljøstyrelsen.

Jansson, S.L. (1986). Soil Biology - Plant produktion - fertility studies. Det kgl. Svenske Landbrugsuniversitet. Supp. 18, 9-32.

Jensen, S.E. (1990). Mineralisering, udvaskning og planteudnyttelse af  $^{15}\text{N}$ -mærket kvælstof fra efterafgrødemateriale. NJF-rapport nr. 57, 3-12.

Kofoed, A. Dam (1987). The significance of farmyard manure - Danish experiments. Det kgl. Svenske Landbrugsuniversitet. Suppl. 19, 37-64.

Lalisse-Grundmann, G., A. Corman og A. Chalamet (1983): Etude quantitative de l'effet simultané de la température et de l'humidité du sol sur la dénitrification. Revue Ecologié et Biologié du Sol, 20, 1-15.

Landbruksministeriet (1985). Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. Landbruksministeriet.

Maag, M. (1989). Denitrification losses from soil receiving pig slurry or fertilizer. I: Nitrogen in Organic Wastes Applied to Soils (Eds. Hansen J. Aa. and Henriksen K.), 235-246.

Martinez, J. og Guiraud, G. (1990). A lysimeter study of the effects of ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. Journal of Soil Science, 41, 5-16.

Neeteson, J.J., Greenwood, D.J. og Habets, E.J.M.H. (1986). Dependence of soil mineral N on N-fertilizer application. Plant and Soil, 91, 417-420.

Parkin, T.B. (1987): Soil microsites as a source of denitrification variability. Soil Science Society of America Journal, 49, 273-276.

Parkin, T.B. A.J. Sexstone og J.M. Tiedje (1985): Comparison of field denitrification rates determined by acetylene-based soil core and nitrogen-15 methods. Soil Science Society of America Journal, 49, 94-99.

Pedersen, A.K. og Nielsen, N.E. (1988). Net-tomineralisering af kvælstof i jorde tilført husdyrgødning. Rapport Nr. 1212. Inst. for Kulturteknik og Planteernæring, KVL.

Raison, R.J., Connell, M.J. og Khanna, P.K. (1987). Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ. Soil Biology and Biochemistry, 19, 521-530.

Redman, M.H., Wigglesworth, A.S. og Vinten A.J.A. (1989). Nitrogen dynamics of leguminous green manure. In: Nitrogen in Organic Wastes Applied to Soils. (Eds. Hansen, J.Aa. og Henriksen, K.). 98-112.

SAS Institute INC. (1989). SAS/STAT guide for personal computers.

Schjønning, P. (1985). Udstyr til afdræning af jordprøver for jordfysiske analyser. Tidsskrift for Planteavl. Beretn. nr. S 1762.

Schou, L. (1990). Kvælstofmineralisering i relation til dræning af marginaljorde. Speciale rapport, Institut for Populationsbiologi, KU.

Simmelsgaard, S.E. (1985). Vandbalance, aktuel fordampning og afstrømning til dræn og undergrund. Tidsskrift for planteavl, 89, 101-151.

Stevenson, F.J. (1986). Cycles of Soil. Wiley, New York.

Søegaard, K. (1986). Deling af kvælstofgødning til vandet byg. Tidsskrift for Planteavl. Beretn. nr. S 1859.

Thompson, R.B. (1989): Denitrification in slurry-treated soil: occurrence at low temperatures, relationship with soil nitrate and reduction by nitrification inhibitors. Soil Biology and Biochemistry, 21, 875-882.

Tiedje, J.M. (1982). Denitrifikation. I: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (Eds. Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R.), 1011-1026. Agronomy monograph no. 9, Madison Wisconsin: American Society of Agronomy.

Van Cleemput, O., Malkanti, R.M., d'Ydewalle, Y. og Baert, L. (1989). Denitrification influenced by incorporated harvest residues. Abstracts. Int. Workshop on Denitrification in Soil, Rhizosphere and Aquifer. Giessen. Marts 1989.

Van der Molen, J. Van Faassen, G.H., Leclerc Y.M., Vriesema R. og Chardon J.W. (1990). Ammonia volatilization from arable land after application af cattle slurry. I. Field estimates. Netherland Journal of Agricultural Science, 38, 145-158.

Vinther, F.P. (1990). Temperatur og denitrifikation. NPo-forskning A3. Miljøstyrelsen.



## 6. APPENDIKS

### 6.1 N-balancer

På basis af data for de tre delprojekters markforsøg var der opstillet delvise N-balancer eller N-regnskaber. De oprindeligt seks delperioder er her slæt sammen til 2 perioder:

1. Forår - sommer (vækstsæson)

2. Efterår - vinter - forår

I det følgende er beskrevet det generelle grundlag for balance-beregningerne. Det har bl.a. været hensigten at afveje/sammenligne den målte in situ N-mineralisering med en differens  $\Delta N$ , der var beregnet på basis af øvrige målte og kendte tilførsler (input) og fjernelse/tab (output) af kvælstof.

Grundlag for  
N-balancerne

For en given periode er beregningerne baseret på følgende to ligninger:

$$\begin{aligned} N_{org1} + N_{uorg1} + N_{dep} + N_{uorgg\ddot{o}d} + N_{orgg\ddot{o}d} + N_{fix} - \\ N_{agb} - N_{udv} - N_{den} - N_{eva} - N_{ero} - N_{org2} - \\ N_{uorg2} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$N_{org1} + N_{orgg\ddot{o}d} - N_{min} + N_{afgres} = N_{org2} \quad (2)$$

Symbolforklaring til elementerne i ligningerne:

$N_{org1}$ ,  $N_{org2}$ : N i organisk stof ved start af periode 1 og slutning af periode 2.

$N_{org1}$ ,  $N_{org2}$ : Uorganisk N ved start af periode 1 og slutning af periode 2.

$N_{dep}$ : N-deposition (våd + tør)

$N_{orgg\ddot{o}d}$ : Uorganisk N i handelsgødning, gylle etc.

$N_{orgg\ddot{o}d}$ : Organisk N i gylle etc.

$N_{fix}$ : N-fixering

$N_{agb}$ : N høstet

$N_{udv}$ : N udvasket

$N_{den}$ : N denitrificeret

$N_{eva}$ : N-evaporation

$N_{ero}$ : N-erosion

$N_{min}$ : Netto N-mineralisering

$N_{afgres}$ : N i planterester (rødder, stub etc.)

Antagelser for ligninger til N-balancer

Forudsætningen for ligning (2) var, at der ikke foregik en mineralisering af planterester (rødder, stub etc.), der var produceret i den pågældende periode.

Ligning (1) kan omskrives til:

$$\begin{aligned} N_{org1} + N_{orgg\ddot{o}d} - N_{agb} - N_{udv} - N_{org2} - N_{den} + (N_{dep} \\ + N_{fix} - N_{eva} - N_{ero}) - N_{afgres} = (N_{org2} - N_{org1}) - \\ N_{orgg\ddot{o}d} - N_{afgres} = \Delta N \end{aligned}$$

Og ligning (2) kan omskrives til:

$$N_{min} = - [(N_{org2} - N_{org1}) - N_{orgg\ddot{o}d} - N_{afgres}]$$

Ved kombination af (1) og (2) fås herved at

$$N_{min} = - \Delta N$$

$\Delta N$  blev beregnet for 3 perioder hvert sted: efterår/vinter 1987/88, vækstperioden 1988 og efterår/vinter 1988/89. Dog indgår  $N_{fix}$ ,  $N_{eva}$  og  $N_{ero}$  og  $N_{afgres}$  ikke i disse beregninger.  $N_{fix}$  og  $N_{ero}$  må antages at have været uden betydning. Ammoniakfordampning fra planter og i forbindelse med gylleudbringning fås der endnu ikke sikre tal for.  $N_{agb}$  var kun baseret på N-optagelse i overjordiske plantedele.  $\Delta N$  og  $N_{min}$  blev ikke korrigteret for denitrifikation fra jord, men er indregnet i tabel 2 og 3.

Med de nævnte forbehold kan de beregnede værdier for  $\Delta N$  bruges til at få et skøn over netto N-mineraliseringen i de pågældende perioder, ligesom de beregnede  $\Delta N$  værdier kan sammenlignes med netto N-mineraliseringstalene (Netto N-Min) baseret på in situ målingerne.

Tabel 1. N-regnskab for Askov. Efterår/vinter 1987-88. Tallene er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> i den angivne periode.

Sep. 1987 - mar. 1988					
	INPUT		OUTPUT		Netto-N-min.
	Ged-væddeling	posit.	Udvaskning	$\Delta N^{**}$	
DN	0	9	0	11	-9
100N GFO	0	9	0	17	-20
133N KAS	0	9	0	32	-36
LSD				12	17
					ns

\*\*Denitrifikation er medregnet.

\* AGB: above ground biomass

Tabel 2. N-regnskab for Askov. Vækstsæsonen 1988. Tallene er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> i den angivne periode.

Mar. 1988 - aug. 1988						
	INPUT		OUTPUT		Δ N**	Netto-N-Min.**
	Gød-	vædde-	Udvask-	Deni-		
	ning	posit.	AGB*	ning	tri.	
ON	0	9	26	5	5	-22
100N GFO	95	9	70	6	3	22
133N KAS	133	9	103	6	3	22
LSD			27	1		

\*\*Denitrifikation er medregnet.

\* AGB: above ground biomass

Tabel 3. N-regnskab for Askov. Efterår/vinter 1988-89. Tallene er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> i den angivne periode.

Aug. 1988 - mar. 1989						
	INPUT		OUTPUT		Δ N**	Netto-N-Min.**
	Gød-	vædde-	Udvask-	Deni-		
	ning	posit.	AGB*	ning	tri.	
ON	0	9	0	18	1	-38
100N GFO	0	9	0	35	1	-35
133N KAS	0	9	0	44	1	-35
LSD				1		

\*AGB: above ground biomass

\*\*Denitrifikation er medregnet.

Tabel 4. N-regnskab for Jyndevad. Efterår/vinter 1987-88. Tallene er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> i den angivne periode.

sep. 1987 - mar. 1988						
	INPUT		OUTPUT		Δ N	Netto-N-Min.
	Gød-	vædde-	Udvask-	AGB*		
	ning	posit.	ning	AGB*		
ON	0	9	0	31	-12	36
50N GFO	0	9	0	43	-24	nd
100N GFO	0	9	0	52	-35	40
100N Gef	102	9	0	153	-48	nd
100N GFO, udleg	0	9	15	28	-23	35
120N KAS	0	9	0	43	-26	30
LSD				14(1)	14(1)	ns

nd = ikke bestemt. (1) - led 4.

\* AGB: above ground biomass

Tabel 5. N-regnskab for Jyndevad. Vækstsæsonen 1988. Tallene er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> i den angivne periode.

mar. 1988 - aug. 1988						
	INPUT		OUTPUT		ΔN	Netto-N-Min.
	Gød-	Vædde-	Udvask-	ning		
	ning	posit.	AGB*	ning		
ON	0	9	46	5	-63	62
50N G Fo	47	9	59	4	-28	68
100N G Fo	93	9	85	4	-2	34
100N G Ef	0	9	50	11	-58	58
100N G Fo, udløg	93	9	104	2	-20	50
120N KAS	125	9	99	5	18	nd
LSD			7	1	13	ns

nd = ikke bestemt

\* AGB: above ground biomass

Tabel 6. N-regnskab for Jyndevad. Efterår/-vinter 1988-89. Tallene er angivet i kg N ha<sup>-1</sup> i den angivne periode.

aug. 88 - mar. 89						
	INPUT		OUTPUT		ΔN	Netto-N-Min.
	Gød-	Vædde-	Udvask-	ning		
	ning	posit.	AGB*	ning		
ON	0	9	0	50	-28	26
50N G Fo	0	9	0	64	-37	37
100N G Fo	0	9	0	65	-41	nd
100N G Ef	101	9	0	96	-5	-13
100N G Fo, udløg	0	9	18	16	-10	50
120N KAS	0	9	0	43	-22	27
LSD			19		32	32

nd = ikke bestemt.

\* AGB: above ground biomass

N-balancer og  
procesmålinger

Resultaterne fra disse forsøg viser generelt, at når der opstilles N-balancer eller som det kaldes i tabellerne: N-regnskab var der i efterår/vinterperioderne med nogle få undtagelser rimelig god overensstemmelse mellem ΔN (resultatet fra integrering af N-tilførsel med gødning, N-udvasket, N i planternes biomasse og ændring af uorganisk N i jord) og den målte in situ netto N-mineralisering (tabel 1, 3, 4 og 6). I vækstsæsonen

var der ligesom efterår/vinter god overensstemmelse mellem beregnet og målt netto N-mineralisering i de ugødede led, mens der bortset fra enkelte undtagelser ikke fandtes tilsvarende gode overensstemmelser i de gødede led (tabel 2 og 5). I tabellerne omfatter betegnelsen vækstsæsonen tillige perioden omkring udbringning af handelsgødning og gylle. Vanskelighed med jævn gødningstildeling på udbringningstidspunktet samt usikkerhed ved prøvetagning i perioden kort efter gylleudbringning af handelsgødning og især gylle gav uoverensstemmelse i N-regnskabet i vækstsæsonen på disse led (tabel 2 og 5).

Gødskningen kunne også give nogle storeudsving i indholdet af uorganisk N i jorden i perioden umiddelbart efter tilførslen (dvs. inden for nogle få dage/1 uge), hvor det tilførte N ikke kan genfindes i jorden ved analyse for uorganisk N (Søegaard, 1986).

Årsagerne hertil er ikke helt afklaret. Der kan peges på flere muligheder.

Dette kunne tilskrives en immobilisering, hvor der skal analyseres meget hyppigt for at klarlægge størrelsen og varigheden af denne proces. Derfor har man ikke data herfor.

Ved tilførsel af gylle vil der altid ske en vis fordampning. Ved selve udspredningen angiver Christensen og Sommer (1990), at det maximalt er 4% ved den her anvendte teknik. Da det umiddelbart efter bliver nedpløjet, skulle yderligere fordampningstab være minimalt.

Hollandske undersøgelser (Van der Molen et al., 1990) tyder på, at der ved en hurtig nedbringning tabes 11 - 16% af det tilførte  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ .

En yderligere N-post i regnskabet, der ikke er inddraget, er de levende rødders påvirk-

ning af mineraliseringen, som både kan være positiv (forøget mineralisering) og negativ (forøget immobilisering). N-indholdet i rødderne i vækst er ikke inddraget i regnskabet; det kan for byg udgøre 1/5 - 1/3 af N-mængden ved høst (Andersen, 1986). På den anden side kan en mineralisering af de døde rødder efter høst frigøre N (Stevenson, 1986).

6.2 Tidspunkt, mængde og N-indhold i tilført  
gylle gennem forsøgsperioden

Tilført svinegylle						
Askov	Betegnelse	Dato	Tons ha <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N <sub>1</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Tot.-N <sub>1</sub> kg ha <sup>-1</sup>	
Led 4	100 N G Fo	29.APR.87	28	96	136	
Led 4	100 N G Fo	08.APR.88	29	95	154	
Led 4	100 N G Fo	14.MAR.89	28	105	156	
Jyndevad						
Led 2	50 N G Fo	21.APR.87	12	55	97	
Led 3	100 N G Fo	21.APR.87	25	110	194	
Led 4	100 N G Ef	21.APR.87	25	110	194	
Led 5	100 N G Fo, udlæg	21.APR.87	25	110	194	
Led 4	100 N G Ef	26.NOV.87	34	102	146	
Led 2	50 N G Fo	29.MAR.88	14	47	73	
Led 3	100 N G Fo	29.MAR.88	29	93	146	
Led 5	100 N G Fo, udlæg	29.MAR.88	29	93	146	
Led 4	100 N G Ef	06.DEC.88	28	101	159	
Led 2	50 N G Fo	31.MAR.89	12	54	80	
Led 3	100 N G Fo	31.MAR.89	24	108	161	
Led 5	100 N G Fo, udlæg	31.MAR.89	24	108	161	
Led 4	100 N G Ef	04.DEC.89	21	96	128	



## **Registreringsblad**

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

**Serietitel, nr.:** NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, A9

**Udgivelsesår:** 1990

**Titel:**

Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder

**Undertitel:**

**Forfatter(e):**

Lind, Anne-Margrethe; Debosz, Kasia;  
Djurhuus, Jørgen; Maag, Michael

**Udførende institution(er):**

Statens Planteavlfsforsøg

**Resumé:**

På to forskellige jorder, hvor der er anvendt henholdsvis handelsgødning og svinegølle, er kvælstoftab og -omsætning undersøgt. Denitrifikationstab var kun betydeligt fra lerjord, på årsbasis nogle få kg/ha. Tab ved kvælstofmineralisering afspejlede årstider, ikke gødningstypen. Derimod afspejlede kvælstofudvaskningen gødningstypen, idet svinegølle medførte større udvaskning end handelsgødning. Udringningstidspunktet var væsentligt, og kvælstofudvaskningen kunne reduceres ved efterafgrøde i god vækst.

**Emneord:**

gødskning; denitrifikation; jordbundstyper; udvaskning; nedbør; dyrkningsforsøg; omsætning; nitrogen CAS 7727-37-9;

**ISBN:** 87-503-8848-7

**ISSN:**

**Pris (inkl. moms):** 85,- kr.

**Format:** AS5

**Sideantal:** 96

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

**Oplag:** 500

**Andre oplysninger:**

Rapport fra koordinationsgruppe A for jord og luft

**Tryk:** Scantryk, København

Trykt på miljøpapir

# NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Rapporter fra koordinationsgruppe A for jord og luft

- Nr. A 1 : Kvælstof- og fosforbalancer ved kvæg- og svinehold
- Nr. A 2 : Kortlægning af landbrugsdriften i to områder i Danmark
- Nr. A 3 : Temperatur og denitrifikation
- Nr. A 4 : Ammoniakafsstætning omkring et landbrug med malkekæg
- Nr. A 5 : Ammoniakmonitering
- Nr. A 6 : Atmosfærisk nedfald af næringsalte i Danmark
- Nr. A 7 : NH<sub>3</sub>-fordampning fra handels- og husdyrgødning
- Nr. A 8 : Næringsstofudvaskning fra arealer i landbrugsdrift
- Nr. A 9 : Kvælstofsomsætning og -transport i to dyrkede jorder
- Nr. A10 : Daisy - Soil Plant Atmosphere System Model
- Nr. A11 : Bestemmelse af NH<sub>3</sub>-fordampning med passive fluxmåtere
- Nr. A12 : NH<sub>3</sub>-fordampning fra gyllebeholdere
- Nr. A13 : Næringsstofomsætning i marginaliseret landbrugsjord
- \* Nr. A14 : Regionale beregninger af N-udvaskningen
- Nr. A15 : Ammoniakfordampning fra bygplanter
- Nr. A16 : Den mikrobielle biomasses variation i jordbunden
- Nr. A17 : Analyse af jordvands sammensætning - metodesammenligning
- Nr. A18 : Atmosfærisk ammoniak og ammonium i Danmark
- Nr. A19 : N-transformation in Soil, Amended with Digested Pig Slurry
- Nr. A20 : Simulering af kvælstoftab med SOIL-N-modellen
- Nr. A21 : Landbrugets gødnings- og arealanvendelse i 1983 og 1989

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

Nr. A19 er tidligere annonceret med titlen:  
Afgasset gylles indflydelse på N-omsætning i jorden.

# Kvælstofomsætning og -transport i to dyrkede jorder

På to forskellige jorder, hvor der er anvendt henholdsvis handelsgødning og svinegylle, er kvælstoftab og -omsætning undersøgt. Denitrifikationstab var kun betydeligt fra lerjord, på årsbasis nogle få kg/ha. Tab ved kvælstofmineralisering afspejlede årstider, ikke gødningstypen. Derimod afspejlede kvælstofudvaskningen gødningstypen, idet svinegylle medførte større udvaskning end handelsgødning. Udbringningstidspunktet var væsentligt, og kvælstofudvaskningen kunne reduceres ved efterafgrøde i god vækst.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

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

**Pris kr. 85,- inkl. 22% moms**

ISBN nr. 87-503-8848-7