

# Undersøgelser over jordens nitratindehold

Ved ERIK POULSEN og POUL HANSEN

## 622. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur

Tidligere undersøgelser over jordens nitratindehold i frugtplantager på Blangstedgaard (*Dalbro* og *Nielsen*, 552. beretning) viste for visse kulturmetoder en betydelig nitratproduktion i denne jord. Vor viden om andre jordes nitratindehold er meget mangelfuld, og der blev derfor på foranledning af nuværende professor Dalbro iværksat en undersøgelse af jordens nitratindehold gennem 2 år i en ubevokset og en bevokset parcel på 11 danske forsøgsstationer.

Resultaterne herfra forelægges i denne beretning, der er udarbejdet af assistenterne lic. agro. *Erik Poulsen* og havebrugskandidat *Poul Hansen*, Blangstedgaard.

*Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.*

INDHOLDSFORTEGNELSE	Side
Indledning .. .. .	207
Forsøgenes anlæg og udførelse .. .. .	209
Forsøgsbetingelser og resultater fra de enkelte forsøgsstationer .. .. .	209
Askov .. .. .	211
Blangstedgaard .. .. .	211
Hornum .. .. .	212
Højer Marsk .. .. .	212
Jyndevad .. .. .	213
Spangsbjerg .. .. .	214
Statens Moseforsøg, Tylstrup .. .. .	215
Studsgaard .. .. .	216
Tystofte .. .. .	216
Ødum .. .. .	217
Aarslev .. .. .	218
Resultater fra ubevokset jord .. .. .	218
Resultater fra bevokset jord .. .. .	223
Diskussion .. .. .	225
Konklusion .. .. .	229
Oversigt .. .. .	230
Summary .. .. .	232

## Indledning

Kvælstoftilførsel til afgrøderne er ofte af afgørende betydning for et rimeligt udbytte. Det er derfor naturligt, at der i tidens løb er foretaget mange undersøgelser over jordens evne til at forsyne afgrøderne med kvælstof. Det viste sig hurtigt, at næsten alt kvælstof i jorden findes i organisk form og kun små – men dog yderst varierende – mængder findes i plantetilgængelig form som ammonium eller nitrat.

DORYLAND (1916) m. fl. viste, at der var tale om et kontinuert kredsløb af kvælstof i jorden, idet der – samtidig med en stadig mineralisering af organisk kvælstof i humus og planterester til uorganisk kvælstof – foregår en assimilation af uorganisk kvælstof til mikrobielt vævsprotein, der ved organismernes død (JENSEN 1932) mineraliseres til uorganisk kvælstof, som helt eller delvis kan fortsætte i kredsløbet. Dette kredsløb forårsages af jordbundens heterotrofe mikroflora, og den nødvendige energi fås ved nedbrydning af organisk stof.

Da dette fundamentale kredsløb var påvist, gik man over til at søge dets betydning for planternes kvælstofforsyning, og i dette arbejde blev kulstof-kvælstof-forholdet af jordens organiske fraktion af betydelig værdi, da dette forhold genspejler en dynamisk ligevægt mellem organisk kulstof og kvælstof i jord, der er bestemmende for den mikrobielle aktivitet. I de fleste jorde ligger C/N omkring 10, og her forekommer normalt en nettomineralisering af uorganisk kvælstof. Tilføres der kulstofrigt materiale til en sådan jord, mindskes nettomineraliseringen, og tilføres kvælstofrigt materiale øges den. (WAKSMAN 1924).

Det var dernæst en logisk konsekvens at undersøge C/N-forholdet i forskellige afgrøderester og organiske gødninger, for herved at kunne forudsige deres indflydelse på kredsløbet i jord og kvælstofvirkningen på afgrøden. Der blev herved fundet en kritisk værdi af C/N på omkring 20, således at et tilført materiale med højere C/N vil formindske jordens indhold af uorganisk kvælstof, medens tilført materiale med C/N under 20 vil forøge dette indhold (JENSEN 1929 og POULSEN 1950).

Kulstof-kvælstofindholdet er imidlertid kun en grovere målestok for den virkelig betydende faktor: tilgængelig energi/tilgæn-

gelig kvælstof. JENSEN (1952) viser, at ligninforbindelser er meget resistente mod mikrobiel nedbrydning, og deres tilgængelige energiindhold er derfor meget lavere end kulstofindholdet giver udtryk for.

I de seneste år har anvendelsen af den stabile kvælstofisotop N-15 givet en del nye og værdifulde resultater (NÖMMIK 1956, BARTHOLOMEW 1957, JANSSON 1958 o.a.). Det viste sig, at kvælstofkredsløbet i jorden foregår gennem ammoniumfasen, medens nitrat indgår i en passiv opsamlingsfase, der kun bringes ind i kvælstofkredsløbet ved højt kulstof-kvælstof forhold, og endda først efter at hovedparten af ammoniumkvæstoffet er assimileret, da den heterotrofe mikroflora assimilerer ammonium før nitrat. Endvidere blev det påvist, at ved tilførsel af ammonium til nogle svenske lerjorde kunne der fastlægges op til 30-35 pct. af det tilførte ammonium som planteutilgængeligt gitterbundet ammonium.

Trods de nævnte undersøgelser er der dog endnu langt fra skabt klarhed over størrelsen af en almindelig agerjords netto kvælstofproduktion. De gamle Rothamstedforsøg, hvor der gennem 35 år blev udtaget prøver af en ubevokset jord, viste en nettomineralisering på ca. 30 kg kvælstof pr. år og ha. Nyere undersøgelser synes imidlertid at give betydeligt højere værdier, således fandt LEFEVRE og HIROUX (1958) ved prøveudtagninger på renholdt jord i 0-30 cm dybde en nettoproduktion på 64 kg N pr. år og ha. DALBRO og NIELSEN (1958) fandt for renholdt jord i frugtplantager på Blangstedgaard en årlig minimumsnitratproduktion på ca. 60 kg N pr. ha i 0-60 cm dybde.

Et øget kendskab til jordbundens kvælstofproducerende evne må have betydelig interesse for vurdering af forsøg med kvælstoftilførsel til vore afgrøder, og det var derfor naturligt at undersøge, om den af Dalbro og Nielsen fundne nitratproduktion på 60 kg N, svarende til ca. 400 kg kalksalpeter, også gælder under andre klima- og jordbundsforhold. I 1956 og 57 blev der derfor udtaget jordprøver på 11 forsøgsstationer til undersøgelse af jordens nitratindhold, og resultaterne herfra fremgår af denne beretning.

## Forsøgenes anlæg og udførelse

Jordprøverne er på hvert forsøgssted udtaget fra 2 prøveflader à 10 m<sup>2</sup>, hvoraf den ene er uden plantevækst og den anden bevokset. De to prøveflader er placeret i umiddelbar nærhed af hinanden og er i alle tilfælde gødet ens. I undersøgelsesperioden fra maj 1956 til december 1957 er der med 14 dages mellemrum udtaget jordprøver i dybderne 0-20, 20-40 og 40-60 cm med 1 stik pr. kvadratmeter. Efter udtagningen er der tilsat 10 ml toluol pr. æske, og prøven er tørret ved 50-60 °C. Analysering af prøverne er foretaget på Statens Planteavlslaboratorium efter naftylaminmetoden (GAD og BENJAMINSEN 1957).

Ved omregning af analyseresultaterne for de enkelte jordlag til total indhold i 0-60 cm er anvendt den af BONDORFF (1950) hyppigst fundne litervægt på 1400 g. For Moseforsøgene, Tylstrup, er litervægten dog opgivet og beregnet efter 310 g.

## Forsøgsbetingelser og resultater fra de enkelte forsøgssteder

Tabel 1 viser en skematisk redegørelse for forsøgsbetingelserne. Omregning til kg N pr. ha i tabel 1 er udført under de forudsætninger, at tilført ammonium i kunstgødning og ajle beregnes med fuld nitrifikationsværdi, nedpløjet staldgødning med 50 pct. og ikke nedpløjet staldgødning med 25 pct. mineralisering.

Resultaterne fra de enkelte forsøgssteder er i det følgende fremstillet grafisk således, at abcissen angiver udtagningstider, medens ordinaten viser kg nitrat-N pr. ha i 0-60 cm for henholdsvis ubevokset og bevokset parcel. Øverst på figurerne er vist samlet nedbør mellem hver udtagingsdato. På forsøgssteder, hvor der er givet kvælstofgødning, er tidspunktet for tilførslen angivet på figurerne med lodrette prikkede linier, og mængden i kg N pr. ha er vist med vandrette prikkede linier. Endvidere henvises til tabel 1, og mere detaljerede oplysninger – navnlig vedrørende dybdevariation – kan fås af maskinskrevne tabeller, der udlånes fra Statens Planteavlskontor.

Tabel 1. Forsøgssteder, gødningstilførsel, dyrkningsdata m. m.  
(Places of experiment — kind and amount of added nitrogen — crops)

Forsøgssted	År	Kvælstoftilførsel			dato	art	Afgøde		Bemærkninger
		art	kg/ha	kg N/ha			sået	høstet	
Askov.....	1956					kløvergræs	1955	1 <sup>9</sup> /56	jordprøver 2 <sup>9</sup> /4-57, kass.
Askov.....	1957	kalksalpeter	600	93	27/4	hvede	24/9-56	13/8-57	
Blangstedgaard....	1956	kalksalpeter	3 × 300	3 × 46.5	27/4 30/5	selleri	pl. 25/5	2/11	
Blangstedgaard....	1957	kalksalpeter	2 × 300	2 × 46.5	27/4 7/8 23/5 20/6	sukkerroer	9/4	2/11	
Hornum.....	1956	{ staldgødning kalksalpeter	{ 15 t 800	{ 34 124	{ 30/11-55 13/4	bederoer	15/4	15/9	
Hornum.....	1957	kalksalpeter	300	46.5	forår	bederoer	25/4	29/10	anden mark end i 1956 forfrugt: havre
Højer Marsk.....	1956					byg	10/4	16/8	
Højer Marsk.....	1957					havre	23/3	12/8	anden mark, forfr. græs
Jyndevad.....	1956	kalksalpeter	200	31	20/4	byg m/udlæg	26/3	2/8	anden mark
Jyndevad.....	1957	kalksalpeter	300	46.5	5/4	blandsæd	22/3	9/8	
Spangsbjerg.....	1956	{ staldgødning kalksalpeter	{ 20 t 400 600 300	{ 50 62 93 46.5	{ forår 13/6 26/7 6/9	selleri	pl. 1/6	20/11	
Statens Moseforsøg.	1956	{ staldgødning ammonsulf. salp. kalkammonsalp.	{ 40 t 400 225	{ 50 104 46	{ 1/2 12/5 17/5	sukkerroer	25/5	22/10	forfrugt: havre
Statens Moseforsøg.	1957	kalksalpeter	300	46.5	26/4	sukkerroer	18/5	2/11	
Studsgaard.....	1956	kalksalpeter	800	124	24/3	kålroer	21/4	30/11	
Studsgaard.....	1957					byg m/udlæg	26/3	3/8	
Tystofte.....	1956	{ kalksalpeter staldgødning	{ 300 40 t	{ 46.5 100	{ maj 30/11	havre	24/4	10/8	kløvergræsset jævnlig slået
Tystofte.....	1957	kalksalpeter	400	62	12/6	sukkerroer	26/4	26/10	
Ødum.....	1956					kløvergræs	april		
Ødum.....	1957					kløvergræs			
Aarslev.....	1956	{ ajle kalksalpeter	{ 10 t 200	{ 40 31	{ 10/11-55 26/4	{ byg m. lu- cerneudl.	12/4	20/8	forfrugt: majs slæt: 18/6, 26/7 og 9/8, jordprøver 15/8 og 15/10 kasseret
Aarslev.....	1957					lucerne			

NO<sub>3</sub>-N

0-60 cm,  
kg/ha

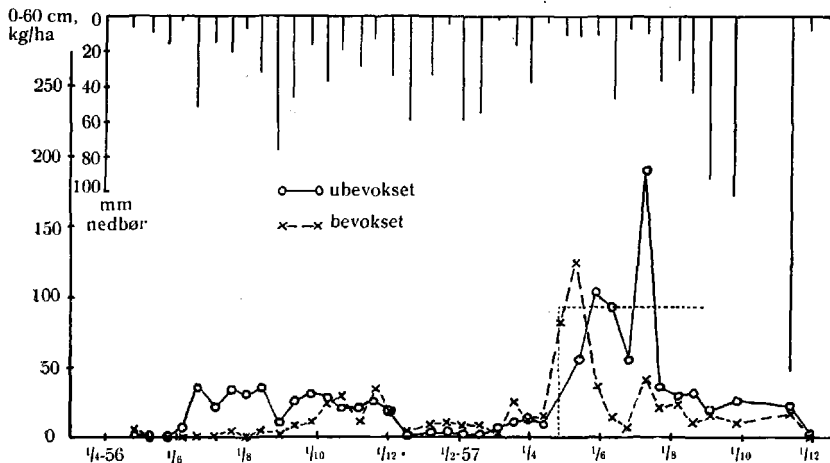


Fig. 1. (Askov)

NO<sub>3</sub>-N

0-60 cm,  
kg/ha

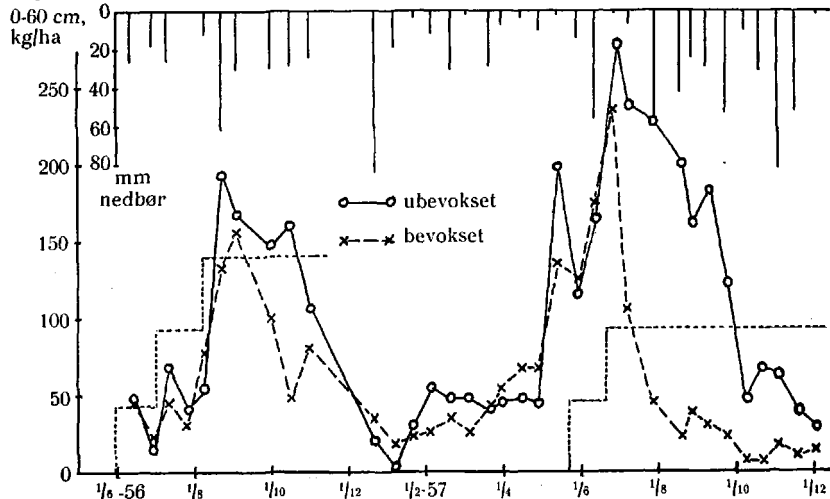


Fig. 2. (Blangstedgaard)

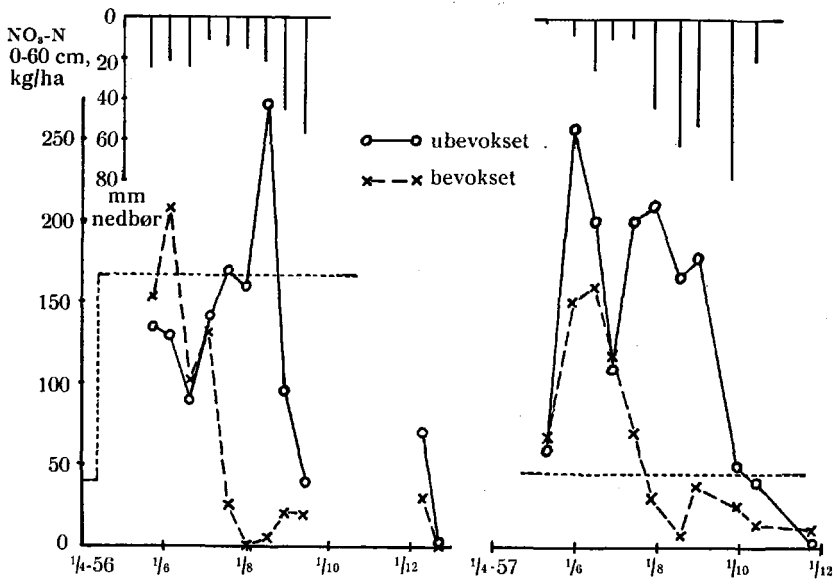


Fig. 3. (Hornum)

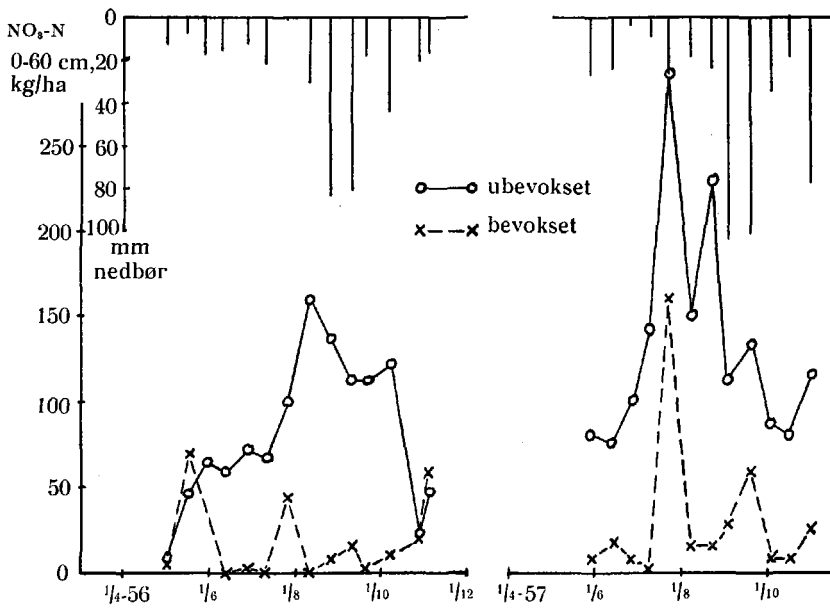


Fig. 4. (Højer)

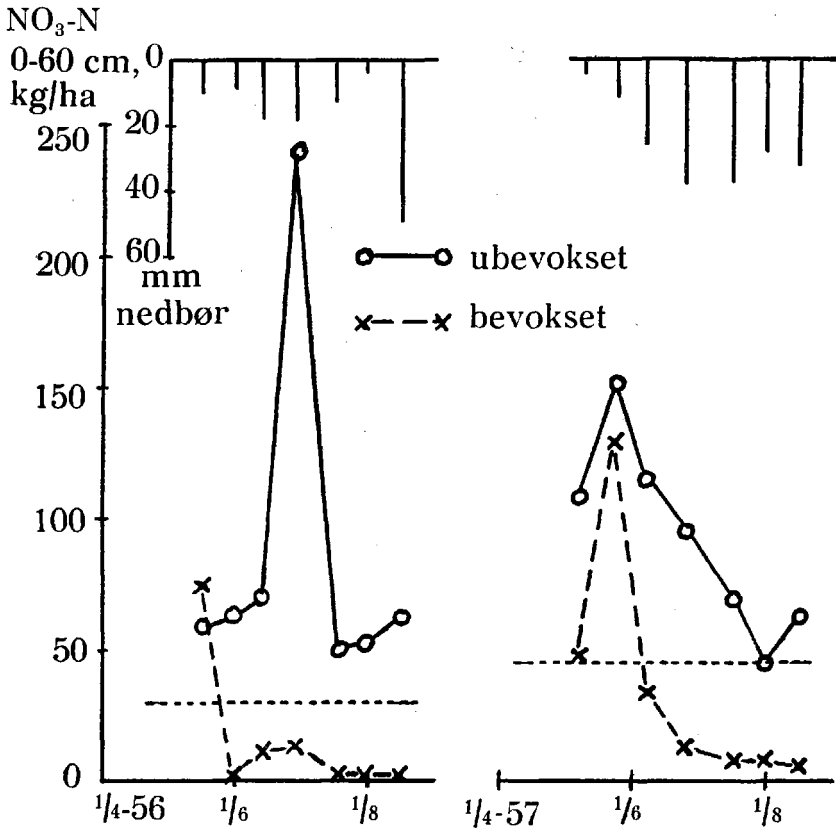


Fig. 5. (Jynde vad)



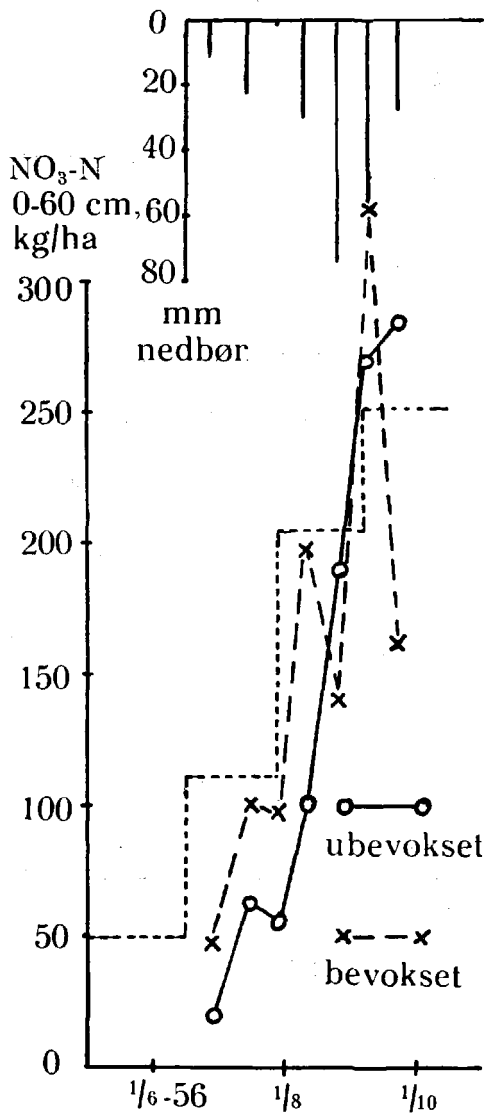
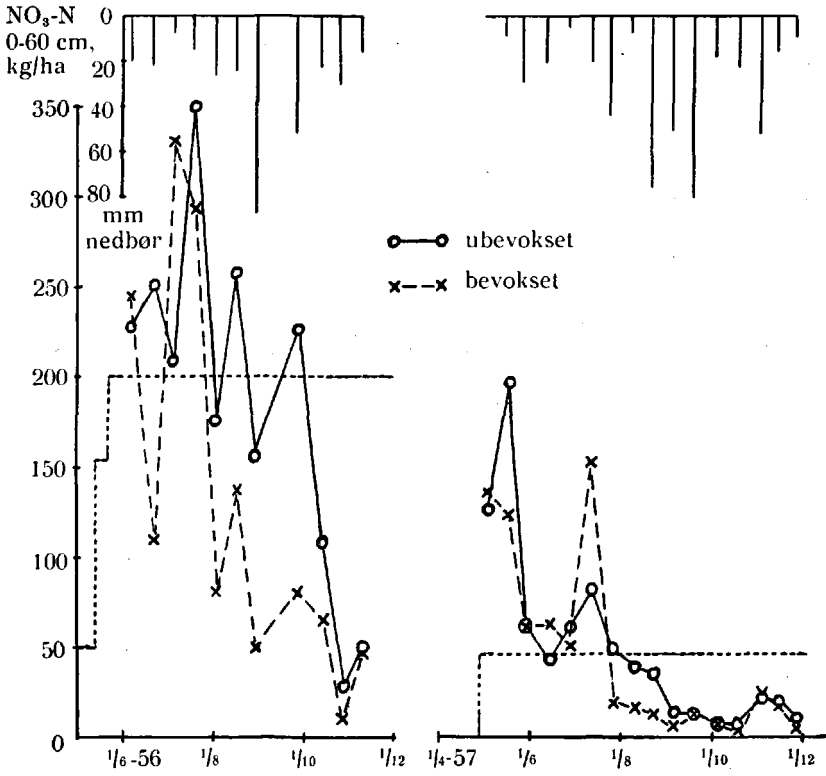


Fig. 6. (Spangsbjerg)



(Fig. 7. Statens Moseforsøg, Tylstrup)

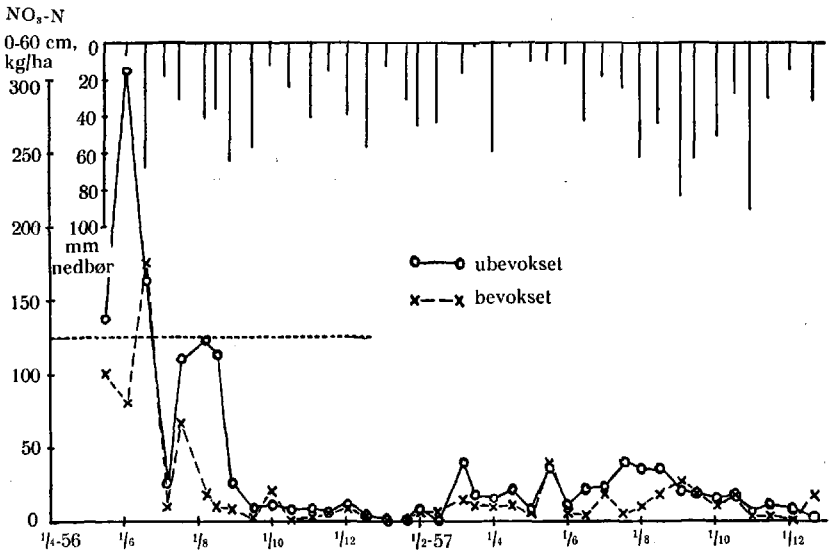


Fig. 8. (Studsgaard)

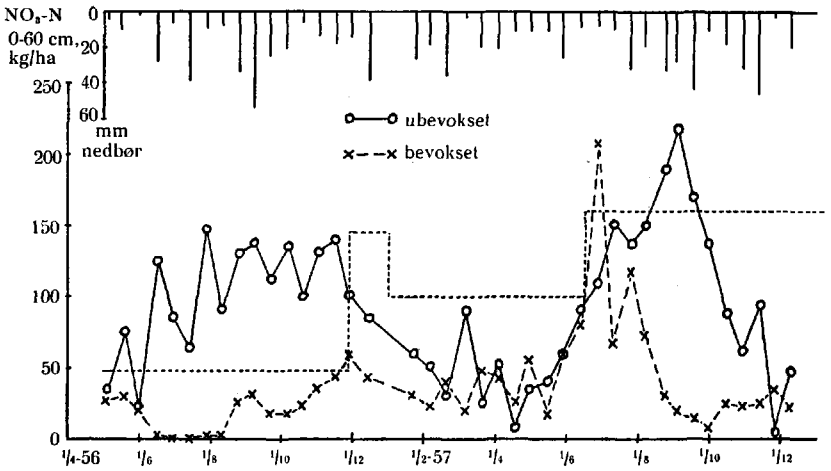


Fig. 9. (Tystofte)

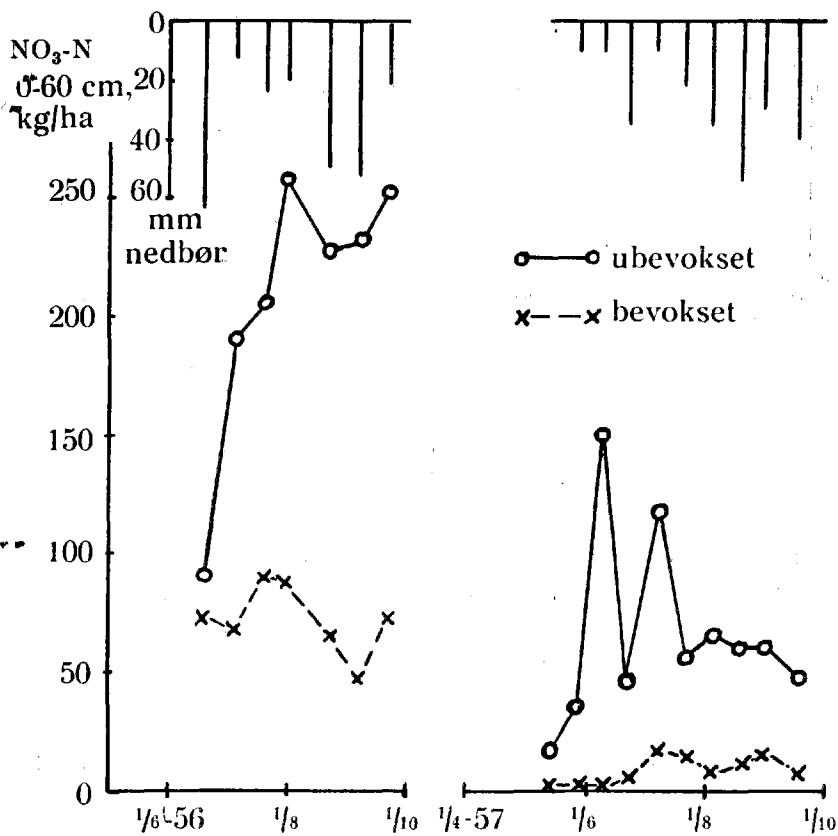


Fig. 10. (Ødum)

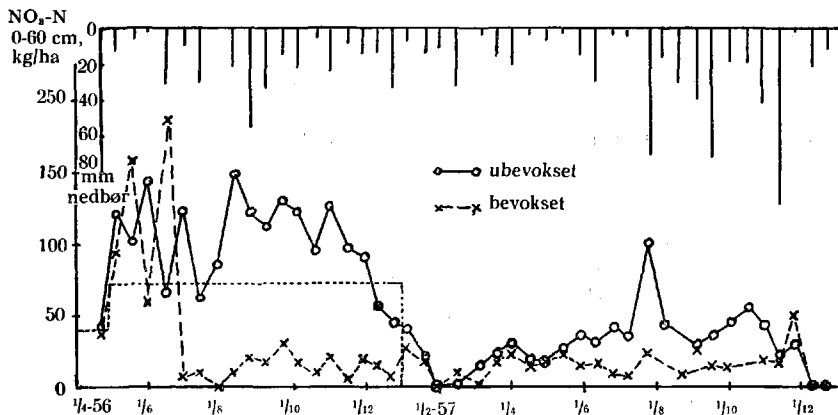


Fig. 11. (Aarslev)

## Resultater fra ubevokset jord

### a) NITRATINDHOLDETS STØRRELSE OG ÅRSTIDSVARIATIONER

Forsøget er gennemført på 10 forsøgssteder i to år og på et forsøgssted i et år, d.v.s. ialt 21 tilfælde. Det fremgår af tabel 1, at disse 21 tilfælde er tilført højst forskellige mængder kvælstofholdige gødninger, varierende fra 0 i 7 tilfælde til 252 kg N på Spangsbjerg. En bedømmelse af nitratindholdets størrelse er derfor kun mulig med det forbehold, at forsøgsstederne er gødet forskelligt, men kan anvendes som et tilnærmet mål for jordens nitratindhold under almindelige danske gødskningsforhold. Tabel 2 viser et gennemsnit af forsøgssteder.

Tabel 2. Jordens nitratindhold

(kg N pr. ha i 0—60 cm) i ubevokset jord. Gennemsnit af forsøgssteder.

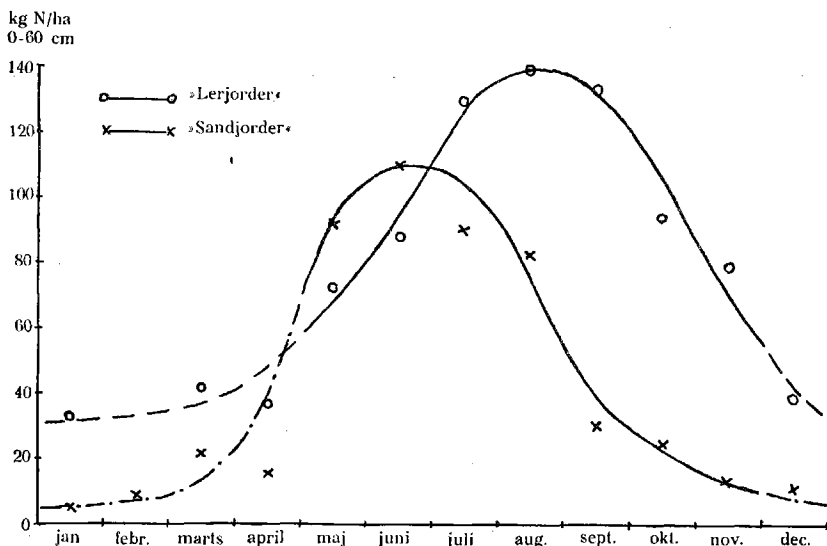
(Nitrate content in bare soil. Average of all places)

	Jan.	Feb.	Marts	Apr.	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
Gens. kg N/ha.	21	24	30	26	86	99	115	117	104	70	50	35
Antal tilfælde i												
gens. ....	5	5	5	7	16	21	21	21	19	15	14	8

Den nederste linie i tabel 2 viser hvor mange af de ialt 21 tilfælde, der indgår i angivelsen af nitratindholdets størrelse og viser således, at resultaterne for perioden december til og med april er

bestemt af forholdsvis få tilfælde. Det fundne maksimale nitratindhold for alle forsøgssteder under et indtræffer i juli-august og er på 116 kg N pr. ha i 0-60 cm med en gennemsnitlig kunstgødningsanvendelse på 72 kg N pr. ha.

En betragtning af kurverne for Studsgaard, Jydevad, Hornum og Askov (figur 8, 5, 3 og 1) viser det karakteristiske fællestræk, at nitratindholdet i september – for nogle tilfælde i august – er betydelig lavere end i juli. I modsætning hertil er nitratindholdet på de øvrige forsøgssteder nærmest uændret i perioden juli, august, september. Dette forhold belyses i tabel 3, hvor jordene er opstillet efter stigende sværhedsgrad. Statens Moseforsøg er udeladt på grund af den afvigende jordtype, og Spangsbjerg er udeladt, da der her er givet store kvælstofmængder ad 4 gange til hen i september. I tabel 3 er perioden december-april ikke medtaget på grund af de relativ få målinger. Det fremgår klart af tabel 3, at variationen mellem forsøgssteder og mellem år samme sted er meget stor, og at man således ikke ud fra de opnåede gennemsnitstal i tabel 3 og tabel 2 kan sige noget sikkert om nitratindholdets størrelse på et givet forsøgssted og år.



Figur 12. Årstidsvariation i kg N pr. ha i 0-60 cm for 4 »sandjorder« og 5 »lerjorder«

Tabel 3.  
Nitratindhold (kg N pr. ha i 0—60 cm) i 4 »sandjorder« og 5 »lerjorder«  
(Nitrate content in 4 sandy and 5 loamy soils)

		Tilført kg N/ha	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.
Studsgaard	1956	124	137	236	67	87	12	12	12
do.	1957	0	25	18	33	39	20	17	12
Jynde vad	1956	31	64	157	53	62	—	—	—
do.	1957	47	131	106	61	61	—	—	—
Hornum	1956	158	135	112	157	185	40	—	—
do.	1957	46	160	154	206	174	51	40	9
Askov	1956	0	3	22	28	28	28	26	25
do.	1957	93	79	75	118	30	22	—	11
Gens. af de målte tilfælde .		62	92	110	90	83	30	24	14
Tystofte	1956	$\left\{ \begin{array}{l} 47 \\ 100 \end{array} \right.$	59	78	109	109	126	121	121
do.	1957		62	54	101	146	174	196	90
Aarslev	1956	71	120	95	73	137	118	107	104
do.	1957	0	37	36	70	37	36	48	29
Ødum	1956	0	—	90	216	227	243	—	—
do.	1957	0	28	98	90	62	47	—	—
Blangstedg.	1956	140	—	33	54	126	168	157	104
do.	1957	93	160	222	235	181	154	61	53
Højer	1956	0	42	39	87	148	115	75	48
do.	1957	0	81	90	218	193	125	89	115
Gens. af de målte tilfælde .		51	73	88	130	139	133	94	79

Årstidsvariationen for de 4 lettere og de 5 sværere jorder fremgår derimod med større sikkerhed, da enkeltresultaterne i hver vandret linie i tabel 3 »støtter« hinanden. Gennemsnitsresultatet af de målte tilfælde er vist grafisk i figur 12.

Figur 12 viser, at de lettere jorder i maj har et højere nitratindhold end lerjordene og har et maksimum i juni mod lerjordernes maksimum i august. På de lettere jorder synes udvaskningen af nitrat at være stærkt fremskredet i september til mindre end 40 pct. af det maksimale indhold, medens denne værdi først nås for lerjordene sidst i november. På grundlag af de resterende forsøgsdata og vor viden om nitratindhold iøvrigt (se diskussion) er den resterende del af årstidsvariationen indtegnet med stiplede linier. På figur 12 når lerjordene et maksimum på ca. 130 kg N

pr. ha i perioden juli-september med en gennemsnitlig gødningsanvendelse på 51 kg N. I denne periode synes lerjorderne således at yde et »netto«-nitratindhold på ca. 80 kg N pr. ha i 0-60 cm. De lettere jorders maksimum i maj-juli på ca. 100 kg N opnås ved en gennemsnitlig tilførsel på 62 kg N, og »nettoindholdet« synes således at være omkring 40 kg N.

## b) NITRATINDHOLDETS DYBDEVARIATION

Tabel 4 viser dybdevariationen for den i tabel 3 anvendte gruppering af 4 lettere og 5 sværere jorder.

Tabel 4. Dybdevariation i kg N pr. ha og relativ fordeling  
(Relation between nitrate content and soil depth)

Jordtype	Dybde, cm	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	
»Sandjord«	0—20	68	62	56	36	5	7	5	
	kg N pr. ha	20—40	17	32	26	34	6	4	4
		40—60	6	15	8	14	19	13	5
pct. fordeling	0—20	75	57	62	43	17	29	36	
		20—40	18	29	29	40	20	17	29
		40—60	7	14	9	17	63	54	36
»Lerjord«	0—20	40	57	83	87	59	33	30	
	kg N pr. ha	20—40	19	20	33	33	49	37	25
		40—60	14	11	14	20	25	23	23
pct. fordeling	0—20	55	65	64	63	44	35	38	
		20—40	26	23	25	24	37	39	32
		40—60	19	12	11	14	19	25	30

Det fremgår af tabel 4, at for de lettere jorder opnås maksimalt indhold i 0-20 cm i maj, for 20-40 cm i august og for 40-60 i september. I maj-juni findes 66 pct. af det totale nitratindhold i 0-20 cm, medens denne dybde i juli-august og september-oktober indeholder henholdsvis 53 og 23 pct. af totalindholdet. Lerjorderne viser derimod først maksimalt indhold i 0-20 cm i juli-august, og for 20-40 cm og 40-60 cm indtræder maksimum i september-oktober. I perioden juni-juli-august synes fordelingen af det totale nitratindhold at være ret konstant med omkring 64 pct. i 0-20 cm, ca. 24 pct. i 20-40 cm og ca. 12 pct. i 40-60 cm.



Tabel 4 fremgår som en gennemsnitsberegning af henholdsvis de 4 sandjorder og de 5 lerjorder, og nitratindholdet fremtræder derfor med en jævnere dybdevariation, end tabelmaterialet for de enkelte forsøgssteder giver udtryk for. Selvom hovedparten af nitraten i de fleste tilfælde findes i 0-20 cm i maj-juni måned, sker der dog i nogle tilfælde (f. eks. Blangstedgaard 13/5-57, Hornum 31/5-57 og Studsgaard 7/6-56) kortvarige forøgelse af indholdet i de dybere lag og især i forbindelse med store, kortvarige stigninger i totalindholdet. Nedbørsmængderne i forbindelse med disse stigninger i de dybere lag er som regel mindre end 20 mm på 14 dage. Om efteråret fås i de fleste tilfælde et typisk nedvaskningsforløb, d.v.s. en trinvis forskydning af maksimum i de enkelte lag nedad efterhånden, som nitraten nedvaskes. Dog forekommer en del tilfælde, hvor nitratindholdet er samtidigt aftagende i alle 3 dybder, f. eks. Højer 1956 og Statens Moseforsøg 1956.

### c) NITRATINDHOLDET EFTER TILFØRSEL AF KVÆLSTOFHOLDIGE GØDNINGER

Der er ved flere af forsøgsstederne tilført kalksalpeter før eller i prøveudtagningsperioden (tabel 1) og i mængder varierende fra 31 til 201 kg N pr. ha. I 8 tilfælde er tilførslen sket 7-51 dage før første prøveudtagning med det resultat, at i 4 tilfælde var jordens nitratindhold ved første prøveudtagning derefter omtrentlig den tilførte mængde, i 3 tilfælde fandtes 29-64 kg udover det tilførte, og ved Spangsbjerg 1956 var indholdet – efter 15 dage uden større nedbør – 42 kg N mindre end den tilførte mængde. Disse resultater må ses på baggrund af, at der intet foreligger om det i forvejen værende nitrat i jorden.

I 9 tilfælde er der i prøveudtagningsperioden tilført kalksalpeter, og i 8 af disse tilfælde har førstkommande prøveudtagning vist stigninger, der meget nær svarer til de tilførte mængder, medens den fulde forøgelse i et tilfælde først er fundet ved den anden prøveudtagning.

Ved Statens Moseforsøg, Tylstrup 1956, er der tilført ammoniumsulfatsalpeter og kalkammonsalpeter, ialt 150 kg N pr. ha, deraf 101 kg ammoniumkvælstof. Ved første prøveudtagning den 7/6 – henholdsvis 26 og 20 dage efter tilførsel – findes et nitratindhold

på 230 kg N, hvoraf ca. 50 kg N kan fradrages for efterårsudbragt staldgødning. Hvis jorden ikke i forvejen har indeholdt mere end ca. 30 kg N, må alt det tilførte ammoniumkvælstof have undergået en hurtig nitrifikation.

Staldgødning er tilført med 15 t pr. ha på Hornum efterår 1955, med 40 t på Tystofte efterår 1956 og ved Spangsbjerg og Statens Moseforsøg med henholdsvis 20 t og 40 t forår 1956. Ved de første prøvetagninger efter staldgødningstilførslen er der kun ved Statens Moseforsøg en mærkbar forøgelse i jordens nitratindhold, når kunstgødningskvælstof fradrages. Men på sommeren sker dog alle fire steder en ret betydelig nitratproduktion, som staldgødningen sandsynligvis har været medvirkende til.

### Resultater fra bevokset jord

Nitratindholdet i de bevoksede parceller ligger i de fleste tilfælde i en eller flere perioder af vækstsæsonen betydeligt under indholdet i de tilsvarende ubevoksede parceller. Hovedårsagen hertil må naturligvis søges i afgrødens nitratoptagelse. Tabel 5 viser afgrødernes indflydelse på jordens nitratindhold, idet forsøgsstederne er samlet efter afgrødeart.

Tabel 5 viser for *kornafgrøderne*, at den gennemsnitlige forskel mellem nitratindholdet i den ubevoksede og bevoksede parcel i maj-juni-juli varierer imellem 54 og 96 kg pr. ha i 0-60 cm med et gennemsnit for de 5 forsøgssteder på 66 kg N pr. ha, hvilket er i overensstemmelse med Gødningslærens (Steenbjerg 1950) angivelse af kornafgrødernes kvælstofforbrug på ca. 60 kg N pr. ha. I alle de nævnte 5 tilfælde synes bevokset at afvige fra ubevokset omkring 1. juni, den maksimale forskel at indtræde i juni-juli, og bevokset at have et lavt indhold fra juni. (Kolonnen med angivelse af lavt indhold afgrøderne imellem kan sammenlignes med det forbehold, at forsøgsstederne ofte er gødet forskelligt).

For *byg med udlæg* viser Studsgaard og Aarslev et lavere og Jynde vad en lidt højere kvælstofdifferens end forsøgsstederne med korn. Ved Studsgaard 57 er nitratindholdet i ubevokset dog lavt hele året, og forskellen kan således heller ikke blive stor. Ved Aarslev er forskellen væsentlig større senere på sommeren.

Nitratindholdet i parcellen med *lucerne* ligger hele året under

Tabel 5. Afgrødernes indflydelse på jordens nitratindhold  
(Relation between soil nitrate content and crop species)

Afgroede	Forsøgssted	Bevokset begynder at afvige fra ubev. ca.	Gensn. forskøl i 3 mdr. kg N/ha <sup>1</sup>	Maksimal forskel m. ubevokset og bevokset		Lavt indhold i be- vokset i væksttiden	
				kg N/ha 0-60 cm	tid <sup>2</sup>	kg N/ha 0-60 cm	tid
Hvede .....	Askov 57	1/8	62	235	maj	25	fra juni
Havre .....	Højer 57	1/6	96	150	juli	25	juni-aug.
— .....	Tystofte 56	1/6	61	130	juli	0	juni-juli
Blandsæd ..	Jynde vad 57	1/6	59	85	juni	15	fra juli
Byg .....	Højer 56	1/6	54	70	juni	25	juni-okt.
Byg m/udlæg	Jynde vad 56	1/6	82	220	juni	10	fra juni
—	Studsgaard 57	1/6	13	30	juli	20	hele tiden
—	Aarslev 56	1/7	22	120	juni	25	fra juli
Lucerne.....	Aarslev 57	15/5	30	75	juli	25	meste tid
Kløvergræs ..	Askov 56	1/6	22	30	juli	0	maj-aug.
— ..	Ødum 56	juni	129	170	aug.	50—75	hele tiden
— ..	Ødum 57	maj	64	120	juni	20	-
Kålroer .....	Studsgaard 56	15/7	24	100	aug.	15	fra aug.
Bederøer .....	Hornum 56	1/7	108	255	aug.	25	fra juli
— .....	Hornum 57	1/7	135	180	aug.	30	- aug.
Sukkerroer ..	Mosefors. 56	1/8	81	145	sept.	75	- sept.
— ..	Mosefors. 57	1/8	6	25	aug.	20	- aug.
— ..	Blangstedg. 57	1/7	144	185	aug.	40	- aug.
— ..	Tystofte 57	1/7	101	190	sept.	25	- sept.
Selleri .....	Blangstedg. 56	15/8	20	70	aug.	50—75	oktober
— .....	Spangsbj. 56	20/9	÷ 11	120	sept.	—	-

1. Gennemsnit af ugentlige differencer imellem ubevokset og bevokset parcel 0—60 cm for korn med og uden udlæg maj-juni-juli, kløvergræs og lucerne for juni-juli-august og for alle rodfrugtarter juli-august-september.
2. For de under 1. nævnte perioder.

den ubevoksede parcel. Gennemsnitsforskellen for juni-juli-august udgør ca. 30 kg N pr. ha i 0-60.

*Kløvergræs* viser i juni-juli-august forskelle på 22, 129 og 64 kg N for henholdsvis Askov 1956 og Ødum 1956 og 57. På Askov 1956 var indholdet i den ubevoksede parcel meget lavt hele året, og differencen kan derfor ikke blive stor. For Ødum fås i gennemsnit af de 2 år en forskel på 97 kg N på ubevokset og bevokset parcel. (Gødningslæren 110 kg N/ha). Gennemgående synes nitratindholdet at være lavt hele vækstsæsonen i lucerne og kløvergræs.

*Bederøer* og *sukkerroer* viser et fra de øvrige afgrøder afvigende billede. Med undtagelse af Statens Moseforsøg 1957 fås en gen-

nemsnitlig differens for de 5 øvrige forsøgssteder mellem ubevokset og bevokset på 114 kg N pr. ha i 0-60 cm for juli, august og september. (Gødningslæren angiver bederoernes kvælstofforbrug til 110-120 kg N pr. ha i et sædskifte, der gennemsnitlig yder 4500 F.E. pr. ha.).

I modsætning til kornafgrøderne begynder bevokset her først at afvige fra ubevokset i juli og med maksimale forskelle i august-september. Undersøgelsen viser således – som ventet – et større kvælstofforbrug og en senere kvælstofoptagelse hos bederoer sammenlignet med kornarterne. I nogle tilfælde synes roernes nitratoptagelse i dybden at kunne følges (se tabelmateriale for Blangstedgaard 1957, Hornum, Statens Moseforsøg og Ødum, alle 1956).

## Diskussion

### 1. FEJLKILDER VED BESTEMMELSE AF JORDENS NITRATINDHOLD

Vurderingen af de ovenfor beskrevne resultater må naturligvis ses på baggrund af de fejlkilder, der influerer ved fremskaffelsen af et sådant materiale.

#### a) *Analysesikkerhed:*

Analyseringen er som nævnt foretaget på Statens Planteavlslaboratorium efter naftylaminmetoden. Da der kun er udført enkeltbestemmelser (dog er prøver, der viste stort og fra foregående prøve stærkt afvigende indhold, analyseret 2 gange), er det ikke muligt direkte at angive analysesikkerheden. DALBRO og NIELSEN (1958) finder ved xylenolmetoden – der må anses for lige så sikker, men mere arbejdskrævende end naftylaminmetoden – en middelfejl på gennemsnit af dobbeltbestemmelsen på ca. 5 pct. af prøvens nitratindhold.

#### b) *Prøveudtagning:*

Prøverne er udtaget fra 10 m<sup>2</sup> med 1 stik pr. m<sup>2</sup> i de tre nævnte dybder. For hver dybde er de 10 stik slået sammen til een analyseprøve. Der er således heller ikke her nogen mulighed for fejlberregning. Imidlertid viser DALBRO og NIELSEN (1958) ved analysering

af 9 enkeltstik fra en 9 m<sup>2</sup> prøveflade, at middelfejlen på både prøveudtagnings- og analysefejl andrager ca. 10-11 pct. at nitratindholdet i jorddybderne 0-20 og 20-40 og noget mindre for dybderne 40-60 og 60-90 cm.

## 2. NITRATINDHOLD I UBEVOKSET JORD

Figur 12 giver et skematisk billede af den fundne årstidsvariation for sandjorder og lerjorder. For vinterperioden er der som nævnt kun forholdsvis få målinger, og derfor er kurverne for denne periode tegnet med stiplede linier og fastlagt efter de givne målepunkter i forbindelse med kurvens form for de øvrige årstider. I perioden januar til og med marts er nitratindholdet meget lavt, på den lettere jord mellem 5 og 20 kg N pr. ha og for lerjorderne mellem 25 og 40 kg N. Disse opgivelser synes at stemme med FRODE HANSENS (1929) opgivelser for Askov og DALBRO og NIELSENS (1958) opgivelser for Blangstedgaard. I april-maj stiger nitratindholdet stærkt, og denne stigning må først og fremmest skyldes stigende jordtemperatur, der bevirker øget nitrifikation (RUSSELL 1950), men i kurverne på figur 12 indgår også det forhold, at hovedparten af den tilførte kunstgødning er givet i denne periode. Stigningen i april-maj synes at være mest udpræget på sandjorder, hvilket må anses for sandsynligt, da sandjorder med den ringe vandkapacitet opvarmes hurtigere om foråret end lerjorderne. Sandjorderne når derefter et maksimum i juni mod lerjordernes maksimum i august. FRODE HANSEN (1928) finder maksimum for Askov mellem midten af juni til midten af juli, medens DALBRO og NIELSEN finder maksimum for Blangstedgaard i september. Disse angivelser stemmer dog godt overens med figur 12, da Askov har let lermuld, og således er i den gode del af det, der her er kaldt sandjord. Blangstedgaard hører ligeledes til i den mest lerholdige del af de her benævnte lerjorder. Nedvaskningskurverne for de to jordtyper synes at forløbe parallelt, således at et givet niveau først nås 2½ måned senere på lerjorder end på sandjorderne. Også dette er i overensstemmelse med, at FRODE HANSEN (1929) allerede i september finder et lavt indhold på Askov, og at DALBRO og NIELSEN (1958) finder et betydeligt nitratindhold på Blangstedgaard i oktober-november.

Afvingelser fra de her beskrevne perioder med maksimalt nitratindhold er utvivlsomt hyppige, hvilket også fremgår af tabel 3. Temperatur- og nedbørsforhold vil her spille en afgørende rolle. SOLBERG og BRAADLIE (1957) finder i norske forsøg over nitratindholdets variation i de øverste 15 cm en stigning af nitratindholdet i løbet af forsommeren, ofte med et foreløbigt toppunkt i juni-juli og derpå ofte uændret eller faldende niveau efterfulgt af en ny stigning, der resulterer i et maksimalt nitratindhold i august-september.

Nitratindholdets størrelse er vanskeligere at angive end årstidsvariationen. Figur 12 viser som gennemsnit af sandjorderne et maksimum på 110 kg N for en gødningsanvendelse på 62 kg N, medens de tilsvarende tal for lerjorderne er 139 og 51. »Nettoindholdet« bliver derfor 48 kg N (svarende til 310 kg salpeter) for sandjord og 88 kg N (svarende til 570 kg salpeter) for lerjord. Ved sammenligning af de sidstnævnte tal må det erindres, at lerjordernes vinterniveau er ca. 25 kg N højere end sandjordernes. FRODE HANSEN (1928) finder i ugødede brakmarker det største nitratindhold i 0-20 cm varierende imellem 42 og 70 kg N pr. ha eller omregnet med 66 pct. af nitraten i 0-20 cm (se tabel 4) imellem 64 kg N til 106 kg N for 0-60 cm. DALBRO og NIELSEN finder værdier på renholdt jord varierende imellem 48 og 78 kg N. KARSTEN IVERSEN (1943) viser i store, nedgravede kar med renholdt jord en årlig nettomineralisering af kvælstof på ca. 50 kg N pr. ha. Tabel 3 viser imidlertid også, at variationen mellem forsøgssteder og mellem år er overordentlig stor.

Det fremgår på adskillige af figurerne 1-11, at der i løbet af 14 dage kan ske store stigninger i nitratindholdet på op til 150-200 kg N pr. ha i 0-60 cm. SABEY (1956) finder ved 15° C, og hvor ammoniumindholdet ikke er en begrænsende faktor, en egentlig nitrifikation på omkring 50 kg N pr. ha i 20 cm dybde. Vort kendskab til danske jorders ammoniumindhold er ikke særligt stort og kan ikke danne grundlag for en diskussion om, under hvilke omstændigheder det optræder som begrænsende faktor for nitrifikation, men Sabey viser, at nitrifikationen er hurtig og af betydelig størrelse, når temperaturen og ammoniumindholdet tillader det. FRODE HANSEN (1929) finder i flere tilfælde kortvarige

stigninger af tilsvarende størrelse, og de kan således ikke uden videre afvises som prøveudtagningsfejl.

Der foreligger endvidere en del eksempler på fald i jordens nitratindhold (fig. 1-11) ligeledes på op til 150-200 kg N pr. ha. Hvor disse forekommer om efteråret i nedbørsrige perioder, kan de forklares ved udvaskning og vel i nogle tilfælde, hvor indholdet er samtidig aftagende i alle 3 dybder, ved denitrifikation. NÖMMIK (1956) angiver, at der i et regnfuldt efterår med nogenlunde høj jordtemperatur kan ske et ugentlig tab ved denitrifikation på 20-30 kg N pr. ha. Enkelte ret store fald (se f. eks. figur 2, maj 1957 og figur 3, juni 1957) sker dog også i forsommerperioden med sparsom nedbør og er svære at give forklaring på.

Den i tabel 4 beskrevne dybdevariation for lerjorder er i god overensstemmelse med DALBRO og NIELSEN's (1958) undersøgelser på Blangstedgaard. Den hurtigere udvaskning på de lettere jorder må skyldes deres mindre vandkapacitet og større permeabilitet, der forårsager en kraftigere gennemstrømning af en given nedbørsmængde.

Ved de her foretagne undersøgelser synes der i de fleste tilfælde at være god mulighed for at genfinde de tilførte kalksalpetermængder indenfor  $\frac{1}{2}$ -1 måned efter gødningstilførsel. Ved tidligere forsøg har man ikke altid genfundet den tilførte gødning fuldt ud (HANSEN 1928, DALBRO og NIELSEN 1958). Ammoniumgødning – tilført i maj – synes at have undergået en hurtig og fuldstændig nitrifikation i overensstemmelse med, at FRODE HANSEN (1929) finder, at ammonium fra svovlsur ammoniak, urinstof og ajle tilført i maj for størstedelen er forsvundet efter 1 måneds forløb, medens nitratindholdet er øget. Nitrificeringen af staldgødningskvælstoffet synes derimod at foregå langsomt og ufuldstændigt, og bekræfter således H. L. JENSENS (1952) arbejde over omsætningsgradens betydning for kvælstofvirkningen.

### 3. NITRATINDHOLDET I BEVOKSET JORD

Det fremgår af figurerne 1-11, at nitratindholdet i de bevoksede parceller i perioder er væsentlig lavere end i de tilsvarende ubevoksede parceller. Som nævnt må hovedårsagen hertil søges i afgrødens nitratoptagelse, men en række andre forhold kan også

være af betydning, f. eks. ved man, at mitrifikationen er forholdsvis svag i græsmarker bl. a. på grund af planterøddernes udskillelse af organisk stof (»Rhizosfærefænomenet, HARMSEN, og VAN SHREVEN 1955).

Kornparcellerne synes alle forsøgssteder at afvige fra ubevokset omkring 1. juni og at have lavt indhold juni og juli for derefter at vise en lille stigning efter høst. Dette er også fundet af HANSEN (1928) og SOLBERG og BRAADLIE (1957).

I lucerne- og kløvergræsparcellerne findes lavt nitratindhold hele året i overensstemmelse med undersøgelser af DALBRO og NIELSEN (1958) og L'JONES (1958).

Bederoeparcellerne viser i modsætning hertil først lavt indhold fra midten af juli og vækstperioden ud, hvilket også er vist af FRODE HANSEN (1928).

Medens planteartens generelle indflydelse på jordens nitratindhold således fremgår klart og i overensstemmelse med andre undersøgelser, er angivelser af kvælstofoptagelsens omfang og tidspunkt for de forskellige afgrøder ud fra denne undersøgelse mere problematisk. Tilnærmet sandsynlige værdier opnås ved et gennemsnit af ugentlige differencer imellem ubevokset og bevokset over en periode på ca. 3 måneder, medens beregninger over maksimalforskelle eller forskelle i nitratproduktion ikke leder til sandsynlige værdier.

## Konklusion

Da kvælstof er en af jordbrugets vigtigste produktionsfaktorer, er et øget kendskab til jordbundens kvælstofproducerende evne af stor betydning. En undersøgelse som den her gennemførte har sin værdi i angivelsen af nitratindholdets størrelse og variation under forskellige klima-, jordbunds- og dyrkningsforhold og er således fortrinsvis en beskrivende undersøgelse. En nøjere redegørelse for årsagerne til de fundne nitratindholds variation vil forudsætte målinger af C/N-forhold, ammoniumindhold, udvasknings- og denitrifikationstab og bør sikkert gennemføres som lysimeterforsøg.

Nogle danske jorders kvælstofproducerende evne synes ret betydelig, varierende fra ca. 40 kg N (258 kg kalksalpeter) pr. ha i



0-60 cm for sandjorder i maj-juli til ca. 80 kg N (516 kg kalksalpeter) pr. ha for lerjorder i juli-september. Såvel størrelsen af dette nettoindhold som jordtypens og andre faktorerers indflydelse på perioden med maksimalt nitratindhold berører en lang række gødskningsforhold. Som eksempel herpå kan nævnes følgende:

Gødningsforsøg med æbletræer (DULLUM og DALBRO 1956) viste det ret overraskende resultat, at på renholdt jord gav æbletræer intet udslag for kvælstoftilførsel. Æbletræernes forbrug menes at være omkring 20-40 kg N pr. ha, og den her fundne nettoproduktion på 40-80 kg N pr. ha er således en rimelig forklaring på disse gødningsforsøgs resultater.

Forsøg med forskellig udbringningstid af salpeter til bederoer berøres også af disse resultater. Sen udbringning af salpeter til sukkerroer på lerjorder fører ofte til lavt sukkerindhold og dårlig afmodning, rimeligvis fordi lerjorderne på dette tidspunkt og langt hen i sæsonen (tabel 3) i forvejen indeholder betydelige mængder nitrat. Bederoer på lettere jorder vil ud fra denne undersøgelse næppe have større nytte af sent tilført salpeter, der vil udvaskes, men tilførslen bør måske snarere ske som ammonium eller ved bladgødskning.

## Oversigt

Tidligere undersøgelser over jordens nitratindhold i frugtplanter på Blangstedgaard (DALBRO og NIELSEN, 1958) viste for visse kulturmetoder en betydelig nitratproduktion (60-80 kg nitrat-N pr. ha og år) i denne jord. Vor viden om andre jorders nitratindhold er meget mangelfuld, og der blev derfor i årene 1956 og 1957 på 11 forsøgsstationer udtaget jordprøver hver 14. dag i en ubevokset og en bevokset parcel i dybderne 0-20, 20-40 og 40-60 cm til bestemmelse af jordens nitratindhold. Jordprøverne er umiddelbart efter udtagning tilsat toluol, tørret ved 50-60°C og senere analyseret efter naftylaminmetoden.

Årstidsvariationen findes forskellig for sandjord og lerjord (tabel 3 og figur 12. I perioden januar, februar og marts ligger sandjorderne på mellem 5 og 20 kg nitrat-N pr. ha for 0-60 cm. I april-maj indtræder en stærk stigning, der for en gennemsnitlig gødningsanvendelse på 62 kg N fører til et maksimalt indhold i

juni på ca. 110 kg N pr. ha. I modsætning hertil ligger lerjorderne på 25-40 kg N om vinteren og når, med en gennemsnitlig gødningstilførsel af 51 kg N, først et maksimum i august på 138 kg N pr. ha. Nedvaskningskurverne for de to jordtyper forløber parallelt, således at et lavt niveau først indtræder ca. 2½ måned senere på lerjorden. Sandjordernes nettonitratproduktion synes således at være på ca. 40 kg N pr. ha i 0-60 cm i maj-juli og på ca. 80 kg N pr. ha for lerjorder i juli-september.

Dybdevariationen forløber ligeledes forskelligt på de to jordtyper (tab. 4). Sandjord har maksimalt nitratindhold i 0-20 cm i maj-juni (66 pct.), 20-40 cm i august (ca. 40 pct.) og 40-60 cm i september (ca. 60 pct.).

De tilsvarende dybder i lerjord har maksimalt indhold henholdsvis i juli-august, september-oktober og oktober-november. I perioden juni-juli-august synes fordelingen af det totale nitratindhold i lerjord at være ret konstant med ca. 64 pct. i 0-20 cm, ca. 24 pct. i 20-40 cm og ca. 12 pct. i 40-60 cm.

Tilført kalksalpeter er i næsten alle tilfælde på de ubevoksede parceller genfundet fuldtud ved de efterfølgende prøveudtagninger. Det samme gælder tilførsel af uorganisk ammoniumgødning, der om foråret synes at nitrificeres fuldt ud inden for 14 dage til en måned. Nitrificeringen af staldgødningskvælstof foregår derimod i de fleste tilfælde langsomt og ufuldstændigt.

De bevoksede parceller afviger for det meste fra de ubevoksede på en måde, der er karakteristisk for afgrødens art. Kornafgrøderne forårsager fra sidst i maj en forskel mellem de to parceller, der som gennemsnit af maj, juni og juli andrager 60-70 kg N pr. ha.

Lucerne- og kløvergræsparceller viser et lavt niveau hele vækstsæsonen, og for kløvergræs i to år på Ødum synes gennemsnitsforskellen at andrage 100 kg N pr. ha.

Bederoparcellerne viser først hen i juli måned en forskel fra ubevokset, og gennemsnitsforskellen er i juli, august og september på 110-120 kg N pr. ha.

## SUMMARY

### *Investigation on nitrate content in different Danish soils*

A previous investigation on soil-nitrate content in orchards at the State Experimental Station Blangstedgaard (Dalbro and Nielsen 1958) showed a minimum nitrate production between 60-80 kg nitrate-N per hectare and year for this soil. Our knowledge of nitrate content in other Danish soils is very meager and the aim of this investigation is further information about this point.

Soil samples are taken with intervals of 14 days from different depth (0-20, 20-40 and 40-60 cm) of a bare soil and a cultivated soil on 11 Danish State Experimental Stations during two years. Just after sampling, the soils are added toluene to prevent further nitrification, then dried in 50-60° C and later the nitrate content is determined by means of the naphthylamine method.

The figures 1-11 illustrate the nitrate content expressed as kg nitrate-N per hectare in 0-60 cm depth during two years for these eleven stations. The whole lines indicate the nitrate content in bare soil, the broken lines the content in cultivated soil. The dotted lines indicate the time and amount of added nitrogen fertilizers. At the top of the figures are shown the precipitations.

The annual variation of the nitrate content in bare soil is shown in figure 12 and table 3 as an average of 4 sandy soils and 5 loamy soils respectively. The nitrate content is lowest during the winter in sandy soil, the maximum is reached already in June and the leaching takes place 2½ months earlier in sandy soil compared with loamy soils.

The four sandy soils were in average fertilized with 62 kg N (table 3) and figure 12 shows a nitrate content in these soils in the early summer months between 100-110 kg N per hectare. From this it is concluded, that the net production of nitrate in sandy soils is about 40 kg per hectare in 0-60 cm depth. In the same way it is found, that the net production as average of five loamy soils is about 80 kg N, but if we take these soils higher nitrate content during the winter in consideration, the net production will only be about 60 kg N per hectare.

Table 4 shows the relation between nitrate content and soil depth in the period May-November. In June, July and August the distribution of nitrate on loamy soils seems to be nearly constant with 64 per cent in the 0-20 cm layer, 24 per cent in 20-40 cm and 12 per cent in 40-60 cm. The distribution is more fluctuating in sandy soils.

Applied inorganic nitrate fertilizers are in most cases found with the added value and this is also the case with application of inorganic ammonia fertilizers, which seemed to be completely nitrified in the spring within one month. On the other hand the nitrification of the nitrogen in farmyard manure seems to be slow and incomplete.

The deviation between the content in bare soil and crop cultivated

plots is dependent on the crop species. The plots with cereal crops deviate from bare soil in May and the average deviation during May, June and July correspond to 60-70 kg N per hectare in 0-60 cm (table 5).

The nitrate content in the clover-grass plots are during the whole season below the content in bare soil and the average difference in June, July and September correspond to about 100 kg N per hectare. The nitrate content in beet plots deviate from bare soil first in July and the average deviation in July, August and September correspond to 110-120 kg N per hectare in 0-60 cm.

## L I T T E R A T U R

- Bartholomew, W. V.* 1957: Use of isotopes in following nitrogen transformations in soil. U.S. Atomic Energy Comm. Rep. T ID 7512. 337-347.
- Bondorff, K. A.* 1950: Om bestemmelse af jordens rumvægt. Tidsskrift for Planteavl 53, 449-460.
- Dalbro, S. og G. Nielsen,* 1958: Undersøgelser over jordens nitratindhold i frugtplantager. Tidsskrift for Planteavl 62, 1-25.
- Doryland, C. J. T.* 1916: The influence of energy material upon the relation of soil microorganisms to soluble plant food. N. Dak. Agr. Exp. Sta. Bull. 116.
- Dullum, N. og S. Dalbo* 1956: Gødningsforsøg med æbletræer. Tidsskrift for Planteavl bd. 60, 369-485.<sup>4</sup>
- Gad, I og J. Benjaminsen,* 1957: Kolorimetrisk bestemmelse af nitrat i jord. Tidsskrift for Planteavl, 61, 119-132.
- Hansen, Frode* 1928: Undersøgelser over kvælstofomsætningen i agerjord I. Tidsskrift for Planteavl 34, 741-777.
- Hansen, Frode* 1929: Undersøgelser over kvælstofomsætningen i agerjord II. Tidsskrift for Planteavl 35, 713-753.
- Harmsen, G. W. og Van Schreven* 1955: Mineralization of Organic Nitrogen in Soil. Advances in Agronomy, vol 7, 299-398.
- Iversen, Karsten* 1943: Staldgødningens og Kunstgødningens Kvælstof-, Fosforsyre og Kalivirkning. Tidsskrift for Planteavl 47, 1-93.
- Jansson, S. L.* 1958: Tracer Studies on Nitrogen. Transformations in Soil with Special Attention to Mineralization-Immobilization Relationships. Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler, 24, 101-361.
- Jensen, H. L.* 1929: On the influence of the carbon-nitrogen ratio of organic material on the mineralization of nitrogen. J. Agr. Sci. 19, 71-82.
- Jensen, H. L.* 1932: Decomposition of the cells of microorganisms J. Agr. Sci. 21, 81-100.
- Jensen, H. L.* 1952: Om staldgødningens mikrobiologiske sønderdeling I. Det organiske gødningskvælstofs nitrifikation. Tidsskrift for Planteavl 55, 237-264.
- Lefèvre, G. og G. Hiroux* 1958: Essai de bilan de la production d'azote mineral d'un sol en place. Ann. agron. Paris 9, 23-50.

- Ljones, B.* 1958: Forsök med jordkulturmåter og nitrogengjødsling til frukttré 1951-1956. *Forskning og Forsök i Landbruket* 9, 453-471.
- Nömmik, H.* 1956: Investigations on denitrification in soils. *Acta Agric. Scand.* 6, 195-228.
- Poulsen, J. Find,* 1950: Om kriterier for staldgødningens kvælstofvirkning. *Tidsskrift for Planteavl* 53, 557-621.
- Russel, E. W.* 1950: *Soil conditions and plant growth*, 8ed. Oxford.
- Sabey, B. R.* et al.: Influence of temperature on nitrification in soils. *Proceed. Soil Sci. Soc. Amer.* 20, 357-360.
- Solberg P. og O. Braadlie,* 1957: Nitrat- og ammoniuminnhold i dyrket jord med og uten plantevekst. *Forskning og Forsök i Landbruket* 8, 329-367.
- Steenbjerg, F.* 1950: Forelæsninger i Gødningslære. *De Stud. Råd, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.*
- Waksman, S. A.* 1924: Influence of microorganisms upon the carbon nitrogen ratio in soil. *J. Agr. Sci.* 14, 555-562.