

## Omsætning af organiske stoffer i jord målt gennem optagelse og udvaskning af kvælstof. Askov 1958–71

*Mineralization of organic material in soil measured by uptake and leaching of nitrogen. Askov 1958–71*

J. Lindhard

### Resumé

Lysimeterforsøg med varigt græs på lerjord og sandjord blev gennemført på Askov forsøgsstation i årene 1958–1971 med det formål at belyse kvælstoffrigørelsen fra éngangstilførsel af organiske gødninger.

I løbet af forsøgsperioden blev der i afgrøde og gennemsvinningsvand genfundet fra 26 til 47 pct. af den kvælstofmængde, der var tilført med organiske gødninger ved anlæg. For staldgødningens vedkommende svarede det nogenlunde til den tilførte ammoniakmængde, mens der fra græstørv blev fjernet 3–6 gange så meget kvælstof, som der var tilført ammoniak.

Fra et forsøgsled, hvor halm var tilsat svovlsur ammoniak, så blandingen fik et beregnet indhold af kvælstof i tørstof på 2 pct., blev der fjernet 42 pct. af tilført kvælstof, men denne mængde svarede kun til halvdelen af den tilførte ammoniakmængde.

Fra uorganiske gødninger blev der i forsøgets første fire år fjernet mellem 80 og 87 pct. af det kvælstof, der var tilført ved anlæg.

Kvælstofudvaskningen har, som det kunne ventes, været lille under græs, og der er ikke signifikante forskelle imellem forsøgsleddene. For lerjordens vedkommende resulterede en omlægning af græsset foråret 1962 i, at der den følgende vinter blev udvasket lige så meget kvælstof som i de øvrige 13 år tilsammen.

Analyse af jordlaget, 0–100 cm, antyder en stigning i indholdet af totalkvælstof som følge af gødskningen i 1958.

**Nøgleord:** Kvælstofmineralisering, lysimeterforsøg, græs.

### Summary

Lysimeter experiments using grass on loam soil and sandy soil were carried out at Askov experimental station during the years 1958–1971. The purpose of this was to investigate mineralization of nitrogen from manures and commercial fertilizers given once only in 1958.

In this period grass crops and leaching water together removed between 26 and 47 per cent of the nitrogen given with manures in 1958. The nitrogen removed from farmyard manure almost corresponded to the amount of ammonium-N given in the manure. From sod, representing green manure, 3–6 times the nitrogen given as ammonium N was removed.

From a mixture of straw and sulphate of ammonia 42 per cent of the nitrogen was removed, but here only resembling half of the ammonium N given.

In the period 1958–1961 between 80 and 87 per cent of nitrogen given in commercial fertilizers 1958 was removed by crops and leaching water.

As might be expected with a grass crop only small amounts of nitrate have been leached and no significant differences were observed between treatments.

The loam soil establishment of a new sward in spring 1962, immediately after the old one had been dug in, resulted in a loss in nitrate during the following winter of almost the same size as found for the other 13 years all together (figure 4).

Analyses of the soil layer 0–100 cm indicate that some accumulation of Nt has taken place as a result of the manuring in 1958.

**Key words:** Nitrogen mineralization, lysimeters, grass.

### Indledning

I årenes løb har talrige udbyttestofundersøgelser vist, at kunstgødning virkede bedre end staldgødning og andre organiske gødninger tilført i mængder, der indeholdt samme mængde plantenæringsstoffer.

Forsøg, som omfattede kvælstof, fosfor og kalium, viste, at forskellen fremkommer ved, at kvælstoffet virker langsommere i de organiske gødninger end i mineralgødninger, mens de to gødninger virker ens med hensyn til fosfor og kalium (Iversen, 1942).

Spørgsmålet om, hvad der sker med kvælstoffet i de organiske gødninger, har været drøftet meget. En af forklaringerne var den, at en del af kvælstoffet mineraliseres på tidspunkter uden for vækstsæsonen, hvorefter der kan være risiko for nitratudvaskning.

I et lysimeteranlæg på Askov forsøgsstation blev der i 1958 anlagt et forsøg med det formål at belyse kvælstoffets mineraliseringshastighed i ler- og sandjord efter éngangstilførsel af forskellige gødninger.

Ønsket, om at få optaget så stor en del af det mineraliserede kvælstof som muligt, resulterede i, at forsøget blev anlagt med varigt græs. Desuden blev der en del af årene grundgødet med kalksalpeter for at sikre en målelig afgrøde.

### Metodik

Lysimetrene, der er fremstillet af lodretstillede betonrør med en indvendig diameter på 1 m og med betonbund, er forsynet med et tværdræn lagt i et bundlag af grus, hvorfra et lodret rør til over-

fladen giver mulighed for afsugning af gennemsivningsvandet. Forsøgsjorden har en dybde af 1 m (Koføed & Lindhard, 1968).

Forsøgsplan:

1. Grundgødet (*Basal dressing*)
2. Staldgødning, almindelig (*FYM, normal*)
3. Staldgødning som 2, men luftet 3–6 dage (*FYM, aerated*)
4. Græstørv fra kløvermark (*Sod from clover field*).

Der blev anvendt fire fælleskar.

I tilslutning hertil blev der på lerjorden anlagt 4 forsøgsled også med fire fælleskar.

5. Halm (*straw*) + 9 g/m<sup>2</sup> N i svovlsur ammoniak (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
6. Svovlsur ammoniak ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 9 g N/m<sup>2</sup>
7. Svovlsur ammoniak ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 4,5 g N/m<sup>2</sup>
8. Kalksalpeter (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), 9 g N/m<sup>2</sup>

Mens forsøgsled 5 har været med i hele forsøgsperioden, blev leddene nr. 6, 7 og 8 kun fulgt til og med 1964.

De anvendte organiske gødningers indhold af tørstof og kvælstof fremgår af tabel 1.

De organiske gødninger blev fordelt på følgende måde: Efter at et lag jord på 20 cm var taget op, blev halvdelen af gødningen fordelt, hvorpå der blev lagt 5 cm jord over. Resten af gødningen + grundgødningen blev nu spredt og dækket med jord. Hvor der alene skulle gives mineralgødning, blev jordlaget 0–15 cm taget op, og laget 15–20 cm blev løsnet med håndkultivator, før gødningen blev spredt og jorden lagt tilbage.

Gødningstilførslen fremgår af tabel 2.

**Tabel 1.** Analyse af organiske gødninger, 1958, pct.  
*Composition of organic manure, 1958, per cent*

Gødning Manure	Tørstof DM	NH <sub>3</sub> -N Nm	Total-N Nt	N i tørstof Nt in DM
Lerjord loam				
2. Staldg. alm. .... FYM normal	21,5	0,353	0,818	3,8
3. Staldg. luftet .... FYM aerated	27,8	0,358	0,970	3,8
4. Græstørv .... Sod	11,7	0,027	0,306	2,6
5. Halm .... Straw	82,8	—	0,338	0,4
Sandjord Sandy Soil				
2. Staldg. alm. .... FYM normal	21,0	0,236	0,797	3,5
3. Staldg. luftet .... FYM aerated	30,4	0,124	0,969	3,2
4. Græstørv .... Sod	11,0	0,018	0,299	2,7

Der er ikke anvendt samme staldgødningsprøve på sandjord som på lerjord, og udluftningen har ikke været lige stærk i de to prøver, hvilket kan ses på tørstofprocenterne i tabel 1 og ammoniaktilførslen, der er vist i tabel 2.

Som grundgødning blev der i 1958 tilført 100 g superfosfat, 40 g kaliumgødning, 0,5 g borax, 2 g mangansulfat, 2 g kobbersulfat, 10 g magnesiumsulfat og 0,5 g ferrisulfat, alt pr. m<sup>2</sup>.

**Tabel 2.** Gødningstilførsel forår 1958, g/m<sup>2</sup>  
*Organic manures spread, May 1958, g/m<sup>2</sup>*

Gødning Manure	Tørstof DM	NH <sub>3</sub> -N Nm	Total-N Nt
Ler, loam			
2. Staldg., alm. FYM, normal	5180	1368	18,29
3. Staldg. luftet FYM, aerated	4167	1368	14,92
4. Græstørv Sod	8288	1638	2,24
5. Halm Straw	603	500	—
Sand			
2. Staldg., alm. FYM, normal	5180	1426	12,22
3. Staldg., luftet FYM, aerated	3535	1426	4,38
4. Græstørv Sod	8288	1568	1,49

Der blev sået havre med udlæg af hundegræs, timothe og alm. rajgræs. Havren blev høstet grønt d. 18. juli 1958. I 1962 blev græsset gravet ned, og der blev foretaget nyudlæg bestående af engsvingel, rødsvingel og engrapgræs, uden dæksæd. I september 1969 blev der tilført 100 g kalk/m<sup>2</sup>.

Igennem årene er der grundgødnet med superfosfat og kaliumgødning samt en del af årene tillige med kalksalpeter, ud fra det synspunkt at produktionen ikke måtte blive unormalt lille. Tilførsel af kvælstof i nedbør og kalksalpeter fremgår af tabel 3.

**Tabel 3.** Kvælstof tilført som grundgødning med nedbør og kalksalpeter  
*Nitrogen given as basal dressing in precipitation and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>*

År Year	nedbør*) precipitation	N g/m <sup>2</sup> gødning Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	i alt total
1958/59	0,8	—	0,8
59/60	0,7	—	0,7
60/61	1,0	—	1,0
61/62	0,8	—	0,8
62/63	0,8	6,0	6,8
63/64	0,8	—	0,8
64/65	0,9	6,2	7,1
65/66	1,2	6,0	7,2
66/67	0,9	6,0	6,9
67/68	0,8	6,0	6,8
68/69	0,9	6,0	6,9
69/70	0,9	2,0	2,9
70/71	1,8	4,0	5,8
71/72	1,7	4,0	5,7

\*) Jensen 1962, Jørgensen 1974.

I forhold til, at der er tale om en græsafgrøde uden bælgeplanter, er de anvendte kvælstofmængder beskedne. Formålet med grundgødskningen var i første række at sikre en afgrøde, som kunne optage kvælstof, der blev frigjort fra de organiske gødninger.

### Resultater

Der foreligger målinger af afgrøder og gennemsnitsvand igennem 14 år. Afgrøderne har været græs, hvori der er bestemt totalkvælstof efter

Kjeldahl. Gennemsnitsvandsvandet er opsamlet på årsbasis, med skæringspunkt ved første udbringning af kunstgødning, og analyseret for indhold af nitratkvælstof efter følgende metode:

Nitrat blev omdannet til ammoniak ved hjælp af Devardas legering, hvorefter koncentrationen blev målt på spektrofotometer (430 nm) efter farvning med Nesslers reagens.

Hovedtabeller, der omfatter tal for græstørstof og gennemsnitsvand samt totalkvælstof i græstørstof og nitratkvælstof i vand, danner grundlaget for beretningen, men er ikke medtaget af pladshensyn. De kan fås udleveret ved henvendelse til Askov forsøgsstation.

### Afgrøde

Afgrødestørrelsens vekslen gennem årene er illustreret i figur 1 og 2, hvor udbyttet for grundgødnet og merudbyttet for almindelig staldgødning er vist i histogrammer for henholdsvis lerjord og sandjord. Angivelse af en enkelt linie på toppen af søjlen viser, at udbyttet har været højest for det grundgødede led.

Det ses, at der i de første år har været tale om en udpiningsperiode for det grundgødede led på lerjorden, mens udbyttet for grundgødning ikke har været faldende på sandjorden. Merudbyttet for staldgødning falder stærkt i løbet af de første år, og det varierer meget de senere år.

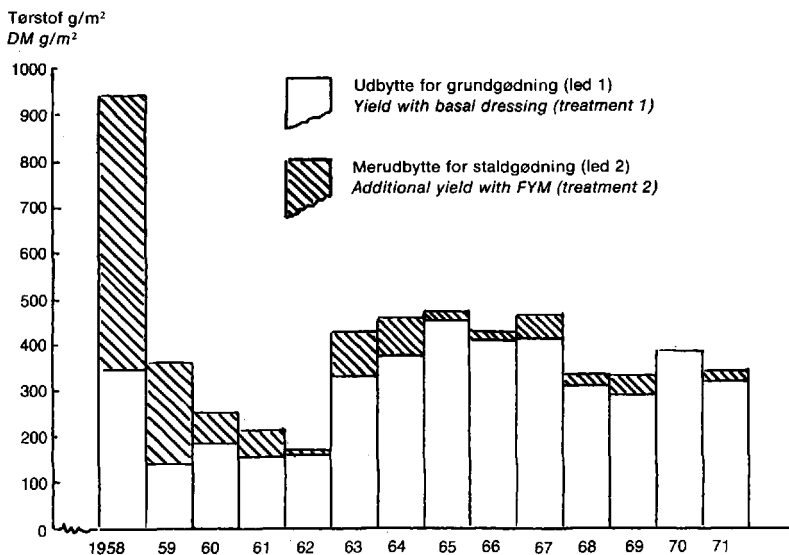
Staldgødningen synes at virke længere på lerjorden end på sandjorden.

### Gennemsnitsvand

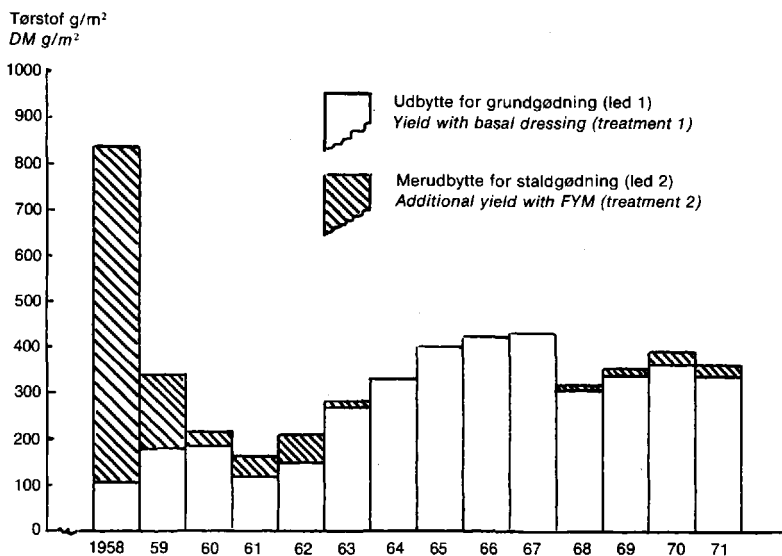
Mængden af gennemsnitsvand varierer kun lidt inden for jordtype og forsøgsled, men den er afhængig af nedbør og vanding. I figur 3 er den vandmængde, der er tilført med nedbør og vanding, sammenholdt med mængden af gennemsnitsvand.

Regressionslinien antyder, at der vil forekomme gennemsnitsvand, når nedbør og vanding tilsammen udgør mere end 350 mm om året.

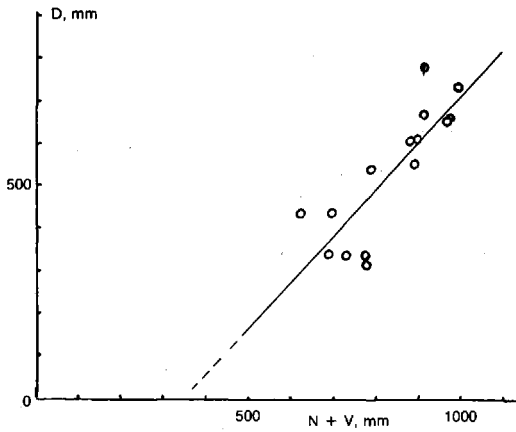
Set i forhold til tidligere resultater (Lindhard, 1967, Kjellerup, 1979) er dette skæringspunkt ret lavt, hvad der dog sandsynliggøres af, at græsudbyttet har været lavt de fleste år (fig. 1 og 2).



Figur 1. Udbytte af græs på lerjord. Tørstof, g/m<sup>2</sup>  
Yield of grass on loam soil. Dry matter, g/m<sup>2</sup>



Figur 2. Udbytte af græs på sandjord. Tørstof, g/m<sup>2</sup>  
Yield of grass on sandy soil. Dry matter, g/m<sup>2</sup>

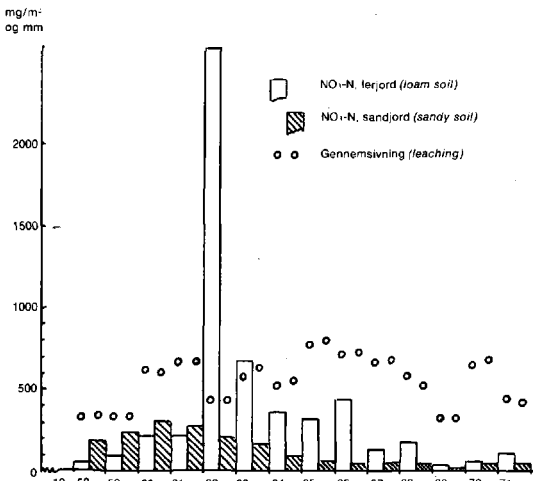


Figur 3. Sammenhæng mellem nedbør (N) + vanding (V) og gennemsvivning (D)  
*Relation between precipitation (N) + irrigation (V) and leaching (D)*

### Kvælstofudvaskning

Bortset fra de første år er der udvasket mindre kvælstofmængder fra sandjorden end fra lerjorden, men forskellene er ikke store undtagen i 1962.

Der er ikke signifikante forskelle mellem de enkelte forsøgsled, men nok en tendens, der går på, at udvaskningen er størst fra de grundgødede led.



Figur 4. Årlig udvaskning af kvælstof fra lerjord og sandjord  
*Leaching of nitrogen by years from loam soil and sandy soil. NO<sub>3</sub>-N, mg/m<sup>2</sup>; water, mm*

Figur 4 illustrerer udvaskningen gennem årene fra grundgødet på lerjord og sandjord. De angivne årstal er høstår.

Søjlerne viser en tydelig forskel på de to jordtyper.

Nedgravning af græsset på lerjorden i foråret 1962 resulterede i en stærk forøgelse af kvælstofudvaskningen den efterfølgende vinter, og virkningen ses at holde sig nogle år.

Medvirkende til, at udvaskningen blev så stor, var, at det nye udlæg kom langsomt i gang, og udbyttet blev lille i 1962. Når der ikke var tilsvarende udslag på sandjorden, kan årsagen være, dels at græsudbyttet var meget lavt i 1961, og dels at det nye udlæg kom hurtigere i gang på sandjorden end på lerjorden (se fig. 1 og 2).

Bortset fra 1962-tallene for lerjord er der ret god overensstemmelse mellem mængden af udvasket kvælstof og mængden af gennemsvivningsvand. Indholdet af nitrat i vandet ligger betydeligt under 1 ppm N.

### Kvælstofbalancer

I tabellerne 4–6 er der opstillet kvælstofbalancer for de 3 forsøg, der er tale om.

For sammenligningens skyld er forsøgsled 5, halm + svovlsur ammoniak, medtaget med en sum for 14 år sammen med de øvrige organiske gødninger i tabel 4, og en sum for 4 år sammen med éngangstilførslen af kunstgødning i tabel 6.

Balancen for éngangstilførsel af organiske gødninger til lerjord er vist i tabel 4.

Det ses, at der for det grundgødede led er bortført mere kvælstof, end der er tilført i gødning, mens de forsøgsled, der er gødet med organisk gødning, viser større tilførsel end bortførsel.

Merbortførslen af kvælstof er for staldgødning lidt større end tilførslen af ammoniakkvælstof, men ca. tre gange så stor for græstørvens vedkommende (tabel 2). Hvor der er givet halm sammen med svovlsur ammoniak, er kun ca. halvdelen af kvæstoffet genfundet i afgrøde og vand.

For sandjorden viser tilførslen sig at være større end bortførslen, også for det grundgødede led. Bortførslen med gennemløbsvand er betydeligt mindre end for lerjorden (tabel 5).

**Tabel 4.** Kvælstofbalance for organiske gødninger på lerjord, N, g/m<sup>2</sup>  
*Nitrogen balance for organic manure in loam soil, N, g/m<sup>2</sup>*

Høstår 1958-71 Harvest year	Grund- gødet <i>Basal dressing</i>	Staldgødning		Græs- tørv <i>Sod</i>	Halm + sv. am. <i>Straw + (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>
		alm. <i>FYM normal</i>	luftet <i>aerated</i>		
Tilf. (supply) 1958 org. N .....	0	24,1	25,5	23,2	2,0
Tilf. (supply) 1958 min. N .....	0	18,3	14,9	2,2	9,0
Tilf. (supply) 1958-71 min. N .....	60,2	60,2	60,2	60,2	60,2
Total .....	60,2	102,6	100,6	85,6	71,2
Bortført med afgrøde .....	59,8	80,0	77,2	67,6	65,5
<i>Removed in crops</i>					
Bortført med vand .....	5,4	5,2	3,7	4,6	4,4
<i>Removed in water</i>					
Total .....	65,2	85,2	80,9	72,2	69,9
Korrigeret for grundgødet ( <i>corrected for basal dressing</i> )					
Tilf. (supply) 1958 N .....	0	42,4	40,4	25,4	11,0
Bortført (removed) N .....	0	20,0	15,7	7,0	4,7
Restkvælstof ( <i>difference</i> ) N .....	0	22,4	24,7	18,4	6,3

**Tabel 5.** Kvælstofbalance for organiske gødninger på sandjord, N, g/m<sup>2</sup>  
*Nitrogen balance for organic manures in sandy soil, N, g/m<sup>2</sup>*

Høstår 1958-71 Harvest year	Grund- gødet <i>Basal dressing</i>	Staldgødning		Græs- tørv <i>Sod</i>
		alm. <i>FYM normal</i>	luftet <i>aerated</i>	
Tilf. (supply) 1958 org. N .....	0	29,1	29,9	23,3
Tilf. (supply) 1958 min. N .....	0	12,2	4,4	1,5
Tilf. (supply) 1958-71 min. N .....	60,2	60,2	60,2	60,2
Total .....	60,2	101,5	94,5	85,0
Bortført med afgrøde .....	55,6	69,1	64,8	64,0
<i>Removed in crops</i>				
Bortført med vand .....	1,7	1,3	1,5	1,8
<i>Removed in water</i>				
Total .....	57,3	70,4	66,3	65,8
Korrigeret for grundgødet ( <i>corrected for basal dressing</i> )				
Tilf. (supply) 1958 .....	0	41,3	34,3	24,8
Bortført (removed) N .....	0	13,1	9,0	8,5
Restkvælstof ( <i>difference</i> ) N .....	0	28,2	25,3	16,3

For normal staldgødning er merbortførslen lidt større end tilførslen af ammoniak, mens der for luftet staldgødning og græstørv er bortført betydeligt større kvælstofmængder, end der svarer til ammoniaktilførslen.

Éngangstilførsel af kunstgødning er fulgt gennem 7 år; men efter omgravning i 1962 optræder negative merudbytter (tabel 9), der ikke giver mening i forhold til gødningens primærvirkning. Kvælstofbalancen i tabel 6 er derfor beregnet for de første 4 år.

**Tabel 6.** Kvælstofbalance for éngangstilførsel af kunstgødning på lerjord. N, g/m<sup>2</sup>  
Nitrogen balance for N-min. given once in loam soil. N, g/m<sup>2</sup>

Høstår 1958-61 Harvest year	Grundgødet Basal dressing	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + halm
		1	½	1	1 + straw
Tilf. (supply) 1958 org. N .....	0	0	0	0	2,0
Tilf. (supply) 1958 min. N .....	0	9,0	4,5	9,0	9,0
Tilf. (supply) 1958-61 min. N .....	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Total .....	3,3	12,3	7,8	12,3	14,3
Bortført med afgrøde .....	9,6	17,3	13,6	16,7	13,5
Removed in crops					
Bortført med vand .....	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4
Removed in water					
Total .....	10,1	17,9	14,0	17,3	13,9
Korrigeret for grundgødet (corrected for basal dressing)					
Tilf. (supply) 1958 .....	0	9,0	4,5	9,0	11,0
Bortført (removed) N .....	0	7,8	3,9	7,2	3,8
Restkvælstof (difference) N .....	0	1,2	0,6	1,8	7,2

For alle led er der bortført mere kvælstof, end der er tilført, bortset fra led 5, halm + svovlsur ammoniak. Merbortførslen i årene 1958-61 repræsenterer 80-87 pct. af det i 1958 tilførte kunstgødningskvælstof, og den reduceres fra 87 til 42 pct., når der tilsættes halm sammen med svovlsur ammoniak.

### Restkvælstof

I de tre kvælstofbalancer er anført tal for restkvælstof. Dette begreb kan ikke defineres nærmere på grundlag af balancen, da differencen kan være fremkommet, dels ved at kvælstoffet er denitrificeret, dels ved at det er blevet tilbage i jorden i form af langsomt omsættelige forbindelser. Muligheden for at bestemme den bundne kvælstofmængde er blevet undersøgt og omtales i det følgende afsnit.

### Kvælstofindhold i jorden

Efter forsøgets afslutning blev der taget prøver af jorden i de enkelte lysimeterkar i lag á 20 cm. Efter tørring og sigtning blev prøverne analyseret for total-N efter Kjeldahl.

De fundne kvælstofindhold er omregnet til kvælstof pr. lag á 1m<sup>2</sup> på grundlag af vægtfyldebestemmelse (Hansen, 1976), idet der er anvendt vægtfylder for Askov lerjord og Lundgård sandjord. Resultaterne ses i tabel 7 som gennemsnit af 4 fælleskar.

Set i forhold til de grundgødede forsøgsled antyder tallene, at éngangstilførslen af organisk gødning har efterladt kvælstof i jorden, og at denne kvælstofmængde i løbet af forsøgsperioden delvis er blevet ført ned under pløjelaget.

Hvor stor en del af det beregnede restkvælstof, der findes som en reel kvælstofreserve i jorden, kan ikke fastlægges på grundlag af disse forsøg.



**Tabel 7.** Indhold af kvælstof i jorden 1972. N, g/m<sup>2</sup>/jordlag  
*Content of nitrogen in soil 1972. Nt, glm<sup>2</sup>/soil layer*

Lag cm	kg jord pr. 200 l	Lerjord (loam soil) forsøgsled (treatment)					LSD	
		1	2	3	4	5		
0- 20	310	360	373	377	376	362	14	
20- 40	293	148	157	156	160	155	17	
40- 60	298	76	84	84	84	85	10	
60- 80	306	85	89	92	90	84	10	
80-100	306	86	89	83	84	84	6	
0-100		755	792	792	794	770	24	
0-100	merindhold		37	37	39	15		
			sandjord (sandy soil)					
0- 20	300	242	253	253	251		17	
20- 40	301,5	83	92	93	88		20	
40- 60	302	77	82	81	83		11	
60- 80	302	100	99	93	98		16	
80-100	302	100	103	103	105		17	
0-100		602	629	623	625		36	
0-100	merindhold		27	21	23			

**Tabel 8.** Årlig merbortførelse af kvælstof i afgrøde og vand. N g/m<sup>2</sup> og pct. af N tilført 1958  
*Excess nitrogen removed in crops and water by years. N glm<sup>2</sup> and per cent of Nt applied 1958*

	Staldg. lerjord led 2		Staldg. lerjord led 3		Staldg. sandjord led 2		Staldg. sandjord led 3		Græst. lerjord led 4		Græst. sandjord led 4		Halm + N bortf. lerjord led 5	
	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt	N g/m <sup>2</sup>	% af Nt
Tilf. Nt	42,37	100,0	40,42	100,0	41,28	100,0	34,25	100,0	25,36	100,0	24,78	100,0	11,04	100,0
Tilf. NH <sub>3</sub> -N	18,29	43,2	14,92	36,9	12,22	29,6	4,38	12,8	2,24	8,8	1,49	6,0	9,00	81,5
1958	9,67	22,8	8,00	19,8	8,27	20,0	5,15	15,1	2,00	7,9	3,61	14,6	3,12	28,3
59	2,57	6,1	2,18	5,4	1,58	3,8	1,47	4,3	1,04	4,1	1,03	4,1	0,47	4,3
60	1,15	2,7	1,07	2,6	0,56	1,4	0,75	2,2	0,76	3,0	0,61	2,4	0,20	1,8
61	0,75	1,8	0,70	1,7	0,50	1,2	0,59	1,7	0,62	2,4	0,48	1,9	0	0
62*)	0,39	0,9	-0,09	-0,2	1,10	2,6	0,93	2,7	-0,66	-2,6	0,75	3,0	-0,30	-2,7
63	1,10	2,6	0,87	2,2	0,08	0,2	0,27	0,8	1,09	4,3	0,29	1,2	0,10	0,9
64	0,91	2,1	0,66	1,6	0	0	-0,9	-0,3	0,48	1,9	0,16	0,6	-0,02	-0,2
65	0,70	1,7	0,93	2,3	0,12	0,3	0,14	0,4	0,68	2,7	0,09	0,4	0,53	4,8
66	0,62	1,5	0,05	0,1	-0,38	-0,9	-0,17	-0,5	0,21	0,8	0,04	0,2	0	0
67	0,74	1,7	0,32	0,8	0,12	0,3	-0,23	-0,7	0,36	1,4	0,27	1,1	0,18	1,6
68	0,26	0,6	0,11	0,3	0,30	0,7	-0,03	-0,1	-0,27	-1,1	0,19	0,8	-0,37	-3,4
69	0,59	1,4	0,47	1,2	0,28	0,7	-0,01	0	0,40	1,6	0,07	0,3	0,20	1,8
70	0,14	0,3	0,01	0	0,25	0,6	0,26	0,8	-0,14	-0,6	0,42	1,7	0,08	0,7
71	0,49	1,2	0,45	1,1	0,28	0,7	-0,03	-0,1	0,52	2,1	0,42	1,7	0,44	4,0
	20,08	47,4	15,73	38,9	13,06	31,6	9,00	26,3	7,09	27,9	8,43	34,0	4,63	41,9

\*) græsset omlagt.

## Diskussion

### Den årlige fordeling af kvælstoffrigørelsen

En betragtning af, hvor stor merbortførelsen med afgrøde og vand har været i de enkelte år, kan give et indtryk af, hvor hurtigt kvælstoffet stilles til rådighed for planterne.

I tabel 8 ses år for år merbortførelsen imod grundgødnet for de organiske gødninger. Tallene er vist dels som kvælstofmængder pr. arealenhed dels i forhold til de tilførte mængder af totalkvælstof. Tilsvarende tal er vist for uorganiske gødninger i tabel 9.

Hvor der optræder negative tal i tabellerne, skyldes det variationer i bruttotallene, der i nogle tilfælde bevirker, at resultatet for grundgødnet er større end de tilsvarende resultater for forsøgs-gødningerne. Disse variationer er især store efter omlægning i 1962.

Mellem en fjerdedel og halvdelen af det kvælstof, der blev tilført med organiske gødninger i 1958, er genfundet; mest på lerjorden for staldgødningens vedkommende, og mest på sandjorden, når der er tale om græstørv. Halm + svovlsur ammoniak ligger på linie med staldgødning.

Efter éngangstilførelse af svovlsur ammoniak genfindes i løbet af fire år 87 pct. af kvælstoffet og 80 pct. af det kvælstof, der blev givet i kalksalpeter.

En forklaring på, at der genfindes en større del af kvælstoffet fra handelsgødning end fra staldgødning, kunne være, at staldgødningen indeholder vanskeligt omsættelige forbindelser, hvorfra kvælstoffet kun langsomt frigøres. En sammenligning af genfundet kvælstof med den ammoniakmængde, der er tilført i de organiske gødninger, kan foretages i tabel 8.

For staldgødningens vedkommende er der i løbet af 14 år genfundet lidt mere kvælstof, end der blev tilført i ammoniak i 1958; for den luftede staldgødning på sandjord endda betydeligt mere. For dette staldgødningsled samt for de to forsøgsled med græstørv genfindes allerede i første forsøgsår kvælstofmængder, der svarer til mængden af tilført ammoniak. Årsagen til forskellen kan være, at græsset indeholder lettere omsættelige forbindelser (f.eks. amider), der ikke umiddelbart måles i ammoniakbestemmelsen.

**Tabel 9.** Årlig merbortførelse af kvælstof med afgrøde og vand. N g/m<sup>2</sup> og pct. af Nm tilført 1958  
*Excess nitrogen removed in crops and water by years. N g/m<sup>2</sup> and per cent of Nm applied 1958*

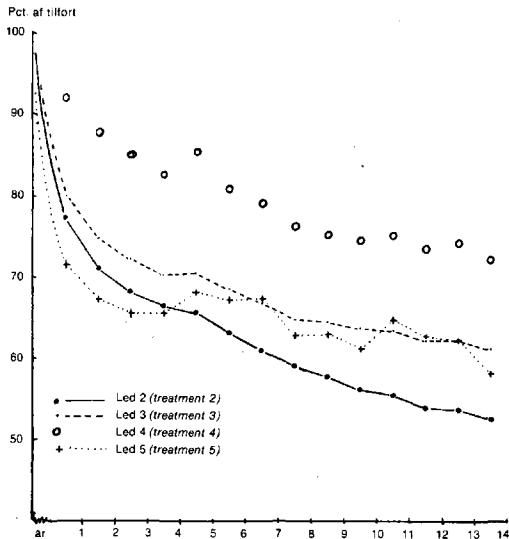
	Halm + N led 5		1 sv. am. led 6		½ sv. am. led 7		1 kalks. led 8	
	N g/m <sup>2</sup>	% af Nm	N g/m <sup>2</sup>	% af Nm	N g/m <sup>2</sup>	% af Nm	N g/m <sup>2</sup>	% af Nm
Tilført N .....	9,00	100,0	9,00	100,0	9,00	100,0	9,00	100,0
1958 .....	3,12	34,7	7,04	78,2	3,47	77,1	6,21	69,0
59 .....	0,47	5,2	0,41	4,6	0,18	4,0	0,63	7,0
60 .....	0,20	2,2	-0,02	-0,2	0,01	0,2	0,03	0,3
61 .....	0	0	0,36	4,0	0,20	4,4	0,29	3,2
1958-61 .....	3,79	42,1	7,79	86,6	3,86	85,7	7,16	79,5
62*) .....	-0,30	-3,3	-0,98	-10,9	-1,01	-22,4	-1,39	-15,4
63 .....	0,10	1,1	-0,5	-0,6	0,14	3,1	0,19	2,1
64 .....	-0,02	-0,2	-0,06	-0,7	-0,12	-2,7	0,15	1,7
1958-64 .....	3,57	39,7	6,70	74,4	2,87	63,7	6,11	67,9

\*) græsset omlagt.

Omvendt må man også antage, at en del af ammoniakken bindes ved omsætning af det organiske stof i gødningen og således går over på en form, der er vanskeligere tilgængelig. Dette er f.eks. illustreret ved sammenligningen af svovlsur ammoniak og svovlsur ammoniak + halm, hvor førsteårsvirkningen reduceres fra 78 pct. til 35 pct., når der tilsættes halm.

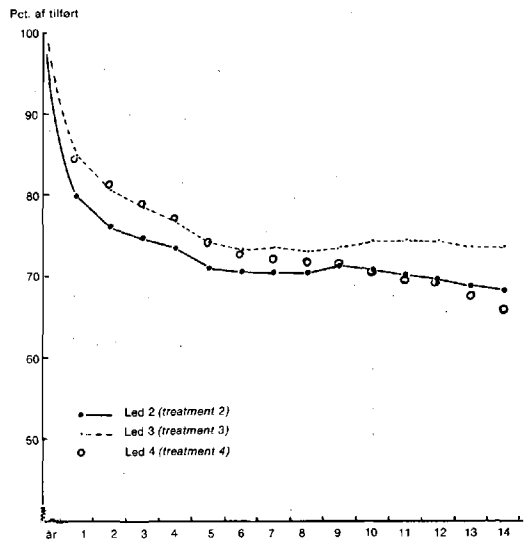
En måling af éngangstilførsel i markforsøg (Iversen, 1942) viste, at merbortførslen i afgrøde i løbet af 4 år var 28–37 pct. af kvælstof i staldgødning og 66–70 pct. af kvælstof i svovlsur ammoniak. Disse tal omfatter ikke en eventuel merbortførsel i gennemsvivningsvand, da udvaskningen ikke blev målt. Det anvendte sædskifte var roer, byg, havre og hvede.

Beregnet for de første 4 år er der, i lysimeterforsøget med varigt græs og gennemsvivningsvand, bortført 23–33 pct. af staldgødningskvælstoffet og 87 pct. af kvælstoffet i svovlsur ammoniak.



Figur 5. Beregnede indhold af restkvælstof i lerjord 1958–1971 efter éngangstilførsel af organiske gødninger, 1958.

*Calculated contents of residual nitrogen in loam soil 1958–1971 following the single application of organic manures in 1958.*



Figur 6. Beregnede indhold af restkvælstof i sandjord 1958–1971 efter éngangstilførsel af organiske gødninger, 1958.

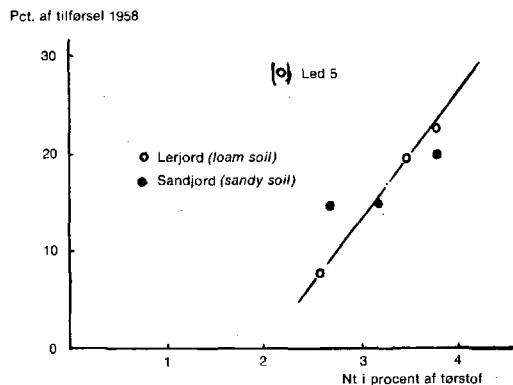
*Calculated contents of residual nitrogen in sandy soil 1958–1971 following the single application of organic manures in 1958.*

Som udtryk for mineraliseringshastigheden gennem årene ses i figur 5 forløbet på lerjord og i figur 6 forløbet på sandjord. Graferne er tegnet på grundlag af tabel 8 og illustrerer den teoretiske mængde af restkvælstof i jorden beregnet i procent af den tilførte mængde totalkvælstof.

Figur 5 viser resultaterne for organiske gødninger på lerjord. Bortset fra den større eller mindre niveauforskydning, der finder sted som følge af omlægningen i 1962, mineraliseres der kvælstof gennem hele perioden. Almindelig staldgødning og halm + svovlsur ammoniak viser den stærkeste mineralisering, luftet gødning lidt svagere, mens græstørven mineraliseres mindst. For sandjordens vedkommende (fig. 6) er mineraliseringen generelt svagere end på lerjorden, bortset fra græstørven, der mineraliseres stærkest på sandjorden.

Kurverne har for de forskellige forsøgsled samme fald inden for de respektive jordtyper. Dette antyder, at det er bortførslen i første år, der er afgørende for størrelsen af den endelige bortførsel.

Ifølge Poulsen (1950) bestemmes organiske gødningers førsteårsvirkning af deres C:N-forhold, der også kan udtrykkes ved deres kvælstofindhold i sandfrit tørstof. I figur 7 er de bortførte kvælstofmængder for 1958, udtrykt som pct. af tilført kvælstof, sat i relation til de prøvede gødningers kvælstofindhold.



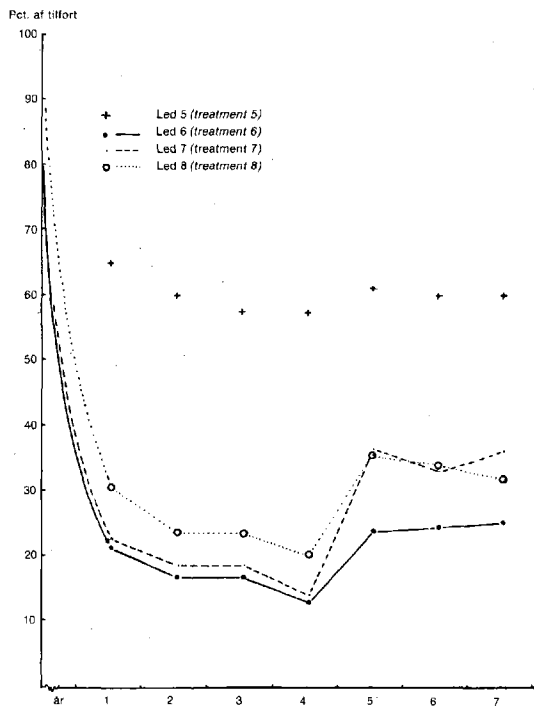
Figur 7. Forholdet mellem indholdet af totalkvælstof i gødningstørstof og N genfundet 1958 i afgrøde og gennemsnitsvandsvand.

*Relation between Nt in manure dry matter and N re-produced 1958 in crop and leaching.*

Det ses, at punkterne ret nøje kan repræsenteres af en linie, der skærer abscissen i punktet 2, hvilket betyder, at der ikke frigøres kvælstof til plantevækst det første år efter udbringningen, hvis gødningen indeholder mindre end 2 pct. N i sandfrit tørstof.

Forsøgsled 5, halm + svovlsur ammoniak afviger fra de øvrige led, idet førsteårsvirkningen er større, end det kunne forventes efter det beregnede kvælstofindhold 2,2 pct. Forklaringen kan være, at halm og gødning, der ikke var blandet før udbringningen, mere eller mindre har virket hver for sig, således at der er en betydelig kunstgødningsvirkning i det opnåede resultat.

I figur 8 er kvælstofbortførslen fra de kunstgødrede forsøgsled 6, 7 og 8 sat i relation til årene 1958–1964, idet den er beregnet som pct. af tilført uorganisk kvælstof på grundlag af tabel 9. Til sammenligning er led 5 medtaget i systemet som svovlsur ammoniak + halm.



Figur 8. Beregnede indhold af restkvælstof i lerjord 1958–1964 efter éngangstilførsel af uorganiske gødninger i 1958.

*Calculated contents of residual nitrogen in loam soil 1958–1964 following the single application of mineral fertilizers in 1958.*

Det ses, at omlægningen i 1962 har bevirket en kraftig forskydning af kurverne, hvilket dog ikke kan ændre den antagelse, at størsteparten af tilført N er blevet optaget i løbet af det første år. En sammenligning af forsøgsleddene 6 og 5 viser, at halmen har bevirket en meget kraftig reduktion af kunstgødningsvirkningen.

#### Langtidsvirkning

Den gødningsvirkning, der opnås ud over førsteårsvirkningen vil dels være en eftervirkning af afgrøden og dels en omsætning af tungere omsættelige fraktioner i de organiske gødninger. H.L. Jensen (1952, s. 260) udtrykker det således: »Medens ammoniakkvælstoffets tilgængelighed afhænger af gødningens C:N-forhold, som derfor er et brugbart kriterium for gødningens kvælstof-

virkning i første år (Poulsen, 1950) bestemmes det organiske kvælstofs værdi (dvs. gødningens eftervirkning) åbenbart af andre faktorer, nemlig de forskellige organiske stofgrupperes tilgængelighed for jordbundens mikroorganismer.

Sluismans og Kolenbrander (1977) opdeler organiske gødningers indhold af totalkvælstof (Nt) i følgende fraktioner.

1) Nm (m for »mineral«) består af  $\text{NH}_4\text{-N}$  samt urinstof og urinsyre, der alle omsættes så hurtigt, at de har samme virkning som kunstgødningskvælstof.

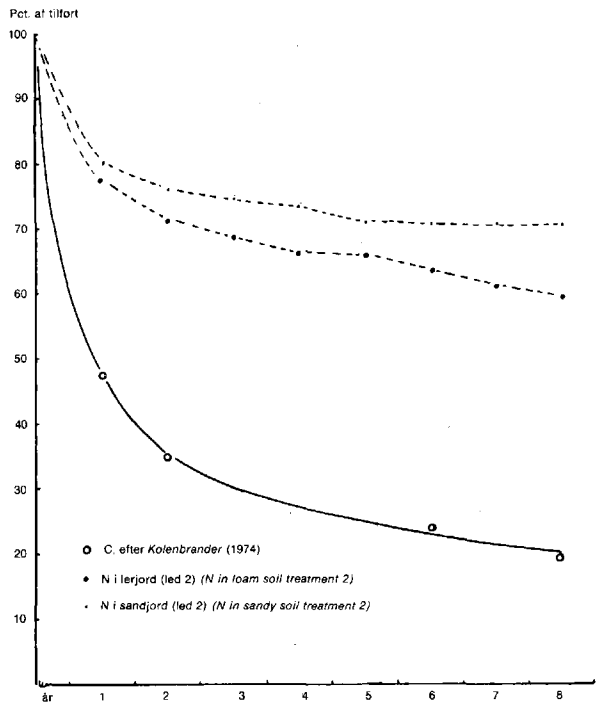
2) Ne (e for »easily«) består af forbindelser, der mineraliseres i løbet af den første vækstperiode, og hvoraf en del, alt efter afgrødens vækstsæson, kan blive optaget samme år. Denne fraktion må regnes for mindre værdifuld end forårsudbragt kunstgødnings-N.

3) Endelig vil fraktion Nr (r for »resistant«) ikke kunne optages af afgrøden i det år, hvor gødningen tilføres, men nok de senere år, idet det er ved denne fraktion, jordens gamle kraft opbygges.

Ifølge Sluismans og Kolenbrander skulle fraktionen Nm i staldgødning kunne optages i løbet af første vækstsæson. Når det tilsyneladende ikke sker i dette forsøg, idet ammoniakmængden i led 2 først genfindes i løbet af 14 år, kan årsagen være, at en del ammonium er optaget i rodmassen eller anvendt ved videre omsætning af staldgødningen i jorden.

Kolenbrander (1974) har på grundlag af omsætningsforsøg forskellige steder i verden opstillet en nedbrydningskurve for staldgødning, en kurve hvorefter ca. 80 pct. af det organiske stof er forsvundet i løbet af 8 år. En sammenligning med kurverne for kvælstofnedbrydning af almindelig staldgødning i fig. 5 og 6 viser, at nedbrydnings-takten er større for kulstof end for kvælstof, der måles ved bortførsel med afgrøde og vand.

Bortset fra de første år forløber kurverne nogenlunde parallelt, og kurven for kulstof synes at have et forløb, der svarer til at hele den tilførte mængde vil være mineraliseret i uendeligheden. For kvælstofkurvernes vedkommende må det anses for at være usandsynligt, at de skulle opnå nulværdier, snarere vil de asymptotisk nærme sig



Figur 9. Mineraliseringshastigheder for kulstof og kvælstof i staldgødning.  
Decomposition rates for C and N in FYM.

værdier, der svarer til den mængde af mineraliseret kvælstof, der ikke er optaget i afgrøden og ikke er udvasket med drænvand; men er blevet omdannet til kvælstofilter og dinitrogen ( $\text{N}_2$ ).

En laboratorieundersøgelse af kvælstofomsætningen i jord (Guiraud & Fardeau, 1977) er gennemført under anvendelse af mærket kvælstof, der dels er tilført i form af  $\text{Ca}^{(15)\text{NO}_3)_2}$  med og uden halmtilsætning og dels som  $^{15}\text{N}$  indbygget i rajgræs.

Efter en inkubationstid på 18 mdr. blev jorden tilsået med ital. rajgræs, der blev høstet 3 gange.

Resultaterne viser dels, at der i inkubationstiden sker et tab, der for uorganisk kvælstof når op på 40 pct., og for det organiske kvælstof i rajgræs på 19 pct. af tilført. Hvor kvælstof er tilført sammen med halm, bliver tabet 23 pct., idet noget kvælstof indbygges i halmens nedbrydningsprodukter. I løbet af vækstsæsonen sker et yderligere

tab, der er størst for det forsøgsled, der blev tilført halm (23 pct.) og mindst for rajgræsleddet (2 pct.).

Denne undersøgelse gør det sandsynligt, at kun en del af det beregnede restkvælstof skal kunne findes i jorden, mens en anden del er gået over i luftformige kvælstofforbindelser som følge af denitrifikation.

### Konklusion

Resultaterne viser, at staldgødning i løbet af de første år efter udbringningen frigør kvælstof, der nogenlunde svarer til den mængde, der er tilført i uorganisk form. Senere mineraliseres kvælstoffet i et betydeligt langsommere tempo.

En blanding af halm og svovlsur ammoniak har vist en mineralisering, der svarer til staldgødningens mineralisering; men her frigøres kun ca. halvdelen af det tilførte ammoniakkvælstof.

Fra græstørv, som her repræsenterer grøngødning, frigøres en kvælstofmængde, der er 2-3 gange større end den tilførte ammoniakmængde, hvilket kunne tyde på, at grønne plantedele indeholder letomsættelige kvælstofforbindelser, der ikke kommer til udtryk i ammoniakbestemmelsen.

Hvor stor en del af det organiske kvælstof, der i det lange løb kan mineraliseres til gavn for planterne, er det ikke muligt at afgøre ud fra resultaterne af dette forsøg, men andre undersøgelser synes at vise, at en del af kvælstoffet efter mineraliseringen denitrificeres til luftformige forbindelser, der ikke umiddelbart kan udnyttes af plantevæksten. Dertil kommer det eventuelle tab ved nedsivning.

### Litteratur:

- Guiraud, G. & Fardeau, J.E.* (1977): Organisation et mineralisation de l'azote dans le sol. Etude au moyen de l'azote quinze. *Annales Agronomiques* 28, 361-377.
- Hansen, L.* (1976): Jordtyper ved statens forsøgsstationer. *Tidsskr. Planteavl* 80, 742-758.
- Iversen, Karsten* (1942): Staldgødningens og kunstgødningens kvælstof- fosforsyre- og kalivirkning. *Tidsskr. Planteavl* 47, 1-93.
- Jensen, H.L.* (1952): Om staldgødningens mikrobiologiske sønderdeling I. Det organiske gødningskvælstofs nitrifikation. *Tidsskr. Planteavl* 55, 237-264.
- Jensen, J.* (1962): Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. *Tidsskr. Planteavl* 65, 894-906.
- Jørgensen, V.* (1974): Nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. 1168. Meddelelse fra Statens Forsøgsvirksomhed i Planteavl.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A. Dam* (1979): Kvælstofgødsningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer. *Tidsskr. Planteavl* 83, 330-348.
- Kofoed, A. Dam & Lindhard, J.* (1968): Mineralstoftorførsel fra græsdækket jord i lysimetre. *Tidsskr. Planteavl* 72, 417-437.
- Kolenbrander, G.J.* (1974): Efficiency of organic manure in increasing soil organic matter content. *Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci.* 1974, 2, 129-136.
- Lindhard, J.* (1967): Om udvaskning af plantenæringsstoffer. *Tidsskrift for Landøkonomi* 154, 275-285.
- Poulsen, J. Find.* (1950): Om kriterier for staldgødningens kvælstofvirkning. *Tidsskr. Planteavl* 53, 557-621.
- Stuismans, C.M.J. & Kolenbrander G.J.* (1976): De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn. *Stikstof* 7, 349-354.

Manuskript modtaget den 31. oktober 1979