



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1795

Dyrkningsmetoders indflydelse på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø

I. Gødskning

Kirsten Høg
Statens Forsøgsstation
St. Jynde vad

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1985



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1795

Dyrkningsmetoders indflydelse på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø

I. Gødskning

Kirsten Høg
Statens Forsøgsstation
St. Jydevad

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1985

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
SAMMENDRAG	6
I. <u>INDLEDNING</u>	11
1.1. Landbrugsarealets benyttelse	11
1.2. Forbrug af gødninger	12
1.3. Høstudbytte	14
II. PLANTERNES NÆRINGSSTOFFORSYNING	16
III. GØDSKNINGENS INDFLYDELSE PÅ UDBYTTE OG PLANTEKVALITET	18
III.1. <u>Indflydelse af forskellige plantenæringsstoffer på udbytte</u>	18
III.2. <u>Gødskningens indflydelse på indhold af kvælstofforbindelser</u>	20
III.2.1. <u>Nitratindehold i planter</u>	21
III.2.1.1. Effekt af kvælstofmængde	22
III.2.1.2. Effekt af øvrige plantenæringsstoffer	25
III.2.1.3. Forskelle i sorter	26
III.2.1.4. Konklusion/diskussion	26
III.2.2. <u>Aminosyre- og proteinindhold</u>	27
III.2.2.1. Kornprodukter	29
III.2.2.2. Græs	33
III.2.2.3. Grønsager	34
III.2.2.4. Sorter	35
III.2.2.5. Konklusion/diskussion	36
III.2.3. Andet organisk kvælstof	37
III.3. <u>Gødskningens indflydelse på vitaminindhold</u>	39
III.3.1. Effekt af stigende gødningsmængder	39
III.3.2. Sortsforskel i vitaminindhold	43
III.3.3. Konklusion/diskussion	44
III.4. <u>Sammenligning mellem forskellige uorganiske gødninger</u>	44
III.4.1. Udbytteeffekt	44
III.4.2. Indvirkning på nitratakkumulering	46
III.4.3. Indvirkning på proteinkvalitet og aminosyresamm.	47
III.4.4. Indvirkning på vitaminindhold	48
III.4.5. Konklusion/diskussion	48

III.5.	<u>Sammenligning af uorganisk og organisk gødning</u>	48
III.5.1	<u>Landbrugsafgrøder</u>	49
III.5.1.1	Udbytte	50
III.5.1.2.	Plantekvalitet	52
III.5.1.3.	Gødningsforsøg i udlandet	56
III.5.2.	<u>Grønsagsafgrøder</u>	57
III.5.2.1	Gødningsforsøg i Danmark	57
III.5.2.2	Gødningsforsøg i udlandet	57
IV.	<u>BIOLOGISK KVÆLSTOFBINDING OG MYKORRHIZA</u>	60
IV.1.	Indledning	60
IV.2.	<u>Fritlevende kvælstofforbindende bakterier</u>	62
IV.2.1.	Kvælstofeffekt	62
IV.3.	<u>Symbiotisk kvælstofforbinding</u>	63
IV.3.1.	Størrelsen af kvælstofbindingen	63
IV.3.2.	Forekomst af Rhizobium bakterier	63
IV.3.3.	Indhold af protein og aminosyrer i bælplanter	65
IV.3.4.	Effekt af kvælstofgødsning	66
IV.3.5.	Effekt af gødsning med øvrige næringsstoffer	69
IV.4.	<u>Dyrkning af bælplanter-ikke bælplanter i blanding</u>	70
IV.4.1.	Kløvergræs	70
IV.4.2.	Korn-bælgsæd	71
IV.4.3.	Kvælstofforsyning fra bælplanter til ikke-bælplant.	72
IV.5.	Sorter	72
IV.6.	Konklusion/diskussion	74
IV.7.	Mykorrhiza	75
V.	<u>GØDSKNINGENS INDFLYDELSE PÅ JORDBUNDSFORHOLD</u>	78
V.1.	Indledning	78
V.2.	Jordens næringsstoftilstand	82
V.3.	<u>Omsætning af organisk stof i jorden</u>	85
V.3.1.	Indflydelse på mineralisering og akkumulering af organisk stof	87
V.3.2.	Indflydelse på jordens flora og fauna	90
V.3.3.	Konklusion/diskussion	95

V.4.	<u>Jordens kemiske og fysiske tilstand</u>	96
V.4.1.	pH i jorden	96
V.4.2.	Jordens iltforhold	99
V.4.3.	Jordens fosforindhold	100
V.4.4.	Jordens kaliumindhold	103
V.4.5.	Jordens indhold af natrium, magnesium, kalk, svovl	105
V.4.6.	Cadmium i jord	106
V.4.7.	<u>Kvælstof i jord</u>	107
V.4.7.1.	Totalkvælstof	109
V.4.7.2.	<u>Uorganisk kvælstof</u>	109
V.4.7.2.1.	Nitratnedvaskning fra planternes rodzone	109
V.4.7.2.2.	Sammenligning af forskellige uorganiske gødn.	114
V.4.7.2.3.	Organiske gødninger	116
V.4.8.	<u>Nitratreduktion</u>	120
V.4.8.1.	Denitrifikation	120
V.4.8.2.	Kemisk nitratreduktion	124
V.4.9.	Konklusion/diskussion	127
VI.	<u>GØDSKNINGENS INDFLYDELSE PÅ VANDKVALITET</u>	130
VI.1.	<u>Drænvandsundersøgelser</u>	130
VI.1.1.	Årlig udvaskning til dræn	130
VI.1.2.	Effekt af stigende tilførsel af gødning	132
VI.1.3.	Indhold af plantenæringsstoffer i vandløb	135
VI.2.	<u>Kvælstof i gennemsnitsvand</u>	139
VI.2.1.	Effekt af stigende tilførsel af gødning	139
VI.2.2.	Betydning af organisk bundet kvælstof på kvælstofudvaskningen	140
VI.3.	<u>Grundvand</u>	142
VI.4.	Konklusion/diskussion	148
VII.	<u>LANDBRUGSJORDENS NÆRINGSSTOFBALANCE</u>	152
VII.1.	Kvælstofbalancer	152
VII.2.	Balancer for øvrige næringsstoffer	157
	REFERENCELISTE	160

SAMMENDRAG

I de seneste årtier er der sket meget betydelige ændringer i de dyrkningsmetoder, der anvendes inden for såvel landbrug som havebrug. Dette er gældende med hensyn til afgrøde- og sortsvalg, gødningsform og -mængde.

Afgrødefordelingen er ændret radikalt i de sidste 20-25 år. Kornarealet udgør en stadig større andel af det samlede opdyrkede areal, hvorimod arealet med rodfrugt, græs og grønfoder næsten er halveret. I 1982 udgjorde kornarealet således 62%.

I kvælstofforsyningen udgør handelsgødning den største part, hvorimod naturgødning mht. de fleste øvrige plantenæringsstoffer leverer mere end halvdelen af den samlede tilførte mængde. Specielt forbruget af kvælstofgødninger er steget i de sidste 30 år. Forbruget af kvælstof fra handelsgødning og naturgødning var i 1982 henholdsvis ca. 130 kg kvælstof pr. ha og 62 kg kvælstof pr. ha.

Ikke-symbiotisk kvælstofbinding bidrager med 1-9 kg kvælstof pr. ha om året, størst værdi på lerjord. En bælglplanтеаfgrøde kan binde 100-200 kg kvælstof pr. ha og år i renbestand og 90-120 kg kvælstof pr. ha og år i blanding med græs.

Kvælstoftilførsel vil hæmme antallet af noder dannet, nodulemassen, nitrogenaseaktiviteten samt bælglplanтеandelen i en kløvermark. Derimod kan udbyttet være forøget, da bælglplanter primært benytter bundet kvælstof. På grund af forskellig mineralstofsammensætning og proteinindhold i bælglplanter og græs vil kvælstoftilførsel nedsætte en kløvermarks samlede proteinindhold.

Plantekvalitet

En afgrødes kemiske kvalitet vil bl.a. være bestemt af proteinindholdet, aminosyresammensætningen, mineralstofsammensætningen, nitratinholdet og vitaminindholdet.

Kvælstof er den enkeltfaktor, som påvirker plantekvaliteten mest. Øvrige næringsstoffer vil kun have en stor betydning i tilfælde, hvor det enkelte næringsstof er tilført i underskud, eller hvor tilførslen er så stor, at der kan optræde en gifteffekt.

Med stigende kvælstoftilførsel vil afgrødens indhold af totalkvælstof (råprotein) stige, også når kvælstoftilførslen er større end optimalt for tørstofproduktionen. Nitratinholdet vil først øges væsentligt, når kvælstoftilførslen er større end det optimale for tørstofproduktionen. Endvidere afhænger nitratakt-

kumuleringen af planteart, plantedel, plantens alder samt klimatiske faktorer som lys, temperatur og vand. Udtrykt på tørstofbasis stiger indholdet af samtlige amino-syrer ved øget kvælstoftilførsel. Indholdet af de fleste essentielle aminosyrer i kornkerne vil imidlertid falde udtrykt på basis af råproteinindholdet, mindst udtalt for havre. Et relativt fald i de først begrænsende aminosyrer lysin, methionin og threonin i byg, hvede og rug vil medføre et fald i nettoproteinudnyttelsen.

Tilførsel af kvælstof op til det dobbelte af normal anvendt mængde i såvel organisk som uorganisk form øver ikke indflydelse på tilstedeværelse af flygtige nitrosaminer i landbrugs- og havebrugsafgrøder før høst. Normal mængde handelsgødning (fosforgødning) fører ikke til signifikant forøgede cadmiumindhold i afgrøder.

Afgrøders indhold af A- og B-vitamin vil forøges med stigende kvælstoftilførsel, så længe kvælstofeffekten medfører udbyttetilvækst. Derimod vil C-vitaminindholdet reduceres.

Ændringen i kvælstoftilførslen vil påvirke mange af de parametre, der samlet karakteriserer plantekvalitet, men ikke i samme retning. Ændringer i kvælstoftilførslen til mindre end det optimale for tørstofproduktion vil påvirke udbytte, A- og B-vitaminindhold i negativ retning. Derimod vil tørstofindhold, renproteinindhold og C-vitaminindhold ændres i positiv retning.

Ved tilførsel af samme kvælstofmængde i handelsgødning og husdyrgødning, svarende til normal mængde handelsgødning, opnås det højeste udbytte, totalkvælstofindhold og nitratinhold ved tilførsel af handelsgødning. Kerneprocent, tørstofprocent, renproteinindhold og relativt indhold af essentielle aminosyrer er derimod højere ved tilførsel af husdyrgødning. Kvælstofudnyttelsen af organisk gødning er lavere end af uorganisk. Observeret forskel i plantekvalitet kan tilskrives kvælstofmængden snarere end kvælstofformen. Tilføres de 2 gødningsformer i mængder, der giver samme kvælstofoptagelse i planterne, er det sandsynligt, at de giver samme plantekvalitet.

Jordbundsforhold

Fosforsyretallet, kaliumtallet, magnesiumtallet og kobbertallet er steget væsentligt i den sidste 25-års periode set på landsplan. For fosforsyretal og kaliumtal er stigningen henholdsvis 2-2,5 Ft- og 2-3,4 Kt-enheder. Jordens kalktilstand har været holdt konstant i den sidste 10-års periode.

Såvel handelsgødning som husdyrgødning vil medføre en forøgelse af jordens humusindhold i forhold til ugødet jord. Størst stigning ved tilførsel af husdyrgødning. Forskellen mellem de 2 gødningsformer er 0,1-0,2% humusenheder på 50 år.

Nettomineralisering sker, når C/N-forholdet i det organiske materiale er mindre end 20. Fast staldgødning omsættes betydeligt langsommere end plante-materiale. Antallet af regnorme er lavere på opdyrket jord end på vedvarende græs. Fast staldgødning er bedre end gylle i stand til at opretholde og udvikle et balanceret forhold mellem de enkelte arter. Størst populationstæthed fås ved 100-200 t fast staldgødning eller gylle pr. ha hvert 2. år. Udbringning af gødningsmængder på 400 t/ha hvert 4. år vil bevirke et fald i populationstætheden umiddelbart efter udbringningen. Populationstætheden påvirkes kun i ringe grad af, om gødningsformen er organisk eller uorganisk.

Størrelsen af den mikrobielle biomasse vil afhænge af næringsstoftilgængelighed, jordens vandindhold, reaktionstal, iltindhold og temperatur. Forskelle mellem organiske og uorganiske gødninger mht. de mikrobielle forhold er små. Husdyrgødning bevirker lidt større mikrobiel aktivitet, større kimal, kulsyreproduktion og bakterieantal. Handelsgødning bevirker et større antal svampe, større ATP-indhold, iltforbrug og dehydrogenaseaktivitet.

Flydende ammoniak og urea vil bevirke en sænkning af jordens reaktionstal. Organisk gødning kan hæve reaktionstallet, dog ofte kun midlertidigt. Tilført i normal mængde vil handelsgødning i forhold til husdyrgødning bevirke en lille, men signifikant tilvækst i jordens fosforsyre- og kaliumtal. Gødsning med handelsgødning og husdyrgødning influerer kun i meget ringe grad på jordens cadmiumindhold. Cadmiumforøgelsen har været ca. 1 g Cd/ha/år. Husdyrgødning med samme kvælstofindhold som handelsgødning vil bevirke et højere to-talkvælstofindhold i jorden end handelsgødning. Tilførsel over en 4-årig periode af henholdsvis 50 og 100 t gylle/ha og år vil bevirke, at 48% og 65% af tilført kvælstof ikke optages af afgrøderne.

Nedvaskning af kvælstof fra planternes rodzone skyldes næsten udelukkende tab af nitrat. Kvælstofudvaskning sker hovedsagelig som en følge af mineralisering af jordens organiske stof i efterårs- og vintermånederne.

Kvælstofudvaskning, der direkte kan henføres til den nærmest forudgående kvælstoftilførsel, udgør kun omkring 5% af den totale udvaskning. Nedvaskning sker hurtigere fra sandjord end fra lerjord og er væsentligt større fra kornafgrøder end fra græsafrøder.

Risikoen for nedvaskning vil være betydeligt større i perioder, hvor planterne ikke er i vækst. For lille eller for dårligt fordelt nedbør kan hæmme planternes kvælstofoptagelse, hvorved risikoen for nitratnedvaskning øges. Øget kvælstoftilførsel medfører øget kvælstofudvaskning. Ved tilførsler større end optimalt for tørstofproduktion stiger kvælstofudvaskningen stærkt.

Nitratholdige gødninger indebærer større risiko for kvælstofnedvaskning end ammoniumholdige gødninger; specielt på sandjorder. Hvor der i gennemsnit til et sædskifte med roer, byg, græs og byg i 8 år er anvendt 120 kg N/ha/år i handelsgødning, er der omtrent balance mellem tilført og bortført kvælstof. Ly-simeterforsøg har vist større kvælstofudvaskning efter anvendelse af husdyrgødning end ved anvendelse af handelsgødning. 120 kg N/ha i kalkammonsalpeter til byg bevirkede udvaskning på 30-50 kg N/ha på sandjord og 40-50 kg N/ha på lerjord. Der blev udvasket ca. 70 kg N/ha, 80 kg N/ha og 120 kg N/ha ved anvendelse af henholdsvis 25, 50 og 100 t gylle/ha. Udvasningen efter roer var mindre end efter byg, ofte kun det halve.

Vandkvalitet

Udvaskningstab af nitratkvælstof til drænvand fra 15 lerjordsarealer er gennemsnitligt fundet til 21,9 kg N/ha/år. Koncentrationen af nitratkvælstof i drænvandet var ens i perioden 1971-81. Der er tydelig sammenhæng mellem koncentrationen af nitratkvælstof i drænvand og afstrømningsintensiteten. Den gennemsnitlige nitratudvaskning til dræn øges med kvælstoftilførslen. Gødskning med 0, $\frac{1}{2}$, 1 og $1\frac{1}{2}$ gange normal handelsgødningskvælstof til et sædskifte på lerjord ved Sdr. Stenderup medførte en gennemsnitlig udvaskning på 7,7 - 9,2 - 13,5 og 20,5 kg N/ha.

Gennemsnitlig udvaskning til dræn af ammonium, fosfor og kalium er 0,06 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ /ha, 0,04 kg P/ha og 1,0 kg K/ha om året. Tredobling af den normale gødningsmængde medfører ikke en signifikant forøgelse af koncentrationen af fosfor, kalium, natrium, cadmium, magnesium, klor, svovl samt tungmetaller i drænvand.

Nitratindeholdet i grundvandet er som landsgennemsnit tredoblet i løbet af de sidste 30 år fra 4 mg nitrat/l til 13 mg nitrat/l. Grundvandet i Vestjylland er væsentlig kraftigere belastet end grundvandet på Øerne.

Grundvandsundersøgelser på sandjord viser store udsving i nitratkoncentrationen i 5 m dybde, men kun små udsving i 7,5 og 10 m dybde. Undersøgelser

i Karupområdet har vist større nitratkoncentration i øvre grundvandslag under landbrugsarealer end under skovarealer.

Årsagen til den forøgede nitratkoncentration er sandsynligvis et samspil mellem nedbør, jordtype, afgrøde og gødsning.

Undersøgelser over effekten af stigende mængder husdyrgødning på dræn og grundvandskvalitet er ikke udført i Danmark. En sammenligning af den samlede effekt af husdyrgødning og handelsgødning på vandkvaliteten er vanskelig, da gødskningstidspunktet kan være forskelligt, og udvaskningen er årstidsbestemt.

I. INDLEDNING

I den sidste 50-års periode er der sket en omlægning af landbrugsbedriften med medfølgende ændret afgrøde- og sortsvalg, gødningsform og -mængde samt øget mekanisering og brug af pesticider.

Denne ændring i driftsformer har haft indflydelse på såvel afgrødernes udbytte og kvalitet som på landbrugsjordens og det omgivende miljøes tilstand.

I.1. Landbrugsarealets benyttelse

Det samlede landbrugsareal udgjorde i 1982 2.896.000 ha (Danmarks Statistik), hvilket er en formindskelse på 354.000 ha (eller 11%) i forhold til arealet i 1939. Landbrugsarealet faldt med 14.000 ha (0,8%) fra 1981 til 1982.

Afgrødefordelingen er radikalt ændret i de sidste 20-25 år (tabel 1-2) med kornarealet som udgørende en stadig større andel af det samlede opdyrkede areal. I 1950-54 udgjorde kornarealet 42% af det opdyrkede areal, mens det i 1982 udgjorde 62%.

Afgrødevalget inden for korngruppen har også ændret sig i den omtalte tidsperiode. Således udgjorde areal med henholdsvis rug og blandsæd 10% og 21% i 1950-54, hvorimod det i 1982 kun udgjorde 3% og 0,2%. Byg udgjorde i 1982 84% af kornarealet og er således den altdominerende afgrøde.

Arealet med rodfrugt og græs- og grønfoder er modsat kornarealet gået stærkt tilbage i de sidste 20 år. For begge grupperes vedkommende er der næsten sket en halvering. I gruppen rodfrugt er det specielt kålroer og kartofler, som har mindre betydning nu, hvorimod sukkerroeandelen er stigende. I gruppen græs- og grønfoder har lucerne og grønfoder en stigende betydning.

Frø- og specialafgrødearealet er udvidet betydeligt siden 1950, hvor det udgjorde 3%. I 1982 udgjorde det 8%, hvor langt den største tilvækst er sket i vårraps.

Tabel 1. Areal med korn og rodfrugter, 1.000 ha (Danmarks Statistik)

År	Vinter- hvede	Vår- hvede	Vin- ter- og vårrug	Byg	Havre	Bland- sæd	I alt korn	Kar- tof- ler	Suk- ker- roer	Bederø- er og kålroer	I alt rod- frugter
1939							1375				
1950-54	79		131	562	262	277	1311	104	66	403	573
1966	74	19	46	1112	234	120	1605	40	58	293	391
1968	72	24	39	1254	218	78	1685	35	52	249	336
1970	81	34	44	1352	184	44	1739	37	47	205	289
1972	99	36	42	1406	163	31	1777	30	56	189	275
1974	83	27	46	1437	122	18	1733	33	67	180	280
1976	106	21	72	1478	98	12	1787	35	85	174	294
1978	112	10	84	1571	61	8	1846	34	80	152	266
1980	132	8	56	1583	40	4	1823	34	77	129	240
1982	173	11	53	1508	43	4	1792	35	77	130	242

Tabel 2. Areal med græs, grønfoder, bælg-sæd, frø- og specialafgrøder, 1.000 ha (Danmarks Statistik)

År	Lucerne og grøn- foder	Græs og kløvergræs i omdrift	Græs og kløvergræs uden omdrift	Bælg- sæd	Frøaf- grøder	Raps og sennep	Gartne- ripro- dukter
1950-54	38	677	402	9	50	20	9
1966	27	533	326	3	61	30	13
1968	28	519	308	12	55	26	10
1970	33	468	299	27	53	18	11
1972	34	422	293	13	58	32	9
1974	28	441	277	7	61	64	11
1976	25	435	267	3	37	46	11
1978	27	384	268	5	49	49	25
1980	59	356	252	4	46	102	25
1982	70	327	245	8	44	156	26

* Rodfrugtfø, græsmarkbælgplanter, græsfrø og havefrø

1.2. Forbrug af gødninger

Kvælstofgødning

I løbet af de sidste godt 30 år er der sket en markant stigning i forbruget af kvælstofgødninger, hvor langt den største tilvækst er sket i forbruget af handelsgødninger (tabel 3).

Tabel 3. Tilførsel af kvælstof, (Danmarks Statistik, Planteavlsberetninger)

År	Natur- gødning kg N/ ha/år	Handels- gødning kg N/ ha/år	Handelsgødningsform (%)					
			Kalk- sal- peter	Kalk- amm. sal- peter	Fl. am- moniak	NPK	Andre	Total
1900-1910	23	0,7						
1910-1920	26	2,5						
1920-1930	32	8						
1930-1940	38	10						
1940-1950	33	13						
1950-1955	40	24						
1955-1960	42	33	89	2	2	1	6	100
1960-1965	45	47	73	6	13	3	-	95
1965-1970	50	77	22	12	31	33		98
1971	47	99	8	9	45	36		98
1972	47	105	6	9	45	38		98
1973	49	111	5	10	39	45		99
1974	46	126	4	11	32	51		98
1975	52	103	3	8	35	53		99
1976	50	116						
1977	50	120	2	10	36	51	1	100
1978	52	128	2	8	36	52	2	100
1979	57	130	2	7	39	50	2	100
1980	59	136	2	8	38	51	1	100
1981	61	129	1	8	43	46	2	100
1982	62	130	1	8	41	48	2	100

Fra 1900 til 1980 er forbruget af handelsgødning steget stærkt. Det samlede kvælstofforbrug er næsten fordoblet i perioden 1960-80 fra 100 kg N/ha og år til 200 kg N/ha og år. Den største stigning er sket i perioden 1960-75, hvorefter der skete et fald i forbruget i 1975, hvilket sandsynligvis skyldes prisstigninger i forbindelse med større enhedspris for olie. I perioden 1975-82 er der sket en begrænset stigning; dog ikke i de 2 sidste år.

Stigningen i mængden af kvælstofgødninger hænger sammen med det øgede udbytte og det ændrede afgrødevalg. I 50'erne udgjorde græsmarksarealer med kløvergræs en procentvis større andel end i 80'erne. Disse afgrøder er stort set selvforsynende med kvælstof, hvorfor en mindre udefra kommende kvælstoftilførsel er nødvendig. Kløverandelen er i de senere år blevet reduceret i græsmarkerne til fordel for rene græsblandinger, hvilket vil medføre en større kvælstoftilførsel.

Kvælstofformen har også ændret sig i de sidste 20-30 år.

Kalksalpeter (nitratgødninger) var de langt dominerende indtil 1965, hvorefter der gradvis er sket en udvikling hen mod benyttelse af flydende ammoniak og NPK gødninger.

Kalium- og fosforgødninger

Tilførslen af kalium og fosfor er ligesom kvælstoftilførslen steget fra århundredets begyndelse og til 1980'erne, men stigningen har ikke været så stor som for kvælstofgødningerne; i de sidste 5 år er der endda sket et fald i forbruget (tabel 4). Den største procentvise stigning er sket for handelsgødningen, men staldgødning har stadig stor betydning i såvel kalium som fosforforsyningen.

Tabel 4. Tilførsel af kalium og fosfor (Danmarks Statistik, Planteavlsberetninger)

År	Naturgødning kg/ha/år		Handelsgødning kg/ha/år		Handelsgødningsform (%)					
					ensidige gødninger		PK-gødninger		NPK-gødninger	
					K	P	K	P	K	P
1900-1910	29	8	1	2						
1910-1920	34	8	3	6						
1920-1930	40	11	5	9						
1930-1940	50	12	8	9						
1940-1950	47	11	15	5						
1950-1955	51	13	36	13						
1955-1960	51	14	43	15						
1960-1965	54	16	47	17	25	26	71	70	4	4
1965-1970	56	17	50	18	10	12	51	50	39	38
1971	50	16	52	19	5	7	50	48	45	45
1972	49	17	54	20	3	5	51	50	46	45
1973	49	17	57	21	2	5	47	46	51	49
1974	47	16	62	23	1	4	46	44	53	52
1975	60	23	45	17	1	4	40	38	59	58
1976	57	22	49	19	3	7	46	43	51	50
1977	56	22	48	20	4	11	44	38	52	51
1978	59	23	50	21	4	9	44	39	52	52
1979	66	24	49	20	2	6	44	39	54	55
1980	69	25	49	20	2	5	44	39	54	56
1981	70	25	42	17	3	5	45	40	52	55
1982	71	25	39	16	5	5	42	37	53	58

Gødningsformen er som ved kvælstofgødninger ændret fra ensidige gødninger (kaligødning og superfosfat) over til blandingsgødninger (PK gødninger og NPK-gødninger).

1.3. Høstudbytte

Som følge af et større gødningsforbrug, vanding, forbedret dyrkningsteknik og bedre sortsvalg har langtidstendensen været et øget udbytte pr. ha i såvel det samlede høstudbytte som for de forskellige afgrøder korn, hø, græs og grønfoder samt rodfrugter (tabel 5).

Tabel 5. Samlet høstudbytte samt udbytte af korn, rodfrugter og grønfoder-afgrøder, (Danmarks Statistik)

	Samlet høst- udbytte 100 f.e./ha	Rodfrugter 100 f.e./ha	Frø/græs og grønfoder 100 f.e./ha	Korn hkg kerne/ha
1900-1910	23,0	42,5	19,0	17,0
1910-1920	25,5	47,0	21,0	17,5
1920-1930	29,5	50,5	24,0	20,5
1930-1940	37,0	60,0	33,0	24,0
1940-1950	38,5	63,5	33,5	25,5
1950-1955	42,3	69,0	38,0	31,7
1955-1960	44,0	70,5	37,3	31,0
1960-1965	48,7	80,1	42,6	35,0
1965-1970	49,6	85,2	46,1	38,0
1971	50,5	97,2	46,2	40,0
1972	49,8	96,4	47,6	39,8
1973	47,2	94,2	44,3	37,7
1974	50,9	97,5	43,5	41,9
1975	45,5	85,3	38,6	36,3
1976	40,4	80,2	29,3	33,0
1977	50,3	101,9	35,3	40,5
1978	49,8	93,0	38,0	40,6
1979	51,9	102,1	40,7	41,6
1980	47,2	91,9	49,8	38,9
1981	50,4	100,3	59,4	40,6

Ved rodfrugter er udbyttet indtil 1935 kun udbyttet af rod; efter 1935 er udbyttet summen af rod + top

Fra 1900 til 1980 er det samlede høstudbytte således fordoblet. Når det samlede høstudbytte i 1981 ligger på samme niveau som i 1970, skyldes det dels nedgangen i landbrugsarealet, jvf. tabel 1 og dels forskydningen mellem afgrøderne med udvidelse af kornarealet på bekostning af højtydende, men mere arbejdskrævende grovfoderafgrøder.

II. PLANTERNES NÆRINGSSTOFFORSYNING

Planternes næringsstoffer stammer fra 5 kilder:

1. Fra frigivelse af plantenæringsstoffer i jorden

Jorden i sig selv vil kunne yde et tilskud af plantenæringsstoffer ved forvitring og mikrobiologiske processer. Mængden af næringsstoffer tilgængelig for plantevækst vil afhænge af jordens geologiske oprindelse og mineralsammensætning.

Derudover vil dyrkningsforhold såsom afgrødevalg og jordbehandling influere.

Fra de langvarige gødningsforsøg rundt om i verden med ugødede parceller som "kontrol" kan man få et overblik over, hvilken produktion jorden i sig selv er i stand til at yde.

Fra de langvarige Askov-forsøg i Danmark var udbyttet som gennemsnit af 75 år 12,8 hkg kerne/ha på lerjord og 8,1 hkg kerne/ha på sandjord. Dette er sædskifteforsøg; et tilsvarende forsøg med ensidig korndyrkning vil forventes at give endnu mindre udbytte.

2. Fra nedbøren

3. Ved biologisk kvælstofbinding

(kun gældende for kvælstofforsyning)

Atmosfærisk kvælstof (N_2) kan ved mikrobiel binding omdannes til plantetilgængeligt kvælstof. Se afsnit IV.

4. Fra tilført handelsgødning

5. Fra tilført organisk materiale

Organisk materiale kan tilføres i form af husdyrgødning, organisk materiale i rod- og stubrester, grøngødning samt fra slam og dagrenovation. Indtil midten af 1960'erne udgjorde husdyrgødning mere end halvdelen af den samlede kvælstoftilførsel, mens det i 1982 kun udgjorde en tredjedel. Husdyrgødning dækker dog stadig mere end halvdelen af det samlede forbrug af mange mikronæringsstoffer og af makronæringsstoffer som fosfor og kalium. Den samlede årlige staldgødningsproduktion i Danmark i 1980 er beregnet til

43,9 mio. t (eller 11 mio. t staldgødningstørstof); heraf vil 28,7 mio. være fra kvæg, 13,7 mio. fra svin, 0,3 mio. fra høns og 1,2 mio. fra øvrige husdyr. Indholdet af kvælstof, fosfor og kalium i udbragt husdyrgødning vil afhænge af mange faktorer: fodringen, årstid for udbringningen, behandling, opbevaring, lagring og vandtilsætning. Dertil kommer forskelle mellem husdyr, såvel artsforskelle som individforskelle. Endvidere vil staldgødning udbragt om efteråret give dårligere virkning, også til vintersæd, end udbragt om foråret som følge af udvaskning. Indholdet af kvælstof og kalium er betydeligt højere i gødning fra svin og fjerkræ end i gødning fra kvæg og heste (tabel 6).

Almindeligvis kan effekten af staldgødning i forhold til handelsgødning NPK sættes til følgende:

N = 0,4-0,5

P = 0,8-1,0

K = 0,8-1,0

Effekten af forskellige gødningsformers indflydelse på planteproduktion og miljø er i de seneste år primært undersøgt med handelsgødninger på grund af disses gødningers store betydning i næringsstofforsyningen. Effekt af husdyrgødning er oftest sammenholdt med effekten af handelsgødning, hvorfor også sådanne sammenligninger vil blive prioriteret her.

Tabel 6. Indhold af tørstof og mineralstoffer i husdyrgødning, procent i foreliggende stof. (Kofoed, 1979, Kjellerup & Klausen, 1975)

	Tørstof	N	P	K	Na	Ca	Mg
Fast gødning, kvæg	21,6	0,55	0,18	0,30			
Fast gødning, svin	23,8	0,75	0,34	0,41			
Kvæggylle	9,2	0,45	0,08	0,40	0,08	0,11	0,06
Svinegylle	6,8	0,68	0,16	0,27	0,11	0,16	0,05
Ajle	2,5	0,37	-	0,66			

III. GØDSKNINGENS INDFLYDELSE PÅ UDBYTTE OG PLANTEKVALITET

Der er en voksende erkendelse af, at udbyttet af en afgrøde ikke i sig selv er et tilstrækkeligt indeks for afgrødens værdi, men at også kvaliteten af produktet har stor betydning. Den kemiske sammensætning af en afgrøde er primært bestemt af proteinindhold, nitratinhold, vitaminindhold og aminosyresammensætning. En aktuel definition på "plante kvalitet" findes dog ikke, da kvalitet som sådan afhænger af, hvilken afgrøde det drejer sig om, samt til hvilket formål den benyttes. Eksempelvis vil et højt proteinindhold i byg have betydning, når det drejer sig om mel- eller foderfremstilling, mens et lavt proteinindhold vil være at foretrække til maltfremstilling.

III.1. Indflydelse af forskellige plantenæringsstoffer på udbytte

Blandt de forskellige plantenæringsstoffer, som en afgrøde er afhængig af, er kvælstof et af de mest betydende stoffer. Planterne optager kvælstof fra jordvæsken, primært i form af uorganiske ioner, nitrat og ammonium (Koch, 1975).

Andre plantenæringsstoffer kan dog også have indflydelse, enten via en given mangel-effekt af det pågældende stof, som vil påvirke tørstofudbyttet, eller ved en direkte effekt på en biologisk reaktion.

Kalium er vist at være vigtig for enzymomdannelser i kvælstofstofskiftet og vil derfor også kunne påvirke kvælstoffraktionerne (Koch, 1975).

Der er over en 10-årig periode fra 1970-80 i Landbo- og Husmandsforeningerne udført forsøg i byg tilført 15 og 30 kg fosfor/ha og 50 og 100 kg kalium/ha plus normale kvælstofmængder efter året (Planteavlsberetninger). Fosforforsøgene grundgødedes med kalium og kaliumforsøgene med fosfor. Gødningsvirkningen af både fosfor og kalium var generelt lille. Opdeles der efter henholdsvis fosforsyretal og kaliumtal i jorden, vil den største effekt af de tilførte plantenæringsstoffer fås på de jorder, som har mindst henholdsvis fosforsyretal og kaliumtal.

Sammenligning af forskellige kombinationer af kvælstof, kalium og fosfor har været grundigt undersøgt i Danmark i forbindelse med gødningsforsøg, der er blevet gennemført over en næsten 100-årig periode på forskellige forsøgsstationer under Statens Planteavlsforsøg. Såvel enkelt- som kombinerede forsøg er udført på sand- og lerjord. Som eksempel på effekten af kvælstof, kalium og fosfor på udbytte er forsøgsresultater fra Askov forsøgsstation vist. Foruden udbyttet er der målt tilførsel og fraførsel af næringsstoffer (tabel 7 og 8).

Tabel 7. De langvarige gødningsforsøg ved Askov. Udbytte 1894-1968. Gns. af sædskiftet, 100 f.e./ha (Lindhard, 1971)

	Ugødet	IN	IP	IK	INP	INK	IPK	INPK*
<u>Lerjord</u>								
1894-1906	20,2	24,9	22,4	19,5	32,3	-	-	35,5
1907-1922	14,0	18,1	17,7	14,7	28,5	-	-	35,6
1923-1948	13,8	17,7	15,6	14,3	25,5	37,0	32,0	46,9
1949-1968	18,4	20,5	20,8	16,7	31,1	32,8	35,7	54,0
<u>Sandjord</u>								
1894-1906	14,2	22,0	15,3	19,4	21,9	-	21,4	31,2
1907-1922	10,5	18,7	10,7	18,0	17,8	-	20,0	31,5
1923-1948	11,4	17,0	10,6	20,5	17,1	-	25,1	43,4
1949-1968	13,2	19,6	12,9	16,0	21,2	37,1	20,8	37,7

* "I" refererer ikke til én bestemt gødningsmængde (kg/ha), men er benævnt således, for at der kan foretages en sammenligning mellem de forskellige gødningstyper. Der er tale om en reel øget mængde gødning tilført fra 1894 til 1968

Tabel 8. De langvarige gødningsforsøg ved Askov. Tilførsel og bortførsel af plantenæringsstoffer, 1949-68. Gns. af sædskiftet. Kg/ha (Lindhard 1971)

	Ugødet	IN	IP	IK	INP	INK	IPK	INPK
<u>Lerjord</u>								
a. Kvælstof								
tilført i gødning	0	70	0	0	70	70	0	70
bortført i afgrøde	43	52	39	45	70	84	83	115
differens	-43	18	-39	-45	0	-14	-83	-45
b. Fosfor								
tilført i gødning	0	0	18	0	18	0	18	18
bortført i afgrøde	5	6	8	5	11	9	13	16
differens	-5	-6	10	-5	7	-9	5	2
c. Kalium								
tilført i gødning	0	0	0	66	0	66	66	66
bortført i afgrøde	26	24	24	44	29	72	81	94
differens	-26	-24	-24	22	-29	-6	-15	-28
<u>Sandjord</u>								
a. Kvælstof								
tilført i gødning	0	70	0	0	70	70	0	70
bortført i afgrøde	36	51	34	44	58	84	53	87
differens	-36	19	-34	-44	13	-14	-53	-17
b. Fosfor								
tilført i gødning	0	0	18	0	18	0	18	18
bortført i afgrøde	6	8	7	7	10	13	10	14
differens	-6	-8	11	-7	8	-13	8	4
c. Kalium								
tilført i gødning	0	0	0	66	0	66	66	66
bortført i afgrøde	16	18	16	38	19	67	53	71
differens	-16	-18	-16	28	-19	-1	13	-5

Korn, græsmarksafgrøder og rodfrugter

Udbyttet på ugødet lerjord er faldet ret stærkt de første år efter forsøgets anlæg, for derefter at ligge ret konstant på 1.300-1.400 f.e./ha som gennemsnit af sædskiftet, hvorefter det i slutperioden er steget til 1800 f.e.; sidstnævnte skyldes sandsynligvis anvendelse af kålroer som rodfrugtafgrøde i 3 fireårige perioder.

Kvælstof er på lerjorden den udbyttebegrænsende faktor. Ensidig fosfor- eller kaliumgødskning har kun givet små merudslag i udbytte i forhold til ugødet. Det største udbytte er opnået ved kombinationsgødningen NPK. Udbyttet på sandjorden er generelt mindre end på lerjorden, såvel i ugødede som i gødede parceller. Såvel kvælstof som kalium alene eller i kombination med fosfor har givet merudbytte på sandjorden. Derimod har ensidig fosfortilførsel ikke givet merudslag, sandsynligvis pga., at Askov sandjord er ret fosforrig fra naturens side.

Grønsagsafgrøder

Tilsvarende de langvarige forsøg med landbrugsjorder er der udført langvarige forsøg med grønsagsafgrøder, (Groven, 1960) på såvel lerjord (Blangstedgård) som sandjord (Hornum) (tabel 9).

Ved de fleste afgrøder har specielt manglende kvælstofgødskning givet udbyttenedgang (undtagelse er dog gulerødder på lerjord). Udeladelse af kalium- og fosforgødning har i nogle afgrøder givet udbyttenedgang, mens andre afgrøder er relativt upåvirkede. Oftest er udslagene størst på den lette jord.

Tabel 9. Langvarige gødningsforsøg med køkkenurter, Udbytte 1943-55. Kg/100 m² (Groven, 1960)

	Rabar- ber	Bøn- ner-	Asie- agurker	Sel- leri	Gule- rødder	Hvid- kål	Spids- kål	Blom- kål			
<u>Lerjord</u>											
ugødet	155,4	133,9	101,7	106,6	302,3	327,5	85,5	40,2			
INPK	203,9	195,5	181,2	197,8	379,0	605,5	145,6	69,6			
IN	130,3	175,2	161,5	140,6	390,5	340,5	117,1	46,2			
IP	216,1	194,9	134,7	206,6	382,0	629,0	132,1	52,5			
IK	232,0	151,2	94,0	136,7	342,4	612,2	125,9	65,9			
						Rødbe- der	Peber- rod	Ærter, gul	Ærter, grøn	Skalot- ter	
<u>Sandjord</u>											
ugødet	26,2	51,3	70,0	25,9	43,6	81,4	27,6	15,6	24,4	75,3	
INPK	100,7	114,2	202,5	85,8	118,3	403,3	66,8	26,3	64,3	122,9	
IN	43,5	72,8	189,6	66,7	80,3	116,6	35,9	22,2	35,9	85,5	
IP	88,2	89,1	131,7	59,6	136,4	374,3	42,4	21,6	32,0	102,1	
IK	50,4	87,2	102,0	60,7	57,9	287,6	40,0	13,2	38,7	129,4	

Frasorterede ikke opgivet

III.2. Gødningens indflydelse på indhold af kvælstofforbindelser

Plantens totale indhold af kvælstof betegnes total-N eller råprotein ($= \text{total-N} \times 6,25$) (Andersen, 1980).

Total-N-fraktionen kan underinddeles i uorganisk kvælstof (primært nitrat, derudover nitrit og ammonium) og organisk kvælstof. Organisk kvælstof består af en protein- og aminosyredel samt en "anden organisk N-del" (aminer, nukleinsyrer, klorofyl, auxiner m.m.). For yderligere beskrivelse af kvælstoffraktionerne henvises til Andersen (1980).

III.2.1. Nitratindehold i planter

I de sidste 30 år er der foretaget en del undersøgelser angående forekomsten af nitrat i planter og de omstændigheder, under hvilke nitratakkumulering finder sted. Tilstedeværelse af nitrat i planter er vigtigt af 2 grunde:

På den ene side vil store mængder af nitrat og specielt dets reduktionsprodukt, nitrit, være giftigt for mennesker og dyr.

Nitrat har selv ingen giftvirkning på planter, men kan, hvis det omdannes til nitrit, være skadeligt for dyr og mennesker, som spiser den pågældende afgrøde. Nitrat kan mikrobielt reduceres til nitrit under lagringen af det friske eller det forarbejdede produkt, men nitrit findes meget sjældent frit i planter.

På den anden side er et vist nitratniveau i planter ønskeligt som en indikation på en god kvælstofforsyning.

Set fra et gødskningsmæssigt synspunkt er nitrato-phobning i større mængder dog uønsket, idet det betyder en dårlig udnyttelse af tilført gødning og kan være direkte skadeligt.

Nitratakkumulering i plantevæv er afhængig af mange faktorer, bl.a.

1. Kvælstofgødskningen, samt i mindre omfang gødskning med andre plantenæringsstoffer (Maynard et al., 1976; Barker & Maynard, 1971, 1972; Barker et al., 1971).
2. Planternes genetiske variation (Darwinkel, 1975).
3. Omgivelsesmæssige faktorer
 - a) Lysintensitet. Lav lysintensitet bevirker generelt en forøgelse af nitratindeholdet, muligvis pga. manglende dannet fotosyntetisk energi til proteindannelse (Cantliffe, 1972)
 - b) Temperatur
 - c) Vand. Vandmangel kan føre til nitrato-phobning (Maynard et al., 1976).

4. Høsttidspunkt

5. Plantedel

For mange planter er det gældende, at nitratkoncentrationen er lavest i frø og frugter og større i rødder, blade og stængler.

6. Plantealder

Oftest findes det højeste nitratinhold i det ældste væv (Maynard et al., 1976).

III.2.1.1 Effekt af kvælstofmængde

Det har været fremført, at brug af handelsgødning, navnlig kvælstofgødning, kan fremkalde væsentlige ændringer i afgrødernes kemiske sammensætning og disse af en sådan art, at der er tale om en kvalitetsforringelse.

Nitratinholdet i bladafgrøder og rodfrugter varierer normalt mellem 0,1-2% af tørstoffet, men kan under visse dyrkningsforhold overskride 5% (Maynard et al., 1976),

Generelt kan man sige, at i gødningsforsøg, hvor de omgivelsesmæssige forhold så vidt muligt er holdt konstant, er der en klar sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og nitratinhold i planterne (fig. 1).

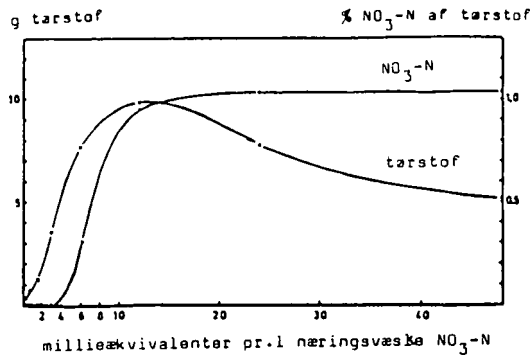


Fig. 1. Effekt af kvælstofgødskning på nitratinhold og tørstoffindhold, spinat. (Maynard & Barker, 1971)

Ved meget lave kvælstoftilførsler i næringsopløsningen eller i jorden vil planterne lide af kvælstofmangel, og nitratinholdet vil være tilnærmelsesvis nul. I

denne periode tiltager tørstofproduktionen stærkt med stigende kvælstoftilførsel. Herefter vil der ved "middel" kvælstofkoncentration i jorden være en stigning i såvel nitratindehold som stofproduktion. Ved en større kvælstoftilførsel vil den relative stigning i nitratindehold være større end stigningen i tørstofproduktionen for til slut ved høje kvælstofniveauer at resultere i en giftvirkning, idet tørstofprocenten falder, mens nitratindeholdet stadig stiger eller er konstant. Cantliffe (1973) angiver, at det er sandsynligt, at der eksisterer et kritisk "total-N" niveau, over hvilket enhver tilvækst i total-N hovedsageligt skyldes nitrat-N, og under hvilket nitrat-N ikke akkumulerer, uanset hvilke eksterne faktorer der påvirkes.

Landbrugsafgrøder

Blandt landbrugsafgrøderne er det først og fremmest græsmarksafgrøderne, der har betydning mht. muligheder for nitratakkumulering. En for stor nitratkoncentration i disse afgrøder kan føre til nitratforgiftning hos kvæg. Nitratakkumulering sker ved en højere kvælstofkoncentration i det unge bladrige stadium sammenlignet med senere udviklingstrin (Burg, 1965).

I en undersøgelse med forskellige græsser er det bekræftet, at der kan være en næsten retlinet sammenhæng mellem kvælstofoptagelsen og nitratakkumuleringen, mest udtalt for italiensk rajgræs. Denne sammenhæng ses, når kvælstofkoncentrationen overstiger det kritiske kvælstofniveau svarende til de mindste kvælstoftilførsler, der giver maksimal tørstofproduktion. En øgning i kvælstoftilførslen, alt andet lige, op til omkring 250 kg kvælstof/ha, bevirkede kun en beskedent tilvækst i nitratakkumulering. Ved tilførsler på omkring 500 kg kvælstof/ha var nitratindeholdet derimod betydeligt forhøjet (Darwinkel, 1975).

Grønsagsafgrøder

Mange grønsagsafgrøder er kendt for at kunne akkumulere nitrat, hvorimod frugter næsten intet akkumulerer (Maynard et al., 1976; Lorenz & Weir, 1974; Hansen, 1976a,b, 1977). Ved produktion af grønsager bruges ofte store mængder af nitratholdige gødninger, da der derved kan opnås et stort masseudbytte, samt at produkterne bliver mere saftspændte, hvorved de kan forekomme mere attraktive (Hansen, 1976a).

Brugen af nitratholdige gødninger kan imidlertid også medføre ulemper, bl.a. at de saftspændte planter kan være ømfindtlige ved håndtering og trans-

port, og tørstofprocenten er ofte lille, modstandskraften over for svampeangreb kan være svækket, og nitrat kan akkumuleres i planten.

Nitratinholdet i de enkelte grønsagsarter varierer meget fra art til art. Blandt bladafgrøder akkumuleres nitrat især af kulturer som rosenkål, salat, spinat, grønkål, kørvel, persille og blegselleri, hvorimod hovedkål gennemgående har et lavt indhold (Hansen, 1976b; Maynard et al., 1976) (fig. 2).

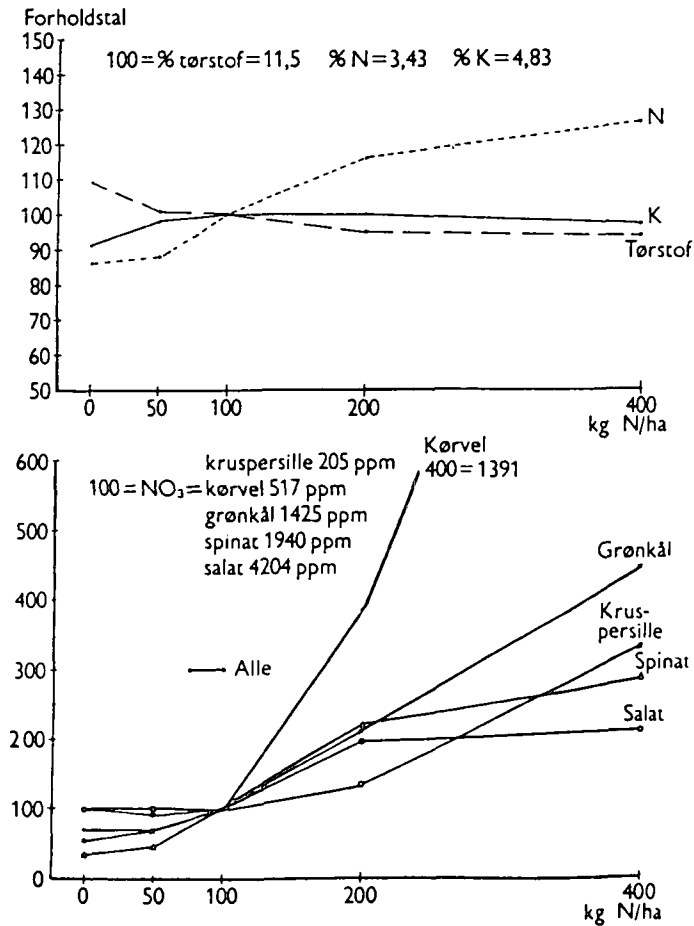


Fig. 2 Effekt af stigende mængder kvælstof på nitratakkumulering i bladurter og disses gennemsnitsindhold af tørstof, kvælstof og kalium ppm i friskvægt. (Hansen, 1976b)

Foruden en stigning i nitratinholdet med stigende kvælstofgødskning kan tørstofprocenten være faldende, mens totalkvælstofprocenten forøges. Derimod er kaliumprocenten sjældent påvirket.

Kørvel og grønkål har den største relative stigning i nitratinhold med stigende gødskning, men den absolutte mængde af nitrat er størst i salat (Hansen, 1976a, b). Af rodfrugter kan radiser og rødbeder have et relativt højt nitratinhold, mens selleri, gulerødder og kartofler kun sjældent har et nitratinhold af betydning (Hansen, 1976b; Maynard et al., 1976).

Agurker, ærter og bønner indeholder kun ringe nitrattmængder og er kun ringe påvirket af størrelsen af kvælstofgødskningen (Hansen, 1976b).

III.2.1.2. Effekt af øvrige plantenæringsstoffer

Ud over kvælstoftilførsel kan kaliumtilførsel føre til nitratakkumulering i grønsagsafgrøder (Barker & Maynard, 1971). Cantliffe (1973) fandt i spinat i karforsøg, at øget kaliumgødskning ville øge nitratakkumuleringen i skygge voksende planter, men ikke i lys voksende (tabel 10).

Tabel 10. Effekt af kalium på udbytte og nitratinhold i spinat. Karforsøg.
(Cantliffe, 1973).

K ₂ SO ₄ mg/kg jord	Lysintensitet	% NO ₃ -N		% total-N		% K		g tørvægt	
		høj	lav	høj	lav	høj	lav	høj	lav
0		0,40	0,78	3,91	4,28	3,49	4,53	0,82	0,38
50		0,41	1,01	3,72	3,89	4,81	6,26	0,91	0,41
100		0,35	1,05	3,60	3,97	6,05	7,53	1,00	0,45

Baker & Tucker (1971) og har fundet, at nitrat kan akkumuleres i forskellige afgrøder, når fosfor er i underskud. Koncentrationen af nitrat i hvede til folder blev reduceret fra 1.300 ppm til 300 ppm nitratkvælstof ved tilførsel af 15 kg P/ha på en fosformanglende lerjord. Dog har Barker & Maynard (1971) observeret, at moderat fosformangel ingen effekt har på nitratakkumulering i spinat. Samme observation er gjort af Cantliffe (1973), der fandt en signifikant tørstofftilvækst ved tilførsel af fosforgødning ved nær optimal lysintensitet, mens nitratkoncentrationen var upåvirket.

Muligheden for at undertrykke nitratakkumulering forårsaget af kvælstofgødskning ved at øge gødskningen med fosfor synes dog kun mulig til en vis

grænse. Baker & Tucker (1971) og Nowakowski et al. (1977) fandt, at fosformængder udover det nødvendige for maksimal udbytte ikke var i stand til yderligere at nedsætte nitratkoncentrationen.

Svovlmangel kan ligeledes bevirke en akkumulering af nitratkvælstof (Bolton et al., 1976, Eppendorfer, 1977), undtagen dog når der samtidig er kvælstofmangel (Eppendorfer, 1977). Akkumuleringen skyldes formodentlig en begrænsning i proteindannelsen. Under markforsøg, hvor der ikke er ekstrem svovlmangel, vil svovl imidlertid næppe have betydning med hensyn til nitratakkumulering.

III.2.1.3. Forskelle i sorter

Der er kun foretaget få undersøgelser vedrørende forskelle i nitratindhold i sorter. En eventuel forskel i nitratindhold vil være svær endeligt at klarlægge, da mange forskellige faktorer som nævnt virker ind på nitratakkumuleringen.

Schuphan et al. (1967) analyserede i markforsøg 9 sorter af spinat gødet med 120 kg kvælstof/ha og høstet ved hver sorts "optimale" høsttid.

De konkluderede, at kun små forskelle, hvis nogen, eksisterede mellem de 19 sorter. Dog har Barker et al. (1971) i drivhusforsøg med 18 spinatsorter opdelt efter bladtyper vist, at de glatbladede som gruppe havde lavere nitratindhold end de øvrige.

Maynard et al. (1976) har i salat vist, at der er sortsforskel på nitratakkumuleringskapacitet.

III.2.1.4. Konklusion/diskussion

Ved øget kvælstofgødsning specielt med kvælstofmængder større end, hvad der giver forøget tørstofindhold, vil den kvalitative sammensætning ændres således, at produkternes nitratindhold går op tillige med det totale kvælstofindhold.

Selv om der er observeret en ændring i afgrødernes nitratindhold, kan det være vanskeligt at foretage en vurdering af denne årsag, da der er mange faktorer, der kan påvirke nitratindholdet.

Hansen (1977) fandt, at nitratindholdet i salat udviste store sæsonvariationer. Således var nitratindholdet i prøver udtaget i perioden 23/10-17/12 1974 (4.075 ppm) dobbelt så stort som i prøver udtaget i perioden 29/4-25/6 1975 (2.037 ppm).

Foruden vækstvilkår og gødskning vil nogle afgrøder høstes på vidt forskellige udviklingstrin fra tidligt til sent i vækstperioden; dette gælder f.eks. kartofler.

Ved bladafgrøder som salat høstes der normalt på nogenlunde samme udviklingstrin, men før brug fjernes et større eller mindre antal blade, hvorved den gennemsnitlige fysiologiske alder af et parti kan påvirkes.

Ved spinat er blanchering et nødvendigt trin for opbevaringen af det frosne produkt. Ved blancheringen vil der ske en reduktion af alle vandopløselige stoffer, deriblandt nitrat; således vil nitratinholdet reduceres med 33-60% afhængig af blancheringsmetoden (Schuphan et al., 1967; Maynard et al., 1976). Nitratinholdet i kartofler er ligeledes stærkt afhængigt af opbevaring/forarbejdningsmetode. Opbevaring af kartofler vil normalt være ved så lave temperaturer, at der som regel ikke sker en bakteriel omdannelse af nitrat; men ved højere temperatur opstået ved transport, opbevaring eller lignende kan en omdannelse muligvis finde sted.

Den største koncentration af nitrat er lokaliseret lige under huden af knoldene. Fjernes dette lag ved skrælning, vil nitratinholdet i knolden reduceres med 10-12% (Carter & Bosma, 1974). Kogning af kartofler kan reducere knoldenes nitratinhold helt op til 80% (Phillips, 1968).

Spørgsmålet er, om den stærkt øgede kvælstofgødskning gennem den seneste snes år har bevirket en tilsvarende stigning i produkternes nitratinhold.

Da så mange dyrkningsmæssige samt analysemæssige metoder har ændret sig gennem tiderne, og forsøgsbetingelserne sjældent er ens i forskellige forsøg, vil det være meget vanskeligt at foretage en sammenligning mellem produkterne fra f.eks. 1900 og 1980.

En sammenligning er forsøgt i forskellige grønsager af Carter & Bosma (1974) og Lorenz & Weir (1974). Begge finder, at der ikke er store forskelle i nitratinhold i grønsager målt i perioden fra 1940 til 1970. Dette indikerer, at det øgede forbrug af kvælstofgødninger ikke har resulteret i signifikant øgede nitratinhold i grønsager. Dette må dog tages med forbehold pga. de tidligere nævnte forhold med hensyn til talopgivelser, specielt da nitratinhold, alt andet lige, er vist at øges med øget tilførsel af kvælstof i det enkelte forsøg.

III.2.2 Aminosyre- og proteinindhold

Næringsstoffer, der kan indvirke på proteinindhold og -kvalitet, er primært kvælstof, svovl og kalium. Andre stoffer kan dog også have betydning, deri-

blandt molybdæn. Kvælstof og svovl indgår direkte som byggesten i protein-molekylerne, mens kalium har en rolle i proteinsyntesen (Byers et al., 1978). Svovlmangel er relativt sjælden i Europa og Nordamerika, men hyppig i Afrika og Australien (Byers et al., 1978). Specielt kvælstofgødskningen vil således under danske forhold være den helt betydende faktor for påvirkning af proteinmængde og kvalitet.

Begrebet "proteinkvalitet" er generelt baseret på:

1. En kemisk analyse af proteinet, hvis indhold af essentielle aminosyrer sammenlignes med et referenceprotein - ofte ægprotein - som har en optimal aminosyresammensætning (tabel 11).

Tabel 11. FAO- og WHO-anbefalede koncentrationer af de essentielle aminosyrer for mennesker og enmavede pattedyr, g aminosyre/16 g N.

Aminosyre	FAO WHO norm.	(Eggum, 1968) æg "protein"
lysin	5,5	6,7
methionin		3,0
cystin		2,3
(met. + lys.)	3,5	5,3
threonin	4,0	5,1
tryptophan	1,0	1,5
isoleucin	4,0	5,8
leucin	7,0	8,9
valin	5,0	7,5
phenylalanin		6,7
tyrosin		3,6
(phe. + tyr.)	6,0	10,3
% N i tørstof		5,6

Aminosyresammensætningen har stor ernæringsmæssig betydning for mennesker og enmavede pattedyr, hvorimod den har mindre betydning for drøvtyggere, som selv ved hjælp af vommens mikroorganismer kan syntetisere de essentielle aminosyrer ud fra mere lavmolekylære kvælstofforbindelser.

2. En biologisk proteinanalyse udført ved fodringsforsøg med dyr. I forbindelse hermed udregnes ofte følgende biologiske kriterier:

SF - sand fordøjelighed (engelsk TD): den mængde af det undersøgte protein, som forsøgsdyret resorberer.

BV - biologisk værdi (engelsk BV): den del af det resorberede protein, som aflejres i kroppen.

NPU - netto proteinudnyttelse (engelsk NPU): produktet af SF og BV div. med 100.

Indholdet af protein samt aminosyresammensætningen varierer meget fra afgrøde til afgrøde (tabel 12). Bælgplanter indeholder meget protein i forhold til kornafgrøder. I kornafgrøderne findes aminosyrerne asparginsyre og glutamin i den største mængde, mens arginin er de aminosyre, der findes i størst mængde i hestebønne, kløver og græs (Kofoed, 1975).

Tabel 12. Udbytte og proteinindhold i forskellige afgrøder. Råprotein, kg/ha (Kofoed, 1975)

Afgrøde	Udbytte, dt/ha	f.e./ha	Fordøjelig råprotein, kg/ha
hvede (kerne)	42,1	4020	354
byg (kerne)	40,4	3730	272
havre (kerne)	43,2	3490	317
hestebønne	30,0	2930	639
raps (frø)	20,0	3050	350
kartoffel	88,0	7400	340
bederoe, rod	103,0	7960	318
bederoe, top	30,0	1600	267
kløvergræs	80,0	5450	954
græs til ensilering	85,0	4800	720
græs til foder	85,0	5500	963
lucerne til foder		5500	1073
majs til ensilage		(7000)	(550)
soyabønne	22,5	2050*	725

* = eksklusiv kalorieindhold i olie

III.2.2.1 Kornprodukter

Kornprodukter udgør nærvæd halvdelen af verdens samlede proteinproduktion, men næsten halvdelen af produceret korn bruges til dyrefoder (Cook, 1975). Korn er dog ikke ideel som proteinkilde alene, da menneskekost bør indeholde mere end 10% protein, og kornprodukter indeholder for lidt til at balancere kostrig stivelse og sukker. Desuden er kornafgrøder ofte fattige på aminosyrerne lysin og threonin (ses ved sammenligning med FAO/WHO norm) og til tider på isoleucin og tryptophan.

Effekten af kvælstofgødskning på proteinindhold og aminosyresammensætning har haft stor opmærksomhed i de senere år i såvel ind- som udland, og der er publiceret en del arbejder herom.

Betydning af stigende tilførsel af kvælstof

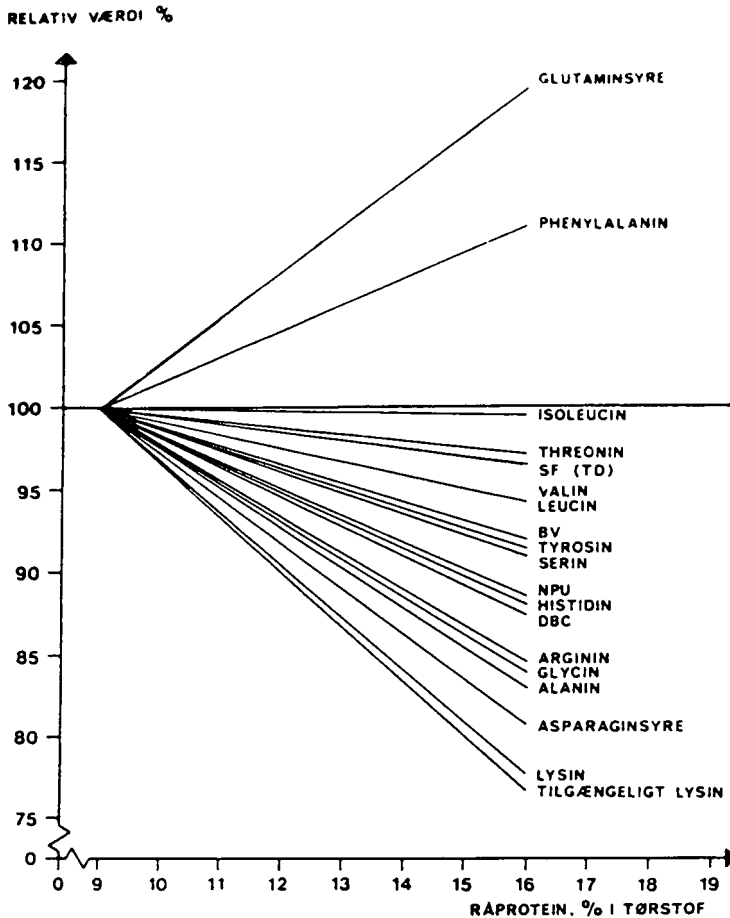
Byg

Råproteinindhold og aminosyresammensætning. Langt størstedelen af den byg, der produceres i Danmark, anvendes som foder i husdyrproduktionen, mens byg til maltning kun dyrkes i mindre omfang. På grund af byggets lave proteinindhold og relativt dårlige aminosyresammensætning må der ved fodring suppleres med soyaskrå og andre proteinrige fodermidler.

Et stort antal forsøg er udført til belysning af kvælstofs indflydelse på kvælstofindhold, aminosyresammensætning og proteinkvalitet i bygkernen (Eppendorfer, 1968, 69, 75; Bengtsson & Eggum, 1970; Kofoed & Klausen, 1971; Gregersen & Knudsen, 1972; Viuf, 1972, 73; Jansson, 1972, Jacobsen, 1975). De fleste af disse undersøgelser viser god overensstemmelse, hvorfor kun enkelte repræsentative forsøg vil blive fremtrukket. Resultater fra markforsøg (Kofoed & Klausen, 1971; Gregersen & Knudsen, 1972) har generelt mindre markante forskelle i kvælstof- og aminosyreindhold; sikkert på grund af større spredning på de enkelt målepunkter.

Den totale kvælstofmængde (råproteinindhold) øges i kernen med øget gødskning; og råproteinudbyttekurven fortsætter med at stige efter den kvælstofmængde, hvor udbyttekurven er fladet ud (Jacobsen, 1975; Eppendorfer, 1975). Således fandt Jacobsen (1975), at ved en forøgelse af kvælstofgødskningen fra 40 til 120 kg N/ha øgedes høstudbyttet med 24%, mens råproteinudbyttet øgedes med 53%. Proteinets relative indhold af aminosyrerne glutaminsyre og phenylalanin øges med råproteinindholdet (fig. 3) (Jacobsen, 1975). Indholdet af prolin skulle også kunne øges lidt (Eppendorfer, 1975). Indholdet af de

øvrige aminosyrer i proteinet falder med stigende råproteinindhold, mest markant for aminosyren lysin. Dette er specielt uheldigt, da lysin er den først begrænsende aminosyre i byg. Threonin, den anden begrænsende aminosyre, udviser derimod kun et svagt, ikke signifikant fald.



Figur 3. Råproteinindholdets indflydelse på bygproteinets aminosyresammensætning. Udtrykt i forhold til en "standard" med 9% råprotein i tørstof (Jakobsen 1975).

Ernæringsværdi. Den sande fordøjelighed (SF) er af Schiller & Oslage (1970) fundet at være positivt korreleret med råproteinudbyttet. Derimod fandt Jakob-

sen (1975) en svag, men ikke signifikant negativ korrelation med råproteinudbyttet. Den biologiske værdi (BV) er af mange fundet at være faldende med stigende kvælstofgødskning (fig. 3). NPU (nettoproteinudnyttelsen), der er et produkt af BV og SF, er derfor også negativt korreleret med råproteinindholdet. I tilfældet, hvor SF (Schiller & Oslage, 1970) steg med øget råproteinindhold, var faldet i BV imidlertid så stort, at også NPU var faldende med stigende råproteinindhold. Imidlertid må man i disse kvalitetsundersøgelser huske på, at indholdet af udnytteligt protein (netto proteinudnyttelse x råproteinindhold) er stigende trods faldende nettoproteinudnyttelse, hvilket skyldes den store tilvækst i mængden af råprotein.

Hvede

Proteinindhold og aminosyresammensætning. Lysinindholdet, som generelt er lavt i hvedeproteinet, vil som i byg reduceres med øget kvælstofgødskning (i procent af råprotein). Dog vil der ved kvælstofkoncentrationer større end 2,3% (Eppendorfer, 1975) (råproteinindhold 14,4%) kun ske ringe forandring i aminosyresammensætningen. Et så højt proteinindhold er dog ikke almindeligt i dansk dyrket hvede undtagen ved f.eks. sengødskning.

Som nævnt under afsnittet om byg vil det totale lysinindhold stige med stigende kvælstoftilførsel. Elonen (1972) fandt således, at øgning i kvælstofmængden fra 68 til 144 kg N/ha nedsatte lysinindholdet i procent af råproteinindholdet med gennemsnitlig 8,9%, mens råproteinindholdet øgedes med 19,1%.

Ernæringsværdi. Generelt er der fundet en negativ korrelation mellem kvælstofgødskning og proteinkvalitet (bl.a. Eppendorfer, 1975). Specielt den biologiske værdi (BV) er lav, den sande fordøjelighed (SF) kan godt øges lidt med stigende råproteinindhold i kernen, men det kompenserer ikke for den reducerede biologiske værdi. Resultatet er derfor et fald i nettoproteinudnyttelse med stigende mængder kvælstof.

Rug

Proteinindhold og aminosyresammensætning. I rug er der kun foretaget få danske undersøgelser over sammenhæng mellem proteinkvalitet og gødningsmængde. Efter Eppendorfers (1975) undersøgelser ser det imidlertid ud til, at kvælstofeffekten er den samme som i hvede og byg.

Koncentrationen af lysin er dog noget højere i proteinet i rugkerne end for de øvrige kornsorter; derimod er glutaminsyreindholdet lavere.

Ernæringsværdi. I denne kornsort medfører de modsatrettede effekter faldende biologisk værdi (BV) og stigende sand fordøjelighed (SF), at nettoproteinudnyttelsen (NPU) er uændret med variationer i kvælstofmængden. Denne observation plus det relativt høje lysinindhold gør det ud fra et proteinernærings synspunkt unødvendigt at begrænse kvælstofgødskningen i rug.

Havre

Råproteinindhold og aminosyresammensætning. Modsat hvad der er fundet i kerneproteinindholdet i de øvrige kornsorter, nedsætter øget kvælstofgødskning ikke (Steenbjerg et al., 1972) eller kun svagt (Eppendorfer, 1975) lysinindholdet i havre.

Den største øgning ses for aminosyrerne histidin, arginin og glutaminsyre.

Ernæringsværdi. Den sande fordøjelighed (SF) stiger med råproteinudbyttet; men modsat de øvrige kornsorter, vil den biologiske værdi (BV) være næsten upåvirket af størrelsen af kvælstofgødskningen. Som et resultat heraf vil nettoproteinudnyttelsen (NPU) stige næsten parallelt med SF-værdien med øget gødningsmængde.

Effekt af øvrige plantenæringsstoffer

Da kalium er nødvendig for enzymomdannelser i kvælstofstofskiftet, vil specielt mangel på kalium kunne indvirke på proteinkvaliteten. Koch (1975) fandt i vårhvede, at en stor kaliumtilførsel kombineret med kvælstoftilførsel kunne bewirke en bedre kvælstofudnyttelse, hvilket bevirkede, at mere af det absorberede kvælstof omdannedes til proteiner.

Hojjati & Maleki (1972) fandt et faldende råproteinindhold i hvedekerne med stigende kaliumtilførsel, men medfølgende stigning i lysinkoncentrationen. Der er ikke udført mange forsøg over fosfors rolle i kvælstofassimilationen. Da fosfor ikke direkte indgår til opbyggelsen af proteiner, er det sandsynligt, at fosfor, undtagen i mangelsituationer, ikke vil have betydning med hensyn til proteinkvalitet.

Da svovl direkte indgår i aminosyrerne methionin og cystin, vil en mangel på svovl føre til en mangel på disse aminosyrer og dermed til en begrænset proteinsyntese. Dette er bekræftet i karforsøg med byg af Eppendorfer (1968), der fandt, at udeladelse af svovl medførte et lavere indhold af de svovlholdige aminosyrer end tilsvarende planter gødet med svovl. Yderligere svovltilførsel, ud over hvad der gav optimal udbytte, forøgede ikke andelen af de svovlholdige aminosyrer.

III.2.2.2. Græs

Bælgplanter, oliefø og græs er normalt rige på proteiner.

En faktor, som vanskeliggør en vurdering af proteinkvalitet i græs, er, at proteinindholdet i procent af tørstoffet afhænger af græssets udviklingstrin. Cook (1975) har fundet, at proteinindholdet i det unge bladstadium kan være op til 30%, mens det før blomstring kan være faldet til 10%.

Koncentrationen af de forskellige kvælstoffraktioner i alm. rajgræs udviser en klar stigning med stigende kvælstofgødsning (tabel 13). Dette er tilfældet med såvel proteinkvælstof og ikke-proteinkvælstofdelen. Dog vil stigningen i ikke-proteinkvælstof være større end i proteinkvælstof, hvilket kan medføre nitratoophobning i bladvævet med fare for forgiftning. Proteinkvælstoffrakti-
onens aminosyresammensætning er i italiensk rajgræs fundet at være uafhængig af næringsstoftilførslen (Nowakowski & Byers, 1972, Nowakowski et al., 1975, 77).

Tabel 13. Effekt af stigende mængder kvælstof på proteinindhold i alm. rajgræs, g N/100 g tørstof (Goswari & Willcox, 1969).

Tilført N kg/ha	Total-N	Protein-N	Ikke pro- tein-N	Fri ami- nosyre-N	Nitrit- og nitrat-N
0	1,32	0,98	0,48	0,161	0,037
50	1,53	1,10	0,38	0,159	0,042
100	1,89	1,26	0,49	0,209	0,062
200	1,69	1,75	0,88	0,309	0,169
400	3,73	2,06	1,57	0,557	0,351
800	3,93	2,34	1,60	0,588	0,346

Kaliummangel i græs kan bevirke en akkumulering af nitrat og frie aminosyrer, mens proteinkvælstoffractionen i procent af totalkvælstof vil falde (Nowakowski & Byers, 1972). Dette kan skyldes mangel på tørstofudbytte, pga. kaliummangel, hvorved nitratoptagelsen vil fortsætte, men den videre omdannelse af nitrat til protein vil mindskes.

Eppendorfer (1977) fandt i italiensk rajgræs, at kun når svovl var i underskud, ville indholdet af de svovlholdige aminosyrer i bladet være lavere end i tilsvarende planter gødet med svovl.

III.2.2.3. Grønsager

Bladgrønsager har ofte et stort proteinindhold. Spinat er den plante, der pr. tidsenhed og ha kan give størst proteinudbytte (Cook, 1975).

Kun relativt få publikationer foreligger om dyrkningsfaktorerens indflydelse på proteinkvaliteten af grønsagsafgrøder. En stor sammenlignende undersøgelse af kvælstofeffekt på proteinindhold og aminosyresammensætning i spinat, kål, blomkål og kartoffel er foretaget af Eppendorfer (1978), hvorfra det følgende er refereret.

Det relative indhold af de fleste aminosyrer udtrykt i procent af totalkvælstofindholdet falder med øget kvælstofgødskning med undtagelse af asparginsyreindhold og glutaminsyreindhold i kartofler.

Methionin og/eller cystin (s-aminosyrerne) er normalt de begrænsende aminosyrer i vegetativt plantemateriale ifølge FAO/WHO-norm. Disse aminosyrer bliver endnu mere begrænsende med stigende kvælstofmængder.

Sammenholdt med FAO/WHO-værdier vil resultater for kartoffel vise, at koncentrationen af leucin samt S-aminosyrerne er utilstrækkelig selv ved lave kvælstofniveauer, mens også lysin, threonin og isoleucin bliver marginale ved høje kvælstofniveauer.

Som også fundet i kornprodukter synes kalium kun at have en stor betydning for proteinindholdet i grønsager, når kalium er tilført i underskud. Fosfor synes heller ikke at have stor indflydelse på kvælstoffraktionerne.

Carter & Bosma (1974) fandt i kartofler, at indholdet af totalkvælstof var direkte relateret til kvælstofgødskningen, men uafhængig af fosforgødskningen. Det samme blev observeret af Cantliffe (1973) i spinat.

Den sande fordøjelighed (SF) er fundet at øges med kvælstofgødningen, mens den biologiske værdi stiger eller er uforandret (Eppendorfer, 1978). Dette har som konsekvens, at nettoproteinudnyttelsen (NPU) også vil stige med en stigende kvælstoftilførsel.

III.2.2.4. Sorter

Hovedformålet med genetisk udvælgelse af sorter med hensyn til proteinkvalitet vil være at finde en sort, som både har højt lysinindhold, højt proteinindhold og højt udbytte. Problemet er imidlertid, at lysinindhold og totalkvælstofindhold er negativt korrelerede.

Sammenlignende sortsforsøg er udført på Risø Forsøgsanlæg med det formål at finde bygsorter med et højt lysinindhold. Viuf (1973) har undersøgt forskel-

lige kombinationer mellem sorter og kvælstoftilførsel. Han sammenlignede sorten KVL 468 med Emir.

Sorten 468 havde gennem vækstsæsonen og ved alle kvælstofniveauer haft et højere proteinindhold i kernen end Emir. Ved siden af det høje proteinindhold var også lysinindholdet større i KVL 468 ved de sidste modningstrin. I en sammenligning af 28 forskellige bygsorter med kontrolsorterne Emir og Zita blev det tilsvarende observeret, at varianten KVL 468 havde størst lysinindhold; således var lysinindholdet i proteinet 4,1-4,2 g/16 g N mod 3,0-3,5 g/16 g N i de almindelige sorter (Viuf, 1972). Rhödes & Jenkins (1978) fandt, at mutant 1508 fra Risø kunne indeholde op til 45% mere lysin end modersorten, men kerneudbyttet var lavt.

Det er velkendt, at proteinforandringer i græsarter er delvis relateret til forholdet blad/stængel, delvis til plantealder.

Således er proteinindholdet i blade 3 gange så stort som i stængler ved frømodenhed, men kun ca. 1,5 gange så stort i tidligere udviklingstrin (Åkerberg, 1975)

Forsøg til belysning af mulige genetiske forskelle i proteinindhold må derfor udføres på veldefinerede vækststadier og også ud fra viden om botanisk sammensætning. Dette kompliceres yderligere af, at græs ofte høstes i flere omgange (slæt) gennem vækstperioden.

I selektionsøjemed er det derfor ikke nok udelukkende at selekttere efter stort proteinindhold, også tørstofproduktion og kulhydratindhold må tages i betragtning.

III.2.2.5. Konklusion/diskussion

En stigning i kvælstofgødningsmængden vil for alle kornsorter undtagen havre medføre et fald i kernens lysinindhold i procent af totalkvælstof. Da lysin er den først begrænsende aminosyre, vil konsekvensen være, at proteinets kvalitet forringes; hvilket i ernæringsøjemed vil sige, at nettoproteinudnyttelsen (NPU) falder. Sidstnævnte primært som en effekt af en nedsat biologisk værdi (BV). I bedømmelsen af kvælstofgødningens rolle på proteinkvalitet må man dog huske på, at et totalt større indhold af totalkvælstof i kernen opnået ved stigende kvælstofmængder næsten altid vil medføre, at den absolutte mængde af de individuelle aminosyrer i kernen øges.

Proteinindholdet i havre, specielt i sammenligning med byg og hvede, besidder en høj næringsværdi, selv ved gødskning med høje kvælstofmængder. Til

underbyggelse heraf har markforsøg af Bengtsson & Eggum (1970) vist, at næringsstofværdien af protein i havre er upåvirket af kvælstofmængden. Med hensyn til grønsagsafgrøder er det vanskeligt at vurdere effekten af stigende kvælstoftilførsel på proteinets ernæringsmæssige værdi.

Ud fra aminosyremålingerne (den kemiske test) må man konkludere, at proteins ernæringsmæssige værdi forringes med øget kvælstofgødskning. Derimod vil konklusionen ud fra den biologiske test være, at kvaliteten forbedres med øget kvælstofgødskning.

Man må derfor sige, at kvaliteten af proteinet i grønsager ikke alene kan bedømmes ud fra kun den ene af testene.

Kalium kan bevirke en bedre kvælstofudnyttelse under nogle dyrkningsforhold; specielt når kalium før har været tilført i mindre og kvælstof i større mængder end nødvendigt for maksimal tørstofproduktion.

Under forhold, hvor fosfor er i stort underskud, kan plantekvaliteten være forringet bl.a. via en stor akkumulering af nitrat på bekostning af proteinmængden. Når fosfor er til stede i tilstrækkelig mængde, vil plantekvaliteten ikke yderligere kunne forbedres ved større fosfortilførsel.

III.2.3. Andet organisk kvælstof

Blandt gruppen "andet organisk-N" er det primært forskellige slags nitrosaminer og nitrosamider, der er kendt og undersøgt for at kunne give uheldige miljømæssige effekter pga. stoffernes carcinogene virkning. Derfor vil kun denne gruppe stoffer blive nærmere omtalt her.

N-nitrosoforbindelser

Der har i de seneste par år været en del opmærksomhed henledt på en mulig forekomst af N-nitrosoforbindelser i planteprodukter, specielt som en konsekvens af det stigende forbrug af kvælstofhandelsgødninger og andre kvælstofindeholdende stoffer samt brugen af visse pesticider.

N-nitroso forbindelser (nitrosaminer og nitrosamider) er vist at være udtalt carcinogene (kræftfremkaldende) for mange dyrearter. Barnes & Magee (1954) var blandt de første, der påviste, at nitrosaminer kunne fremkalde leverkræft i forsøgsdyr. Mohr & Hilfrich (1972) fandt, at blot én dosering med 1 mg nitrosodiethylamin pr. kg legemsvægt kunne fremkalde cancer i forsøgsdyr. Da stofferne er vist carcinogene i så mange dyrearter, er det almindeligt accepteret, at de også er carcinogene for mennesker.

Formel og reaktion

Nitrosaminer har formelen
$$\begin{array}{c} \text{R} - \text{N} - \text{R}' \\ | \\ \text{NO} \end{array}$$

Nitrosamider har formelen
$$\begin{array}{c} \text{R} - \text{N} - \text{CO} - \text{R}' \\ | \\ \text{NO} \end{array}$$

Antallet af mulige nitrosaminer (-amider) er meget stort. For at danne nitrosaminer og nitrosamider kræves for begge stoffer tilstedeværelse af nitrit (NO_2^-) eller nitrogenoxider (N_xO), som reagerer med henholdsvis aminer og amider til dannelse af nitrosoforbindelser (Alexander, 1973, ref. i Kofoed et al., 1981). Da nitrit dannes ud fra nitrat, vil der være risiko for, at en øget nitratmængde i planter eller jord kan medføre produktion af nitrosaminer.

Effekt af kvælstofmængde og -art

Kofoed (1980b) og Kofoed et al. (1981) undersøgte i forskellige korn-, græs- og grønsagsafgrøder, om mængden eller arten af kvælstofgødningen kunne influere på tilstedeværelse af nitrosaminer i plantepróverne før høst. Der kunne ikke påvises nitrosaminer i 181 ud af 187 prøver af korn, grønsager og frugt. Kun i de resterende 6 prøver blev der fundet spor af nitrosaminer, men det kunne ikke verificeres ved masse-spektrometrisk måling. I de prøver, hvor der blev fundet spor af nitrosaminer, var indholdet mindre end 0,6 ppm, og der var ikke sammenhæng med gødningsmængde, -art eller afgrødevalg.

Effekt af en kombination af pesticid og nitrit

Det er vist, at der i jord kan eksistere betingelser for nitrosation (dannelse af nitrosaminer). Tilsætning af aminen dimethylamin til lerjord resulterede i dannelsen af N-nitrosodimethylamin. (Pancholy, 1978).

Spørgsmålet er så, om der findes aminer i jord.

Golovnya et al. (1982) fandt i uopdyrket lerjord 34 forskellige slags aminer, hvoraf de fleste var sekundære aminer. De konkluderede, at når indholdet af nitrat (eller nitrit) i jorden er meget højt, vil nitrosaminer let kunne dannes; de målte dog ikke nitrit- eller nitratinholdet. De fandt, at i jorder med et stort indhold af organisk substans, var aminindholdet stort, sikkert pga. mikrobiel aktivitet.

Det er fundet, at visse pesticider kan fungere som aminkilde, f.eks. dime-thyl- og diethyldithiocarbamate (Tate & Alexander, 1974) atrazine (Kearney et al., 1977), Ziram (Eisenbrand et al., 1974) samt glyphosate (Khan, 1981). Khan (1981) fandt, at dannelsen af N-nitroglyphosate ud fra glyphosate var afhængig af den tilsatte nitritmængde, jordens pH-værdi (max. ved pH 2,5) og temperatur. Store koncentrationer af både herbicid og nitrit var nødvendige, før optagelse i planten kunne ske. Til produktion af 5 ppm N-nitroso-glypho-sate skulle benyttes 185 ppm af herbicidet. Dette er 90-100% mere end normal dosis. Ved normal tilførsel af herbicidet (2,2 kg/ha) blev der ikke fundet N-nitrosoglyphosate i hverken jord eller afgrøde.

Modsat Golovnya et al. (1982) fandt Khan (1981) større koncentration af N-nitrosoforbindelser i jorder med lavt indhold af organisk stof. I jorder med 1,1% humus kunne bestemmes 17 ppm af N-nitrosoglyphosate efter 8 dage. I jord indeholdende 18% humus blev intet N-nitroglyphosate bestemt. Om jordens mikroorganismer er i stand til at fremme, enten direkte eller indirekte, N-ni-trosation, er stadig et åbent spørgsmål.

Konklusion/diskussion

Til nu foreligger der ikke evidens for en sammenhæng mellem gødningsmængde, -art og indhold af N-nitrosoforbindelse i planter. I de planteprøver, hvor der er fundet N-nitrosoforbindelse, har koncentrationen været ringe. Det bør imid-lertid nævnes, at metoder til påvisning af nitrosaminer endnu er i begyndel-sesfasen, og at resultaterne til nu kun omfatter overvejende flygtige nitroso-forbindelser, hvis påvirkning af planteprodukter ikke behøver at være repræ-sentative for alle nitrosoforbindelser.

III.3. Gødsningens indflydelse på vitaminindhold

III.3.1. Effekt af stigende gødningsmængder

Foruden at have behov for proteiner og kulhydrater har såvel mennesker som husdyr et vitaminbehov, omend arten og mængden ikke behøver at være iden-tisk.

Vitamin C (ascorbinsyre) er således ikke essentielt for andre end mennesker og aber.

Tabel 14. Vigtigste vitaminer for mennesker (Andersen, 1980).

<u>Vitamin A</u>	Retinol Carotin Kryptoxantin	<u>Vitamin C</u>	Ascorbinsyre
<u>Vitamin B</u>		<u>Vitamin D</u>	Ergocalciferol (D ₂) Cholecalciferol (D ₃)
B ₁	Thiamin	<u>Vitamin E</u>	Alfa-Tocophenol Beta-Tocophenol
B ₂	Riboflavin	<u>Vitamin K</u>	Phytonadion Menadion
B ₆	Niacin Pyridoxin Pyridoxal Pyridoxamin Pantotensyre Ca-pantothenat Folinsyre Cyanocobalamin		
B ₁₂			

Med hensyn til det daglige vitaminbehov for mennesker og dyr henvises til Andersen (1980) samt Bresson et al. (1978) (tabel 14).

A-vitamin findes hovedsageligt i bladafgrøder som grønkål, spinat og græs samt i rodfrugten gulerod.

B-vitamin findes i stor mængde i bladafgrøder, men også i såvel rodfrugter som kornprodukter.

C-vitamin findes i langt den største koncentration i spinat og grønkål, men også i betydelige mængder i kartofler og gulerødder. Derimod er det ikke til stede i kornprodukter.

Kornafgrøder

Det vigtigste vitamintilskud, som fås fra kornprodukter, er B-vitamin (primært thiamin og niacin). Generelt vil en øget kvælstofgødsning indtil det optimale for tørstofproduktion bevirke en stigning i kernens B-vitaminindhold, omend ikke alle B-vitaminerne i komplekset vil øges. Således fandt Jahn-Deesbach & May (1972), at en ekstra kvælstofgødsning sent i vækstperioden øgede thiaminindholdet i kernen i 4 sorter af vinterhvede og 4 sorter af vårhvede.

Hunt et al. (1950) fandt i hvede, at stigende kvælstoftilførsel signifikant øgede niacinindholdet. Gødsning med nitrat og kalium i kombination producerede hvede med det største pantotensyreindhold, mens kvælstofgødsning alene ikke øgede indholdet. Tilsvarende fandt de i havrekerner et øget thiamin og riboflavinindhold efter kvælstofgødsning, mens indholdet af niacin og panthotensyre ikke øgedes signifikant.

Grønsagsafgrøder

A-vitaminindhold

De fleste forsøg til belysning af sammenhængen mellem gødskning og A-vitaminindholdet er udført på gulerødder. Den ernæringsfysiologiske værdi af gulerod bliver ofte bedømt ud fra indholdet af carotin og ascorbinsyre. Protein- og kulhydratindhold spiller for den menneskelige ernæring en mere underordnet rolle.

Mennesker og dyr kan ikke direkte udnytte carotenoid, men kan i organismen omdanne det til A-vitamin. Det er fundet, at carotenoidindholdet, som bestemmer farven på gulerødder, øges med kvælstofmængden. Dette er fundet af Böttcher et al. (1969), Habben (1973) og Otani (1974).

Ved overgødskning vil dog kunne indtræde en "gifteffekt". Otani (1974) fandt i pottforsøg, at 5 g ammoniumsulfat pr. 10 kg jord bevirkede et fald i carotenoidindholdet fra 6,8 mg/100 g tørstof til 5,4 mg/100 g tørstof i forhold til gødskning med 1 g ammoniumsulfat/10 kg jord. Tilsvarende fandt Böttcher et al. (1969), at størst carotinudbytte blev opnået ved den kvælstofmængde, der gav optimalt tørstofindhold; en yderligere stigning i kvælstofmængden bevirkede et fald i carotinindhold. Samme resultat blev opnået af Wolf (1955).

Foruden at kunne øge A-vitaminindholdet vil øget kvælstofgødskning til gulerødder kunne øge indholdet af reducerede sukkerarter, men nedsætte råfiberindholdet (Habben, 1973).

Carotinindholdet i grønkål og spinat (Reuff, 1970) og sukkerroeblade (Klemm & Ansorge, 1967) er ligeledes fundet at øges med stigende kvælstoftilførsel.

Generelt vil fosformangel nedsætte indholdet af A-vitamin (carotin), muligvis via en reduceret syntese af stoffet (Klemm & Ansorge, 1967).

C-vitamin

De fleste forsøg til belysning af plantenæringsstoffers indflydelse på ascorbinsyreindholdet (C-vitaminindholdet) synes at vise et faldende ascorbinsyreindhold med øget kvælstofgødskning.

Faldende ascorbinsyreindhold med øget kvælstofgødskning er fundet i gulerod (Böttcher et al., 1969) (fig. 4), spinat (Reuff, 1970) og kartoffel (Augustin, 1975), omend faldet for nogle af afgrøderne ikke er ret stort; det gælder f.eks. gulerod, hvor Böttcher et al. (1969) finder, at ascorbinsyreindholdet

kan stige eller være uforandret med øget kvælstofgødskning, i hvert fald ved en mindre kvælstoftilførsel. Geissler (1971) fandt i hvidkål, at en stor, men delt kvælstofgødning, kunne give såvel forhøjet udbytte som C-vitaminindhold.

Om kvælstof udviser nogen effekt kan afhænge af planteart (Scharrer & Werner, 1957). Ifølge Andersen (1980) kan en forklaring på faldende C-vitaminindhold være, at der er en sammenhæng mellem lysintensiteten og afgrødernes ascorbinsyreindhold. Store kvælstofmængder kan bevirke en kraftig bladvækst, hvilket vil reducere lysintensiteten for de nederste blade, hvilket igen kan bevirke et fald i ascorbinsyreindholdet.

Et fald i ascorbinsyreindhold kan imidlertid også skyldes et fald i tørstofindhold (Reuff, 1970). Holewicz (1971) fandt i spinat større udbytte, mindre tørstofprocent og mindre ascorbinsyreprocent med stigende kvælstoftilførsel.

I dette forsøg var udbytteforøgelsen dog så stor, at den samlede C-vitaminmængde var større ved højere kvælstofniveau.

Der foreligger kun få publikationer over kaliumeffekt på C-vitaminindholdet, og alle synes at vise, at kaliumgødskning kan øge C-vitaminindholdet. Dette er vist i spinat (Schuphan et al., 1967), grønkål og rosenkål (Scharrer & Werner, 1957) og kartoffel (Klemm & Ansorge, 1967). Kaliumtilførsel, ud over hvad der giver merudbytte, vil dog ikke kunne øge C-vitaminindholdet i afgrøder, som er overgødet med kvælstof.

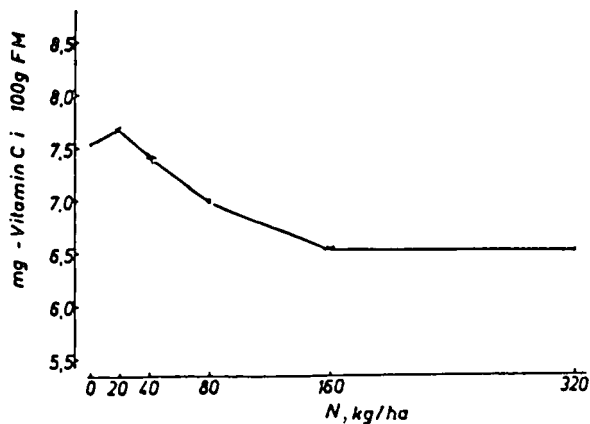


Fig. 4. C-vitaminindhold i gulerødder som funktion af gødningsmængden (Böttcher et al., 1969)

Selv om gødskning ofte har en effekt på C-vitaminindhold, må man huske på, at andre faktorer, som kan være svære at klarlægge, også kan indvirke på C-vitaminindholdet. Det gælder faktorer som lysintensitet, fugtighed og genetiske forhold (Larsen & Christoffersen, 1979).

III.3.2 Sortsforskel i vitaminindhold

Jahn-Deesbach & May (1972) undersøgte effekten af sen kvælstoftilførsel på thiaminindholdet i hvedekerne og i melprodukter i 8 vinterhvede- og 6 vårhvedesorter. De fandt, at thiaminmængden i de 6 vårhvedesorter (indhold 0,451-0,602 mg/100 g kerne) var signifikant højere end i de 8 vinterhvede sorter (indhold fra 0,331-0,458 mg/100 g kerne), mens kerneudbyttet var ens.

Derimod var der kun små sortsforskel i thiaminindhold, når henholdsvis vinterhvede- og vårhvedesorterne blev sammenlignet hver for sig.

Jensen (1975) fandt, at der var stor sortsforskel i vintergulerødders carotinindhold; kvælstofeffekt blev dog ikke undersøgt. Ved en sammenligning af udbyttetallene med tallene over carotinindhold blev det observeret, at ved selektion for større carotinindhold vil man ikke nødvendigvis få en sort med stort udbytte. Den sort af vintergulerødder, der havde størst carotinindhold var "Bauers Kieler rote" (20,4 mg/100 g), men samtidig var det den afgrøde, som gav det laveste udbytte (298 hkg/ha). Højstydende sort gav sammenligningsvis 464 hkg/ha, men havde kun et carotinindhold på 10,8 mg/100 g (sort Flakkeer).

III. 3.3. Konklusion/diskussion

Øget kvælstofgødskning vil ofte øge afgrødens indhold af A- og B-vitaminer; i hvert fald så lang tid kvælstofeffekten medfører udbyttetilvækst. Derimod vil C-vitaminindholdet for de fleste arters vedkommende falde.

I litteraturen udtrykkes vitaminindholdet for havebrugsafgrøders vedkommende oftest på friskvægtbasis, mens det for landbrugsafgrødernes vedkommende angives på tørstofbasis, hvilket vanskeliggør en sammenligning af vitaminindholdet i de 2 grupper.

Delt kvælstofgødskning kunne være en mulighed for både at øge udbyttet og C-vitaminindholdet. Flere forsøg er dog nødvendige.

Kvælstofeffekt på sortsforskel i vitaminindhold er udført i så begrænset mængde, at ingen klar tendens fremtræder.

III.4. Sammenligning mellem forskellige uorganiske gødninger

III.4.1 Udbytteeffekt

Interessen for at anvende urea har i de sidste år været stigende, hvilket til dels hænger sammen med, at urea kan købes billigere regnet pr. kg kvælstof end andre kvælstofgødninger. Virkningen er imidlertid afhængig af udbringningstidspunktet og -måden. Hvis urea ikke nedfældes, men udstrøs på jorden, er der en risiko for, at en del af kvælstoffet fordamper via amidkvælstoffets omdannelse til ammoniak. Kvælstofeffekten af urea kan være vanskelig at bedømme helt, da en nedfældning af urea ikke altid er mulig.

Da en nedfældning ikke umiddelbart er mulig i vintersæd, er effekt af urea på udbytte i specielt disse afgrøder ofte undersøgt ved sammenligning med andre uorganiske gødninger, som heller ikke er nedfældet.

Urea blev ved 2 kvælstofmængder sammenlignet med kalkammonsalpeter, og der blev i forsøgene ikke foretaget nedharvning af gødningen, der blev udbragt sidst i marts. Fra forsøg i De Samvirkende Lolland-Falsterske Landboforeninger 1981, er det fundet, at såvel aksantallet som udbytterne var væsentligt lavere ved urea end ved kalkammonsalpeter.

Omvendt viser andre forsøg i de landøkonomiske foreninger, at der kun er ringe forskel i udbytte i vinterhvede gødet med de to gødningstyper (Planteavlssarbejde i de landøkonomiske foreninger, 1982).

Om de to gødningsformer udviser forskellig udbytteeffekt kan som tidligere omtalt afhænge af udbringningsmåde og også af jordtype. Fogh (1974) sammenlignede i byg og bederoer effekten af de 3 gødningsformer: Kalkammonsalpeter 26%, ammoniumnitratopløsning, (NH_4NO_3) ca. 18% kvælstof samt urea-ammoniumnitratopløsning (UAN-30) ca. 30% kvælstof. Forsøgene blev udført på såvel sandblandet lerjord (Askov) som sandjord (Lundgård) og med 3 forskellige udbringningsmåder; a) udbringning på jordoverfladen efter såning, ingen nedharvning, b) nedharvning før såning, c) nedfældning til 10 cm dybde (tabel 15).

Der er opnået praktisk talt samme udbytte ved anvendelse af de 3 gødningsformer. I år med meget nedbør (1973) er der for alle 3 gødningstyper målt lavere udbytte efter nedfældning end efter udbringning oven på jorden, hvilket nok skyldes større udvaskningstab fra de nedfældede gødninger. Det modsatte er tilfældet i år med kun lidt nedbør (1974), hvor udbyttet er størst efter nedfældning af gødningerne. Sidstnævnte effekt ses specielt på sandjor-

den, hvorimod lerjorden har været upåvirket af udbringningsmåde. Fogh (1974) angiver, at udbringning af især ureaholdige gødninger på jordoverfladen uden efterfølgende nedharvning må forventes at kunne medføre tab af kvælstof ved fordampning, såfremt jordens reaktionstal er større end 6,5-7,0.

Tabel 15. Forsøg med kalkkammonsalpeter, ammoniumnitrat og ureaammoniumnitratopløsning (UAN-30) til byg og bederoer (Fogh, 1974).

Kerneudbytte i byg, hkg/ha

	O N	80 N			120 N				
		ikke ned- harvet	ned- harvet	ned- fældet	ikke ned- harvet	ned- harvet	ned- fældet	Gns.	
								80 N	120 N
<u>Askov og Lundgård 1971</u>									
Kas.		33,3	32,6	-	38,2	37,5	-		
NH ₄ NO ₃ -opl.		32,7	34,8	-	37,6	37,2	-		
UAN-30		33,5	36,1	34,8	35,4	36,4	37,3		
Gns.		33,2	34,5		37,1	37,0			
<u>Lundgård 1972 og 1974</u>									
<u>Askov 1972-74</u>									
Kas.		42,2	42,6	42,9	45,6	46,6	46,7	42,6	46,3
NH ₄ NO ₃ -opl.		42,6	42,1	41,2	45,3	45,4	45,6	42,0	45,4
UAN-30		41,9	42,0	41,5	44,5	45,3	44,8	41,8	44,9
Gns.	18,6	42,2	42,2	41,9	45,1	45,8	45,7		
<u>Lundgård</u>									
Kas.		23,4	23,6	17,6	30,7	31,4	27,4	21,5	29,8
NH ₄ NO ₃ -opl.		22,0	21,2	14,9	27,6	27,6	23,1	19,4	26,1
UAN-30		24,3	25,0	17,9	29,6	31,5	25,3	22,4	28,8
Gns.	5,3	23,2	23,3	16,8	29,3	30,2	25,3		

Tørstofudbytte i rod + top af bederoer, hkg/ha

	O N	80 N			120 N				
		ikke ned- harvet	ned- harvet	ned- fældet	ikke ned- harvet	ned- harvet	ned- fældet	Gns.	
								100 N	200 N
<u>Askov 1972-73</u>									
Kas.		135,5	139,2	132,0	147,0	147,4	151,7	135,6	148,7
NH ₄ NO ₃ -opl.		138,9	132,9	131,8	142,5	144,0	146,6	134,5	144,4
UAN-30		133,5	133,7	131,1	141,7	139,7	146,2	132,8	142,5
Gns.	92,6	136,0	135,3	131,6	143,7	143,7	143,7	148,2	
<u>Lundgård 1973</u>									
Kas.		88,5	84,8	77,4	103,3	105,5	96,0	83,6	101,6
NH ₄ NO ₃ -opl.		81,1	94,3	66,2	102,4	96,0	86,0	80,5	94,8
UAN-30		86,0	89,6	61,7	102,7	104,9	80,6	79,1	96,1
Gns.	33,9	85,2	89,6	68,4	102,8	102,1	87,5		

III.4.2. Indvirkning på nitratakkumulering

I afgrøder, som er tilbøjelige til at akkumulere nitrat, synes det fordelagtigt at bruge ammoniumgødninger i stedet for nitratgødninger. Lorenz & Weir (1974) fandt i markforsøg med spinat og salat et større nitratindehold, når kvælstof var tilført i form af nitrat end i form af ammonium. Barker et al. (1971) fandt i lignende eksperimenter med spinat tilført store mængder kvælstof 4 uger før høst, at nitratindeholdet i bladet var 0,40% af tørstoffet, når gødningsformen var kaliumnitrat, men kun 0,21-0,28%, når gødningsformen var ammoniumnitrat eller urea. Samme tendens blev observeret i rødbeder af Peck et al. (1971).

Derimod fandt Barker et al. (1971), at gødskning før såning med de to kvælstofgødninger ikke gav forskel i afgrødernes nitratindehold.

Dette skyldes sikkert, at nitrifikationen, dvs. den mikrobielle omdannelse i jorden af ammonium til nitrat, er foregået så hurtigt under de gunstige temperaturforhold om sommeren, at planterne i vækstsæsonen har optaget langt den største del af kvælstoffet som nitrat.

Nitrifikationen i jordbunden kan hæmmes ved brug af visse stoffer, således at ammoniumionerne udelukkende optages som sådanne. Et af disse stoffer er et pyridin-derivat, nitrapyrin (N-serve). Forsøg med N-serve er i Danmark udført på Askov Forsøgsstation (Kofoed & Larsen, 1970; Larsen, 1975).

Maynard & Barker (1972) anvendte N-serve i en spinat- og radisekultur gødet med ammonium- og nitratkvælstof. I de ammoniumgødede parceller, hvor nitrifikationen var hæmmet med N-serve, var nitratindeholdet i planterne for henholdsvis spinat og radise 12% og 25% af de nitratgødede afgrøders nitratindehold.

Under afprøvning er i øjeblikket en ny nitrifikationshæmmer DIDIN, hvor den aktive forbindelse er dicyaniddiamid (DCD), som hæmmer 1. trin i omdannelsen af ammonium til nitrit.

En anden mulighed for reduktion af en afgrødes nitratindehold kan være benyttelse af en gødningsform, der kun langsomt frigør kvælstof. Det kan dreje sig om såvel organiske gødninger som uorganiske.

En gødningsform, der kun langsomt frigiver kvælstof er peraform.

Tabel 16. Effekt af gødningsform på udbytte og nitratakkumulering i spinat (Schuphan et al., 1967).

Kg N/ha	Gødningsform	Udbytte kg N/ha	% NO ₃ i tørstof
0		14,81	0,12
60	calciumnitrat	21,41	0,46
60	peraform	17,33	0,12
120	calciumnitrat	24,77	0,86
120	peraform	19,73	0,41

Der er observeret et markant fald i nitratakkumulering i spinat gødet med peraform, men også et lavere udbytte (Schuphan et al., 1967, tabel 16). Når mængden af peraform blev øget til at give samme udbytte som kaliumnitrat (120 kg peraform, 60 kg CaNO₃), var nitratakkumuleringen af samme størrelsesorden. Samme observation blev gjort af Carter & Boswa (1974) i kartoffelknolde. Maksimalt udbytte blev opnået med 180 kg N/ha, når der blev benyttet ammoniumnitrat, men når en langsomtvirkende ureaform blev benyttet som kvælstofkilde, blev maksimalt udbytte først opnået ved 360 kg N/ha.

III.4.3. Indvirkning på proteinkvalitet og aminosyresammensætning

Forsøg til belysning af, om forskellige slags handelsgødning vil påvirke afgrødernes aminosyresammensætning forskelligt, synes kun at vise ringe forskel mellem uorganiske gødningstyper.

Elonen (1972) sammenlignede i vårhvede aminosyresammensætningen i en afgrøde tilført henholdsvis 120 kg urea/ha og 113 kg ammoniumnitrat/ha og fandt ingen signifikant forskel i aminosyresammensætning mellem de 2 typer. Jacobsen (1975) fandt i bygsorten Vada, at flydende ammoniak gav det største udbytte af tørstof, råprotein og lysin i sammenligning med kalksalpeter.

De relative forskelle var dog kun på omkring 8%.

Græsser tilført nitratholdige kvælstofgødninger kan indeholde en større procentdel af opløseligt kvælstof i forhold til uopløseligt kvælstof end planter gødet med ammoniumkvælstof (Nowakowski & Cunningham, 1966, Nowakowski et al., 1975). Det større indhold hænger sandsynligvis sammen med et større nitratinhold i nitratgødede græsser.

III.4.4 Indvirkning på vitaminindhold

Forsøg i grønsagsafgrøder er udført til belysning af, om kvælstof tilført som nitrat vil give et andet vitaminindhold i afgrøderne end samme mængde kvælstof tilført som ammonium.

Scharrer & Werner (1957) fandt i blomkål og radise, at gødskning med nitratkvælstof gav højere C-vitaminindhold end gødskning med ammoniumkvælstof.

Böttcher et al. (1969) sammenlignede i gulerødder effekten af nitratkvælstof og ammoniumkvælstof på carotinindhold (A-vitamin) i 2 forsøgsår 1961 og 1966.

I året 1961 bevirkede gødskning med 80 kg N/ha i form af salpeter et større carotinindhold end tilsvarende kvælstofmængde tilført som ammonium. I året 1966 var der imidlertid ingen forskel.

III.4.5. Konklusion/diskussion

Forskellen mellem ammoniumkvælstof og nitratkvælstofs virkning på nitratakkumulering i en afgrøde vil være afhængig af ammoniums grad af nitrifikation i jorden, dvs. hvor stor en del af den pågældende kvælstofgødning, der optages som henholdsvis nitrat og ammonium. Jo mere der optages som ammoniumioner i forhold til nitrater, jo mindre vil nitratakkumuleringen være.

Langsomtvirkende gødningsformer bevirker ofte en lavere nitratakkumulering end hurtigtvirkende, men udbyttet er lavere. Hvis de 2 gødningsformer har samme udbyttevirkning vil deres effekt på størrelsen af nitratakkumuleringen være ens.

Der er kun ringe forskel mellem forskellige uorganiske kvælstofgødningers indvirkning på proteinkvalitet, aminosyresammensætning og vitaminindhold.

III.5. Sammenligning af uorganisk og organisk gødning

Talrige forsøg i såvel Danmark som udland er udført over virkningen af husdyr- og handelsgødning på udbytte og plantekvalitet.

En stor del af husdyrgødningens kvælstof er til stede i organiske forbindelser af forskellig art. Den del af kvælstoffet, som er til stede som ammonium og urinstof, er lige så plantetilgængelig som kvælstof til stede i handelsgødning. Derimod skal kvælstof, som er til stede i organiske forbindelser, først mineraliseres, inden planten kan udnytte det. Dette betyder, at husdyrgødningens virkning kan strække sig over flere år.

Som følge af varierende fodring af husdyrene samt forskellig opbevaring af gødningen kan der være stor variation i gødningens kvælstofindhold. I tabel 17 er "normal"-indholdet af kvælstof i forskellige husdyrgødninger vist. Kvælstofindholdet i husdyrgødning er korreleret med tørstofindholdet i gødningen (Klausen, 1983), og der er i tabel 17 regnet med typiske tørstofprocenter for de enkelte gødninger.

Ved tilførsel af handelsgødning er kvælstoffet umiddelbart tilgængeligt for planterne, da kvælstof findes som $\text{NH}_4\text{-N}$ eller som $\text{NO}_3\text{-N}$; evt som urinstof, men sidstnævnte stof omdannes hurtigt til NH_3 i jorden (tabel 17).

Da effekten af en given gødningstype således kan være mange år om at blive observeret, vil sammenlignende forsøg med handels- og husdyrgødning, der har været gennemført over en længere årrække, være de mest værdifulde, hvorfor specielt sådanne forsøg vil blive fremtrukket.

III.5.1. Landbrugsafgrøder

Langvarige gødningsforsøg i Danmark

De langvarige gødningsforsøg blev anlagt ved Askov forsøgsstation i 1894 som fastliggende forsøg (Iversen & Dorph-Petersen, 1951; Lindhard, 1971) og er med visse ændringer gennemført uafbrudt siden. Senere er tilsvarende forsøg anlagt ved Lyngby i 1910 (Dorph-Petersen, 1946), Årslev 1911-26 (Hansen, 1928), Studsgård i 1918 (Nielsen, 1931; Hansen, 1948) samt ved Lundgård og Tylstrup i 1927 (Iversen & Dorph-Petersen, 1950).

Forsøgene på Askov og øvrige forsøgsstationer blev anlagt for som et af hovedformålene at undersøge, om jordens produktivitet kunne opretholdes ved udelukkende at tilføre jorden uorganiske gødninger, eller om tilførsel af organisk materiale var nødvendig for at opretholde jordens struktur og humusindhold.

Da forsøgene på Askov forsøgsstation har været gennemført i flest år, vil resultater herfra blive fremdraget. Forsøgene på de øvrige forsøgsstationer har givet tilsvarende resultater.

Næringsstofftilførslen har som gennemsnit af årene 1949-72 været 93 kg N, 19 kg P og 58 kg K i husdyrgødning og 70 kg N, 18 kg P og 66 kg K i handelsgødning (Kofoed og Klausen, 1983). Tilførslen var ca. det halve i 1894-1906.

Tabel 17. Kvælstofindhold i husdyrgødning og handelsgødning (Klausen, 1983)

	<u>Husdyrgødning</u>			
	<u>Tørstof</u> %	<u>Total-N</u> kg/t	<u>NH₄-N</u> kg/t	<u>t gødning pr.</u> <u>gødningsenhed*</u>
<u>Fast gødning</u>				
kvæg	23	5,7	1,2	14
svin	22	6,6	2,2	12
høns	29	13,5	5,2	6
slagtekyllinger	59	23,2	5,5	3,5
ænder	27	7,6	1,2	11
mink	17	8,2	3,7	10
<u>Gylle</u>				
kvæg	6,8	3,8	2,2	21
svin	3,5	4,1	2,8	20
slagtesvin	5,0	5,4	3,8	15
søer	2,2	2,9	2,1	27
mink	4,5	5,9	3,9	14
<u>Handelsgødning</u>				
	<u>Total-N</u> %	<u>NO₃-N</u> %	<u>NH₄-N</u> %	
kalksalpeter	15,5	14,5	1,0	
chilesalpeter	16,0			
svovlsur ammoniak	21,0		21,0	
kalkammonsalpeter	26,0	13,0	13,0	
flydende ammoniak	82,2		82,2	
urea	46,0			
NPK-gødninger	13-25	6-12	7-13	

* 1 gødningsenhed = 80 kg N/år = 1 voksent kreaturs gødningsproduktion pr. år.

III.5.1.1. Udbytte

Udbyttet på den ugødede jord er faldet ret stærkt, de første år efter forsøget blev anlagt, for derefter at ligge ret konstant på 1300-1400 f.e./ha på lerjorden som gennemsnit af sædskiftet, lidt lavere værdi på sandjorden, hvorefter udbyttet i perioden 1965 og fremad igen er steget lidt; sidstnævnte skyldes sandsynligvis anvendelse af kálroer som rodfrugtsafgrøde i sædskiftet på lerjorden og udskiftning af kløvergræs med lupin på sandjorden (fig. 5).

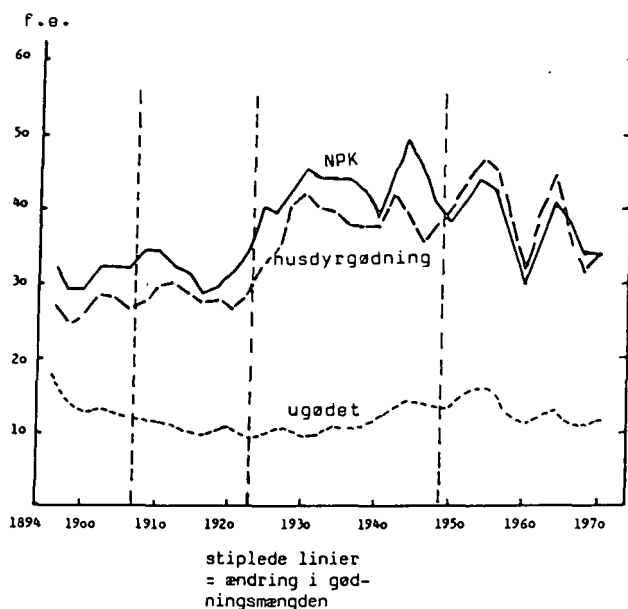


Fig. 5. Gennemsnitsudbytte. Askov sandmark 1894-1972, f.e./ha/år. (Kofoed, 1977a).

Udbyttet efter handelsgødning og husdyrgødning har været stigende gennem årene; hvilket skyldes forøget gødningsmængde og stadig højere ydende sorter.

Ved at tilføre samme mængde af kvælstof i de 2 gødningsformer har kvælstof fra handelsgødning bevirket større udbytte end kvælstof fra husdyrgødning. Efter 1949 er der for at udligne denne udbytteforskel mellem de to gødningstyper tilført handelsgødning til de husdyrgødede parceller i kornafgrøderne (30 kg N/ha til vårsæd, 60 kg N/ha til vintersæd). Dette har på sandjorden bevirket, at de husdyrgødede led har givet det største udbytte, mens handelsgødning stadig har givet størst udbytte på lerjorden.

Handelsgødning er således mht. udbytte i stand til over en længere tidsperiode at opretholde jordens ydeevne. Udbytteforskellen mellem de 2 gødnings-systemer er afhængig af en række faktorer, deriblandt jordtype og afgrødevalg; således er udbytteforskellen størst på lerjorden, mens der i parceller med rodfrugter kun er ringe forskel mellem de 2 gødningsformer.

I disse forsøg er virkningsgraden af staldgødningen fundet at være 40% af handelsgødningens med hensyn til kvælstof, hvilket vil sige, at 100 kg kvælstof i husdyrgødning kan erstattes af 40 kg kvælstof i handelsgødning.

Virkningsgraden af husdyrgødning afhænger dog meget af udbringningstidspunkt, udbringningsmåde, gødningsform og afgrødevalg.

Forsøg har vist, at hvis husdyrgødningen udbringes om efteråret og henligger oven på jorden, er virkningsgraden meget lille, ofte kun 0,05-0,15 (5-15%) (Nemming, 1982). Klausen & Nemming (1982) og Nemming (1982) sammenlignede virkningsgraden af kvælstof fra fast svinegødning og svinegylle. Den gennemsnitlige virkningsgrad for N i byg var 0,30 for svinegyllen sammenlignet med kalkammonsalpeter og 0,20 for den faste svinegødning. Den bedre virkning af gyllen skyldes et større indhold af ammoniumkvælstof. Blev gødningen nedpløjet i november-december, var virkningsgraden 0,10 for den faste svinegødning og 0,25 for svinegyllen. En nedpløjning i marts-april gav en virkningsgrad på henholdsvis 0,25 og 0,35. En nedharvning i marts-april gav den bedste virkningsgrad af svinegyllen, nemlig 0,55, hvorimod virkningsgraden kun var 0,15 for den faste svinegødning. Tilsvarende tendens er observeret i bederoer. Dog udnytter disse husdyrgødningen bedre end kornafgrøder på grund af en længere vækstperiode.

Kløvergræs og rent græs udnytter ikke husdyrgødning særlig godt, specielt rent græs. Virkningsgraden af 200 kg N/ha i gylle til kløvergræs var 0,38, men kun 0,10 tilført rent græs (Nemming, 1976). Anvendes gylle om foråret til kløvergræs, kan virkningsgraden øges til 0,50.

III.5.1.2. Plantekvalitet

Husdyrgødning giver i reglen et lavere totalkvælstofindhold, end når samme mængde kvælstof gives i handelsgødning (tabel 17).

Dette er gældende for såvel lerjord (tabel 17) som sandjord (data ikke vist).

Forskellen mellem de 2 gødningstyper mht. totalkvælstof er størst i afgrøder som hvede, hvorimod der ikke er forskel i kløvergræsafgrøder (tabel 18).

Tabel 18. Indhold af kvælstof, fosfor og kalium i byg, hvede, bederoer og græs, % af tørstof. (Iversen og Dorph-Petersen, 1948; Kofoed, 1977a)

	Hvede		Byg		Bederoer		Græs
	kerne	halm	kerne	halm	rod	top	
<u>Kvælstof</u>							
ugødet	1,91	0,42	1,55	1,15	1,12	2,15	2,32
staldgødning							
1	1,95	0,44	1,60	1,04	1,09	2,73	2,28
1½	2,02	0,48	1,67	0,95	1,14	2,69	2,45
NPK							
½	1,92	0,45	1,54	1,06	1,04	2,72	2,36
1	2,16	0,52	1,64	0,90	1,09	2,84	2,22
1½	2,46	0,69	1,69	0,88	1,16	2,82	2,47
<u>Fosfor</u>							
ugødet	0,86	0,21	0,75	0,16	0,38	0,64	0,44
staldgødning							
1	0,87	0,20	0,80	0,22	0,60	0,80	0,51
NPK							
½	0,77	0,15	0,72	0,12	0,43	0,69	0,48
1	0,82	0,15	0,72	0,13	0,52	0,78	0,50
<u>Kalium</u>							
ugødet	0,69	0,59	0,70	0,76	1,50	1,90	1,16
staldgødning							
1	0,70	0,61	0,74	1,19	2,18	2,55	1,61
NPK							
½	0,67	0,62	0,71	0,88	1,85	1,86	1,63
1	0,68	0,74	0,72	1,00	2,16	1,84	2,03

1 = normalmængde gødning

1½ = 1½ mængde gødning

½ = ½ mængde gødning

I modsætning til kvælstofprocenten er fosforsyreindholdet for samme kvælstofmængde højest i de husdyrgødede afgrøder fremfor i de handelsgødede afgrøder. Dette er gældende for begge jordtyper.

Indholdet af kalium vil generelt stige med stigende gødningsmængder uanset formen af denne. I roetoppen er kaliprocenten betydeligt højere fra staldgødede parceller end fra handelsgødede. Dette kan skyldes, at roerne i den givne tidsperiode har fået et stort tilskud ajle (Iversen & Dorph-Petersen, 1951).

I de ugødede parceller er afgrødernes kerneprocent højere end i de gødede parceller. Sammenlignes de 2 gødningsformer med hinanden, vil de handelsgødede parceller give afgrøder med en lidt lavere kerneprocent end de husdyrgødede parceller tilført samme gødningsmængde. Rækkefølgen mht. afgrødernes kerneprocent er: ugødet > staldgødet > handelsgødet. Dette indikerer, at det er den totale tilgængelige kvælstofmængde, der er den mest betydende faktor, da kvælstofoptagelsen modsat kalium- og fosforoptagelsen er afhængig af gødningstypen.

I 1000-kornsvægt er der ikke observeret de store forskelle mellem de 2 gødningsformer, hvorimod vægten er betydeligt lavere for de ugødede kornafgrøder.

Om der er forskel i rumvægt i afgrøder tilført henholdsvis husdyrgødning og handelsgødning synes at kunne afhænge af den benyttede kornsort. I vintersæd (rug og hvede) blev der ikke observeret en forskel, hvorimod der i vårsæd (havre, byg) blev fundet lidt større værdi i det husdyrgødede korn end i det handelsgødede (Iversen & Dorph-Petersen, 1951).

I rodfrugterne vil tørstofprocenten generelt falde med stigende kvælstofmængder uanset gødningstype. Ved samme udbytte vil tørstofprocenten være større for husdyrgødede rodfrugtafgrøder end for handelsgødede (Iversen & Dorph-Petersen, 1951).

Til belysning af, om afgrødernes foderværdi vil påvirkes af gødningsformen, er der i alle rodfrugtafgrøderne (rod og top) foretaget bestemmelse af indholdet af renprotein, nitrat, ammonium, amid, aminosyrer og råprotein.

I kornafgrøderne er der kun bestemt totalkvælstof, nitratinhold og renproteinindhold i kernen.

Renproteinindholdet i kornafgrøder udgør 88-95% af kernens samlede kvælstofindhold, og forskellig gødskning har kun ringe indflydelse på forholdet mellem renprotein og totalkvælstof. Nitratinholdet i såvel kerne som halm udgør kun en lille procentdel og er ikke influeret af gødningsformen.

Renproteinindholdet i rodfrugtafgrøder falder med stigende gødskning, og der synes kun at være ringe forskel på virkningen af husdyr- og handelsgødninger.

Ved store gødningsmængder (1 og 1½ gange normal gødskning) vil renproteinindholdet dog relativt være lidt større i de husdyrgødede rodfrugter. Indholdet af ammonium og amidkvælstof udviser kun ringe gødningssammenhæng; hvorimod nitratinholdet er afhængig af såvel mængde som form af gødning. Jo stærkere kvælstofgødskning jo større vil nitratinholdet være.

Disse undersøgelser viser, at en rigelig tilførsel af let tilgængeligt kvælstof til rodfrugtafgrøder bevirker, at en forholdsvis mindre del af det optagne kvælstof oparbejdes til proteiner.

Da kvælstofoptagelsen imidlertid er mindre i de husdyrgødede afgrøder, kan forskelle i indhold af nitrat og renprotein være en konsekvens af den optagne kvælstofmængde, snarere end arten af denne.

Indtagelse af store mængder cadmium med føden kan føre til forgiftning, hvorfor tilstedeværelse af cadmium i landbrugsafgrøder er uønsket. Acceptabel daglig indtagelse er sat til maksimalt 60 µg/dag/person (Hansen, 1980).

Anvendelse af handelsgødning, først og fremmest fosfatgødningerne, der som følge af oprindelsesmaterialet råfosfat vil indeholde visse mængder cadmium (Kofoed & Klausen, 1983), kan føre til tilstedeværelse af cadmium i afgrøder. Imidlertid indeholder også husdyrgødning cadmium. Kofoed (1974) fandt en værdi på 0,2 ppm i tørstof.

Mængden af tilført cadmium i husdyrgødning er estimeret til godt en fjerdedel af mængden tilført i handelsgødning, henholdsvis 0,5 g/ha og 1,9 g/ha. Dertil kommer et bidrag på 1 g/ha fra luften (Kofoed og Klausen, 1983).

Cadmiumindholdet varierer fra afgrøde til afgrøde og er højest i blade og strå og lavest i kernen. Når der benyttes normale mængder af handelsgødning ("½" og "1"), vil der ikke ske en tilvækst i cadmiumindholdet i afgrøderne i forhold til ugødet; derimod vil benyttelse af højeste gødningsmængde ("1½" NPK i handelsgødning) føre til en signifikant stigning i cadmiumindholdet i hvede og byg (tabel 19).

Tabel 19. Gødskningens indflydelse på korns cadmiumindhold, ppm i tørstof (Kofoed & Klausen, 1983).

	Hvede kerne	Byg kerne	Hvede halm	Byg halm
Ugødet	0,03	0,02	0,09	0,06
½ husdyrgødning	0,04	0,02	0,10	0,09
1 husdyrgødning	0,04	0,02	0,10	0,09
1½ husdyrgødning	0,03	0,02	0,10	0,12
½ NPK	0,04	0,02	0,12	0,13
1 NPK	0,05	0,03	0,15	0,13
1½ NPK	0,07	0,03	0,17	0,20
1 N alene	0,05	0,02	0,09	0,15
1 P alene	0,06	0,03	0,10	0,10
1 K alene	0,04	0,03	0,10	0,06

III.5.1.3. Langvarige gødningsforsøg i udlandet

Langvarige sammenlignende forsøg med organisk og uorganisk gødning er også udført i udlandet (tabel 20).

Tabel 20. Gennemsnitsudbytte af korn gennem 50-116 år ved forsøg i nogle europæiske lande, hkg kerne/ha (Stapel, 1979).

Forsøgslokalitet og åremål		Antal år	Kornart	Ugødet	Husdyr-gødet	Handels-gødet
England, Rothamsted	1852-1961	110	byg M	8,8	29,6	24,6
England, Rothamsted	1852-1967	116	hvede M	9,6	24,4	23,6
Tyskland, Halle	1879-1958	80	rug M	14,1	25,3	24,8
Danmark, Askov Lerm.	1894-1968	75	korn S	12,8	24,2	29,2
Danmark, Askov Sandm.	1894-1968	75	korn S	8,1	19,0	24,9
Østrig, Grossenzersdorf	1906-1975*	70	byg M	15,0	33,2	33,0
Østrig, Grossenzersdorf	1906-1975*	70	rug M	13,9	23,1	27,7
Østrig, Grossenzersdorf	1906-1975*	70	rug S	24,3	29,6	31,7
Polen, Skierniewice	1925-1973	49	rug M	12,8	21,0	22,0
Polen, Skierniewice	1924-1973	50	rug S	15,7	-	30,6
England, Woburn	1877-1926	50	hvede M	7,7	15,5	14,8
England, Woburn	1877-1926	50	byg M	8,5	20,7	11,2
Gennemsnit 50-116 år				12,5	24,2	24,8

M = monokultur

S = sædskifte

* = forsøgene i Grossenzersdorf er gennemført efter planen siden 1906, men høstudbyttet stammer alene fra de sidste 16 år, det øvrige forsøgsmateriale gik tabt under 2. verdenskrig.

Da jordens ydeevne kan påvirkes af så mange faktorer som næringsstofindhold, klimatiske forhold, jordbehandling og afgrødevalg, kan de udenlandske forsøgsresultater ikke umiddelbart overføres til danske forhold.

Desuden er mængden af benyttet gødning ikke ens i de forskellige lande. Ved forsøgene i Halle og Askov er mængden af husdyrgødning 12-14 t pr. ha om året i Woburn i England og i Grossenzersdorf i Østrig 18-20 t pr. ha og i Rothamsted-forsøgene 35 t/ha.

Tendensen i forsøgsresultaterne er imidlertid klar: Ugødet jord giver kun ca. halvt så stort udbytte som husdyr- og handelsgødet jord. De to gødningsformer vil i gennemsnit af alle landenes resultater give lige stort udbytte; i Danmark vil f.eks. handelsgødning give et lille merudbytte i forhold til husdyrgødning, mens den modsatte tendens ses i forsøgene fra Rothamsted.

III.5.2. Grønsagsafgrøder

III.5.2.1. Gødningsforsøg i Danmark

Tilsvarende forsøg med landbrugsafgrøder er der i Danmark udført langvarige forsøg med køkkenurter, hvor effekten af gødskning med husdyr- og handelsgødning er undersøgt. Forsøgene er blevet gennemført over en 30-årig periode fra 1922 til 1955 (Esbjerg 1929, 1937; Groven, 1960), og er udført på såvel sandjord (Hornum) som lerjord (Blangstedgård).

Forsøgene omfatter mange forskellige køkkenurter:

Rosenkål, blomkål, salat, blegselleri, tomater, asier, rødbeder, hvid- og rødkål, gulerødder, pastinak, kørvel, peberrod, spinat, skalotter, spidskål, rabarber, bønner og ærter.

For alle køkkenurters vedkommende medførte øget gødskning, uanset form, et stigende merudbytte. Størrelsen af merudbyttet samt effekten af handels- og husdyrgødning var dog afhængig af afgrøden. Blomkål synes at udnytte handelsgødning bedre end husdyrgødning på såvel ler som sandjord. Det samme var tilfældet for kartofler, rosenkål, rødbeder, hvidkål, og spinat. Afgrøder som salat, blegselleri, asier, pastinak og peberrod gav det største udbytte ved tilførsel af husdyrgødning på begge jordtyper.

Øvrige afgrøder som kørvel, skalotter og selleri har givet størst merudbytte efter husdyrgødning på sandjord, mens de 2 gødningstyper har samme effekt på lerjord. Øvrige afgrøder har ikke haft stor forskel i merudbytter for de to gødningstyper.

Kvaliteten af produktet i disse forsøg er vurderet ud fra mængden af I og II kvalitetsprodukter. Den bedste kvalitet er oftest fundet, hvor der er benyttet den største gødningsmængde; ved nogle afgrøder dog den mellemhøje gødningsmængde. Kvaliteten af produkterne er lavest ved de ugødede led; hvorimod der for de fleste afgrøders vedkommende ikke er den store kvalitetsforskel i henholdsvis husdyr- og handelsgødede led.

III.5.2.2. Gødningsforsøg i udlandet

I 1960 anlagdes i Geisenheim i Tyskland et langvarigt gødningsforsøg med grønsagsafgrøder omfattende kartofler, roer og sukkerroer (Schuphan et al., 1967; Schuphan 1974, 1976). Plantenæringsstoffer blev tilført på 3 forskellige måder; som NPK-gødning, som organisk gødning og som biodynamisk kompost.

Resultaterne af det 12-årige forsøg viser som gennemsnit af alle år og afgrøder, at organiske gødninger (husdyrgødning og biodynamisk kompost) i forhold til uorganisk gødning (NPK) har givet et nedsat udbytte fra 20-46% på mosejord og på 28-56% på sandjord (tabel 21). Nedsættelsen var størst i korttidsvoksende afgrøder som spinat. Tilsvarende forsøg af Peavy & Greig (1972) og Maga et al. (1976) har vist et signifikant lavere udbytte i spinat tilført organiske gødninger frem for uorganiske.

Tabel 21. Udbytte samt indhold af tørstof, protein og ascorbinsyre (Schuphan, 1974)

	Udbytte (hkg friskv./ha)		Tørstof %		Relativ protein %		Ascorbinsyre mg/100 g fr.v.	
	M	S	M	S	M	S	M	S
Spinat								
I	271	170	6,2	7,5	82	75	29,9	37,4
II	78	35	8,8	10,0	86	76	53,1	57,8
III	304	209	6,0	7,0	81	75	30,2	34,3
IV	139	80	9,0	9,4	87	72	49,1	48,8
Salat								
I	457	312	4,2	5,0	64	66	9,7	15,4
II	178	108	6,0	7,3	80	77	15,4	16,3
III	496	317	4,3	5,0	62	72	8,8	15,4
IV	272	208	5,4	6,0	74	79	15,4	14,1
Gulerod								
I	797	516	12,5	12,5	40	43	8,0	6,3
II	411	292	12,7	12,3	51	45	8,0	4,3
III	833	673	12,4	12,3	40	32	8,4	6,8
IV	621	528	13,0	12,2	49	44	8,1	5,3
Savoy-kål								
I	588	543	8,0	8,6	39	43	41,8	46,2
II	132	133	13,5	12,9	52	57	73,5	85,5
III	529	506	8,7	8,6	51	47	44,0	41,8
IV	114	174	15,7	12,7	54	55	80,1	75,7
Kartoffel								
I	303	173	22,4	22,5	51	48	25,3	28,3
II	217	140	21,7	21,3	49	51	27,7	33,1
III	347	199	22,0	22,6	52	53	23,6	32,2
IV	329	214	21,7	22,0	52	51	26,4	33,0
Selleri								
I	673	430	15,5	14,6	44	44	11,8	-
II	329	230	16,3	16,4	60	67	14,0	-
III	666	428	15,8	14,7	51	55	14,8	-
IV	406	317	15,8	15,9	55	63	14,1	-

I NPK 80-240 N, 40 P, 130 K (kg/ha)

II fast staldgødning 30 t/ha

III fast staldgødning + NPK 30 t/ha + (indhold i NPK-indhold i staldgødning)

IV biodynamisk kompost 86 t/ha

M = mosejord

S = sandjord

Derimod gav organiske gødninger i forhold til NPK-gødning et større tørstofindhold, et større relativt proteinindhold og et større indhold af amino-syrer-ne methionin og cystin. C-vitaminindholdet var i gennemsnit 28% større i afgrøderne, der var tilført de organiske gødninger. Den største tilvækst blev observeret i bladafgrøder som spinat, hvorimod C-vitaminindholdet i underjordiske plantedele (gulerødder, kartofler) kun blev påvirket i ringe grad. For visse afgrøder som spinat var mineralstofindholdet størst ved tilførsel af de organiske gødninger. Det forøgede indhold af mineralstoffer gjaldt specielt for kalium, calcium, fosfor og jern.

Derimod gav den uorganiske gødningsform et højere B-vitaminindhold og et højere nitratindhold end de organiske. Forsøg udført af Reuff (1970) viste også et lavere indhold af A- og B-vitamin i spinat tilført husdyrgødning fremfor handelsgødning.

De observerede forskelle i plantekvalitet er i høj grad afhængig af afgrødevalget. Specielt for korttidsvoksende afgrøder som spinat vil langsomt frigivende gødninger ikke være effektive til forøgelse af udbyttet, da kvælstof mineraliseres for langsomt. I Schuphans forsøg er mængden af plantenæringsstoffer imidlertid ikke ens i de forskellige forsøgsled, hvilket gør det vanskeligt at vurdere, om de observerede forskelle er en effekt af kvælstofmængden (hvilket det godt kunne være, jvf. afsnittet om kvælstofeffekter) eller kvælstofformen.

IV. BIOLOGISK KVÆLSTOFBINDING OG MYKORRHIZA

IV.1 Indledning

Kvælstof fra atmosfæren kan v.h.j.a. mikroorganismer omdannes til plantetilgængeligt kvælstof. Biologisk kvælstofbinding (nitrogenfiksering) fører primært til ammonium, som kan inkorporeres i planternes stofskifte (fig. 6).

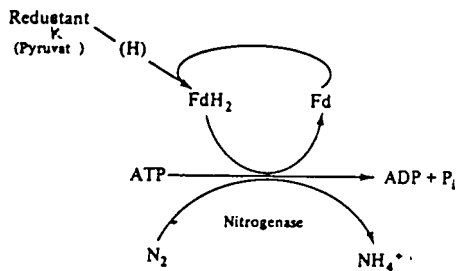


Fig. 6. Biologisk kvælstofbinding (Ray, 1972)

Kvælstofbindende organismer har et bestemt enzym, nitrogenase, som katalyserer omdannelsen af frit kvælstof til ammonium ved at bruge en hydrogen donor såsom pyruvat, foruden ATP, som energikilde. Enzymet er meget iltfølsomt, og i naturlige økosystemer er der specielle mekanismer, som beskytter enzymet mod ilt. Rodknolde hos bælplanter er i sig selv en iltbegrænsende minilokalitet. Man regner med, at op mod 70% af det kvælstof, der globalt bindes, stammer fra biologisk kvælstofbinding. Resten bindes ved spontant elektriske udladninger samt ved industriel produktion (Nissen, 1981a).

Pr. molekyle dannet ammoniak bruges ved den biologiske proces kun ca. 1/3 af den energi, der medgår ved syntetisk ammoniakproduktion (Nissen, 1981a), hvorfor der er grund til ud fra såvel energimæssige som økologiske synspunkter at interessere sig for den biologiske kvælstofbinding. I Danmark udgør kvælstofbindingen kun en lille del af den samlede kvælstofforsyning, hvorimod den i USA og Australien overstiger størrelsen af anvendt handelsgødning (tabel 22). I USA skyldes det den store dyrkning af soyabønne og lucerne, i Australien de store arealer med kløvergræs. I Danmark såvel som i de øvrige nordeuropæiske lande har der derimod i de senere 10-20 år været en nedgang i produktionen af bælplanter, sikkert pga. det lavere tørstofudbytte. I 1983 er bælplantearealet dog øget, specielt på grund af en stærk stigning i ærte dyrkning.

Tabel 22. Kvælstofforsyning til landbruget (Beringer et al., 1981)

	UK	USA	Indien	Austra- lien
Landbrugsareal ($\times 10^6$ ha)	21	732	238	523
N tilførsel fra bælg- planter	440	8.100	850	13.000
N tilførsel fra frit- levende kvælstofbin- dere	40	1.400	480	1.000
N tilførsel fra handelsgødning	910	6.000	1.100	130

Data fra 1967

Data for N tilførsel er i 1.000 t N

Kvælstoftilførsel fra fritlevende kvælstofbindere er sat til 2 kg N/ha/år

Omdannelse af N_2 til NH_4^+ kan ske dels ved fritlevende kvælstofbindende bakterier, dels ved symbiotisk kvælstofbinding. På landbrugsområder vil den symbiotiske kvælstofbinding være den vigtigste (tabel 23).

Tabel 23. Biologiske kvælstofbindingssystemer (Nissen, 1981a)

Mikroorganisme	Symbiose	Antagelig effekt kg N/ha/år
Knoldbakterier (Rhizobium)	Bælgplanter	100-200 (tropisk 100-400)
Aktinomyceter (Frankia)	13 slægter af træagtige planter	10-120
Fritlevende aerobe bakterier (Azotobacter m.fl.)	-	2-5 (tropisk 2-50)
Fritlevende anaerobe bakterier (Clostridium m.fl.)	-	1-2
Blågrøn alger	Azolla lichener	80-125 0,1
Fritlevende Blågrøn alger	-	10-50 (våd områder)

IV.2 Fritlevende kvælstofforbindende bakterier

I jordbunden lever kvælstofbindende bakterier i fri tilstand, dels aerobe som Azotobacter, dels anaerobe som Clostridium. Ud over evnen til biologisk kvælstofbinding synes disse organismer kun at have lidt til fælles.

Kvælstofbindingen fra fritlevende bakterier er dog ikke af større omfang i Danmark (Andersen et al., 1983). Nissen (1981b) har estimeret størrelsen til 2-5 kg kvælstof/ha og år. I ensidig bygdyrkning med tilførsel af handelsgødning fandt Vinther (1982) en bindingsstørrelse på 1-3 kg kvælstof/ha og år på sandjord og 3-9 kg kvælstof/ha og år på lerjord. Mængden af kvælstof fikseret vil være afhængig af jordens temperatur, fugtighed og mængde af let omsætteligt organisk stof. Mange forskellige slags lav-molekylære kvælstofforbindelser kan normalt benyttes som energi- og kvælstofkilde. Disse forbindelser kan dog også benyttes af adskillige ikke-kvælstofbindende organismer. Derfor vil mængden af let omsætteligt organisk stof i jorden ofte være den begrænsende faktor for kvælstofbindingen i såvel terrestiske som akvatiske økosystemer (Jensen, 1981). Der er derfor en mulighed for, at betydningen af de fritlevende kvælstofbindere kan øges, hvis der er en større mængde organisk stof til rådighed, f.eks. ved tilførsel af halm, grøngødning samt andet organisk materiale.

Fritlevende blågrønalger er almindelige i overfladen af fugtig jord og i akvatiske miljøer. Den største betydning af disse kvælstofbindere er i tropene, især på rismarker.

IV.2.1 Kvælstofeffekt

Generelt benytter de kvælstofbindende bakterier bundne kvælstofforbindelser fremfor frit kvælstof, så kvælstofbindingen vil kun finde sted, når niveauet af de bundne kvælstofforbindelser er lavt. Denne "tærskelværdi" kan dog svinge betydeligt afhængig af organisme og dyrkningsforhold.

Ifølge Jensen (1981) kan tilstedeværelse af bundet kvælstof påvirke aktiviteten af de kvælstofbindende bakterier:

- 1) ved direkte at påvirke den regulerende mekanisme af syntesen af nitrogenase.
- 2) ved at påvirke konkurrencen mellem de kvælstofbindende og ikke-kvælstofbindende bakterier.

Ammoniumionen vil ifølge Postgate (1974) hæmme nitrogenasesyntesen i alle typer af kvælstofbindende organismer.

IV.3 Symbiotisk kvælstofbinding

Langt den største andel af kvælstofbindingen udgøres af bælglplanter i symbiose med bakterier af slægten *Rhizobium*. Symbiosen mellem bakterie og bælglplante sker ved dannelse af en infektionstråd i rodhåret af bælglplanten, gennem hvilken bakterierne trænger frem til rodbarkcellerne. Under hastig vækst dannes en rodknold, hvori bakterien omdannes til en bakteroid. Denne reducerer frit kvælstof til ammoniak, energien hertil fås fra værtplanten. Der kendes omkring 14.000 bælglplantearter, men under 10% er undersøgt for rodknoldsymbiose. *Rhizobium*bakterierne har en udpræget værtspecificitet, således at en given bakteriестamme kun vil inficere en begrænset gruppe af bælglplanter. Lucerne, lupin, kløver og bønne inficeres således af hver sin art *Rhizobium*.

IV.3.1 Størrelsen af kvælstofbindingen

I Danmark er de almindeligste bælglplanter lucerne, lupin, ært, kløver, vikke, fladbælg, hestebønne og bønne. Størrelsen af kvælstofbindingen afhænger af mange faktorer som jordbehandling, jordtype, klima, plantesort/bakteriestamme og gødskning, (tabel 24). Ved hjælp af ^{15}N målte Andersen et al. (1981) en kvælstofbinding på 128, 108 og 213 kg kvælstof/ha og år i henholdsvis kogeært, foderært og hestebønne.

Tabel 24. Kvælstofbinding hos bælglplanter. England. (Beringer et al., 1981).

	Kvælstofbinding (kg N/ha/år)
Hestebønne (<i>Vicia faba</i>)	45-550
Ært (<i>Pisum sativum</i>)	50-80
Lupin (<i>Lupinus</i> spp.)	140-200
Lucerne (<i>Medicago sativa</i>)	180-460
Kløver (<i>Trifolium</i> spp.)	45-670
Kællingetand (<i>Lotus corniculatus</i>)	120
Vikke (<i>Vicia</i> sp.)	73-97

IV.3.2 Forekomst af rhizobiumbakterier

Ved en undersøgelse i 1969 fandt Jensen (1969), at kløverbakterier næsten var universelt udbredt. Kun i 7 udyrkede jorder og 2 ekstremt sure jorder manglede *Rhizobium trifolii*. Nissen (1981b) undersøgte, om den ændrede landbrugspraksis med ensidig korndyrkning, højere mængder kvælstofgødning og øget

brug af herbicider skulle have påvirket tilstedeværelse af kløverbakterier i 31 danske jorder. Han fandt ingen tydelig relation mellem tætheden af kløverbakterier (*R. trifolii*) og gødningsart og -mængde. Der var dog tegn på forringet kvælstofbinding (ringere knolddannelse) i jorder, hvor relativt store kvælstofmængder var benyttet (120-160 kg kvælstof/ha) (tabel 25). Herbiciderne Dino-seb, Basagran og MCPA influerede ikke på kløverbakteriernes tæthed. Smith et al. (1978) fandt dog, at kvælstofbindingen hos rødkløver blev hæmmet af 7 insekticider. Fisher et al. (1978) påviste en in vitro-nedsættelse af kvælstofbindingen hos hvidkløver ved tilførsel af 3 fungicider. Ært- og vikkedknoldbakterier (*R. leguminosarum*) er fundet i et antal fra 200 til 80.000/g jord i jorder, hvor der ikke er dyrket ærter i nogle år og op til 300.000/g jord i en jord fra en ærteparcel efter høst (Hvelplund & Østergaard, 1980).

Tabel 25. Tæthed af kløverbakterier i forskelligt gødede jorder 1978 (Nissen, 1981b)

Lokalitet	pH	Gødskning 1978	Afgrøde 1978	Forfrugt 1977	Tæthed, antal/ g frisk jord minimum
Jynde vad	6,1	ugødet		byg	23.200
Jynde vad	6,1	ugødet		byg	8.600
Jynde vad	6,1	P + K		byg	2.000
Jynde vad	6,0	P + K		byg	4.100
Jynde vad	6,1	N + P + K		byg	18.800
Jynde vad	6,1	N + P + K		byg	6.300
Askov	6,8	ugødet		byg	54.600
Askov	6,6	staldg.		byg	23.200
Askov	6,7	handelsg.		byg	116.100
SPL. mark	4,7		grønsager	grønsager	600
SPL. have	6,2	handelsg.	grønsager	grønsager	900
Holte, have	6,1		grønsager	grønsager	10.300
Viby J.	7,4	handelsg.	kløvergræs	kløvergræs	193.800
Viby J.	6,5	gylle	græs	græs	77.600
Viby J.	7,1	handelsg.	græs	kløvergræs	193.800
Viby J.	7,7	handelsg.		byg	77.600
Viby J.	6,0	ON	kløvergræs	m. udlæg	31.500
Viby J.	6,0	600 N	kløvergræs	m. udlæg	31.500
Viby J.	7,0	ON	kløvergræs	m. udlæg	193.800
Viby J.	7,5	600 N	kløvergræs	m. udlæg	116.100

I områder, hvor der ikke naturligt i jordbunden er tilstrækkeligt mange knoldbakterier af ønsket art, er der mulighed for at pøde frøene før såning. I Danmark podes lucerne og lupin, i Sverige ært, bønne og kløver (Nissen, 1978, 1981 b).

IV.3.3 Indhold af protein og aminosyrer i bælplanter

Foruden en besparelse i kvælstofgødskningen vil det være fordelagtigt at dyrke bælgssæd ud fra et plantekvalitetssynspunkt, da disse har et meget stort proteinindhold sammenlignet med kornprodukter. De almindeligste bælplanter som lucerne, rødkløver, bønne og ært indeholder fra 20-30% protein i tørstof, hvorimod hvede, byg og havre kun indeholder fra 10-15% protein i tørstof (Cook, 1975).

I en dansk undersøgelse blev der i en sammenligning mellem de almindelige bælgssædarter fundet det største proteinindhold i lupin (48% protein) og soya-bønne (35-43% protein) (Flengmark et al. 1983). Indholdet i hestebønne (25-30% protein) og markært (21-26% protein) var noget lavere. Disse gav dog stort frøudbytte.

Generelt er de svovlholdige aminosyrer i minimum i alle bælgssædarter, specielt methionin og i mindre grad cystin. De øvrige essentielle aminosyrer for mennesker og enmavede dyr forekommer almindeligt i tilstrækkelig mængde. Flengmark et al. (1983) fandt det laveste methioninindhold i lupin, hestebønne og fodervikke, men vurderes såvel methionin som cystinindhold samlet, vil lupin og soyabønne være de arter, der udnyttelsesmæssigt har den bedste aminosyresammensætning, mens bønne og fodervikke vil have den dårligste.

I bælplanter er proteinsyntesen ikke direkte influeret af kvælstofforsyningen fra jorden, som det er tilfældet for ikke-bælplanter. Derimod vil proteinsyntesen snarere være afhængig af effektiviteten af de kvælstofbindende bakterier i symbiosen. Coic (1975) viste i markforsøg med soyabønne, at antallet af *Rhizobium japonicum*-bakterier/frø havde stor indflydelse på antallet af noder dannet, og at disse igen påvirkede frøudbytte, proteinindhold og olieindhold (tabel 26). Et større antal noder/plante bevirkede et større proteinindhold, såvel proteinprocenten som det samlede proteinudbytte i kg/ha. Man må derfor forvente, at øvrige dyrkningsforhold, som bevirker en stimulering af noduleantallet, kan øge proteinudbyttet i værtplanten.

Olieindholdet udtrykt i procent var derimod negativt relateret til noduleantallet (tabel 26). Det samlede olieudbytte i kg/ha øgedes dog med noduleantallet grundet i det forøgede høstudbytte.

Tabel 26. Effekt af antal *Rhizobium-japonicum* pr. frø på frøudbytte, protein- og olieindhold. Markforsøg. (Coic, 1975).

Antal <i>Rhizobium japonicum</i> / frø	Noduler/ plante	Udbytte		Protein		Olie	
		x 100	% af	%	kg/ha	%	kg/ha
		kg/ha	kontrol				
0	0,03	11,40	100	31,61	360,4	23,54	268,4
$1,8 \times 10^3$	0,54	14,75	129	32,15	474,2	22,98	339,0
$2,0 \times 10^4$	3,35	16,01	140	35,38	566,4	21,88	350,3
$1,5 \times 10^5$	7,83	23,80	209	34,75	827,1	22,00	523,6
$2,4 \times 10^6$	26,85	35,13	308	42,03	1476,5	19,90	699,1
sig. dif. ($p = 0,05$)	-	4,00	35	2,86	150,0	1,29	96,0

IV.3.4 Effekt af kvælstofgødskning

Tilførsel af ammonium- og nitratkvælstof til bælgسء vil generelt nedsætte antallet af noduler (Dart & Mercer, 1965), og rodhårsinfektionen (Dazzo & Brill, 1978) og forringe nodulernes struktur og kvælstofbindende kapacitet, (Summerfield et al., 1977) (tabel 27). Det samlede udbytte kan derimod godt være forøget, da andelen af optaget kvælstof fra jorden vil være forøget på bekostning af kvælstof fikseret.

Tabel 27. Effekt af kvælstofgødskning på antallet af noduler/plante, nodulevægt og specifik aktivitet, bønne (Westermann et al., 1981)

Dage efter plantning	N tilførsel (kg/ha)		
	0	45	134
Antal noduler/plante			
42	33	15	10
52	108	64	33
66	273	149	128
mg nodule/plante			
42	32	5	3
52	181	254	69
66	855	572	370
$\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{time/g nodule}$			
42	25,6	25,0	28,0
52	25,0	24,6	20,6
66	21,1	20,5	16,4

Undersøgelser med knoldbærende bælg­sædarter i monokultur har dog vist, at udbyttet og kvælstofindholdet kan være forøget ved lav tilførsel af bundet kvælstof (Weber, 1966; Coic, 1975; Henzell, 1962). Dette skyldes sandsynligvis, at planten i en vis periode fra det tidspunkt, hvor reservenæringsstoffer i frøet er opbrugt og til det kvælstoffixerende apparatur er udviklet, må få sit kvælstofbehov dækket fra jorden. En vis mindre mængde kvælstof til stede kan da have en gunstig effekt på såvel plantevækst som knolddannelse. Fig. 7 summerer effekten af kvælstoftilførsel på kvælstofbindingskapaciteten i første vækstsæson i en bæl­g­plante (Henzell, 1981, ref. i Broughton (1981)). Ved koncentrationer af bundet kvælstof større end "A" vil størrelsen af tilført bundet kvælstof og fikseret kvælstof være komplementære; dvs. jo mere kvælstof der tilføres fra jorden, jo mindre en andel vil kvælstofbindingen udgøre i plantens samlede kvælstofforsyning. Dette kan skyldes, at bæl­g­planter med knolde primært vil benytte kvælstof, som er direkte til stede i jorden i uorganisk form og derfor kun vil fikser­e kvælstof, når forsyninger fra jorden er utilstrækkelig.

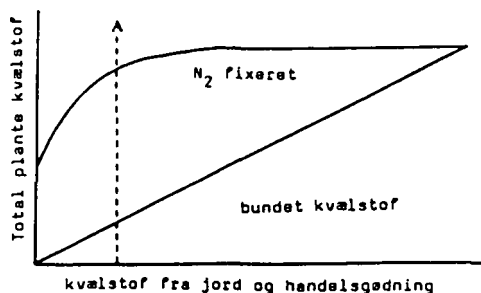


Fig. 7. Effekt af stigende mængder bundet kvælstof på mængden af kvælstof assimileret af en bæl­g­plante over en vækstsæson (Henzell, 1981, ref. i Broughton 1981).

At knoldenes antal, struktur, vægt og størrelse aftager med øget kvælstofgødskning kan ifølge Weber (1966) skyldes:

1. Ændring af kulhydrat-kvælstofforholdet i plantevævet
2. En direkte skadelig effekt af nitrat/nitrit/ammonium på rodhårsinfektion
3. At mere energi behøves for reduktion af nitrat til aminosyrekvælstof i planten end for reduktion af frit kvælstof til aminosyrekvælstof i knoldene.

Om kvælstofgødskning vil bevirke et merudbytte i bælplanter i forhold til ugødgede planter, vil være afhængig af planteart, sort, samt størrelsen af kvælstofmineraliseringen. Franco et al. (1979) og Harper (1974) har fundet, at både bundet og symbiotisk fikseret kvælstof er nødvendigt for maksimal udbytte af de fleste bælplanter. Edje et al. (1975) fandt, at merudbytte blev opnået i bønne ved kvælstofgødskning, indikerende at den symbiotiske kvælstof-fixering ikke dannede nok kvælstof for maksimalt udbytte.

Tidspunktet for gødskning kan have betydning for størrelsen af kvælstofbindingen. Andersen et al. (1981) fandt i karforsøg med tilførsel af ^{15}N til forskellige tidspunkter i vækstperioden, at den symbiotiske kvælstofbinding blev reduceret med 33-98%, mindst reduktion ved sen tilførsel. Ved sen kvælstoftilførsel kunne der observeres en stigning i tørstofudbytte på trods af en nedsat kvælstofbinding.

Vandforholdene kan ligeledes influere på størrelsen af den symbiotiske kvælstofbinding. Når vand er begrænsende, kan den symbiotiske kvælstofbinding nedsættes (Weber, 1966) (fig. 8).

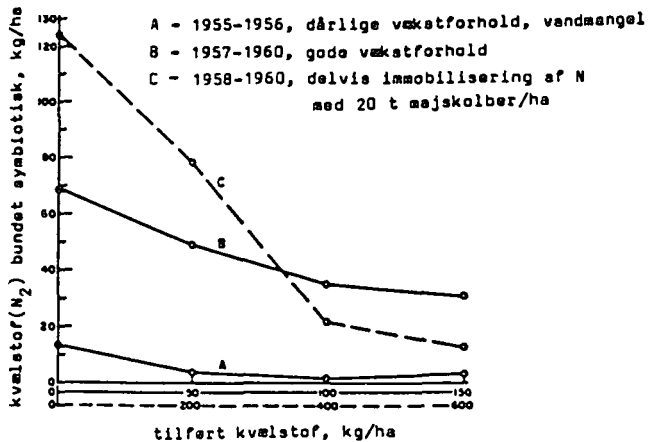


Fig. 8. Symbiotisk fikseret kvælstof under forskellige vandforhold, soyabønne, stadie 9 (Weber, 1966)

Jordens indhold af totalkvælstof kan også influere på kvælstofbindingens størrelse. Jo større mængde kvælstof, der mineraliseres eller tilføres som handels-

gødning i en given periode, jo mindre vil den symbiotiske kvælstofbinding være, (fig. 12) (Johnson et al., 1975).

Til underbyggelse af dette har Weber (1966) vist, at immobilisering af kvælstof i jorden med 20 t majsolber/ha kan forøge kvælstofbindingen (fig. 8). Kvælstofformen af den tilførte handelsgødning kan ligeledes influere på størrelsen af kvælstofbindingen. Dazzo & Brill (1978) fandt ved in vitro-målinger en total hæmning af knolddannelsen hos hvidkløver ved 16mM nitrat-kvælstof og 1 mM ammonium-kvælstof; dvs. at ammonium hæmmede knolddannelsen mere end nitrat. Eaglesham et al. (1983) fandt, at andelen af fikseret kvælstof i forhold til totalt assimileret kvælstof var mindst efter tilførsel af NH_4NO_3 i forhold til tilførsel af KNO_3 og urea i 2 sorter af cowpea samt i soyabønne, hvilket primært skyldtes en mindre kvælstofmængde fikseret end en større mængde kvælstof optaget fra bundet kvælstof. Derimod var der ikke nogen entydig forskel i noduleantallet ved de forskellige kvælstofbehandlinger.

IV.3.5 Effekt af gødskning med øvrige plantenæringsstoffer

Hvert af de essentielle plantenæringsstoffer (-kvælstof) kan, afhængig af jordens naturlige fertilitet og dyrkningsforhold, blive klassificeret som en potentiel forøger af kvælstoffikseringen, primært gennem en indirekte effekt på værtplanten (Pate & Dart, 1961). Kalium og fosfor er i denne forbindelse de vigtigste (Davies, 1975), og deres positive effekt på bælplanter er vist af mange (Brauer, 1960); Haghparsat-Tanha, 1975).

Brauer (1960) fandt, at tilførsel af fosfor- og kaliumgødninger øgede andelen af bælplanter i en græsmark, hvis disse næringsstoffer var i underskud og således derigennem øgede indholdet af råprotein og kløvergræssets fordøjelighed.

I klimakammerforsøg med hestebønne fandt Haghparsat-Tanha (1975), at kaliumtilførsel kunne fremme vækst, og i mindre grad antallet af noder og størrelsen af disse.

Den største effekt af kalium på kvælstoffikseringen var dog en øget kapacitet for kvælstofbinding og til dels også en bedre kvælstofudnyttelse.

IV.4 Dyrkning af bælplanter - ikke bælplanter i blanding (samdyrkning)

IV.4.1 Kløvergræs

Klausen & Larsen (1977) undersøgte effekten af stigende kvælstofgødsning i en hvidkløver-græsmark.

Uden kvælstoftilførsel blev der høstet et grøntudbytte på omkring 500 hkg/ha. Tilførsel af henholdsvis 150 kg kvælstof/ha og 300 kg kvælstof/ha bevirkede et merudbytte på henholdsvis 90 hkg/ha og 180 hkg/ha (fig. 14). Kalksalpeter og svovlsur ammoniak bevirkede samme udbyttetilvækst. Kvælstofgødskningen vil ændre afgrødens botaniske sammensætning, og en stigende tilførsel vil bevirke, at kløveren udgør en stadig mindre andel af tørstofudbyttet (tabel 28). Da kløver og græs ikke har samme mineralstofsammensætning, vil kvælstof indirekte også påvirke mineralstofsammensætningen. Således vil stigende kvælstofgødsning bevirke et fald i magnesium og calciumindholdet.

Tabel 28. Effekt af kvælstoftilførsel på kløverandelen i en kløvergræsmark (Klausen & Larsen, 1977)

	Kløverindhold (% af tørstof)		
	N tilførsel, kg/ha		
	0	150	300
1. slæt	33	23	18
2. slæt	45	24	17
3. slæt	47	21	14
4. slæt	31	14	8

I en sammenlignende undersøgelse af proteinindhold af græs i renbestand med græs i blanding fandt Lambert et al. (1975), at iblanding af bælplanter er vigtig for at bevare proteinkvaliteten (tabel 29). Et givet proteinudbytte kan opnås ved et meget lavere kvælstofniveau i en foderblanding indeholdende kløver end i en blanding kun indeholdende græs. Højeste udbytte blev dog opnået med græs i renbestand.

Kaliumgødsning kan modsat kvælstofgødsning bevirke en øget andel af bælgsæd, hvilket sandsynligvis skyldes græs' større evne til absorption af kalium (Robson, 1981).

Tabel 29. Betydning af rødkløver på proteinproduktionen i en foderblanding (Lambert et al., 1975).

N tilførsel, kg/ha	UDBYTTE						
	Udbytte, kg tørstof/ha			% rødkløver i foderblanding		% græs i foderblanding	
	1. slæt	2. slæt	3. slæt	1. slæt	2. slæt	1. slæt	2. slæt
0	6500	4300	10800	54	84	46	16
100	6900	4300	11200	50	61	50	39
200	6700	4200	10900	45	52	55	48
300	7300	4200	11500	40	40	60	60

	PROTEININDHOLD			
	1. slæt		2. slæt	
	rødkløver	græs	rødkløver	græs
0	12,4	10,0	17,3	16,4
100	13,1	10,2	17,2	14,7
200	12,9	11,1	17,1	19,0
300	13,0	11,0	17,4	18,2

	TOTAL PROTEINPRODUKTION						Total produktion kg/ha	Udgjort af kløver, %
	Proteinproduktion i 1. slæt kløver		græs kg/ha	Proteinproduktion i 2. slæt kløver		græs kg/ha		
	kg/ha	%		kg/ha	%			
0	495	59	299	624	85	113	1471	72
100	451	56	351	451	64	246	1499	60
200	389	49	405	373	49	383	1550	49
300	379	44	481	292	40	433	1585	42

IV.4.2 Korn-bælgsæd

I markforsøg undersøgte Andersen et al. (1981) stofproduktion og næringsoptagelse for byg og ært i renbestand og i 1:1 blanding. Ved modenhed var størrelsen af tørstofproduktionen og kvælstofoptagelsen ens i byg i renbestand og blandingskultur, hvorimod tørstofudbytte og kvælstofoptagelse i ært blev stærkt reduceret i blandingskultur.

Bengtsson (1973) undersøgte virkningen af havre og ærter i blanding. I forhold til dyrkning i renbestand var havrens udbytte mindre, hvorimod råproteinindhold og tusindkornsvægt var højere ved dyrkning i blanding. Sidstnævnte kan måske skyldes, at ærterne bedre kan frigøre markkvælstof, samt at kvælstof vil findes tilgængeligt i større mængde/havreplante i blandinger med relativt lavt havreindhold. Tilsvarende er vist af Falk (1980).

IV.4.3 Kvælstofforsyning fra bælplanter til ikke-bælplanter

I ovennævnte forsøg med bælplanter i blanding med ikke-bælplanter tyder det på, at kvælstof fikseret fra luften ved hjælp af en bælplante kan udnyttes af en ikke-kvælstoffikserende plante. Henzell (1962) målte kvælstoffikseringen og overførslen af kvælstof ved dyrkning af bælplanter og græs i sandkultur. Ved måling af totalkvælstofindhold i bælplanter og græs blev der fundet en kvælstofoverførsel til de overjordiske græsdele på mellem 0,7 og 1,7% over en 2 års periode.

Andersen et al. (1981) fandt tilsvarende, at kvælstofeftervirkningen af bælsædafrøden var beskeden. I markforsøg viste jordprøveudtagning, efter at hovedparten af stub og rodrester var fjernet, kun en signifikant forskel i nitratinhold i de øverste 20 cm. Efter høst blev der efter ærter fundet ca. 44 kg kvælstof/ha i de øverste 20 cm, men kun ca. 22 kg kvælstof/ha efter hestebønne. Nedbrydning af blad- og rodrester af bælplanter og disses mineralisering er den vigtigste kvælstofkilde for ikke-bælplanter i samdyrkning med bælplanter, Dilz & Mulder (1962) fandt således, at kvælstof fra lucerne, hvid- og rødkløver til engelsk rajgræs først blev tilgængeligt for græsset efter høst, hvor bælplanterne var nedvisnet. Teorien om, at kvælstof direkte skulle kunne afgives fra bælplanternes rødder og/eller noder, som foreslået af Virtanen (1935), synes ikke sandsynlig. Blandt andre undersøgte Seeger (1961) under markforhold rodudskillelsen af forskellige ioner i såvel tropiske som tempererede bælplanter og fandt ingen kvælstofudskillelse af betydning.

IV.5 Sorter

Bestræbelser på at øge den biologiske kvælstofbindingsevne hos en bælplante i symbiose med en *Rhizobium* knoldbakterie gennem genetisk selektion vil ofte kompliceres af et samspil mellem de 2 symbionter, hvor man kan forvente, at både værtplantens og *Rhizobium*bakteriens genotype vil bidrage til den symbiotiske fænotype. I forædlingsøjemed er det derfor vigtigt at klarlægge, i hvor høj grad en variation i kvælstofbindingen skyldes værtplantens sort, *Rhizobium*bakteriens stamme og/eller sort x bakterievekselvirkning.

En evt. stammeforskel i *Rhizobium* mht. kvælstofbinding er undersøgt af flere. Maier og Brill (1978) isolerede en mutant stamme af *R. japonicum* med øget kapacitet for kvælstofbinding i soyabønne ved den tidlige vegetative vækst. Da mutantstammen blev testet i markforsøg, var der imidlertid kun ringe eller ingen tilvækst i det endelige frøudbytte. Dette kan evt. bero på,

at den isolerede mutantstamme konkurrerede dårligt med de etablerede stammer. Thomas et al. (1983) fandt imidlertid, at selv ved udeladelse af konkurrence fra andre *Rhizobium*stammer ville en evt. forbedret kvælstofbinding ved inokulering med mutantstammen kun være af midlertidig karakter.

Genetiske variationer i evnen til kvælstofbinding (acetylen-reduktionskapacitet) er fundet i en del værtplanter, deriblandt markbønne (Westermann & Kolar, 1978), lucerne (Tan, 1981), cowpea (Zary & Miller, 1980), soyabønne (Patterson & La Rue, 1983) og hvidkløver (Murphy & Connolly, 1975). Patterson & La Rue (1983) fandt, at sent modnede sorter af soyabønne totalt fikserede mere kvælstof, sandsynligvis pga. en større tidsperiode til reduktionen.

Ryle et al. (1979) fandt, at forsyningen af kulhydrater til noderne kunne være en hovedbegrænsende faktor for kvælstofbindingen. Ved Risø's landbrugsforsøg (1981) er der fundet en sammenhæng mellem tørstofudbytte og total-N indhold, der indikerer, at et højt sukkerindhold i rynketfrøede ærtesorter (marværterne) i forhold til de glatfrøede (kogeærterne) har givet et ekstra energitilskud til kvælstoffikseringen. Dette er dog sket på bekostning af tørstofudbyttet.

Murphy & Connolly (1975) fandt i en sammenligning med forskellige hvidkløversorter, at der var signifikante forskelle mellem sorterne i tolerance til kvælstof, specielt ved høje kvælstofniveauer (fig. 9). Graden af reduktion i kløverudbytte ved højeste kvælstofniveau (384 kg kvælstof/ha) var over 80% for C142 og Pajbjerg, men kun ca. 40% for Blanca. Derimod var tilvæksten i tørstofproduktionen i græs højest i blanding med hvidkløversorten C142. Det vil sige, at den samlede tørstofproduktion udviser mindre forskelle end variationen i hæmningen af kvælstofbindingen.

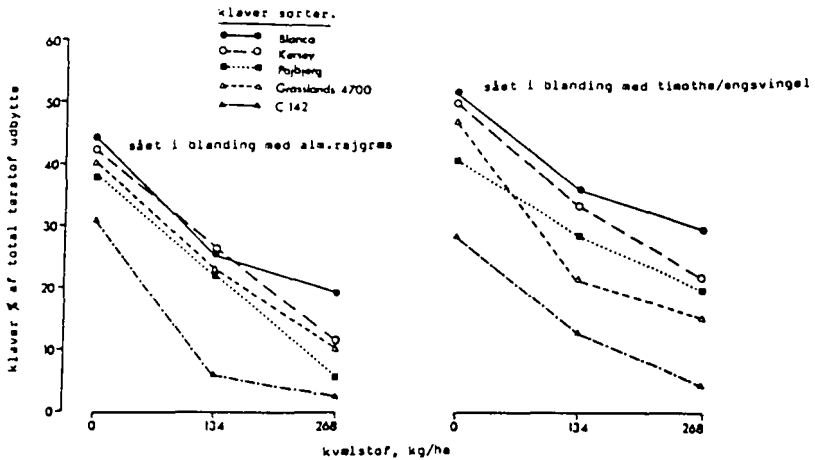


Fig. 9. Effekt af stigende kvælstoftilførsel på kløverindholdet i en kløver-græsmark. Forskellige sorter af hvidkløver (Murphy & Connolly, 1975)

Potteforsøg med 5 ærtesorter i symbiose med forskellige *Rhizobium*stammer har vist en signifikant vekselvirkning mht. kvælstofprocent og indhold af totalkvælstof i tørstof (Risø's landbrugsforsøg, 1981).

Ca. 45% af variationen skyldtes sort x stammevekselvirkning, 11% stammevariation og ca. 3% sortsvariation.

IV.6 Konklusion/diskussion

Som et alternativ til stadig større forbrug af handelsgødning og de dermed følgende øgede omkostninger og energi til ammoniumproduktion samt den potentielle fare for uheldige miljømæssige problemer med nitrat, kan øget bælgeplantedyrkning være en løsning. En øgning af kvælstofforsyningen ved biologisk kvælstofbinding vil imidlertid medføre store forandringer i dyrkningspraksis, specielt mht. mængden af bælgeplanter og i brugen af sædskifter. Bælgeplanter dyrkes til foder og frø, da disse afgrøder specielt er rige på protein. Visse bælgeplanter som soyabønne har også stort olieindhold. Med hensyn til tørstofudbytte vil bælgsæd derimod ofte være mindre ydende end korn- og rodfrugtafgrøder, hvilket nok er hovedårsagen til den faldende bælgeplanteproduktion gennem de seneste år.

Mængden af kvælstof bundet af fritlevende mikroorganismer er meget lav i de fleste danske jorder, oftest under 5 kg kvælstof/ha. Under de nuværende forhold vil det være vanskeligt at øge kvælstofforsyningen meget via de fritlevende kvælstofbindere, uden at der tilføres en stor mængde energi/kulstof i form af organisk stof til jorden.

Den efterladte kvælstofmængde i jorden efter en bælgranteafgrøde til næste afgrøde vil ofte være beskeden, ofte i størrelsesordenen 20-40 kg kvælstof/ha, hvilket kun vil være en lille del af, hvad der behøves for den næstfølgende afgrøde. Der kan dog være tale om meget betydende variationer, da mængden af kvælstof til stede næstfølgende forår afhænger af klima, jordtype, dyrkningsmetoder samt vanding, gødsning og afgrødevalg.

Kvælstofgødsning vil generelt bevirke en hæmning i kvælstofbindingen; det gælder såvel noduleantallet, -massen, samt nitrogenase-aktiviteten.

Ved øget dyrkning af bælgranter sammen med græs eller korn vil det være fordelagtigt at udvalge sort, bælgsæd/Rhizobium, som i mindst mulig grad hæmmes af kvælstof, hvorved der vil være et mere afbalanceret forhold mellem græs og bælgsæd.

IV.7. Mykorrhiza

De fleste landbrugsplanter bortset fra korsblomstrede kan have symbiose med VA-mykorrhiza (vesicular-arbuscular-mykorrhiza), som er symbiotiske svamperødder, der trænger ind til rodcellerne. VA-mykorrhiza-dannende svampe har specielt betydning for bælgranter og græsser. Mykorrhiza er i stand til at øge planternes fosforoptagelse; især i jorder med lavt indhold af plantetilgængeligt fosfor (Jensen, 1979).

Balancen mellem tilført og bortført fosfor til landbrugsjorder har gennem en årrække været positiv (afsnit V.2.); muligheder for at udnytte akkumuleret fosfor i jorden ved hjælp af VA-mykorrhiza synes derfor at kunne bevirke en bedre fosforøkonomi og en mindre tilførsel af fosfor.

Øgning af fosfortilførslen fra 0 til 30 kg fosfor/ha kan foruden en tilvækst i jordens fosforsyretilgængelighed og afgrødens fosforindhold bevirke en nedsat infektion med VA-mykorrhiza (Jensen, 1979, 83) (fig. 10). VAM-inokulering vil på samme måde som fosfortilførsel kunne øge fosforoptagelsen og udbyttet. Mykorrhiza-udviklingen, som er kraftigere ved lave fosforniveauer i jorden (Jensen, 1983; Nielsen & Jensen, 1983) vil delvis kunne kompensere for fosformangel ved at udnytte den tilgængelige fosfor i jorden mere effektivt. Nielsen & Jen-

sen (1983) fandt således at "1 P i handelsgødning + VAM" gav samme optagelse af fosfor i lucerne som "2 P" tilført som handelsgødning (tabel 30).

Tabel 30. Fosforoptagelse i skuddet hos lucerne, karforsøg (Nielsen & Jensen, 1983)

P tilførsel	Høst, uger				totalt
	6	9	13	18	
OP	2,30	9,64	17,55	22,17	51,66
1P	8,69	25,61	32,10	29,55	95,95
2P	18,67	37,47	37,66	34,86	128,66
OP + VAM	8,06	26,51	39,56	36,00	110,13
1P + VAM	12,75	35,28	42,89	37,29	128,21
2P + VAM	18,78	49,06	56,45	48,37	172,66
LSD*	2,61	7,55	6,01	7,88	13,71

1P = 1mgP som CaPO_4 /100 g jord

* = værdier > LSD er signifikant forskellige på 5% signifikansniveau

Stigende kvælstofgødskning kan bevirke en mindre procentvis VAM-infektion i byg på fin sandblandet lerjord, hvorimod der kun er ringe effekt på sandjord (fig. 10)

I tilknytning til de langvarige gødningsforsøg på Askov forsøgsstation er det fundet, at staldgødning medfører en mindre stigning i jordens fosforsyretilstand og samtidig en mindre reduktion i udviklingen af VA-mykorrhiza end tilsvarende mængder superfosfat (Jensen, 1979).

Nielsen & Jensen (1983) fandt en forøgelse i tørstof og kvælstofindholdet i lucerne efter inokulering med VAM. En forøgelse af kvælstofindholdet kan skyldes en generelt højere kvælstofbinding i bælgeplanten, hvilket underbygges af forsøg udført af Barea et al. (1980). De fandt, at antallet og størrelsen af noder med *Rhizobium meliloti* blev forøget ved inokulering med VAM. Størrelsen og tilvæksten var omvendt korreleret med det opløselige P-indhold i jorden.

VAM-inokulering kan også ændre mineralstofsammensætningen i værtplanten. Således skulle VAM kunne øge kaliumkoncentrationen, men nedsætte koncentrationen af calcium, magnesium og zink (Nielsen & Jensen, 1983).

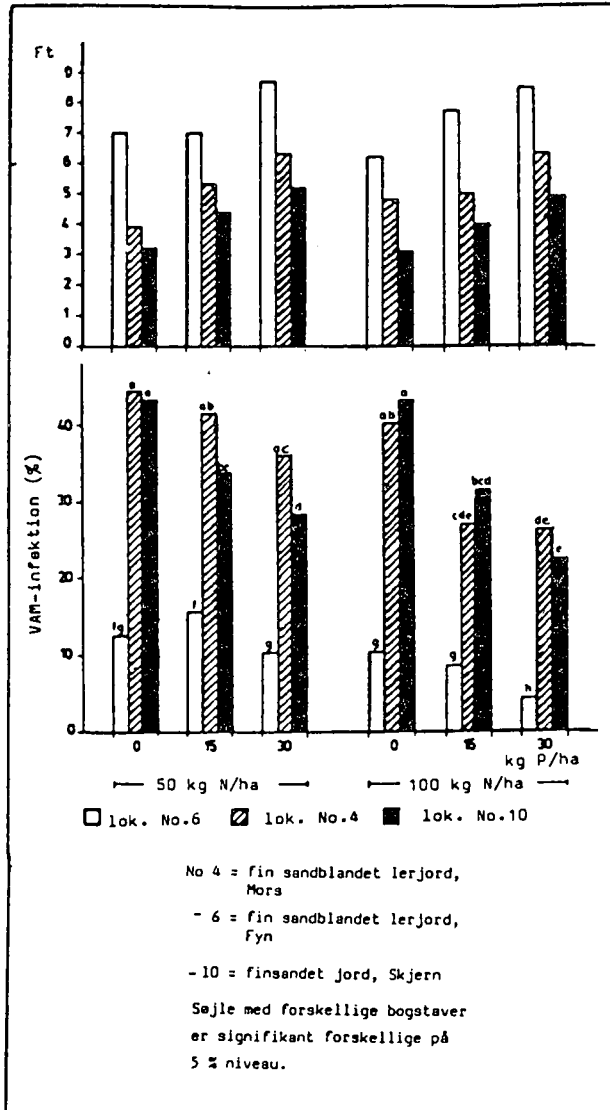


Fig. 10. Effekt af fosfor og kvælstoftilførsel på fosforsyretilførsel (Ft) og VAM-infektion (Jensen, 1979)

V. GØDSKNINGENS INDFLYDELSE PÅ JORDBUNDSFORHOLD

V.1 Indledning

Ved karakterisering af en jords dyrkningsværdi vurderes specielt dens mineralske sammensætning, tekstur og humusindhold.

Ved typebestemmelse af jorder tages der i særlig grad hensyn til lerindholdet, men silt- og sandindholdet har dog også betydning. Den dominerende jordtype i Danmark er fin sandblandet lerjord; ca. 70% af dyrkningsjorderne har et lerindhold højere end 10%. Jordens rodzonekapacitet for vand har stor betydning for mulighederne for rodudvikling. I grovsandet jord er den gennemsnitlige effektive roddybde i reglen begrænset til 50-60 cm. I fin sandbladet lerjord kan den derimod for byg være over 100 cm.

Jordens organiske bestanddel

Humus består af en stofblanding, der er sammensat af mere eller mindre resistente omdannelses- og restprodukter, som er opstået under de biologiske og kemiske processer, der til stadighed foregår i jordbunden.

Under uforanderlige driftsformer vil der langsomt indstille sig en dynamisk ligevægt, hvorunder der hvert år dannes og nedbrydes lige meget humus. Ligevægtsindholdet i landbrugsjorder vil afhænge af driftsformen.

Humuslaget spiller en dobbeltrolle i næringsstofforsyningen til planterne, dels besidder humuspartiklerne ionbytteegenskaber (i pløjelaget bidrager humus til en gennemsnitlig adsorptionskapacitet i jordblandingen på 4-8 m ækv/100 g jord), dels er der i laget oplagret en reserve af plantenæringsstoffer, som kan frigives, efterhånden som humusstofferne mineraliseres.

Jordens uorganiske bestanddel

Jordens uorganiske bestanddel består især af silikatminerale. De vigtigste er lerminerale, der pga. deres ringe størrelse og dermed større specifikke overflade vil være aktive i mange omsætninger, som foregår som overfladeprocesser.

Tabel 31. Skøn over jordbundens næringsstofbeholdning. (Rasmussen, 1980, Forureningsrådet 1971)

Stof	Indhold i pløjelaget 0/00	kg/ha	Ekstra- herbart kg/ha	Afgrødernes forbrug kg/ha/år	Reserver især
N	2	6.000	50	50-300	humus
P	0,4	1.200	500	15-30	humus, (Ca-fosfater)
K	12	36.000	300	50-250	lerminerale feldspat
S	0,3	900	15	5-25	humus
Mg	1	3.000	100	10	lerminerale
Ca	3	9.000	3.000	20	feldspat
Cu	0,02	60	10	0,03	lerminerale
Mn	0,5	1.250	10	0,3	feldspat
Mo	0,001	2,5	1	1	lerminerale
B	0,003	7,5	2	0,1	formalin

Nogle af lerminerale har desuden i deres lagdelte krystalgitter en negativ nettoladning, som afbalanceres ved, at partiklen omgiver sig med ækvivalente mængder kationer. På denne måde får lerminerale kation-ionbyttereegenskaber som humuspartiklerne. Adsorptionskapaciteten afhænger af antallet af lerpartikler. Således vil der på hedesandjord tilnærmelsesvis være 0 m ækv/100 g jord, mens der på morænejord kan være henved 20 m ækv/100 g jord. En udpræget sandjord vil i overfladelaget kun have en adsorptionskapacitet på 5-10 m ækv/100 g jord, hovedsagelig stammende fra humuspartiklernes bidrag og stærkt faldende nedefter gennem planternes rodzone. En udpræget lerjord vil derimod have en adsorptionskapacitet på ca. 20 m ækv/100 g jord i overfladen og kun lidt aftagende ned gennem rodzonen.

Jordens vandholdende evne

Jordbundens vandkapacitet vokser med dens indhold af ler og humus. Østdanske morænejorder kan til 1 m dybde have en vandkapacitet, som modsvarer 250 mm nedbør, mens hedesandjord måske kun formår at fastholde en fjerdedel heraf.

Fordampningen, alt andet lige, vokser med vandkapaciteten. I takt hermed formindskes afstrømningen.

I Østdanmark er den årlige afstrømning ca. 100 mm, mens den i Vestjylland er 350-450 mm.

Jordens indhold af plantenæringsstoffer

Af mange næringsstoffer findes store, men planteutilgængelige reserver (tabel 31). Størrelsen af den plantetilgængelige mængde afhænger af jordbundsforholdene, herunder gødskning, og af de enkelte næringsstoffers kemiske egenskaber og mineralkemiske forhold.

Kvælstof

Kvælstof i jorden er næsten udelukkende bundet i organiske forbindelser. I humus i danske mineraljorder er der organisk bundet 3-6 tons kvælstof/ha i pløjelaget. Indholdet af nitrat og ammonium, som udgør den direkte tilgængelige kvælstofkilde for planterne, vil være afhængig af gødskning, årstid og plantevækst, men udgør kun en meget lille del i forhold til mængden af kvælstof bundet i humus. I jorder med temperaturer over 5°C vil ammonium hurtigt omdannes mikrobielt til nitrat, som er det vigtigste plantetilgængelige stof. Mulighederne for omsætning og transport af nitrat er følgende (Lind 1980a,b) (fig. 11):

1. hovedparten af tilført eller dannet nitrat fjernes ved optagelse i afgrøden
2. en del immobiliseres ved mikrobiel aktivitet
3. en del omdannes til frit kvælstof eller dinitrogenoxid enten mikrobielt eller kemisk
4. den del af nitrat, der ikke omsættes ved ovennævnte 3 punkter, vil være udsat for udvaskning. Tilsvarende vil den nitratmængde, der dannes ved nedbrydning af rod- og stubrester, være udsat for udvaskning.

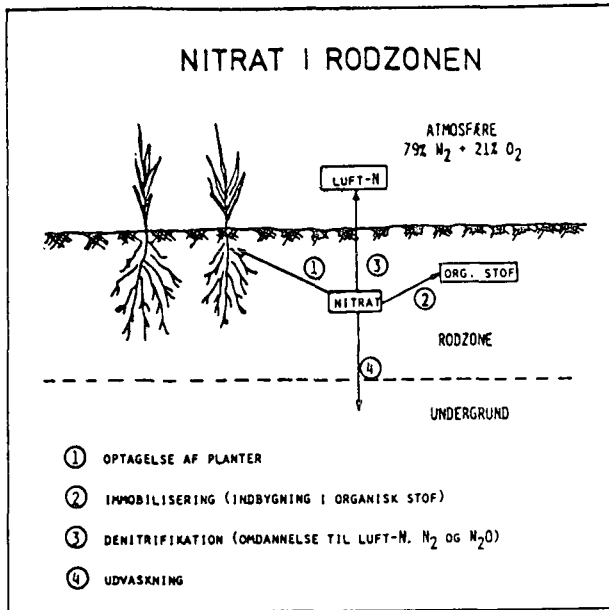


Fig. 11. Omsætning og transport af nitrat i rodzonen (Lind 1980b)

Kalium

Kalium i jorden kan opdeles i 3 fraktioner (Kofoed 1979):

- 1) opløst i jordvæsken, mindre end 10 kg K/ha
- 2) adsorberet i ombyttelig form til jordkolloider ca. 200 kg K/ha
- 3) som en del af jordminerale ca. 25-50.000 kg K/ha

Langt den væsentligste del af jordens kaliumindhold er bundet i planteutilgængelig form.

Den årlige kaliumfrigørelse fra jorden er fra de langvarige gødningsforsøg ved Askov bestemt til at udgøre omkring 25 kg kalium/ha på lerjord og omkring 15 kg kalium/ha på sandjord (Kofoed 1979). På trods af jordens store indhold af kalium vil gødsning med kalium i organisk eller uorganisk form helt klart være nødvendig for opretholdelse af en tilstrækkelig stor planteproduktion.

Fosfor

En gennemsnitlig dansk jord indeholder totalt ca. 1200 kg fosfor/ha i pløjelaget, hvoraf kun omkring 500 kg er ekstraherbart. Mængden af organisk fosfor i jord kan udgøre fra 30-85%, størst mængde i sur jord. Af den resterende uorganiske mængde er ca. 40% bundet til aluminium, 40% til jern og 20% til calcium. Af ombytteligt fosfor vil der kun være nogle få procent af totalfosformængden. (Lamm, 1971, Nissen 1978).

V.2. Jordens næringsstofftilstand

Jordens gødnings- og kalktilstand i de forskellige landsdele er undersøgt af landbo- og husmandsforeningerne (tabel 32, tallene før 1972 er dog kun fra landboforeningerne) (Planteavlsberetninger).

Fosforsyretal (Ft)

Fosforsyretallene som landsgennemsnit af alle landsdelene er steget betydeligt i de sidste 20-25 år.

I Jylland er stigningen (2 Ft-enheder) lidt mindre end på Øerne (2,5 Ft enheder). Sidstnævnte område har generelt et numerisk højere Ft. Lavest Ft findes i Vestjylland.

Stigningen i Ft hænger sammen med den øgede gødskning med fosfor, som har oversteget afgrødernes optagelse. Skriver (1980) opgiver, at omkring 18 kg fosfor pr. ha og år bortføres med afgrøderne, som gennemsnit af alle afgrøder og landsdele. Sammenlignes dette tal med fosfortilførelsen, observeres, at tilførslen af fosfor har været næsten dobbelt så stor som bortførslen.

Kaliumtal (Kt)

Kaliumtallene er ligesom fosforsyretallene steget væsentligt i perioden 1950-77. (Tabel 32). Stigningen har været 3-4 Kt enheder på Øerne, men kun 2 Kt enheder i Jylland. Tilførslen af kalium har i de sidste 15 år været næsten 10 kg kalium pr. ha og år større på Øerne end i Jylland (Danmarks statistik), hvilket kan forklare den observerede forskel i jordens Kt. Tilførslen af kalium i 1982 var som landsgennemsnit over 100 kg kalium/ha/år (tabel 4), mens man regner med, at kun omkring 80 kg kalium/ha/år bortføres med afgrøden (Skriver, 1980). Resten af det tilførte kalium vil enten være i de øverste jordlag, hvilket har resulteret i de observerede stigninger i Kt, eller er transporteret

til dybereliggende jordlag og/eller fikseret i jorden. (Sidstnævnte kun i ler-jorder).

Tabel 32. Fosforsyretal, kaliumtal, magnesiumtal og kobbertal - landsgennemsnit (Planteavlsberetninger)

	Fosforsyretal Ft	Kaliumtal Kt	Magnesiumtal Mgt	Kobbertal Cut
1950-55	5,6 ⁽²⁾	9,7 ⁽²⁾	-	
1955-60	6,0	10,3	-	
1960-65	6,8	10,8	4,2 ⁽¹⁾	1,8 ⁽¹⁾
1965-70	7,4	11,6	6,1 ⁽²⁾	2,8 ⁽²⁾
1970-75	7,4	12,5	5,8	3,2
1975-77	8,0	13,0	5,7	2,9

(1) kun for Jylland

(2) Fyn ikke inkluderet

I magnesiumtallene og kobbertallene er Bornholm ikke inkluderet

Enheder: 1 Ft = 3 mg P/100 g jord
1 Kt = 1 mg K/100 g jord

(før 1964 benævntes kaliumtallet $T_k Y$ Kt = $1,56 \times T_k Y$. I tabellen er alle tal omregnet til Kt)

1 Mgt = 1 mg Mg/100 g jord
1 Cut = 1 mg Cu/1000 g jord

Magnesiumtal (Mgt)

Set som et landsgennemsnit har magnesiumtallene været stigende siden 1960. Opgives tallene derimod for de enkelte landsdele, vil man observere et fald i Mgt på Øerne og en stigning i Mgt i Jylland i den sidste 15 års-periode. Årsagen til det faldende Mgt på Øerne kan være et faldende husdyrhold. Da en stor del af magnesium til landbrugsjorden kommer fra naturgødning, vil en reduktion i husdyrholdet bevirke et fald i magnesiumforsyningen og dermed indvirke på magnesiumindholdet.

De numerisk største magnesiumtal findes dog stadig på Øerne, højest på Lolland-Falster.

Kobbertal (Cut)

Kobbertallet har generelt været stigende fra 1960 og til 1975; da kun relativt få analyser forefindes fra Øerne, vil tendensen derfor repræsentere Cut-værdien i jorder i Jylland.

Stigningen i kobbertallene kan tilskrives en større kobberforsyning, dels gennem handelsgødning, dels gennem husdyrgødning. Siden 1970'erne er der til foderblandinger til svin tilsat kobbersulfat som vækststimulerende middel, hvilket kan have bevirket et øget kobberindhold i staldgødningen.

Reaktionstal (Rt)

Da jordprøver oftest udtages for at kontrollere reaktionstallet med henblik på en eventuel kalkning, vil de givne reaktionstal næppe være et "repræsentativt" udtryk for landbrugsjordernes "kalktilstand" (tabel 33).

Da der i Jylland før 1972 kun blev angivet reaktionstal som "kalktrængende" eller "ikke kalktrængende", er kun de sidste 10 år omtalt.

Den procentiske fordeling af reaktionstallene i de enkelte landsdele viser ingen sikre ændringer i den sidste 10 års periode. Andersen (1980) sammenlignede til underbyggelse af dette forbruget af jordbrugskalk med forbruget af ammoniumholdige gødninger og fandt, at stigningen i forbruget af kalk modsvarer den stigning i kalkbehovet, som er opstået som følge af overgangen fra brug af fortrinsvis nitratholdige til forholdsvis ammoniumholdige kvælstofgødninger. Det kan således konkluderes, at landbrugsjordernes kalktilstand har holdt sig på et ret konstant niveau i hvert fald i de sidste 10 år.

Tabel 33. Reaktionstal, Rt. Procentisk fordeling (planteavlsberetninger)

		Born- holm	Lolland- fælster	Sjæl- land	Fyn	Øst- Jylland	Nord- Jylland	Vest- Jylland
1972	$\leq 5,4$	0	0	0	0	5	6	17
	5,5-5,9	4	0	2	9	17	20	36
	6,0-6,4	15	2	11	21	30	37	32
	6,5-6,9	40	8	28	33	30	26	12
	7,0-7,4	38	17	31	24	13	8	0
	$\geq 7,5$	2	73	28	11	5	3	0
1975	$\leq 5,4$	1	1	1	3	8	10	27
	5,5-5,9	6	1	5	11	20	31	43
	6,0-6,4	29	2	18	26	30	36	23
	6,5-6,9	49	10	31	32	28	17	6
	7,0-7,4	14	32	31	21	12	5	1
	$\geq 7,5$	1	54	13	7	2	1	0
1978	$\leq 5,4$	2	1	1	3	9	11	24
	5,5-5,9	6	1	4	9	20	29	40
	6,0-6,4	27	2	14	20	27	34	25
	6,5-6,9	34	4	24	30	27	19	9
	7,0-7,4	29	20	34	25	15	5	2
	$\geq 7,5$	2	72	23	11	2	2	0
1982	$\leq 5,4$	1	1	1	3	7	8	19
	5,5-5,9	5	1	4	8	15	23	40
	6,0-6,4	26	3	14	20	25	35	29
	6,5-6,9	48	6	28	33	30	24	10
	7,0-7,4	19	30	34	27	20	8	2
	$\geq 7,5$	1	59	19	9	3	2	0

V.3. Omsætningen af organisk stof i jorden

Jordens organiske fraktion omfatter både jordens mikroflora og -fauna samt planterester på alle stadier af nedbrydning fra relativt friskt organisk stof til relativt stabilt stof.

Humus er den fraktion af det organiske stof, der er omdannet i en sådan grad, at den oprindelige morfologiske struktur ikke kan erkendes (Henriksen 1983). Humus bestemmes dog normalt som jordens totale indhold af organisk kulstof $\times 1,72$. Heri indgår alt organisk stof, levende som dødt, uanset omsætningsgrad. Jordens humusindhold har betydning for jordens struktur, kationbytningsgrad og vandkapacitet samt beholdning af plantenæringsstoffer (Kofoed, 1971). Da selv intensiv tilførsel af organisk stof til jorden ikke vil ændre det totale indhold af organisk stof i pløjelaget ret meget i det enkelte år, vil evt. ændringer i humusindhold forårsaget af gødskning først kunne observeres efter behandling i en årrække, hvorfor langvarige gødningsforsøg, specielt er vigtige.

Nedbrydning af organisk stof til uorganisk stof (mineralisering) foregår under medvirken af en succession af mange forskellige organismer: jordens makrofauna (regnorme og insekter), mikrofauna (protozoer, nematoder og mider) og mikroflora (bakterier, svampe og alger).

Disse organismer indvirker i stor udstrækning på jordbundens egenskaber som vækstmedium for planterne. Jordbundsfaunaen opsøger og æder dødt organisk materiale, hvorved der sker en fragmentering af udgangsmaterialet. Vægtmæssigt udgør jordfaunaen højest 25% af den samlede population af levende organismer (Andersen & Haarløv, 1978). Disse vil da repræsentere ca. 6% af jordbundens totale indhold af organiske bestanddele. Jordbundsdyrene kan ikke selv danne humusstoffer. De vil derimod ved findeling af plantematerialet og ved dets passage gennem tarmkanalen indirekte bidrage til humusdannelsen. En særstilling blandt jordbundsdyrene udgøres af regnormen, der foruden organisk stof også kan optage mineralstof i tarmen.

Mikroorganismerne i agerjord vil globalt årligt mineralisere 6×10^{10} tons organisk stof (Nissen, 1978). Det største antal mikroorganismer findes i jordbundens øverste 20 cm. Derefter aftager mængden som følge af ilt- og næringsmangel. Størrelsen af den mikrobielle biomasse vil foruden næringsstofftilgængelighed afhænge af jordens vandindhold, reaktionstal, iltindhold og temperatur. Specielt jordens mikroflora, men også planterødder og jordbundens fauna kan udskille enzymer. Urease spalter urinstof katalytisk til ammoniak og kuldioxid (Laugesen, 1972). Enzymet produceres af forskellige bakterietyper, dog sjældent de obligat anaerobe. Phosphatase omdanner organisk bundet fosfor til det for planterne tilgængelige uorganiske fosfat (Laugesen & Mikkelsen, 1973). Aktiviteten af urease og phosphatase følger normalt omdannelsesprocesserne for tilført organisk stof.

Mineralisering af kvælstof vil overvejende finde sted, når jordtemperaturen er over 3°C (Kolebrander, 1975), hvilket under danske forhold vil sige i perioden fra marts til november. Desuden kan mineraliseringen begrænses af jordens vandindhold.

Først når mineraliseringen er større end mikroorganismernes behov for kvælstof, bliver der frigjort ammonium til plantevækst. Tidspunktet for netto-mineralisering, alt andet lige, afhænger af det organiske stofs C/N forhold. Ved C/N forhold mindre end 20 vil mineralisering kunne foregå. Er C/N forholdet mellem 20 og 30, vil der hverken ske frigørelse eller fastlægning, mens

højere C/N forhold vil føre til immobilisering af ammonium (Henriksen, 1983). Kvælstof i organiske gødninger findes dels som højmolekylære forbindelser, såsom protein, dels som lavmolekylære forbindelser som urea.

Ifølge Sluismans & Kolenbrander (1976) kan organiske gødningers indhold af totalkvælstof (N_t) opdeles i følgende fraktioner:

1. N_M (M for "mineral")

Stoffer, der omsættes med samme hastighed som kvælstoffraktioner fra handelsgødning. Det er stoffer som ammonium, urinstof og urinsyre.

2. N_E (E for "easily")

Forbindelse, der mineraliseres i løbet af den første vækstsæson.

3. N_R (R for "resistent")

Svært tilgængelige kvælstofforbindelser, der først kan optages af afgrøder efter en længere tidsperiode.

V.3.1. Indflydelse på mineralisering og akkumulering af organisk stof

Ved regelmæssig årlig udbringning af samme gødningsmængde på et givet areal fås en akkumulering af organisk stof i jorden, indtil der efter en årrække nås en ligevægt, hvor tilførsel og nedbrydning netop balancerer (Jensen, 1980). Gylletilførsel kan dog bevirke en så kraftig stimulering af den mikrobielle aktivitet, at der nedbrydes en større stofmængde, end der tilføres (Trenner & Rauhe, 1971).

Mængden af mineraliseret kvælstof, alt andet lige, øges med mængden af tilført staldgødning (fig. 12). Hvis man forudsætter en given mineraliseringshastighed, kan man derfor beregne de staldgødningsmængder, som skal tilføres for at opnå en given konstant årlig kvælstofmineralisering.

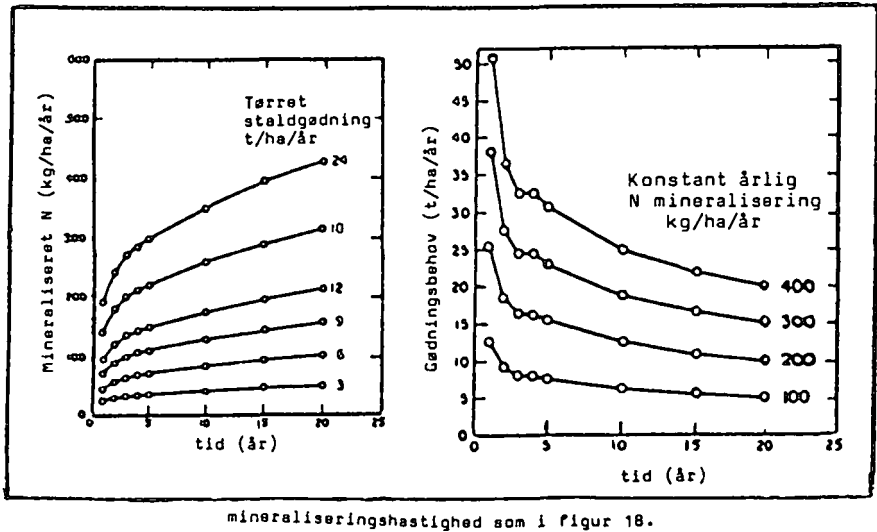


Fig. 12. Indflydelse af stigende mængder staldgødning på kvælstofmineraliseringen (Pratt et al, 1973)

Mineraliseringshastigheden afhænger af det organiske stofs C/N-forhold. Der vil ske en hurtigere mineralisering af grøngødning, som har et C/N-forhold nær 20, end af halm, som har et C/N-forhold på 60-80.

Kolenbrander (1974) fandt, at ved tilførsel af grøngødning (gul sennep) var 80% nedbrudt det 1. år, men ved tilførsel af halm var kun 70% nedbrudt.

I et lysimeterforsøg på Askov forsøgsstation blev i 1958 anlagt et forsøg til belysning af kvælstofmineraliseringshastigheden i ler- og sandjord efter éngangstilførsel af forskellige organiske og uorganiske gødninger. Græs blev valgt som afgrøde for at sikre størst mulig kvælstofoptagelse (Lindhard, 1980).

Estimer af mineraliseringshastigheden blev udført ud fra måling af kvælstofmængde i afgrøde, vand og jord.

På lerjord blev der i det grundgødede led bortført mere kvælstof, end der var tilført, mens de forsøgsled, der var gødet med staldgødning havde større kvælstoftilførsel end bortførsel. I de handelsgødgede parceller var der bortført mere kvælstof, end der var tilført. Merbortførslen i årene 1958-61 repræsenterede 80-87% af det i 1958 tilførte handelsgødningskvælstof. Denne mængde reduceredes fra 87% til 42%, når der var tilsat halm sammen med svovlsur ammoniak.

Ved handelsgødninger vil størstedelen af det tilførte kvælstof være optaget i planten i løbet af det første år. Dette er derimod ikke tilfældet med de organiske gødninger.

Efter éngangstilførsel af henholdsvis svovlsur ammoniak og kalksalpeter blev der i løbet af fire år genfundet 87% og 80% af kvælstoffet, hvorimod kun ca. 35% (lerjord) og 25% (sandjord) af kvælstof tilført som organiske gødninger var optaget af afgrøden i den givne tidsperiode.

En større del af den tilførte staldgødningsmængde vil indbygges i humus, hvorfra plantenæringsstofferne kun langsomt frigives.

Langvarige gødningsforsøg på Askov forsøgsstation har da også vist, at parceller, som i en årrække er gødet med staldgødning, vil indeholde en større humusmængde end parceller, som udelukkende er gødet med handelsgødning (Kofoed, 1971, 77a) (fig. 13). Dette gælder for både ler- og sandjord. Det relative humusindhold i de handelsgødede parceller har imidlertid ikke forandret sig i forhold til de staldgødede. Det totale humusindhold er svagt faldene set over en 50-års periode, specielt på sandjorden. Kofoed (1977a) foreslår, at effekten kan skyldes en "fortyndingseffekt" skabt ved pløjning, hvor en mængde jord fra dybereliggende jordlag bliver blandet med jord fra overfladen.

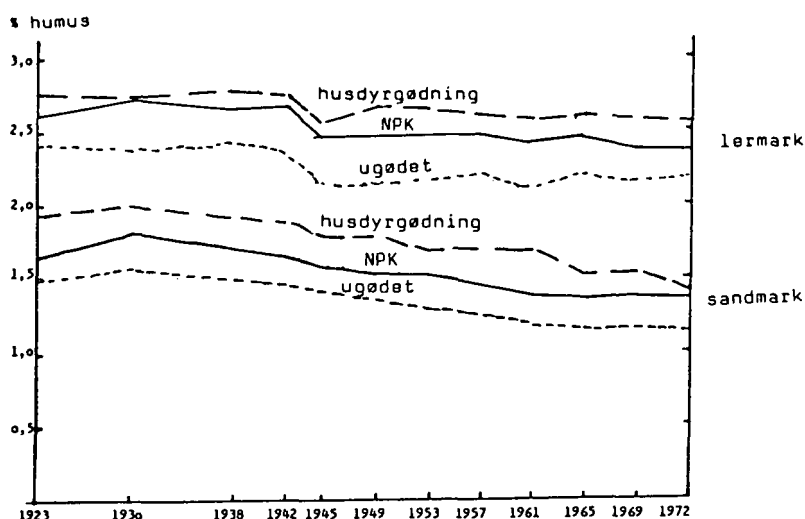


Fig. 13. Indflydelse af gødningsform på humusindhold i jord i 0-20 cm dybde. Askov ler- og sandmark 1923-72, pct. C $\times$ 1,72 (Kofoed, 1977a)

Såvel handels- som staldgødning vil medføre en forøgelse af jordens humusindhold i forhold til ugødede parceller. Øgning af handelsgødningsmængden fra "½" til "1½" gange normal mængde vil bevirke en øgning i jordens humusprocent på gennemsnitligt 0,1, mens øgning af mængden af staldgødning fra "1" til "1½" gange normal mængde vil bevirke en øgning i humusprocenten på 0,2. (Kofoed, 1971) (tabel 34).

Tabel 34. Staldgødningens og handelsgødningens indflydelse på jordens humusindhold. Lermark (Kofoed, 1971)

	Ugødet	Handelsgødning			Staldgødning	
		½	1	1½	1	1½
1923	2,4	–	2,6	–	2,8	–
1930	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7	3,0
1938	2,4	2,5	2,7	2,7	2,8	3,0
1942	2,4	2,6	2,7	2,6	2,8	2,9
1945	2,3	2,5	2,6	2,6	2,7	2,9
1949	2,4	2,6	2,7	2,7	2,8	3,1
1953	2,3	2,6	2,6	2,6	2,7	2,9
1957	2,3	2,4	2,6	2,7	2,7	2,9
1961	2,1	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8
1965	2,2	2,3	2,5	2,4	2,7	2,9
1969	2,2	2,3	2,4	2,4	2,6	2,7

V.3.2. Indflydelse på jordens flora og fauna

Fauna

Effekten af landbrugsdrift på regnormeantallet er undersøgt på forsøgsparceller ved Askov forsøgsstation og i jord ved Ørritslevgård (Andersen & Haarløv, 1978).

Der blev på den dyrkede jord kun fundet 5 forskellige arter:

- lang orm (*Allolobophora longa*)
- grå orm (*Allolobophora caliginosa*)
- rosa orm (*Allolobophora rosea*)
- grøn orm (*Allolobophora chlorotica*)
- stor orm (*Lumbricus terrestris*)

med et samlet individtal på maksimalt 50 pr. 0,5 m², samt en tilsvarende biomasse på 5-10 g.

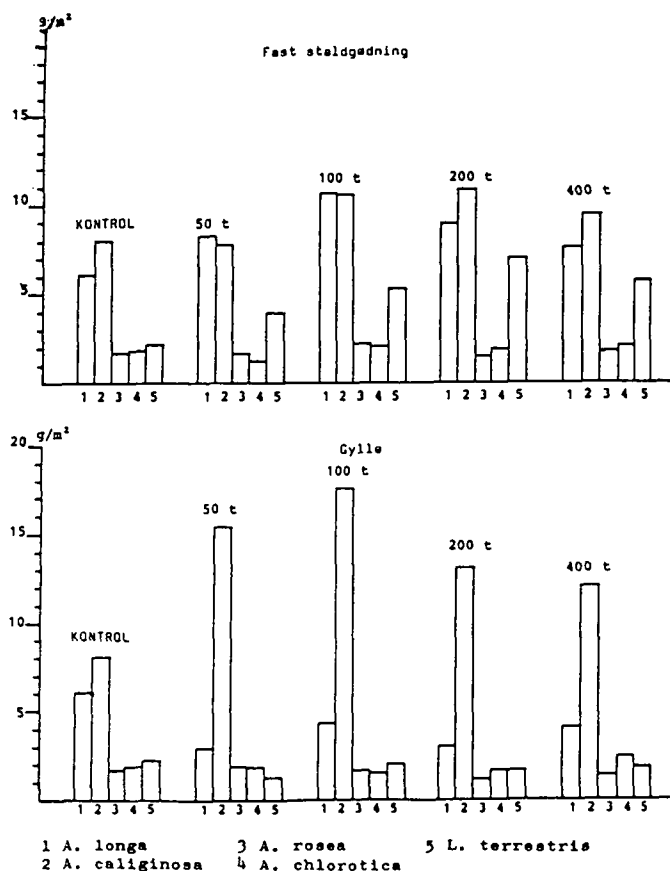
Sammenlignes disse tal med opgivelser fra vedvarende græsmark, er regnormebestanden signifikant lavere. Steen (1983) fandt tilsvarende, at enchytraeider, collemboler, mider og biller kun fandtes i mindre end halvt så stort et antal på opdyrket jord som på græsareal.

Årsagen til den lavere regnormebestand på den opdyrkede jord skyldes, at det meste af årets planteproduktion er fjernet, hvorimod dette ikke er tilfældet på naturarealer.

Tilførsel af fast staldgødning favoriserer alle arter af regnorme, specielt *Allobophora longa*, mens gyllebehandling vil udkonkurrere *A. longa* til fordel for *A. caliginosa* (fig. 14) (Andersen 1981, 83).

Størst populationstæthed findes ved gødskning med 100 t/ha/år - 200 t/ha hvert 2. år for både fast staldgødning og gylle.

"Overgødskning" (400 t/ha hvert 4. år) vil samme år, som der gødes, bewirke et fald i populationstætheden specielt ved gylle, men 2 år efter tilførslen vil populationen være reetableret. Da unge individer af regnorme normalt er tættere ved jordoverfladen end voksne individer, vil en giftvirkning af den store mængde organisk gødning specielt ramme disse individer.



Figur 14. Indflydelse af stigende mængder fast staldgødning og gylle på biomassen (g/m^2) af forskellige regnormearter. Askov forsøgsstation (Andersen, 1983)

Antallet af regnorme på opdyrket jord, ligger på nogenlunde samme niveau, uanset om jorden er gødet med NPK eller gylle (tabel 35) (Andersen & Haarløv, 1978). Der synes at være lidt flere individer på de gyllebehandlede parceller, men forskellen er ikke signifikant. Der er heller ikke signifikant forskel på biomassen af regnorme mellem de to gødningsformer.

Tabel 35. Gødningsformens indflydelse på antal (antal/0,5 m²) og biomasse (g/0,5 m²) af regnorme. Askov (Andersen & Haarløv, 1978).

Kg N/ha	Antal		Biomasse	
	gylle	NPK	gylle	NPK
0	44,50 ± 5,40	44,50 ± 5,40	11,59 ± 2,07	11,59 ± 2,07
50	69,00 ± 10,14	58,90 ± 4,43	8,25 ± 4,88	10,44 ± 1,66
100	61,90 ± 4,97	51,50 ± 5,70	12,25 ± 1,20	8,69 ± 1,17
150	59,75 ± 7,36	58,37 ± 4,43	11,56 ± 1,66	13,71 ± 1,49
200	77,75 ± 12,54	56,40 ± 6,50	7,73 ± 0,93	16,71 ± 3,71

Normal gødsning uanset form synes således ikke at have den store indflydelse på antallet eller biomassen af regnormepopulationen i de danske undersøgelser. Ved store gødningsmængder (større end 200 kg kvælstof pr. ha) synes gyllebehandlingen at virke negativt på biomassen, men derimod positivt på antallet. I udenlandske undersøgelser er der dog fundet forskel i virkningen af de forskellige gødningsformer på faunaen.

Wilcke (1962) fandt, at staldgødning i kombination med NPK, modsat NPK alene, havde en positiv effekt på regnormeantallet. Pettersson et al. (1979) fandt ved en sammenligning af forskellige organiske gødninger og kompost med uorganiske gødninger, at den største regnormebestand målt som antal regnormekanaler/m² fandtes i jord gødet med frisk staldgødning; dernæst kom kompost. Lavest værdi blev fundet i de ugødede og handelsgødede parceller.

Lofs-Holmin (1983) fandt, at fast staldgødning tilført til såvel græs som havre bevirkede et større antal voksne individer af regnorme pr. arealenhed end tilførsel af NPK. Derimod var antallet af unge individer større i NPK-gødede jorder.

Steen (1983) fandt, at staldgødning i forhold til NPK bevirkede et større antal collemboler og mider på græsmark. Derimod var der ikke stor forskel i antallet af individer inden for de forskellige faunagrupper, når der blev tilført henholdsvis NPK og staldgødning til havre.

Mikroorganismer

I jordprøver udtaget i tilknytning til de langvarige gødningsforsøg i Askov er følgende undersøgelser udført til belysning af forskellige gødningstypers ind-

flydelse på jordens mikrobiologiske tilstand (Christensen, 1927; Iversen & Dorph-Petersen, 1951):

1. Forekomst af azotobacter
2. Jordens kvælstofbindende evne
3. Peptonsønderdelende evne (jordens forrådnelseskraft)
4. Manitsønderdelende evne
5. Sapeterdannende evne
6. Kulsyreproducerende evne
7. Humusindhold

Derudover blev der i 1951 udført nitrifikationsmålinger samt kimtællinger. Generelt synes der kun at være ringe forskel imellem NPK og staldgødninger med hensyn til virkning på jordens mikroorganismer; dog blev der i jorder gødet med staldgødning fundet en lidt større mikrobiologisk aktivitet. (Højere kimal og kulsyreproduktion).

Senere forsøg (Eiland, 1978, 1980, 1981 b,c) i tilknytning til de langvarige gødningsforsøg viste at: Antal svampe bestemt på plantespredninger, ATP-indhold (biokemisk bestemmelse af de levende celler), Iltforbrug og Dehydrogenaseaktivitet gav de højeste værdier for den handelsgødede parcel, lavere for den staldgødede, og lavest for den ugødede (figur 15).

Derimod gav: bakterier bestemt på pladespredninger og Jenkinsons biomasse-indeks (bestemmelse af let omsætteligt stof) de største værdier for den organisk gødede jord. Imidlertid var forskellene mellem behandlingerne små og ofte ikke-signifikante.

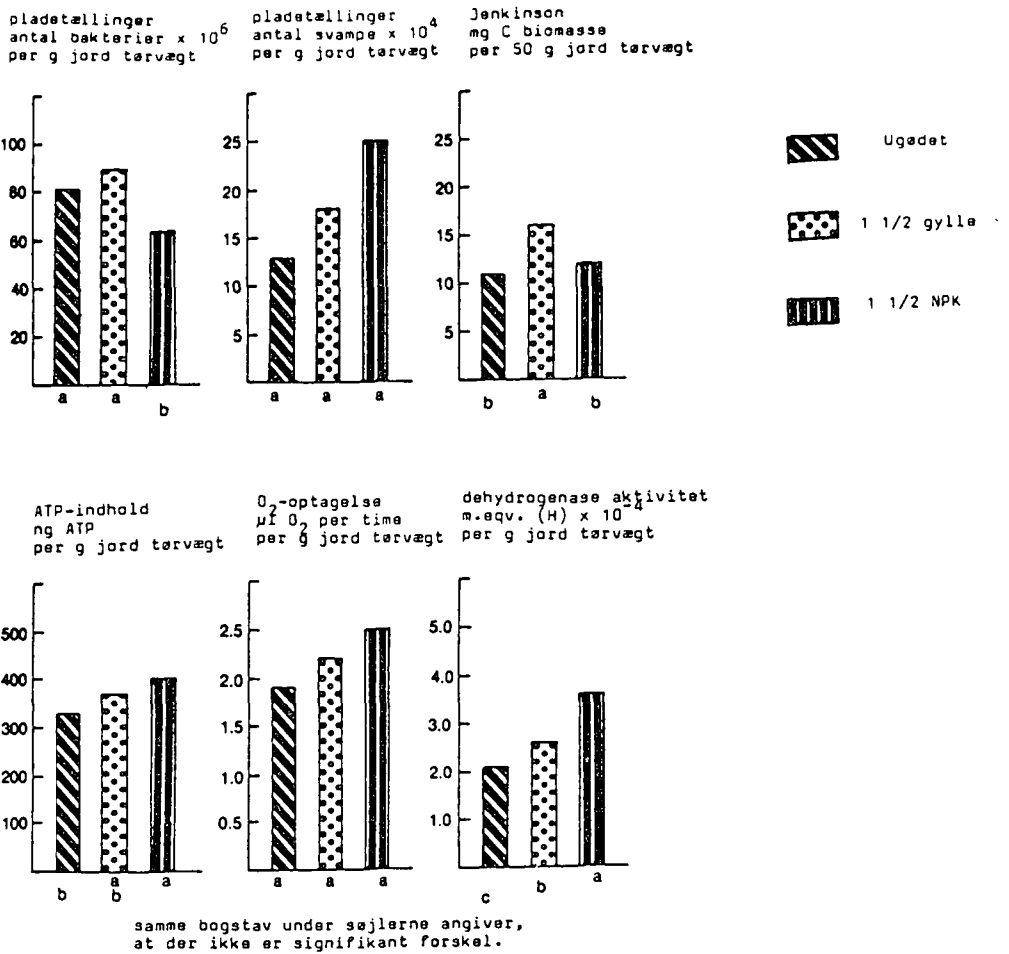


Fig. 15. Gødningsformens indflydelse på jordens mikrobiologiske aktivitet (Eiland, 1981)

Tilsvarende de danske forsøg er der i Tyskland udført langvarige forsøg over gødningsvirkning på mikrobiel aktivitet. Müller (1961) og Müller et al. (1972) undersøgte den mikrobielle aktivitet i et langvarigt markforsøg, der var gennemført siden 1872 på sandjord med rug som hovedafgrøde. Antallet af bakterier, actinomyceter og svampe var signifikant højere i de staldgødede led end i de ugødede led. Som i de danske forsøg var handelsgødning generelt mht. forøgelse af den mikrobielle aktivitet en smule mindre effektiv end staldgødning,

men forskellen var ringe. Desuden var den stimulerende effekt ikke permanent, men begrænset til en periode af variabel længde efter gødningstilførslen.

Eiland (1978, 1981 a,b,c) undersøgte, hvilken indflydelse belastning af jorden med stigende mængder organisk gødning havde på den mikrobielle aktivitet. Der blev ikke fundet nogen signifikant forskel mellem antallet af bakterier fundet i jorder gødet med henholdsvis 100 t pr. ha og år i organisk gødning og 200 t pr. ha hvert andet år. Antallet af svampe var derimod højere, når gylle og fast staldgødning blev tilført i dobbelt mængde hvert andet år, end når det blev tilført hvert år i "normal" mængde.

Med hensyn til ATP-værdien i jorden bevirkede gylletilførsel i de højeste værdier om foråret, hvorimod fast staldgødning gav de højeste værdier om efteråret (begge gødningstyper tilført om foråret).

Dette kan indicere, at gylle dekomponeres hurtigere om foråret end om efteråret, mens fast staldgødning dekomponeres over en længere tidsperiode, hvilket kan bevirke en højere aktivitet af jordens mikroorganismer i sommeren/efteråret.

V.3.3. Konklusion/diskussion

Mængden af mineraliseret kvælstof, alt andet lige, øges med mængden af tilført gødning. Mængden af tilført kvælstof, som optages af en afgrøde i samme vækstsæson, som gødningen er tilført, vil være langt større, når der gødes med handelsgødning fremfor organiske gødninger. Tilsætning af halm sammen med handelsgødning vil nedsætte kvælstofvirkningen af handelsgødning.

Mineraliseringshastigheden af organisk stof er større på lerjord end på sandjord.

Gødskning uanset form øger jordens humusindhold. Jorder gødet med staldgødning over en 50-årig periode har lidt større humusindhold end tilsvarende jorder gødet med handelsgødning, men forskellen er ringe.

Fast staldgødning er bedre end gylle i stand til at opretholde og udvikle en større artsdiversitet i jordens fauna. Dette skyldes sandsynligvis, at fast staldgødning bedre end gylle tilfredsstiller fødebehovet for flest mulige arter, tillige at gylle i store mængder kan have en direkte negativ effekt på faunaen. At uorganiske gødninger sammenlignet med organiske skulle have en negativ effekt på regnormebestanden er ikke vist i danske forsøg, hvorimod nogle udenlandske forsøg har vist en større population af jorddyr ved tilførsel af organiske gødninger end ved tilførsel af uorganiske gødninger.

Gødsugning uanset form bevirker en tilvækst i antallet af mikroorganismer. Dette kan sandsynligvis tilskrives en øget plantevækst, som efterlader en større restmængde i jorden. Staldgødning har i forhold til handelsgødning en lidt større effekt på mikroorganismene (større antal, aktivitet eller begge dele), men af ringe størrelsesorden. Staldgødning udgør en temmelig lille del af den totale mængde af organisk stof, der er til rådighed for mikroorganismene; den resterende del tilføres ved planternes vækst. En bedre vækst ved handelsgødningstilførsel kan derfor under nogle omstændigheder have en større effekt på mikroorganismene end staldgødningstilførsel.

V.4. Jordens kemiske og fysiske tilstand

V.4.1 pH i jorden

Ifølge Jensen (1929) kan gødsugning påvirke jordens pH ved:

1. En direkte syre- eller basevirkning, der skyldes den pågældende gødningsreaktion
2. En indirekte syre- eller basevirkning, der skyldes planternes næringsstofoptagelse eller gødningens kemiske og biologiske omsætning i jorden.

Handelsgødning

I forbindelse med de langvarige gødningsforsøg er forskellige kvælstofgødningers indvirkning på jordens pH undersøgt (Iversen & Dorph-Petersen, 1948; Fogh, 1972). Generelt er pH-værdien større på lerjord end på sandjord. Anvendes den samme kvælstofgødning i 10-12 år til samme areal, bevirker chilealpeter en stigning i jordens pH på 0,1-0,2 enheder, svovl- sur ammoniak et fald på 0,1-0,2 enheder, og kalkalpeter en stigning på ca. 0,1 enhed (Iversen & Dorph-Petersen, 1948). Det må dog tages i betragtning, at de anvendte kvælstofmængder i disse forsøg var betydeligt lavere end mængden benyttet i dag. Over en 10-årig periode bevirkede flydende ammoniak (i gennemsnit 130 kg kvælstof pr. ha) i et markforsøg på Askov sandmark et fald i pH på 0,3 enheder i forhold til kalkalpeter (Fogh, 1972). Forskellen var dog allerede etableret efter ca. 4 år. Tilførsel af 3,6 kg calciumcarbonat pr. kg kvælstof kunne forebygge faldet i pH på sandjorden. På lerjorden kunne calciumcarbonat-tilførsel medføre pH-stigning i ét forsøg, men ikke i et andet. Virkningen af urea på jordens pH er mere usikker.

Undersøgelser i perioden 1965-80 viser dog, at såvel flydende ammoniak som urea sænker pH i forhold til kalkalpeter (Klausen, 1983).

Forskellen i pH mellem flydende ammoniak og urea på den ene side og kalksalpeter på den anden øgedes med mængden af gødning. Den øgede anvendelse af mere sure gødninger i de sidste årtier har således stillet øgede krav til kalktilførsel. Set på landsplan er der de sidste 10 år ikke sket en ændring af jordens surhedsgrad (jvf. afsnit V.2.), så kalktilførslen har tilsyneladende været veljusteret.

Anvendelse af forskellige gødningskombinationer af kvælstof, fosfor og kalium (1 N, 1 P, 1 K, 1 NP, 1 NK, 1 PK, 1 NPK) har ikke haft den store effekt på jordens pH-værdi set over en 20-årig periode (Lindhard, 1971). I de ugødede sandjordsparceller observeredes en pH-stigning fra 5,7 til 7,0 i årene 1949-69. Kvælstof alene nedsatte pH lidt, hvorimod fosfor og kalium ingen effekt havde. Kombinationer af kalium og fosfor med kvælstof nedsatte jordens pH på samme måde som kvælstof tilført alene.

Organisk gødning

Tilførsel af organisk gødning til jorden vil normalt bevirke en tilvækst i jordens pH. Dette er observeret ved nedsivning fra markmødding (tabel 36) (Meincke, 1979) og ved tilførsel af staldgødning (Cottenie & Maela, 1977; Eiland 1981b) (fig. 16).

Tabel 36. Ændring i jordens pH-værdi i forhold til kontrolprøve, 1974-76 (Meincke, 1979)

Dybde i cm	0	50	100	150	200
<u>Markmødding</u>					
Sandjord	1,3	0,5	0,3	0,2	0,3
Lerjord	1,1	0,6	0,3	-0,2	-0,2
<u>Roetopensilage</u>					
Sandjord	0,2	-0,2	-0,1	0	0,1
Lerjord	-0,5	-0,4	-0,2	0,5	-1,1
<u>Græsensilage</u>					
Sandjord	0,1	-0,1	0,1	0,6	0,7

Derimod kan nedsivning fra ensilagestakke bevirke et kraftigt fald i jordens pH, specielt ved roetopensilage, hvilket nok skyldes et stort saftfløb ved ensilering af roetoppene. Staldgødning og gylle er lige effektive til opretholdelse

af jordens pH (fig. 16) (Eiland, 1981b). I udenlandske forsøg er det fundet, at pH kan øges næsten proportionalt med mængden af tilført gødning. Effekten var langt større på de lette jordtyper, selv om pH numerisk var størst på ler-jorderne (Cottenie & Maela, 1977). Efter en kort tids inkubation af jorden i karforsøg faldt pH-værdien imidlertid igen til kontrolværdien, specielt for sandjorder. Dette kan forklare, at Eiland (1981b) fandt, at mængden af henholdsvis gylle og fast staldgødning ingen væsentlig langtidseffekt havde på jordens pH-værdi.

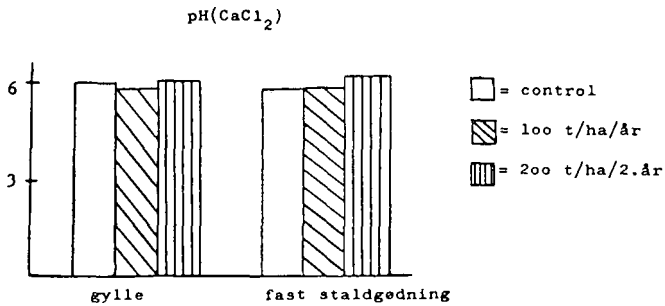


Fig. 16. Effekt af tilførsel af gylle og fast staldgødning på jordens pH-værdi. Askov forsøgsstation, lermark (Eiland, 1981b)

Sammenligning af organiske og uorganiske gødninger

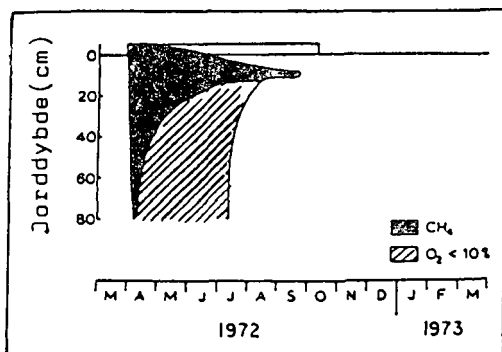
Der er kun ringe forskel mellem langtidsvirkningen af handelsgødning og staldgødning på jordens pH-værdi på svære jordtyper, hvorimod pH-værdien på lette jordtyper kan falde lidt med stigende handelsgødningsmængde, men være upåvirket af staldgødningsmængden (Lindhardt, 1971, 1975).

Magdoff & Amadon (1980) fandt dog, at øgning af handelsgødningsmængden fra 0 til 224 kg kvælstof/ha til majs i monokultur ville bevirke, at pH-værdien på lerjord faldt fra 6,3 til 5,7. Omvendt ville en øgning i staldgødningsmængden fra 0 til 66 t/ha bevirke en pH-stigning på 0,5 pH-enheder og være i stand til at vende effekten fra handelsgødningstilførsel. Pettersson et al. (1979) fandt tilsvarende et fald i pH-værdien ved gødskning med handelsgødning, men en stigning ved tilførsel af staldgødning.

V.4.2 Jordens iltforhold

I forbindelse med udbringning af specielt gylle er der stor risiko for fremkomst af anaerobe forhold, selv ved anvendelse af moderate gyllemængder. Det

beror på, at partikler i gyllen vil være tilbøjelige til at tilstoppe jordoverfladens porer, således at luftskiftet til de underliggende jordlag begrænses, samtidig med at gyllen har en meget kraftig stimulerende virkning på den mikrobielle aktivitet (Stevens & Cornforth, 1974; Burford et al., 1976) (fig. 17). McAllister (1977) fandt, at svinegylle kunne nedsætte iltindholdet i jordatmosfæren med 5% og give en tilsvarende tilvækst i kuldioxidkoncentrationen.



Gyllemængde: 50 t/ha

Den mørke zone angiver områder, hvor der sker metandannelse og derfor må være anaerobe forhold. Den skraverede zone angiver områder, hvor iltindholdet er reduceret til under halvdelen af det normale.

Fig. 17. Virkning af gylletilførsel på iltforhold i jordbunden (Burford et al., 1976)

Anaerobe forhold kan bevirke:

- En hæmning af nitrifikationen, hvilket kan bevirke en tilbageholdelse af ammonium fra gyllen i jorden.
- En øget denitrifikation.

Begge disse faktorer vil begrænse mængden af nitrat, som kan udvaskes.

- Ætylendannelse.

Reduceret iltniveau og en forøget mængde af letomsættelige organiske forbindelser kan fremme ætylendannelse, hvilket kan bevirke hæmning af rodudviklingen (Kofoed, 1977b).

I markforsøg fandt Burford et al. (1976), at tilførsel af 550 t gylle pr. ha til italiensk rajgræs bevirkede en ætylenudvikling helt ned i 80 cm jorddybde, hvor ætylenkoncentrationen var stor nok til at hæmme rodvæksten. Mængden af gylle benyttet var dog meget større end i almindelig praksis.

V.4.3. Jordens fosforindhold

Som tidligere omtalt vil gennemsnitligt omkring 50% af jordens fosfor være til stede i organiske forbindelser, som må mineraliseres til uorganisk fosfat, før det er plantetilgængeligt.

Undersøgelser af, om brug af en eventuel akkumuleret fosforreserve i jorden vil påvirke udbyttet, er anlagt ved Statens Planteavlsvforsøg i 1975 med en forsøgsserie vedrørende udpining og vedligeholdelsesgødskning med fosfor (Jensen, 1981). 5 års resultater fra Askov (lerjord) og Lundgård (sandjord) viser, at udbyttet og fosforoptagelsen ikke til nu er påvirket på lerjorden, hvorimod der på sandjorden har været en nedgang i udbytte og fosforoptagelse.

Udeladelse af fosfortilførsel vil bevirke, at indholdet af uorganisk fosfor falder med tiden, hvorimod indholdet af organisk fosfor vil være næsten upåvirket, i det mindste over en 5-års periode (Nielsen & Eiland, 1980) (fig. 18).

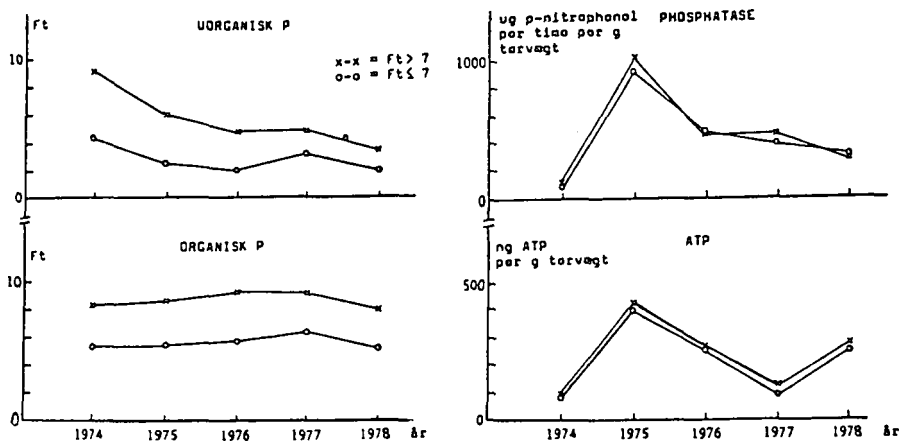


Fig. 18. Indhold i jord af uorganisk og organisk fosfor, phosphatase-aktivitet og ATP-indhold under en periode med udeladelse af fosfor-tilførsel (Nielsen & Eiland, 1980)

Effekten af fosforgødskning på jordens fosforsyretil (Ft), ATP-indhold og phosphatase-aktivitet i jorden er undersøgt af bl.a. Khan (1970), Laugesen & Mikkelsen (1973) og Spiers & McGill (1979).

Nielsen & Eiland (1980) fandt, at udeladelse af gødskning med fosfor i det første år efter forsøgets anlæggelse bevirkede en tilvækst i jordens ATP-ind-

hold og phosphatase-aktivitet, hvorefter der observeres et fald i begge parametre de næstfølgende år (fig. 18). Tilvæksten i phosphatase-aktivitet i det første år kan skyldes nedgang i plantetilgængeligt fosfor, da dette ofte er omvendt korreleret med phosphataseaktivitet.

Gødskning med NPK over en længere tidsperiode kan forøge såvel jordens phosphatase-aktivitet, ATP-indhold som fosforsyretal (Lindhard, 1971) (Ft) (Nielsen & Eiland, 1980).

Spratt & McCurdy (1966) viste, at årlig tilførsel af monoammoniumfosfat for en periode af 20 år ingen effekt havde på fosforindholdet i jorden, selv med fosformængder på over 100 kg fosfor pr. ha. Derimod fandt Read et al. (1977) og Bailey et al. (1977), at tilførsel af fosfor i mængder større end 100 kg fosfor pr. ha til hvede ville give større udbytte efter nogle år. Spratt et al. (1980) forklarede dette med et "tie-up" af fosfor i en uopløselig form kort efter tilførsel og derefter en gradvis frigivelse i de efterfølgende dyrkningsår. Kofoed (1979) finder, at kun 10-15% af en fosforgødning optages af afgrøden, det år den tilføres. Resten danner reserver i jorden, som delvis vil være til rådighed de følgende år.

Mængden af plantetilgængeligt fosfor til stede i jorden vil utvivlsomt have indflydelse på, om der kan opnås merudbytte ved tilførsel af fosforgødninger.

I tilknytning til de langvarige gødningsforsøg er det fundet, at fosforgødning samt alle kombinationer af uorganiske gødninger, hvor fosfor indgår, vil bevirke en forøgelse af jordens fosforsyretal (Lindhard, 1971, Hooker et al., 1983). Dette er gældende for såvel ler- som sandjord.

Kvælstofgødning kunne nedsætte fosforsyretallet en smule på lerjorden, og kaliumgødning kunne nedsætte det på såvel ler- som sandjord. Lindhard (1971) fandt at fosforsyretallet på lerjord var 5,2 efter tilførsel af "IP" gennem 20 år. Tilførsel af "IK", "IN" eller andre kombinationer af kvælstof og kalium gav et fosforsyretal på 1,9-2,3.

Tilsvarende værdier for sandjord var 7,6 efter tilførsel af "IP", men kun Ft værdier mellem 5,5 og 6,2 ved tilførsel af kvælstof- eller kaliumgødninger.

Undersøgelser med hensyn til de organiske gødninger har ved Askov forsøgsstation over husdyrgødnings indhold af plantenæringsstoffer vist følgende gennemsnitlige fosformængde pr. ton gødning (Larsen, 1981):

<u>Fast gødning</u>	<u>Gylle</u>
Kvæg 2,4 kg P/t	Kvæg 0,6 kg P/t
Svin 3,4 - -/-	Svin 1,6 - -/-

Husdyrgødning indeholder fra 70-80% af fosforforbindelserne i uorganisk form, resten i organisk (Gerritse, 1977, Larsen, 1981). Tilbageholdelse af uorganisk fosfor i jorden bestemmes af jordens adsorptionsegenskaber, som primært afhænger af jordens indhold af organisk stof, aluminium og jern samt specifikt overfladeareal og pH. Specielt lavt indhold af aluminium og organisk stof betyder en lav adsorptionskapacitet for uorganisk fosfor (Gerritse, 1977).

Generelt vil en øget gødskning med organisk gødning enten i form af fast staldgødning eller gylle bevirke en stigning i såvel jordens totale fosformængde som i den tilgængelige fosformængde (Cottenie & Maela, 1977, Mc. Allister, 1977, Boschi et al., 1977, Kofoed, 1980a, Eiland, 1981b).

Optagelsesprocenten, dvs. forholdet mellem tilført og optaget fosfor i afgrøden, formindskes ved stigende gødningstilførsel (Kofoed, 1980a), og selv med tilførsel af kun 25 t gylle/ha vil der under danske forhold være en positiv næringsstofbalance (tabel 37).

Tabel 37. Tilførsel og bortførsel af fosfor med gylle i en 4-års periode. Askov, 1971-76 (Kofoed, 1980a)

	t gylle tilført hvert år		
	25	50	100
	kg P/ha		
Tilført med gylle i alt i 4 år	80	160	321
Bortført med afgrøde i alt i 4 år	64	76	87
Tilført - bortført i alt i 4 år	16	84	234

Sammenlignes gylle fra svin og kvæg, vil svinegylle bevirke en større fosforkoncentration i jorden end kvæggylle på grund af svinegyllens større indhold af fosfor.

Stigende mængder af såvel handelsgødning som husdyrgødning kan således bevirke en forøgelse af F_t , men for samme tilførte mængde af næringsstoffer vil stigningen være signifikant større i de handelsgødede parceller (Lindhard, 1971, Eiland, 1981b) (fig. 19).

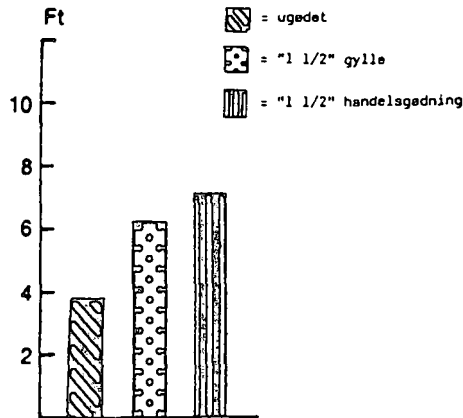


Fig. 19 Sammenligning af gylles og handelsgødningens effekt på jordens fosforsyretal. B2-mark Askov. (Eiland, 1981b)

V.4.4. Jordens kaliumindhold

En forøget tilførsel af organisk gødning kan føre til et højere kaliumtal (Kt) i jorden (Boschi et al. 1977; Cottenie & Maela, 1977; Kofoed, 1980a, Quakenbush & Wilson, 1981). Størrelsen af tilvæksten vil være afhængig af jordens indhold af kalium før gødsning. Såvel mængden af ombytteligt som opløseligt kalium i jorden kan øges med gødskningen (Boschi et al. 1977).

Tilvæksten i kaliumtal i jorden kan observeres på såvel sand- som lerjord. Modsat hvad der gælder for næringsstofferne kvælstof og fosfor, vil tilførsel af 25 t gylle/ha bevirke en negativ næringsstofbalance mht. kalium (tabel 38) (Kofoed, 1980a). Balancen vil dog være positiv ved tilførsel af 50 og 100 t gylle/ha/år.

Tabel 38. Tilførsel og bortførsel af kalium med gylle i en 4-års periode, 1973-76, Askov (Kofoed, 1980a)

	t gylle tilført hvert år		
	25	50	100
	kg K/ha		
Tilført med gylle i alt i 4 år	375	751	1502
Bortført med afgrøde i alt i 4 år	450	573	757
Tilført - bortført i alt i 4 år	-75	178	745

Ved jorder under markmøddinger kan der være tale om en stærk nedvaskning af kalium. På lerjorder er observeret en stigning i kaliumtallet på 80 enheder og på sandjorden op til 137 enheder (Meincke, 1979).

Sammenlignes virkningen af gylle fra svin og kvæg, vil den største virkning på jordens kaliumindhold opnås ved benyttelse af kvæggylle (McAllister, 1977), hvilket skyldes kvæggylles større indhold af kalium (Kofoed, 1979) (kvæggylle 0,40% K i foreliggende stof, svinegylle 0,27% K). Derimod indeholder staldgødning fra svin mere kalium end staldgødning fra kvæg (kvæg: 0,30% i foreliggende stof, svin: 0,41%). Anvendes lige store mængder fast staldgødning fra kvæg og svin, vil man derfor forvente, at gødningen fra svin kan medvirke til større kaliumtal i jorden end gødningen fra kvæg.

Forskellige kombinationer af kaliumholdige handelsgødninger vil kunne forøge jordens kaliumtal (Lindhard, 1971). Dette gælder både på lerjord og sandjord. Ensidig kvælstoftilførsel kan nedsætte kaliumtallet lidt (tabel 67), og det samme kan rene fosforgødninger. Tilførsel af handelsgødninger indeholdende såvel kvælstof, kalium og fosfor vil dog forøge kaliumtallet; men stigningen vil være mindre, end hvis kalium blev tilført (tabel 39).

Tabel 39 Indflydelse af kvælstof-, fosfor- og kaliumtilførsel på jordens kaliumtal (Kt) (Lindhard, 1971)

	ugødet	1 N	1 P	Lermark				
				1 K	1 NP	1 NK	1 PK	1 NPK
1949	4,1	3,7	3,1	14,4	3,9	8,0	8,0	6,1
1953	2,9	3,0	2,4	13,3	2,4	7,7	6,1	4,8
1957	2,5	2,2	1,8	11,7	1,9	6,1	4,9	4,1
1961	2,8	2,5	2,0	14,3	2,2	7,9	6,1	4,8
1965	2,8	2,8	1,9	11,7	2,1	8,9	5,9	4,7
1969	3,6	3,5	2,5	13,1	2,4	9,0	6,4	4,6
				Sandmark				
1949	2,2	2,3	2,5	9,7	2,6	7,1	9,2	7,5
1953	1,7	1,7	2,0	7,7	2,0	4,3	6,9	5,5
1957	1,7	1,2	1,5	7,5	1,4	4,9	6,3	4,6
1961	3,5	1,8	1,9	7,7	2,1	6,2	8,0	6,2
1965	2,6	2,2	2,4	7,2	2,0	4,8	6,2	5,4
1969	2,1	1,7	2,4	6,9	2,3	5,4	6,9	6,5

I danske forsøg er handelsgødning fundet at øge jordens kaliumtal signifikant mere end staldgødning (Lindhard, 1971; Eiland, 1980).

Derimod er der i langvarige svenske forsøg med forskellige organiske og uorganiske gødninger ikke fundet nogen variation i jordens kaliumindhold uanset gødningstype (Pettersson et al., 1979).

V.4.5. Jordens indhold af natrium, magnesium, kalk og svovl

Forandringer i jordens indhold af natrium, magnesium og kalk er observeret ved stigende tilførsel af staldgødning i såvel sand- som lerjord (Cottenie & Maela, 1977; Kofoed, 1980a).

I alle tilfælde bevirkede staldgødningstilførsel en tilvækst i ekstraherbare ioner, størst tilvækst for natrium og i mindre omfang for magnesium (Quakenbush & Wilson, 1981).

Analyser af jordprøver udtaget i pløjelaget viser generelt, at sulfatindholdet ikke er påvirket af mængden eller arten af gødning benyttet (Jensen, 1963). Selv om organisk materiale som staldgødning og halm kan øge den totale svovlmængde, vil selv store mængder af organisk eller uorganisk gødning ikke have nævneværdig indflydelse. Kun når humusindholdet øges over en længere tidsperiode, vil svovlindholdet i jorden påvirkes (Jensen, 1963).

V.4.6 Cadmium i jord

Gødskningens indflydelse på jordens cadmiumindhold har generelt været lille, hvilket er vist i et 80-årigt forsøg fra Askov forsøgsstation (tabel 40) (Kofoed & Klausen, 1983).

I prøver fra sandjord er der dog observeret et forøget cadmiumindhold i jorder tilført $1\frac{1}{2}$ gange normal mængde NPK gødning sammenlignet med ugødet jord. Kun i jordprøver udtaget fra pløjelaget er der observeret en signifikant forskel. I betragtning af, at handelsgødning i gennemsnit tilfører 4 gange så meget cadmium som staldgødning (Kofoed & Klausen, 1983), har forskellen dog været ringe. Den gennemsnitlige stigning i cadmiumindhold i jorden ved tilførsel af NPK har været ca. 0,03 ppm cadmium på lerjord og 0,04 ppm cadmium på sandjord. Omregnet svarer det til ca. 75 g cadmium/ha (= berigelse på 1 g cadmium/ha/år). Tilsvarende forsøg er udført i udlandet, hvor den største "cadmiumberigelse" er fundet at være i størrelsesordenen ca. 7-8 g cadmium/ha/år. Dette er fundet i Gembloux i Belgien efter gødskning med PK + Ca og NPK + Ca samt i Weißenstephan, Tyskland, efter gødskning med NPK + halm (Kofoed & Klausen, 1983). Ved Halle, DDR, er der derimod fundet større "cadmiumberigelse" ved gødskning med staldgødning end med NPK.

Tabel 40. Gødskningens indflydelse på jordens cadmiumindhold i forskellig jorddybde. Ppm Cd i tør jord, gns. ler- + sandjord, 1976 (Kofoed & Klausen, 1983)

	Cm dybde			
	0-25	25-50	50-75	75-100
Ugødet	0,16	0,06	0,05	0,06
Husdyrgødet	0,17	0,05	0,05	0,05
Handelsgødet:				
NPK	0,24	0,05	0,05	0,05
NP	0,19	0,06	0,05	0,05
PK	0,18	0,06	0,06	0,05
NK	0,19	0,06	0,05	0,05
P	0,20	0,08	0,05	0,05

V.4.7. Kvælstof i jord

V.4.7.1 Totalkvælstof

Organisk gødning

Mængden af kvælstof i jorden kan øges markant med tilførsel af organiske gødninger over en længere årrække (Boschi et al., 1977; Kofoed, 1980a). Kvælstofindholdet vil som oftest være af samme størrelsesorden i parceller tilført fast staldgødning som i parceller tilført tilsvarende mængder af gylle (Eiland, 1981b) (fig. 20). Kofoed (1971) sammenlignede virkningen af tørret staldgødning, halm, tørv og savsmuld på jordens kvælstofindhold og fandt, at tørret staldgødning gav den største tilvækst i kvælstofindholdet i jorden.

Boschi et al. (1977) og Kofoed (1980a) opskrev en næringsstofbalance for kvælstof ved stigende mængder af gylle til jord (tabel 41).

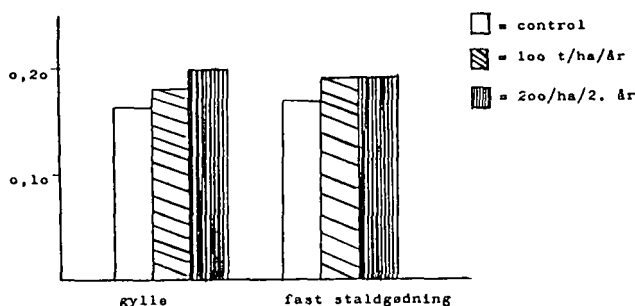


Fig 20. Procent totalkvælstof i jord ved tilførsel af gylle og fast staldgødning (Eiland, 1981b).

Forholdet mellem afgrødernes forbrug af kvælstof og mængden af kvælstof tilført bliver mindre, når gyllemængden øges. Dette betyder, at planterne og de øverste jordlag (0-40 cm dybde) kun kan optage en begrænset mængde kvælstof, og et eventuelt kvælstofoverskud vil "tabes" ved udvaskning til dybere-liggende jordlag og drænvand eller via luftformige forbindelser til atmosfæren. Kofoed (1980a) konkluderede, at gyllemængder på 30-40 t/ha/år (lidt mindre for svinegylle) eller tilsvarende større mængder fordelt med års mellemrum normalt vil være en acceptabel anvendt mængde, dog under hensyntagen til de enkelte afgrøder.

Sammenligning af handelsgødning og staldgødning

Kvælstofindholdet vil være næsten konstant på bevoksede jorder, som har ligget ugødet hen i længere perioder. Kofoed (1971) fandt således, at kvælstofindholdet i ugødede parceller kun varierede mellem 0,10 og 0,12% i perioden fra 1923 til 1969 (fig. 21). Handelsgødning vil bevirke et større indhold af totalkvælstof i jorden end ugødede parceller. Mængden af handelsgødning har dog ikke den store indflydelse på jordens kvælstofprocent. "1" handelsgødning (normal gødningsmængde) vil således give samme kvælstofprocent i jorden som "1½" (1½ gange normal mængde) (Kofoed, 1971).

Staldgødning med samme næringsstofmængde som handelsgødning vil bevirke en højere kvælstofprocent i jorden end handelsgødning (fig. 21). Øgning af mængden af staldgødning fra "1" til "1½" normal mængde vil bevirke en stigning i kvælstofprocenten i jorden fra 0,13 til knap 0,15% (Kofoed, 1971).

Tabel 41. Tilførsel og bortførsel af kvælstof med gylle i en 4-års periode. 1973-76 Askov (Kofoed, 1980a)

	T gylle tilført hvert år		
	25	50	100
	kg N/ha		
Tilført med gylle i alt i 4 år	454	907	1814
Bortført med afgrøde i alt i 4 år	366	476	629
Tilført - bortført i alt i 4 år	88	431	1185

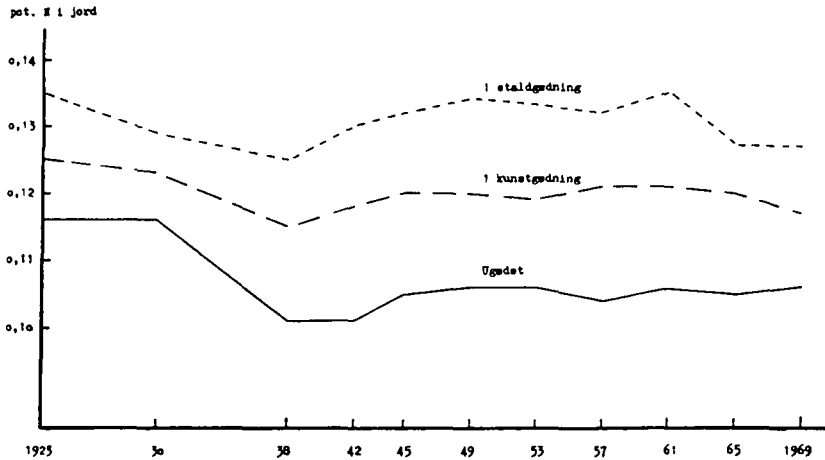


Fig. 21. Indflydelse af staldgødning og handelsgødning på jordens kvælstofindhold. Langvarige gødningsforsøg - Askov lermark (Kofoed, 1971)

V.4.7.2 Uorganisk kvælstof

V.4.7.2.1 Nitratnedvaskning fra planternes rodzone

Nedvaskning af kvælstof fra planternes rodzone skyldes næsten udelukkende et tab af nitratkvælstof, idet nitrat er den eneste form for plantenæringsstof, som er helt mobilt i jord. Det følger praktisk talt bevægelser af jordvæsken og bindes ikke til jordkolloider.

Transporten kan foregå ved 2 processer:

- 1) Masseafstrømning, hvor nitrat transporteres af det strømmende jordvand. Dette er almindeligt ved nitrattransport over store afstande.
- 2) Diffusion, forårsaget af koncentrationsforskelle i jordvandet.

Af omgivelsesmæssige problemer kan nitratnedvaskning bevirke:

- 1) Forøget nitratkoncentration i overfladevand, søer og afløb, hvilket kan bevirke eutroficerings.
- 2) Tilstedeværelse af nitrat i drikkevandsreservoirer i undergrunden.

Om nitrat nedvaskes til dybereliggende jordlag, vil afhænge af:

1. Jordtypen

På en lerjord vil nitrat kun i ringe udstrækning nedvaskes til dybereliggende jordlag, hvorimod risikoen for nedvaskning på sandjord vil være større (Ben-netzen, 1978; Lyngstad, 1979), pga. sandjordens større porer og hydrauliske ledningsevne samt mindre markkapacitet. På lerjord med dybtliggende grundvand kan kvælstofnedvaskning følges til 3-4 m dybde, men når sjældent ned i grundvandet (Hansen, 1977), antagelig pga. denitrifikation og kemisk nitratreduktion. På sandjord kan kvælstof nedvaskes til grundvandet i 2-3 m dybde (Hansen, 1977) (fig. 22). Kofoed & Kjellerup (1970) fandt, at der skal ca. dobbelt så meget nedbør til for at nedvaske halvdelen af tilført nitratkvælstof under 80 cm dybde i Askov lermark som i Lundgårdjorden (sandjord), og for Askov sandmark ca. 1,5 gange så meget (tabel 42).

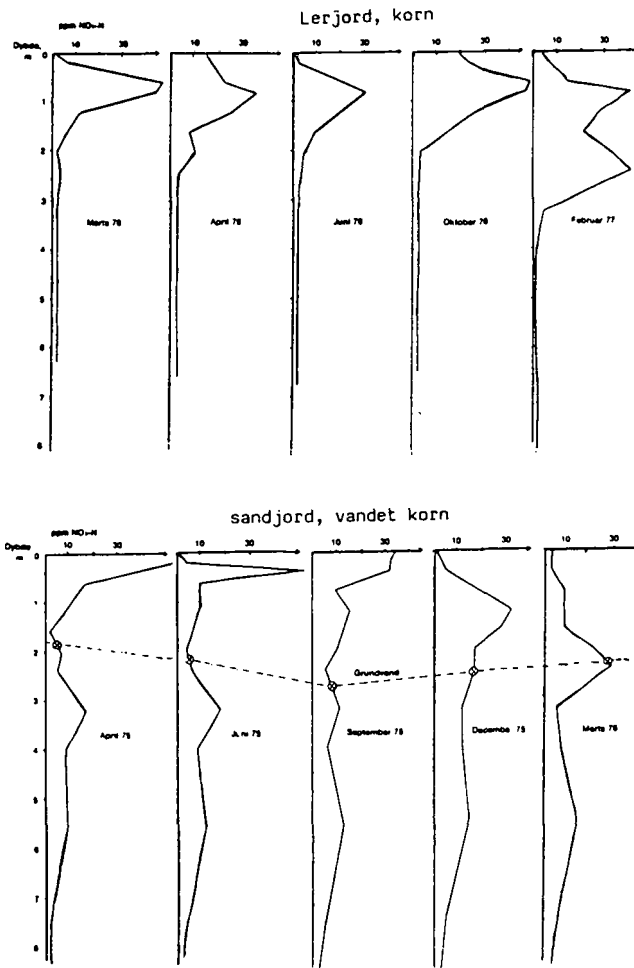


Fig. 22. Nitratkoncentration i jordvandet i forskellige dybder. (Hansen, 1977).

Tabel 42. Mm vand tilført for udvaskning af 50% af tilført nitratkvælstof (Kofoed & Kjellerup, 1970)

	Askov lermark	Askov sandmark	Lundgård
Dybde i cm			
0-20	79	71	72
0-100	246	200	160
Diff. = 80 cm	167	129	88
mm vand pr. cm	2,1	1,5	1,1

2. Nedbør

Tørke eller for dårligt fordelt nedbør kan hæmme plantevæksten og dermed kvælstofoptagelsen, hvorved nitrat kan akkumuleres i jorden (Lyngstad, 1979; Simmelsgaard, 1980) (tabel 74) med senere fare for udvaskning. Lyngstad (1979) fandt et mere end dobbelt så stort nitratindehold i jorden ved høst i det tørre år 1976 (52 kg NO₃-N/ha) end i årene 1973, 1974, 1975 og 1977 (ca. 15-26 kg NO₃-N/ha).

I de tørre år 1975/76 i Danmark var der fra uvandet græs på sandjord ved Jyndevad en stor udvaskning af nitrat (gennemsnitligt 117 kg/ha/år i de 2 år) på trods af en ringe afstrømning (Simmelsgaard, 1980). Dette skyldes, at græsset ikke kunne udnytte den tilførte kvælstofmængde, hvilket bevirkede, at den høstede kvælstofmængde var lav, men restmængden i jorden tilsvarende stor.

3. Afstrømning

Nedadgående bevægelse og stoftransport finder som hovedregel først sted, efter at jorden er opfugtet til markkapacitet (den maksimale vandmængde en jord kan indeholde, når afdræning er ophørt). Markkapaciteten er 15 vol.% eller mindre på sandjord og op til 40% eller mere på lerjord. På grund af den mindre markkapacitet vil den samme nettonedbør kunne udvaske en større mængde nitrat på sandjord end på lerjord.

På lerjord er afstrømningen til grundvandet nogenlunde konstant året rundt; resten af overskudsnedbøren afstrømmer som drænvand. På sandjord vil ofte hele nettonedbøren (= nedbør - fordampning) hurtigt strømme til grundvandet.

Stigende afstrømning vil, alt andet lige, medføre et stigende udvaskningstab (til dræn og/eller dybereliggende jordlag). Dette er fundet 77/78 fra uvandet byg på sandjord ved Jyndeved, 1979/80 fra byg på lerjord ved Åbenrå og ved kløvergræs på fin sandjord ved Agervig (Hansen, 1983). Bennetzen (1978) og Jensen (1980) fandt ved forsøg og modelberegninger, at en nettonedbør af ca. samme størrelse som markkapacitet kan udvaske ca. 50% af nitratmængden i en jordprofil.

4. Afgrødevalg

Risikoen for nedvaskning af nitrat vil være betydeligt større i tidsperioden, hvor planterne ikke er i vækst; specielt på ubevokset mark (Hansen, 1977; Bennetzen, 1978; Lyngstad, 1979). Ved moderate kvælstofmængder vil der efter høst kun være små nitratmængder i jorden (Lyngstad, 1979, Hvelplund & Østergård, 1980). Ekstremt store kvælstofmængder kan dog bevirke et forøget nitratindhold i jorden. Lyngstad (1979) fandt efter kornhøst 11-20 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ i jorden ved tilførsel af op til 150 kg N/ha. Tilførsel af 200-300 N/ha bevirkede en restmængde på op til 54 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$.

Nitratnedvaskningen er væsentlig større efter kornafgrøder end efter græs-afgrøder (Hansen, 1977; Bennetzen, 1978), hvilket for en stor del skyldes mineralisering af rod og stub efter kornhøsten.

Betydningen af afgrødevalg, efterafgrøder og jordbehandling for kvælstofudvaskningen er omtalt af Høg (1986), hvorfor emnet ikke yderligere omtales her.

5. Gødningstilførsel (nitratkoncentration i jord)

Normalt findes den højeste nitratkoncentration i de øverste jordlag om foråret efter gødningstilførsel, og når temperaturen er tilstrækkelig høj for mineralisering (april-juni) samt i efterårsperioden efter høst, hvor mineraliseringen fortsætter, mens der ikke er afgrøder til at optage det frigivne nitrat.

En væsentlig del af nitratudvaskningen sker i efterårs- og vintermånederne. Cleemput & Baert (1980) fandt i markforsøg på sandjord med ^{15}N , der blev tilført jorden som $^{15}\text{KNO}_3$ i november (20 kg kvælstof/ha), at efter kun 2 måneder var det meste nedvasket til 75-100 cm dybde.

Generelt vil en øgning i kvælstofgødskningen bevirke en øgning i kvælstofnedvaskningen (enten fundet i drænvand eller i jordprofilen) i efterfølgende efterårs- og vinterperiode(r) (Ludwick et al., 1976; Wiklander, 1977; Wiklan-

der et al., 1979; Lyngstad, 1979); gødning tilført om efteråret vil for en stor del findes neden for planternes rodzone næstfølgende forår (James, 1978). Wiklander et al. (1979) udførte et forsøg, hvor der i årene 1973/74 og 74/75 blev udtaget jordprøver til 100 cm dybde i parceller tilført 0, 300 og 600 kg kvælstof/ha som kalksalpeter til græs. Samme efterår blev der kun ved parceller tilført 600 kg kvælstof/ha fundet nitratmængder af betydning i 0-100 cm dybde. Denne nitratmængde var imidlertid forsvundet fra denne dybde næste forår pga. binding, udvaskning og denitrifikation, i en tilsvarende mark, hvor græsset var nedpløjet i august, var der kun ringe nitratmængder i de øverste dele af jordprofilen. Kvælstofmængden øgedes om vinteren, specielt i parceller tilført 600 kg kvælstof/ha pga. mineralisering af kvælstof bundet i organisk stof. Tilvæksten i nitratkvælstof var i gennemsnit for profilen som et hele tilført 0, 300 og 600 kg kvælstof/ha henholdsvis 17, 29 og 48 kg kvælstof/ha.

På lerjorder vil den øgede nitratmængde i jorden hovedsageligt findes i de øverste jordlag (0-90 cm) (Lyngstad, 1979).

V.4.7.2.2. Sammenligning af forskellige uorganiske gødninger

Risikoen for kvælstofnedvaskning i jorden er betydeligt større ved anvendelse af nitratholdige end ammoniumholdige kvælstofgødninger (Kofoed & Kjellerup, 1970; Lindhard, 1975; James, 1978; Simmelsgaard, 1980; Bauder & Montgomery, 1979, 1980).

Kofoed & Kjellerup (1970) sammenlignede de 4 uorganiske gødninger; kalkammonsalpeter, ammoniakvand, kalksalpeter og urea på såvel ler- som sandjord og bevokset samt ubevokset mark. De fandt, at en nedbørsmængde på over 75 mm ville bevirke, at pløjelaget var næsten helt nitratfrit på den ubevoksede salpetergødede sandjord, hvorimod nedvaskningen i de ammoniumgødede led skete senere end i de salpetergødede led, og selv ved en nedbørsmængde større end 170 mm blev der fundet forholdsvis meget kvælstof i pløjelaget.

En tilsvarende nedvaskning blev observeret på det bevoksede areal, men kun de første 5 uger efter tilførsel, hvorefter planterne begyndte at optage det tilstedeværende kvælstof.

På lerjorder blev der derimod ikke observeret nogen forskel på nedvaskningens størrelse på de salpeter- og ammoniumgødede arealer, hvilket kan skyldes, at nitrifikationen er forløbet hurtigere på lerjorden. Nedvaskningen var generelt betydeligt mindre på lerjorden end på sandjorden.

Tilsvarende forsøg er udført i udlandet (Dancer, 1975; James, 1978; Bauder & Montgomery, 1979; Linden, 1981). James (1978) fandt således, at efterårs-gødskning med samme mængde af henholdsvis calciumnitrat og ammoniumsulfat resulterede i, at relativt mere nitratkvælstof var til stede i de øverste jordlag næstfølgende forår ved den ammoniumholdige gødning, hvorimod mere var i dybere jordlag ved den nitratholdige gødning (fig. 23). Dette var tydeligst på den tungere jordtype. Ved den lettere jordtype var mere nitratkvælstof fra begge gødningstyper til stede i dybereliggende jordlag.

Dancer (1975) fulgte fordelingen af uorganisk kvælstof, 19, 27 og 33 dage efter gødskning med ammoniumsulfat og natriumnitrat. Når nedbørsforholdene var ringe, ville det meste kvælstof være i de øverste jordlag, hvorimod en del kvælstof specielt ved parceller tilført nitrat kunne nedvaskes under 70 cm dybde i jordprofilen ved rigelig nedbør (118 mm på 33 dage). Under sådanne forhold vil delt gødskning måske være en brugbar metode til begræsning af kvælstoftab.

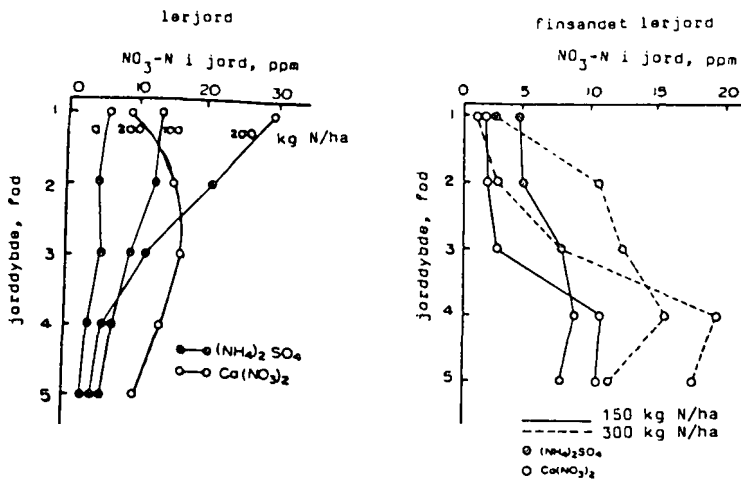


Fig. 23. Nitrat-N fordeling i en jordprofil forår 1972 relateret til gødningsform og -mængde tilført efterår 1971. Gødning bredsået, nedharvet (James, 1978).

Bauder & Montgomery (1979, 1980) fandt, at med hensyn til nedvaskning af nitratkvælstof i jord og udvaskning til dræn i en veldrænet finsandet lerjord i vinterperioden fordelte de uorganiske gødninger sig:

Urea < ammoniumsulfat < calciumnitrat. En forklaring på, at specielt urea gav begrænset udvaskning af nitratkvælstof kan være, at der fra denne gødningsform er sket en stor ammoniakfordampning. Til underbyggelse heraf fandt James (1978), at specielt de ammoniumholdige gødninger burde nedharves for at undgå kvælstoftab.

V.4.7.2.3. Organiske gødninger

I landbrug med store husdyrhold i forhold til jordtilliggende er problemet, at mængden af husdyrgødning ikke kan anvendes alene til rodfrugter, som ellers pga. den længere vækstperiode bedre end øvrige afgrøder er i stand til at optage næringsstofferne fra husdyrgødning. "Overskydende" gødning fra husdyrhold må da anvendes til græsmarker og f.eks. majs, som i nogen udstrækning anvendes til grovfoder i stedet for roer.

Der kan ved udbringning af store mængder staldgødning være fare for overbelastning af jorden med næringsstoffer, specielt nitrat.

I forbindelse med udbringning af staldgødning på jorden vil spørgsmålet være, hvor store mængder husdyrgødning, der kan anvendes, hvor der på den ene side ønskes et rimeligt udbytte og på den anden side ønskes at nedbringe forureningsfaren.

Ved anvendelse af store gødningsmængder (100 t gylle er det specielt grovfoderafgrøder, der giver merudbytte (Kofoed, 1980a, 1981; Nemming, 1977). Belastning af jorden med stigende mængder husdyrgødning er undersøgt på Askov forsøgsstation på såvel lerjord (Askov) som sandjord (Lundgård) i både mark- og lysimeterforsøg. Forsøgene er gennemført i et 4-marks sædskifte med roer, byg, rajgræs og byg (Nemming, 1977; Kofoed, 1980, 81, 83a; Larsen & Kofoed, 1983) (tabel 43, fig. 24).

For samme årlige tilførsel (t/ha) vil gylle i forhold til fast staldgødning give større udbytte og indhold af uorganisk kvælstof i jorden (Lindhard, 1971). Beregnes udbyttet imidlertid for samme ammoniumkvælstofmængde, vil udbyttet være næsten ens. Gødningstilførsel hvert år vil normalt give større udbytte end tilsvarende større mængde tilført hvert 2. eller 4. år.

På grundlag af analyser og jordprøver udtaget ned til 2 m dybde med 25 cm intervaller i december/januar, er der efter tilførsel af 25 t gylle/ha/år efter det 6. år fundet en mindre stigning i koncentrationen af nitratkvælstof i Askov lerjord i 75 cm dybde. Efter 50 t gylle/ha/år fandtes stigningen ned til 100 cm dybde og ved anvendelse af 100 t/ha/år ned til 150 cm dybde (Kofoed, 1980a).

Tilførslen af kvælstof med husdyrgødning har i markforsøgene for alle de tilførte mængder været større end bortførslen med afgrøden (tabel 43). Hvor der i gennemsnit til et sædskifte er anvendt 120 kg kvælstof/ha/år i handelsgødning, er der balance mellem tilført og bortført kvælstof, mens der er 93 kg kvælstof/ha i overskud efter tilførsel af 50 t gylle/ha/år og 267 kg kvælstof/ha i overskud efter tilførsel af 100 t gylle/ha/år (Larsen & Kofoed, 1983).

Tabel 43. Belastning af jorden med stigende mængder kvæggylle. Udbytte og kvælstofbalance. Markforsøg på grov sandblandet lerjord (JB5). 1973-80 (Larsen & Kofoed, 1983)

	NPK i handelsgødning, kg N/ha/år			Gylle, t/ha/år		
	$\frac{1}{2}$	1	2	25	50	100
Udbytte, a.e./ha						
Roer	104	122	139	94	106	124
Byg	42	53	52	49	59	57
Græs	37	55	69	37	49	66
Gns. af 8 år	56	71	78	57	68	76
Kvælstofbalance, kgN/ha/år						
Gns. tilført	60	120	240	113	226	452
Roer, optaget	152	199	266	142	179	234
Byg, optaget	56	79	11	69	105	133
Græs, optaget	95	170	275	95	143	200
Gns. af 8 år, optaget	90	132	191	94	133	175
Gns. tilført-optaget	-30	-12	49	19	93	277

* IN er 80 kgN/ha til byg og 160 kgN/ha til græs og roer

Sædskifte: 1. og 5. forsøgsår roer
2., 4., 6. og 8. forsøgsår byg
3. og 7. forsøgsår græs

Ved tilførsel af store mængder gylle (over 400 t/ha) kan der i forbindelse med de reducerede iltforhold i jorden, hvilket forhindrer nitrifikation i adskillige uger, akkumuleres nitrat helt op til omkring 200 kg N/ha i jordprofilen (0-80 cm) gennem sommer og efterår (Burford et al., 1976). En del af denne nitrat vil imidlertid være udsat for nedvaskning sent på efteråret og vinteren, så den største nitratkoncentration næste forår findes i dybere jordlag.

Larsen & Kofoed (1983) konkluderer, at der ikke under danske forhold bør anvendes mere end 50 t husdyrgødning/ha/år som gennemsnit til et sædskifte ud fra miljømæssige og plantemæssige synspunkter.

Undersøgelser over udvaskning af kvælstof efter anvendelse af store mængder husdyrgødning er gennemført i lysimeterforsøg med lerjord og sandjord.

Anvendelse af husdyrgødning til byg vil medføre ca. dobbelt så stor en udvaskning som anvendelse af handelsgødning (fig. 24). Dette skyldes, at byg efterlader jorden ubevokset en stor del af året. Når temperaturen endnu er så høj, at der kan foregå mineralisering, vil nitrat dannes ud fra det i husdyrgødningen bundne organiske kvælstof.

Roer, som har en lang vækstperiode, vil bevirke en lille udvaskning i størrelsesordenen 20-30 kg kvælstof/ha/år. Kvælstofudvaskningen vil være relativt uafhængig af gødningsformen; husdyrgødning bevirker dog en lidt større udvaskning end handelsgødning.

Ved græs vil selv en fordobling af den normale gødningsmængde i handelsgødning ikke påvirke udvaskningen nævneværdigt. Derimod vil en tilsvarende fordobling i mængden af husdyrgødning bevirke næsten en fordobling i kvælstofudvaskningen, mest markant på sandjord. Husdyrgødning til græs vil selv tilført i normale mængder bevirke en betydeligt større udvaskning end handelsgødning.

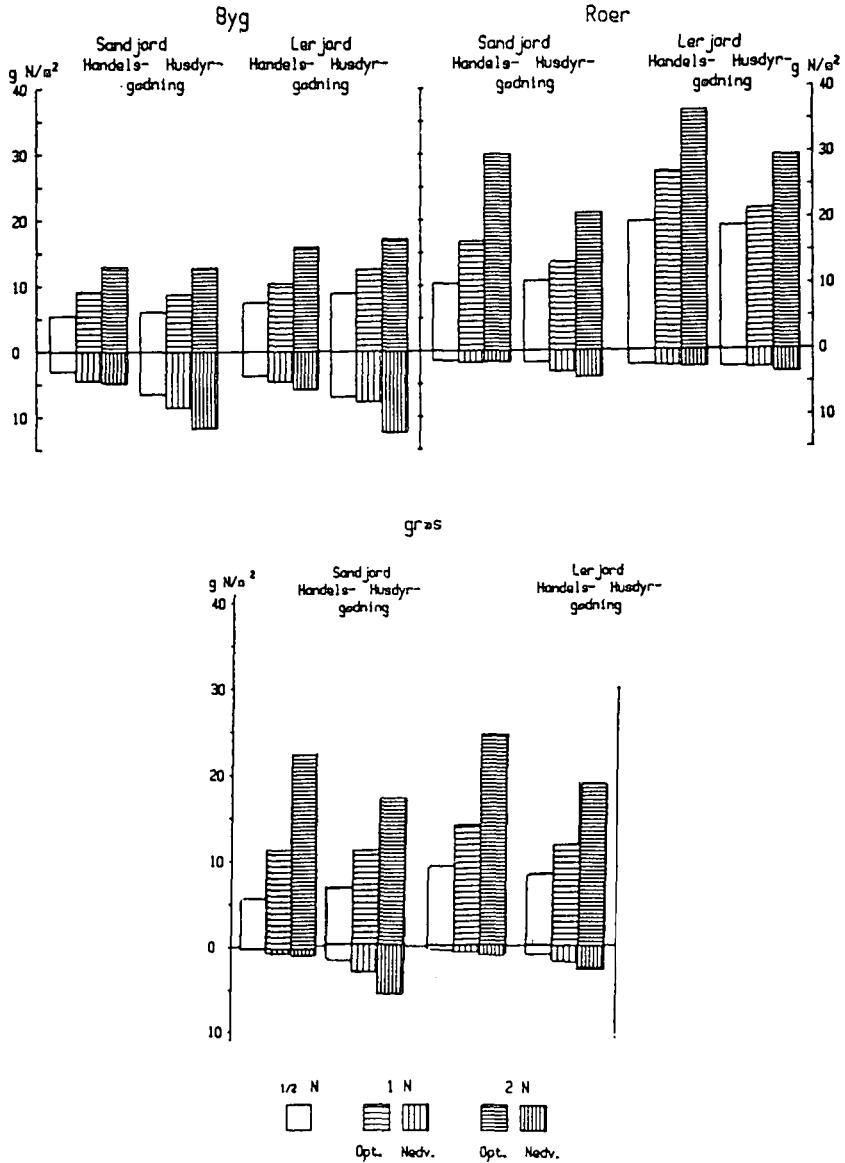


Fig. 24. Kvælstofoptagelse og -udvaskning efter stigende gødningstilførsel på grovsandet jord (JB1) og lerjord (JB7). Lysimeterforsøg. 1N = 5 kg gylle/m² eller 8 g N/m² til byg

1 N = 5 kg gylle/m² eller 16 g N/m² til roer
 = 5 kg staldgødning/m² eller 16 g N/m² til græs

Byg: Gns. 1975, 1977, 1979, 1981

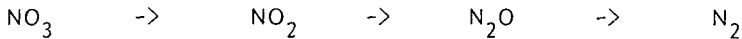
Roer: Gns. 1974, 1978

Græs: Gns. 1976, 1980

(Koføed, 1983a)

V.4.8. Nitratreduktion

Omdannelse af nitrat til frit kvælstof foregår ved følgende ligning:



Processen kan foregå på følgende måder:

1. Biologisk nitratreduktion = denitrifikation = dissimilativ nitratreduktion

"reduktionsmiddel" : fakultativt anaerobe bakterier

Processen foregår hovedsageligt i rodzonen.

2. Kemisk nitratreduktion

"reduktionsmiddel" : ferrojern

Processen foregår hovedsagelig i undergrunden

Denitrifikation og kemisk nitratreduktion er vigtige af to grunde:

- a. Processen/serne betyder et tab af kvælstof (til atmosfæren), som ellers kunne have været tilgængeligt for plantevækst.
- b. Processen/serne kan fjerne et overskud af kvælstof, som ellers kunne være udvasket til underliggende jordlag (evt. grundvand).

V.4.8.1. Denitrifikation

Betingelserne for, at denitrifikation kan foregå, er, at iltspændingen i jorden er lav (vandindhold mere end 2/3 af markkapaciteten (Christensen, 1983), og at der samtidig er tilstedeværelse af nitrat og organisk stof, (Lind, 1980, 83).

Afhængighed af jordtype og jorddybde

Den største denitrifikationskapacitet findes i de øverste 0-20 cm (pløjelaget), og kapaciteten vil normalt falde med dybden i jordprofilen (Lind 1980, 83). Selv under 1 m dybde kan denitrifikation dog finde sted (Dowdell & Webster, 1976; Lind 1983). Jones et al. (1974) undersøgte denitrifikationskapaciteten i pløjelaget (0-17 cm) og fandt den største værdi i de nederste lag og ingen aktivitet i jordoverfladen, sidstnævnte muligvis pga. tilstedeværelse af ilt.

Pløjelaget fra 4 undersøgte lerjorder ved Virumgård, Askov, Roskilde og Ø-dum viste i gennemsnit dobbelt så stor denitrifikationskapacitet som pløjelaget fra 2 sandjorder ved Lundgård og Borris (tabel 44) (Lind, 1980).

Tabel 44. Denitrifikation i jordprofilen (Lind, 1980). Afhængighed af jordens indhold af organisk stof

	Dybde	mg $N_2O-N + N_2-N$ pr. kg tør jord. 30 dage. 25°C
Virumgård	0-20	122
	20-40	41
	40-60	18
Askov	0-23	99
	23-50	16
	10-100	9
Lundgård	0-25	74
	25-55	60
	55-100	3
Borris	0-40	44
	40-90	9
	90-120	6
Roskilde	0-27	116
	27-50	19
	50-80	20
	80-100	6
Ødum	0-40	101
	40-65	19
	65-100	12

Som et mål for nedbrydningen af let omsætteligt organisk stof i jorden er ofte benyttet kuldioxidfrigørelsen (Lind, 1980). Kuldioxid frigivet ved anaerob inkubering viser positiv korrelation til denitrifikationskapaciteten i jorden (Lind, 1980, 83).

Afhængighed af antal denitrificerende bakterier

Ved siden af et behov for nitrat og næringsstof vil denitrifikationsprocessen synes at være afhængig af antallet af denitrificerende bakterier. Sidstnævnte aftager med jorddybden (Lind, 1980), hvilket også er tilfældet med andre grupper af mikroorganismer. Mængden af denitrificerende bakterier er dog normalt ikke begrænsende i almindelig landbrugsjord. Under optimale forhold (dvs. tilstrækkelig nitrat og næringsstoffer, anaerobe forhold) fandt Lind

(1980), at antallet af denitrificerende bakterier kunne udgøre op til 1/10 af den totale bakteriepopulation i jorden.

Afhængighed af temperatur og surhedsgrad

Denitrifikationens pH-optimum er omkring 7. En pH-stigning kan fremme denitrifikationen (Lind, 1983), men pH synes dog ikke at være begrænsende for denitrifikationen i almindelig dansk landbrugsjord. En øgning i jordtemperaturen synes at fremme denitrifikationen. Ryden (1983) fandt en øgning i denitrifikationen med en faktor på 8,5, når jordtemperaturen øgedes fra 5 til 10°C. Lind (1980) fandt en 3-4-dobling af denitrifikationen ved at øge temperaturen fra 10°C til 25°C.

Afhængighed af plantevækst

I umiddelbar nærhed af planterødderne er denitrifikationen ret stor, dels fordi rødderne kan udskille organiske stoffer, og dels fordi de forbruger ilt og dermed skaber anaerobe forhold i umiddelbar nærhed (Lind, 1983). Kvælstoftabet ved denitrifikationen er dog lavt i afgrødernes vækstperiode (byg: maj-august, roer: august) og fremskifter (Christensen, 1983), da afgrøderne vil optage det meste af tilgængeligt nitrat.

Effekt af stigende mængder uorganisk gødning

Denitrifikationshastigheden i ugødede parceller i tidlig forår er af Ryden (1983) fundet kun at være 1/100 af værdien i parceller med alm. rajgræs tilført 250 kg kvælstof/ha og år i form af ammoniumnitrat. Højest denitrifikationshastighed (op til 2 kg kvælstof/ha og dag) blev observeret lige efter tilførsel af gødning (med et vandindhold i jorden på omkring 30%). Mere end 60% af det årlige tab af kvælstof til luftformigt kvælstof forekom i en periode på op til 8 uger efter gødsning (fig. 25). Mængden af dinitrogenoxid frigivet fra jorden (et mål for denitrifikationshastigheden) stiger generelt med øget kvælstofgødsning. (Makarov og Gerashchenko, 1981, Ryden 1983, Christensen 1983).

Ved tilførsel af 0, 250 og 500 kg N/ha/år til græs fandt Ryden (1983) et denitrifikationstab på henholdsvis 1,6, 11,1 og 29,1 kg N/ha.

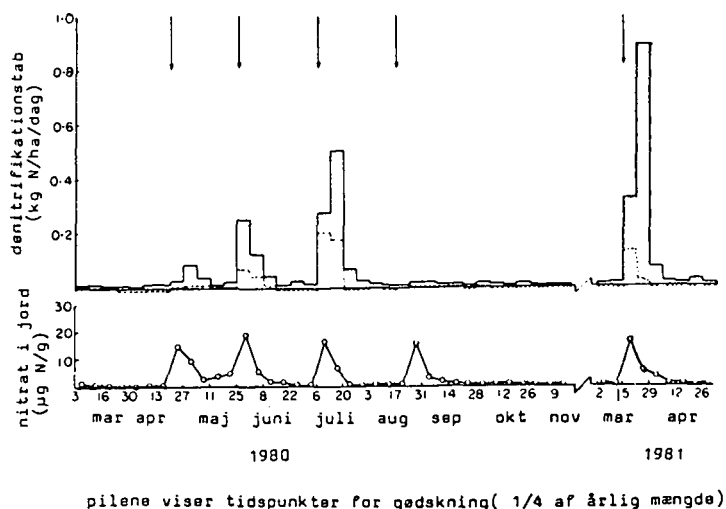


Fig. 25. Ugentlig middel denitrifikationstab, lerjord, græsdaekket. Kvælstof tilført som ammoniumnitrat - 250 kg kvælstof/ha (Ryden 1983)

Makarov og Gerashchenko (1981) fandt i markforsøg på småparceller, at mængden af dinitrogenoxid frigivet fra jorden blev forøget med en faktor 1,5 ved at øge kvælstofmængden fra 60 til 180 kg kvælstof/ha tilført som middel til et sædskifte. Den absolutte mængde af dinitrogenoxid tabt øgedes således med mængden af gødning, men den relative mængde faldt. (Tab af dinitrogenoxid i forhold til kvælstof tilført udgjorde 27% ved 60 kg kvælstof/ha, men kun 17% ved 180 kg kvælstof/ha).

For at sammenligne en kvælstofeffekt på denitrifikationshastigheden er det nødvendigt at kende tidspunktet for måling nøjagtigt, da denitrifikationen er stærkt afhængig af årstiden. Christensen (1983) fandt i forsøg med vårbyg på Roskilde forsøgsstation, at kvælstoftabet efter gødskning med henholdsvis 40 kg ammoniumnitrat/ha og 160 kg ammoniumnitrat/ha var 17 og 28 kg kvælstof/ha i april-maj, men kun 0,3-0,6 kg kvælstof/ha i juli-august. Det meget våde forår i 1983 vil dog nok have givet et højere denitrifikationstab end andre år.

Ligeledes kan der godt være relativt store kvælstofmængder til stede i jorden, men hvis jorden er tilstrækkelig aerob eller temperaturen er lav, vil denitrifikationen ikke kunne foregå. (Dowdell og Webster, 1976).

Effekt af forskellige uorganiske gødninger

Om den uorganiske gødningsform har betydning for størrelsen af denitrifikationsstab er ikke endeligt klarlagt. Et større tab af kvælstof til atmosfæren er observeret ved gødskning med kalksalpeter frem for kalkammonsalpeter eller urea (Marakov og Gerashchenko 1981).

Derimod fandt Kowalenko & Cameron (1978) ingen signifikant forskel på denitrifikationstab uanset om gødningsformen var i nitrat- eller ammoniumform.

Sammenligning af organisk og uorganisk gødning

Den organiske gødning sammenlignet med den uorganiske forventes at kunne opfylde to af de vigtigste betingelser for denitrifikation, nemlig at tilføre jorden organisk stof (og kvælstof) samt at forøge den mikrobielle aktivitet, hvilket hæver iltforbruget og dermed skaber et mere anaerobt miljø i jorden.

Burford et al. (1976) fandt til underbyggelse af dette, at gødskning med gylle op til 550 t/ha bevirkede intensivt reducerede forhold i jorden, samtidig med at jordatmosfæren under gyllelaget indeholdt op til 680 ppm (vv) af dinitrogenoxid. Steenvoorden & Oostenrom (1977) fandt, at betingelserne for denitrifikation var gode, når organisk stof blev tilført jorden.

I sammenligning med uorganiske gødninger vil organiske gødninger derfor ofte give større denitrifikationstab af kvælstof.

I et forsøg med tilførsel af gylle i vinteren 1979/80 og bygdyrkning sommeren 1980 blev det fundet, at tilførsel af henholdsvis 25 t gylle/ha og 100 t gylle/ha bevirkede en koncentration af dinitrogenoxid i jordluften i 150 cm dybde på hhv. 9 og 18 ppm. (Christensen 1980, 83). Et tilsvarende forsøg med handelsgødning viste kun et dinitrogenoxid indhold på 0,5 ppm. Kimble et al. (1972) og Burford et al. (1976) fandt tilsvarende, at selv tilførsel af relativt store mængder handelsgødning (op til mere end 400 kg kvælstof/ha) i sammenligning med organiske gødninger (fast staldgødning og gylle) kun gav begrænset stigning i denitrifikationen.

V.4.8.2. Kemisk nitratreduktion

Christensen (1970a) har fundet, at der rent kemisk kan ske en reduktion af nitrat i jorden, hvor reducerende stoffer, specielt ferro-forbindelser absorberet til jordmineralernes overflader, kan fungere som elektrondonorer og dermed reducere nitrat til dinitrogenoxid eller dinitrogen.

Der foreligger ikke meget litteratur over, hvad der sker med nitrat i undergrunden. Det er observeret, at der sker en fortynding af nitrat i jordvæsken ved passage gennem jordprofilen, og Jurinak & Griffin (1972) har fundet, at der kan ske en mindre nitratadsorption på lerminerale ved udveksling med øvrige anioner bundet til jordminerale. En denitrifikation vil forventes at kunne forekomme, hvis de denitrificerende mikroorganismer er til stede i undergrunden. Ifølge Lind & Petersen (1976a, b) vil en reduktion af nitrat, som er tilstede under rodzonen, imidlertid primært ske kemisk, da antallet af denitrificerende mikroorganismer er meget begrænset i dybere jordlag. I 1976 afsluttedes en række undersøgelser i Danmark, der blev startet med det formål at klarlægge forskellige jordtypers muligheder for at omdanne nitrat nedvasket fra rodzonen til dinitrogen og dinitrogenoxid, før det når grundvandet (Lind & Petersen 1976a, b, Petersen & Lind 1976a, b). Baggrunden for undersøgelserne var, at der fra geologisk side blev påpeget en sammenhæng mellem den geologiske sammensætning af jordlagene over grundvandet og tilstedeværelse af nitrat i grundvandet (Christensen 1970b). Ud fra ophentede boreprofiler fra Herlufmagle (homogen lerjord), Bramminge (inhomogen lerjord) og Skælskør (inhomogen sandjord) blev forskellige jordtypers nitratreducerende kapacitet undersøgt. Jordprofilens samlede muligheder for kemisk nitratreduktion blev vurderet ud fra såvel kemiske forhold (indhold af ferrojern, nitrat- og ammoniumkvælstof), fysiske forhold (jordens tekstur, massefylde, hydraulisk ledningsevne) samt mulighed for anaerob dannelse af dinitrogen og dinitrogenoxid (Lind & Petersen 1976, Petersen & Lind 1976, Lind 1979, 1980b) (fig. 26).

I laboratorieforsøg blev det ud fra målinger af dinitrogenoxid og dinitrogen vist, at jordens ferroioner under anaerobe forhold var i stand til at reducere tilført nitrat til flygtige kvælstofforbindelser. Reduktionen var temperaturafhængig med optimum ved 10°C for dinitrogenoxiddannelse og 25°C for dinitrogendannelse. Reduktionen var stigende med stigende dybde og stigende indhold af ferrojern.

Baseret på både kemiske og fysiske forhold samt nitratreducerende kapacitet blev det fundet, at Herlufmagleprofilen i alle forhold var den mest effektive til kemisk nitratreduktion pga. homogenitet i alle dele af profilen og stort nitratindhold (fig. 26). I en jordtype som denne er der kun ringe risiko for nitratnedvaskning til undergrunden.

Derimod vil der i Brammingeprofilen kunne findes nitrat i det øvre grundvand, da de kemiske og fysiske undersøgelser viste, at indholdet af ferrojern

var lavt, og nitrat kunne nedvaskes i profilen uden at få kontakt med de begrænsende zoner, som er i stand til at reducere nitrat. Store dele af Skælskørprofilen havde kemisk gode muligheder for at reducere nitrat pga. et stort indhold af ferrojern. Reduktionsforsøgene i laboratoriet indicerede imidlertid en lav kapacitet for nitratreduktion i forhold til Herlufmagleprofilen. De fysiske forhold viste utilstrækkelig kontakt mellem den nedvaskede nitrat og den nitratreducerende del af profilen. Samlet konklusion for denne jordprofil var, at forekomst af store mængder nitrat i grundvand er usandsynlig, men at en svag mængde nedvasket nitrat altid kan forekomme.

Hahne et al. (1977) undersøgte mulighederne for nitratedvaskning til undergrunden i markforsøg med majs i monokultur på 3 jordtyper: lerjord (Davidson), finsandet lerjord (Cecil) samt siltjord (Groseclose).

En forøgelse af kvælstofgødskningen fra 168 til 336 kg kvælstof/ha bevirkede for alle jordtyper en forøget akkumulering af nitrat i jordprofilen i de øverste jordlag. I Ceciljorden ville den største akkumulering ske i 60-135 cm dybde, mens størst akkumulering i Groseclosejorden var i de øverste 75 cm. For alle jordtyper var gældende, at nitratmængden, som fandtes i 3 m dybde, var beskeden og ikke afhængig af gødningsmængden. Den potentielle fare for nitratforurening af grundvandet vil være størst ved de højeste kvælstofmængder på Ceciljorden, da en del nitrat her befinder sig nedenfor planternes rodzone.

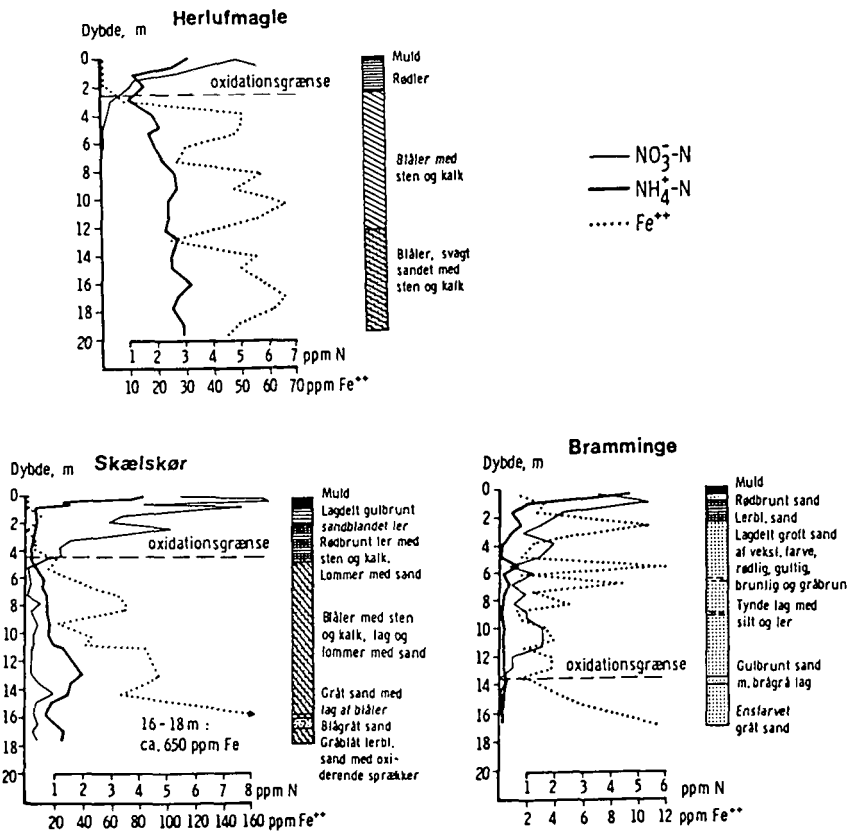


Fig. 26. Boreprofil, der viser variation i nitrat, ammonium og ferrojern med dybden (Lind 1980)

V.4.9 Konklusion/diskussion

De forskellige plantenæringsstoffer kan influere på jordens kemiske tilstand på følgende måder:

Surhedsgraden (pH)

Forskellige uorganiske gødninger som flydende ammoniak og urea vil bevirke en pH-sænkning, hvilket vil kræve øget kalkning. Sammenlignes kvælstof, fosfor og kalium, kan kvælstofgødskning sænke jordens pH lidt, hvilket dog kun vil have betydning over en længere tidsperiode. Fosfor- og kaliumgødninger har derimod ingen effekt på pH.

Danske forsøg viser kun ringe forskel mellem handelsgødning og naturgødning mht. påvirkning af jordens surhedsgrad. I forsøg på sandjord har stigende mængder handelsgødning bevirket et svagt pH-fald, mens stigende mængder naturgødning var uden effekt. På lerjord viste ingen af de to gødningsformer nogen effekt på jordens pH. Nogle udenlandske forsøg viser dog, at naturgødning kan øge pH, mens handelsgødning kan sænke pH.

Jordens fosforindhold (Ft)

Alle uorganiske gødninger, som indeholder fosfor, vil, hvis de gives i stigende mængder, bevirke en stigning i Ft, og ofte en stigning i jordens ATP-indhold og phosphataseaktivitet. Kalium- og kvælstofgødninger kan bevirke et svagt fald i Ft, hvilket dog kun observeres, når undersøgelsen gennemføres over en længere tidsperiode. For kvælstofs vedkommende ses effekten kun på lerjord.

Angående de organiske gødninger vil den gødningsform, som har størst fosforindhold give den største stigning i Ft. Således vil svinegylle give større tilvækst i Ft end kvæggylle, mens fast staldgødning vil give større tilvækst end gylle, når der udregnes for samme mængde gødning tilført (t/ha). Ligeledes vil nedsivning fra staldmøddinger og ensilagetanke kunne bevirke et stort fosforindhold i jord. Sammenlignes handelsgødning og naturgødning med samme fosforindhold, vil handelsgødningen give større Ft end den organiske gødning.

Jordens kaliumindhold (Kt)

Alle kombinationer af uorganiske gødninger, der indeholder kalium, vil øge Kt, hvorimod fosfor- og kvælstofgødninger kan nedsætte Kt lidt, når de tilføres jorden som ensidige gødninger.

Af de organiske gødninger vil svinegylle være dårligere end kvæggylle til at øge jordens kaliumindhold pga. et lavere kaliumindhold. Derimod vil fast svinegødning forventes at øge kaliumindholdet mere end fast kvæggødning, pga. højere kaliumindhold. Specielt i jorder, hvor der har ligget markmøddinger, kan der nedvaskes meget kalium.

Sammenlignes handelsgødning med naturgødning med samme indhold af kalium, vil handelsgødning øge Kt mere end naturgødning.

Jordens cadmiumindhold

Generelt viser jordens cadmiumindhold kun ringe effekt over for stigende tilførsel af såvel handels- som husdyrgødning. Dog er der observeret en lille til-

vækst i jordens cadmiumindhold i sandjorder gødet med NPK, men kun i prøver udtaget i pløjelaget.

Jordens kvælstofindhold

Sammenlignes husdyrgødning og handelsgødning, vil husdyrgødning give et større indhold af totalkvælstof i jord. Kvælstofindholdet i ugødede parceller er lavere end i gødede. Jordens totale kvælstofindhold vil kun begrænset kunne påvirkes af stigende mængder handelsgødning, men vil derimod kunne øges med stigende mængder staldgødning.

Nitrat- og ammoniumkvælstof

Effekten af disse er summeret op i konklusion/diskussionsafsnittet i afsnit VI.4.

Tabet af kvælstof til luftformige kvælstofforbindelser ved kemisk nitratreduktion og denitrifikation øges med gødskningen. Stigningen i denitrifikationsraten er højest ved organiske gødninger (fast staldgødning og gylle) og mindst ved handelsgødninger. At tabet er størst ved de organiske gødninger vil på den ene side være godt af miljøhensyn, da det begrænser nitratudvaskningen til undergrunden, mens det på den anden side vil repræsentere et spild af kvælstof, som ikke kommer afgrøden til gode.

VI. GØDSKNINGENS INDFLYDELSE PÅ VANDKVALITET

En vurdering af plantenæringsstofferne effekt på vandkvaliteten i vandløb og grundvand kan fås ved at se på undersøgelser over drænvands- og grundvandsindhold af plantenæringsstoffer. Nettonedbøren (= nedbør-aktuel fordampning) er den nedbørsmængde, der er til rådighed for afstrømning. Afstrømningen kan ske som:

1. Overfladisk afstrømning

På almindelige danske landbrugsjorder er den ubetydelig. Overjordisk afstrømning med plantenæringsstoffer kan dog forekomme, når husdyrgødning udbringes på jorden uden nedpløjning. Risikoen er specielt stor efter frost eller ved stor nedbør umiddelbart efter udbringning (Kofoed 1981).

2. Underjordisk afstrømning

- a) drænsystemer
- b) dybtliggende grundvand

Hvor stor en del af afstrømningen, der går gennem drænene, afhænger af jordens gennemtrængelighed for vand over og under drænene.

Drænvand omfatter således kun den del af afstrømningen, som strømmer direkte til vandløb eller søer for til sidst at ende i havet. Resten af overskudsnedbøren vil strømme ned gennem jordprofilen og videre til grundvandet. Udvaskningstallene for drænvandsundersøgelser vil derfor normalt være mindre end udvaskningstab fra lysimeterforsøg, da sidstnævnte omfatter hele den afstrømmende vandmængde.

VI.1. Drænvandsundersøgelser

VI.1.1. Årlig udvaskning til dræn

Siden 1971 er der i Danmark gennemført systematiske undersøgelser over drænvandsmængde og -kvalitet (Hansen & Pedersen 1975, Hansen 1977, Pedersen 1983). Før den tid er der kun gennemført meget få undersøgelser over drænvandskvalitet under danske jordbunds- og klimaforhold (Forureningsrådet 1971). På baggrund af de ældste spredte undersøgelser er udvaskningen anslået til 1 kg fosfor/ha, 3-5 kg kalium/ha og 12-15 kg kvælstof/ha om året.

Drænvandsafstrømningen kan variere betydeligt, men udregnet i procent af den totale afstrømning udgør den omkring 40% på lerjorder (Pedersen 1983) og 33% på sandjorder (Simmelsgaard 1980). Sandjordsarealer er drænet i langt mindre grad end lerjordsarealer.

Den gennemsnitlige udvaskning til drænvand fra 15 morænelerjorder, som er tilført 100-150 kg kvælstof/ha til korn (afhængig af afgrøde) og 200-350 kg kvælstof/ha til græs, er vist i tabel 45 (Pedersen 1983). Der er stor variation i næringsstofkoncentrationen i drænvandet inden for de 15 lokaliteter. Inden for hvert enkelt område er koncentrationen af de enkelte stoffer ret konstant året igennem, men der er tydelig sammenhæng mellem koncentration og afstrømningsintensitet. Af de mest almindelige plantenæringsstoffer, som tilføres med gødning, er det kun nitratkvælstof, som udvaskes i større mængde til dræn (gennemsnitlig 21,9 kg kvælstof/ha og år). Udvasningen af ammoniumkvælstof udgjorde kun 0,06 kg kvælstof/ha og år, og tilsvarende udvaskes fosfor og kalium kun i ringe omfang (K:1,0 kg kalium/ha og år, P:0,04 kg fosfor/ha og år).

Tabel 45. Næringsstofbortførsel med drænvand (Pedersen 1983)

		Kg/ha/år	Middelkonc.
			<u>mg/l</u>
Natrium	Na	16,8	14,0
Kalium	K	1,0	0,8
Magnesium	Mg	8,2	6,8
Calcium	Ca	129	107
Nitrat-kvælstof	NO ₃ -N	21,9	18,2
Sulfat-svovl	SO ₄ -S	28	24
Klorid	Cl	50	41
Hydrogencarbonat	NCO ₃	194	161
Ammonium-kvælstof	NH ₄ -N	0,06	0,05
Orto-fosfat	P	0,04	0,03
pH			7,1
Ledningsevne (mmha)			0,60

Betragtet over 10-års perioden (1971-81) ser det ikke ud til, at den gennemsnitlige nitratudvaskning til dræn er signifikant forøget fra de 15 udvalgte morænejorder. Koncentrationen af bor, flour, mangan, kobber, cadmium og bly er ligeledes af ringe størrelsesorden (Jensen 1978).

Vandprøver udtaget 4-5 gange om året i 2 år fra 78 lokaliteter i Sydsverige, repræsenterende drænvandet fra opdyrket jord viste, at nitratinholdet i drænvandet var positivt korreleret med nitratinholdet i jordprofilen om efteråret (Gustafson & Hansson 1980). Nitratinholdet i jorden var igen påvirket af afgrødevalg og udbytte (fig. 27). Udvaskning var størst ved dyrkning af specialafgrøder (som spinat) på lette jorder. Blandt de sædvanlige jordbrugsafgrøder var kartoffel den afgrøde, som relativt gav anledning til størst udvaskning. Lavt udvaskningstal i forhold til gødningsniveau viste sukkerroer og olieplanter.

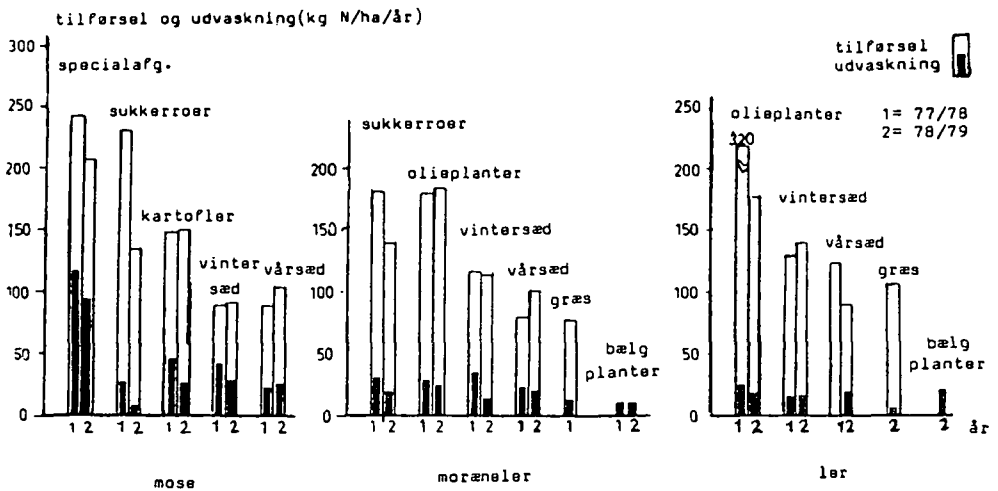


Fig. 27. Udvaskning af kvælstof som funktion af jordtype, afgrødevalg og kvælstofmængde. (Gustafson & Hansson 1980)

VI.1.2. Effekt af stigende tilførsel af gødning

Wiklander (1977) har vist, at kvælstofindholdet i drænvand stiger med stigende dyrkningsintensitet. I Nordsverige fandtes ca. 3 ppm. nitratkvælstof i drænvandet, mens der i Sydsverige, hvor der er mere intensivt landbrug, var ca. 15 ppm. nitratkvælstof i drænvandet. I et forsøg på at klarlægge en evt. sammenhæng mellem kvælstofgødningsintensiteten og drænvandets indhold af plantenæringsstoffer blev der i 1972 ved Askov Forsøgsstation anlagt et markforsøg på svær lerjord (Sdr. Stenderup), (Kjellerup & Kofoed 1979, 83) og fra 1978 på sandjord (Agervig) (Kjellerup 1983) med 4 forskellige kvælstofniveauer. Generelt blev nitratkvælstofkoncentrationen i drænvandet øget med mæng-

den af kvælstof (tabel 46). Kvælstofudvaskningen var større på sandjorden end på lerjorden. Den årlige kvælstofudvaskning på lerjorden var i gennemsnit 13,5 kg kvælstof/ha ved normalgødsning (1 N), ca. det halve fra ugødet parcel. Værdien fra denne undersøgelse giver således et noget laveret udvaskningstab af kvælstof til dræn, end hvad der blev målt ved undersøgelsen foretaget af Pedersen (1983).

Den årlige kvælstofudvaskning på sandjord var i gennemsnit 22,1 kg kvælstof/ha ved normal gødsning (1 N). Modsat forholdene på lerjorden var der ikke større forskel i kvælstofudvaskning mellem den ugødede, $\frac{1}{2}$ N gødede og den normalt gødede parcel. Ved overgødsning ($1\frac{1}{2}$ N) øgedes kvælstofudvaskningen dog til ca. det dobbelte (40 kg kvælstof/ha).

For begge arealers vedkommende var kvælstofkoncentrationen i drænvandet ved normal gødsning lavere i afstrømningsperioder, hvor jorden var plantede dækket end i perioder, hvor jorden lå ubevokset hen. Den forøgede mængde nitratkvælstof i vinterperioden skyldes primært mineralisering af organisk stof i jorden.

Tabel 46. Afgrødevalg, afstrømning og kvælstofudvaskning ved Sdr. Stenderup og Agervig (Kjellerup 1983)

År	Afgrøde	Afstrømning, mm.	Kg/ha			
			ON	$\frac{1}{2}$ N	1N	$1\frac{1}{2}$ N
Lerjord, Sdr. Stenderup						
1973-74	byg	148	12,8	14,3	16,1	17,6
1974-75	byg	249	15,1	17,1	20,9	31,1
1975-76	byg	6	2,0	0,9	0,4	0,1
1976-77	raps	98	3,4	4,9	5,6	15,4
1977-78	hvede	207	16,2	18,6	21,3	37,7
1978-79	byg/udl.	162	4,8	7,0	14,2	20,4
1979-80	græsfrø	225	0,4	1,5	2,4	9,5
1980-81	græsfrø	406	6,6	8,6	16,6	24,0
1981-82	hvede	242	8,4	10,0	23,8	30,9
Gens. 9 år		194	7,7	9,2	13,5	20,7
Sandjord, Agervig						
1978-79	byg/udl.	131	11,7	9,1	9,8	14,3
1979-80	kløvergræs	145	10,9	7,9	9,5	19,8
1980-81	kløvergræs	466	18,8	13,2	24,4	77,0
1981-82	byg	260	41,8	43,9	44,8	48,5
Gns. 4 år		251	20,8	18,5	22,1	39,9

Tilsvarende effekten af handelsgødning vil stigende mængder husdyrgødning bevirke en stigning i nitratindholdet i jordprofilen (se afsnit V.4.7.2.3.) og i drænvandet (Brink & Joelsson 1978).

I årene 1975/76 og 1976/77 fandt Brink & Joelsson (1978), at når udvaskningstallene blev udregnet pr. kg kvælstof i gødningen, var der ikke forskel i virkning på gylle og staldgødning, hvorimod gylle relativt ville give større kvælstofudvaskning, hvis udvaskningstallene blev udregnet på tørstofbasis (fig. 28).

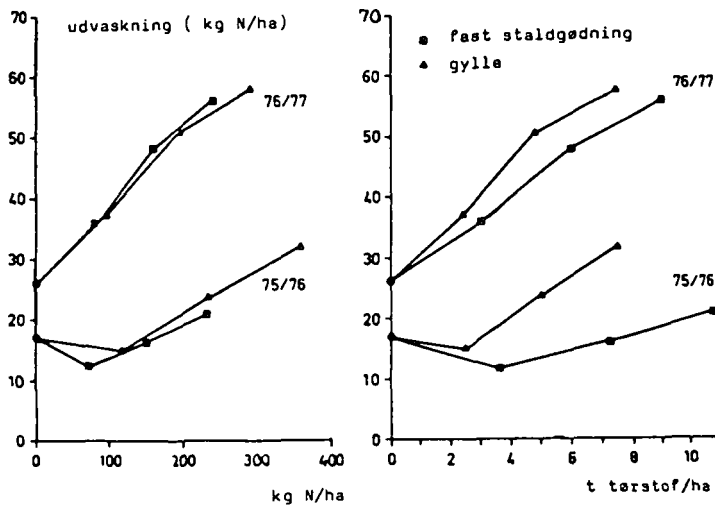


Fig. 28. Kvælstofudvaskning til dræn. Sandjord. (Brink & Joelsson 1978)

Af øvrige plantenæringsstoffer er det specielt fosfor, der har interesse i forbindelse med udvaskning pga. muligheder for eutrofiering. Derimod regnes kalium ikke i denne forbindelse til et forurenende stof.

Der er ikke observeret en signifikant forskel mellem forsøgsledene ON til 3N mht. koncentrationen af fosfor, kalium, natrium, calcium, magnesium, klor og sulfat i drænvandet (tabel 47) (Kjellerup & Kofoed 1979). Den samlede udvaskning af såvel fosfor som kalium er ringe. I svenske undersøgelser er der tilsvarende de danske kun fundet ringe fosformængder i drænvandet (Gustafsson & Hansson 1980). Brink & Linden (1980) og Brink (1980) fandt en gennemsnitlig fosforudvaskning på 0,04-0,05 kg fosfor/ha og år. I samme forsøg blev der

fundet udvaskningstal for kalium på 5-6 kg kalium/ha og år, hvilket dog er under landsgennemsnittet for Sverige (= 15 kg kalium/ha og år). Såvel fosforkoncentrationen og kaliumkoncentrationen i drænvandet var uafhængig af kvælstofgødskningen (op til 200 kg kvælstof/ha).

Heller ikke koncentrationen af tungmetaller, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Mn og Co, i drænvandet synes at være afhængig af kvælstofgødskningen (Kjellerup og Kofoed, 1979).

Tabel 47. Udvasning og koncentration i drænvand af plantenæringsstoffer (Kjellerup & Kofoed 1979)

	P	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄ -S
Koncentration i drænvand (mg/l)							
1973-74	0,056	0,4	10,0	114,8	4,9	38,5	24,1
1974-75	0,063	0,4	9,5	108,2	4,6	35,9	23,4
1975-76	0,054	0,3	10,2	98,9	4,7	33,9	28,2
1976-77	0,028	0,4	10,0	100,0	4,4	35,4	27,1
1977-78	0,047	0,4	10,9	107,3	4,5	36,5	28,5
Udvasning (kg/ha)							
1973-74	0,04	0,5	12,6	149	6,1	50	32
1974-75	0,18	1,1	12,4	276	11,7	90	59
1975-76	0,00	0,0	0,6	5	0,2	2	1
1976-77	0,03	0,3	9,8	97	4,3	34	26
1977-78	0,03	0,9	22,5	221	9,5	75	59

VI.1.3 Indhold af plantenæringsstoffer i vandløb

Mange undersøgelser er udført for at bestemme mængden af kvælstof og fosfor transporteret fra agerland til forskellige vandløb. En del af disse undersøgelser er samlet af Lind (1979) (tabel 48). Om der er sket en stigning i nitrattransporten over et længere tidsrum i de enkelte år, er derimod mindre godt undersøgt, da man som oftest ikke har målinger over et tilstrækkeligt stort tidsrum. Dertil kommer, at belastningen af vandløbene vil afhænge af afstrømning, som igen vil være afhængig af bl.a. nedbørsforhold og jordtype samt af afgrødevalg, (fig. 29).

Hagebro (ref. i Blanner 1983) har påvist, at der i Karup Å og Skjern Å er sket en signifikant stigning i nitratkoncentrationen fra 1968-81 på henholdsvis 60% og 70% af 1968 niveauet (fig. 30).

For Gudenåen og Odense Å er der derimod ikke observeret signifikante forskelle.

Tabel 48. Udledning af kvælstof og fosfor til vandløb (samlet af Lind 1979)

	N kg/ha/år			P kg/ha/år			N:P	
	totalt	bidrag fra by	diff.	totalt	bidrag fra by	diff.	totalt	diff.
Gjeltbæk	25,2	0,6	24,6	0,43	0,20	0,20	58	123
Odense Å	23,0	10,0	13,0	3,30	3,30	0,00	7	-
Tryggevalde Å	21,8	1,3	20,5	0,40	0,40	0,00	55	-
Nældevad Å	18,0	2,0	16,0	1,10	0,80	0,30	16	53
Skallebæk	17,4	3,4	14,0	2,40	0,80	1,60	7	9
Voelbæk	13,5	0,6	12,9	0,17	0,20	-	79	-
Brøns	12,9	0,6	12,3	0,35	0,17	0,18	37	68
Gudenå	11,8	2,7	9,1	0,78	0,65	0,13	15	70
Granslev Å	7,8	0,8	6,9	0,39	0,26	0,13	20	53
Karup	6,5	3,1	3,4	0,14	0,80	-	46	-
Havelse Å	6,0	9,0	-	1,00	3,00	-	17	-

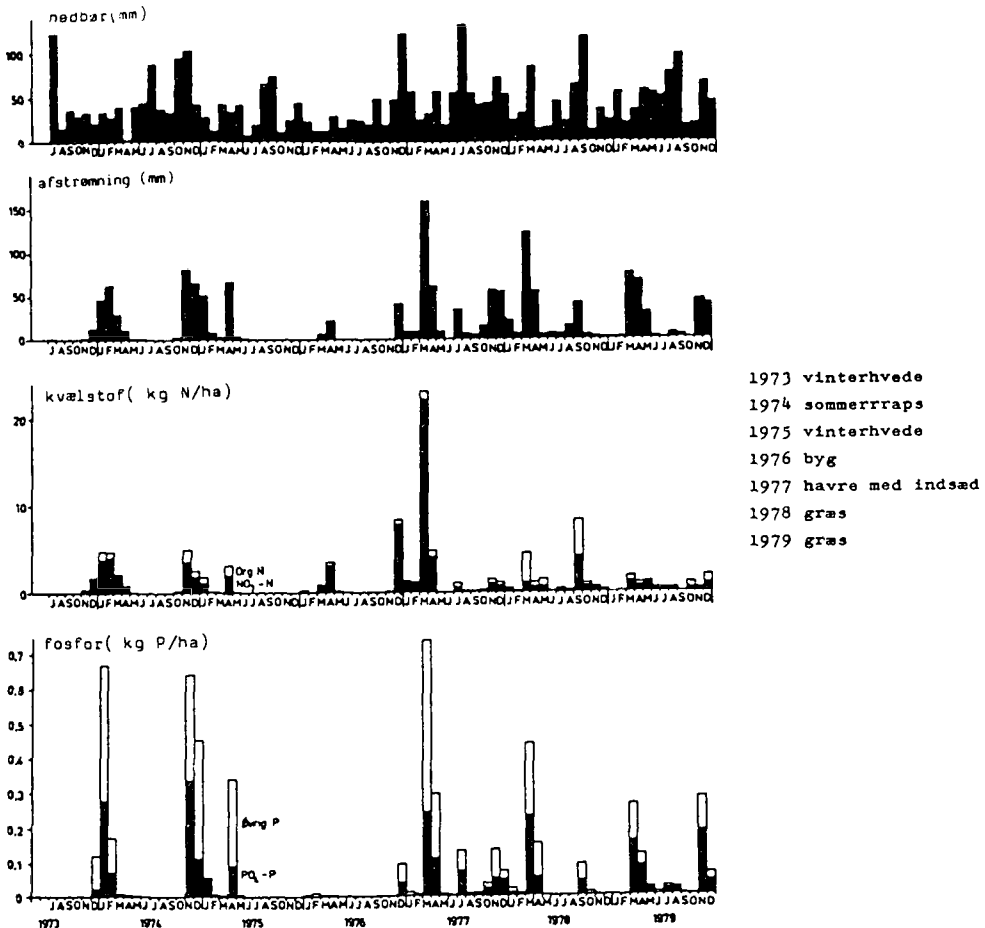


Fig. 29. Månedlig nedbør, afstrømning samt kvælstof- og fosfortransport. Fli-kesta, 1973-79. (Gustafson et al. 1981)

I svenske undersøgelser er der fundet en god korrelation mellem agermarksandelen inden for et afvandsingsområde og arealtabet af kvælstof (Ulén & Brink 1980, Andersson 1982). I Sydvestsverige, omkring Kristiansstad og Halland, hvor specielt husdyrholdet er intensivt, er der fundet linearitet mellem kvælstoftransporten til overfladevandet og agermarksandelen (fig. 31) (Andersson 1982). En sådan linearitet er imidlertid ikke fundet af Ulén & Brink (1980), som kun fandt en stigning op til 50% ager.

Lingsten & Brink (1978) fandt derimod, at 200-360 kg kvælstof/ha tilført som gylle eller 80 kg kvælstof pr. ha tilført som handelsgødning ikke påvirke-
de kvælstofindholdet i en bæk, som løb gennem den gødede mark (Uppland).

I vurderingen af kvælstoftransport fra landbrugsareal til bæk vil der være mange faktorer, som kan indvirke: afgrødevalg, dyrkningsforhold, nedbør, af-
strømning, gødningsmængde- og form, hvilket vanskeliggør en vurdering.

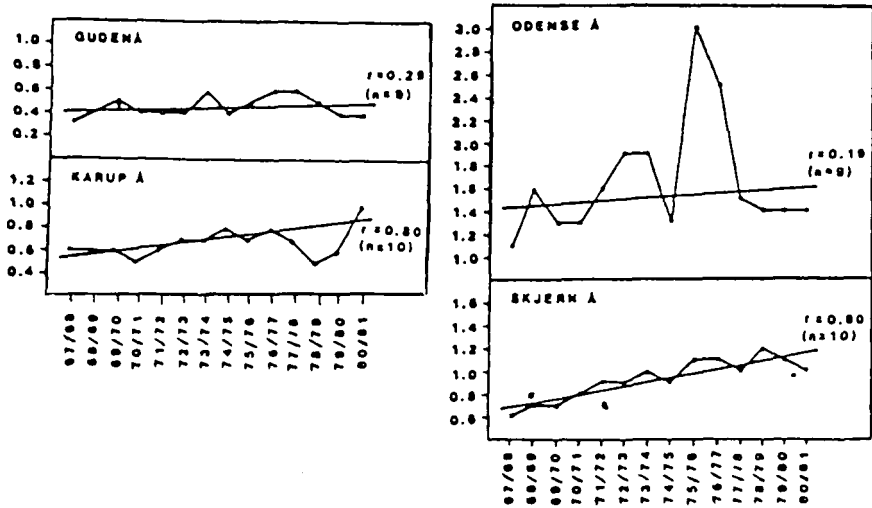


Fig. 30. Nitrattransport i 4 danske vandløb 1968-81. Tons kvælstof/km² × år, normaliserede værdier (fra Blanner 1983)

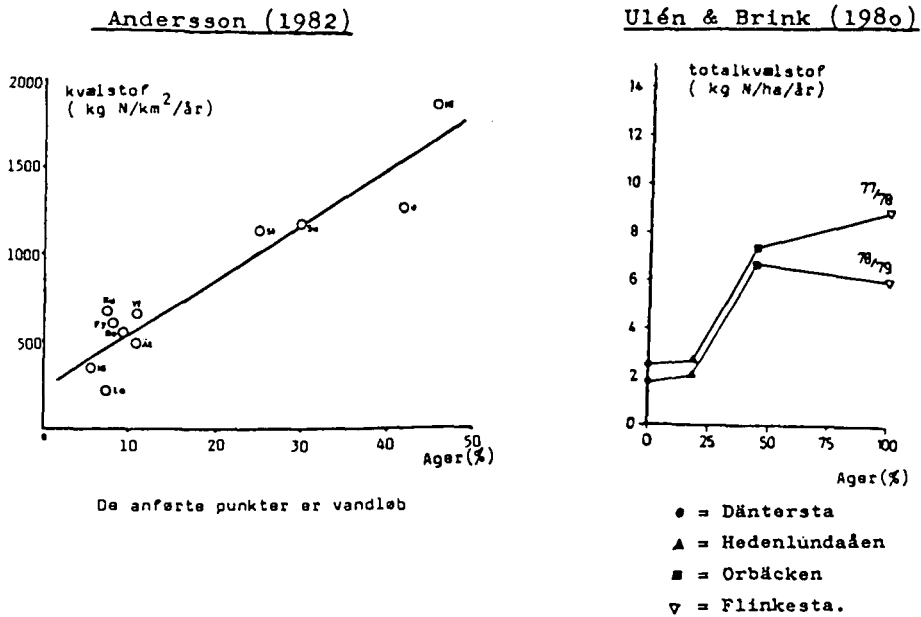


Fig. 31. Kvælstoftransport som funktion af agerjordsandelen

VI.2 Kvælstof i gennemsnitsvand

VI.2.1 Effekt af stigende tilførsel af gødning

Ved lysimeterforsøg kan hele den gennemsnitsvande vandmængde opsamles, og man kan derfor få et mål for den totale udvaskning, som finder sted fra rodzonen.

I tilknytning til markforsøgene ved Sdr. Stenderup, hvor næringsstofkoncentrationen i drænvandet blev målt, er der parallelt hermed udført et lysimeterforsøg (Kjellerup & Kofoed 1983).

Først ved overgødskning (1½-2 gange normal gødskning) vil kvælstofudvaskningen signifikant øges i forhold til ugødet jord. Parallelt hermed er der målt svagt stigende kvælstofkoncentrationer i gennemsnitsvand med stigende gødskning (tabel 49).

Tabel 49. Kvælstofudvaskning. g N/m². Lysimeterforsøg 1974/75-1981/82. I N = 11,0 g N/m² til byg 15,0 g N/m² til hvede og vårraps. N givet som kalkammonsalpeter. (Kjellerup & Kofoed 1983)

År	Afgrøde	ON	1/4N	1/2N	1N	1½ N	2N
1974-75	byg	6,8	6,5	6,4	6,1	6,6	6,5
1975-76	byg	5,6	5,8	5,8	6,5	7,5	9,6
1976-77	vårraps	2,2	2,0	2,0	2,5	3,7	5,5
1977-78	hvede	3,3	3,7	3,3	3,5	4,7	6,7
1978-79	byg + græs	0,2	0,6	0,7	2,0	4,9	8,5
1979-80	rød svingel	0,2	0,0	0,0	0,1	0,6	2,8
1980-81	rød svingel	1,0	1,5	2,1	2,3	1,9	2,4
1981-82	hvede	0,3	0,5	0,2	0,4	0,8	1,4

Tilsvarende drænvandsundersøgelserne er der også i disse forsøg fundet, at kvælstofkoncentrationen er betydeligt lavere for græsdækket jord end for kornafgrøder og raps, og nedvaskningen er størst i perioden fra november til februar. Udvaskningen af øvrige plantenæringsstoffer har været lille og uafhængig af størrelsen af kvælstofgødskningen (Kjellerup & Kofoed 1983).

VI.2.2 Betydning af organisk bundet kvælstof på kvælstofudvaskningen

Almindeligvis regnes nitratgødninger for at være lettere nedvaskelige end ammoniumgødninger, der først skal nitrificeres. Lindhard (1975) fandt imidlertid i et lysimeterforsøg, at kalksalpetergødning kun i 4 tilfælde ud af 18 gav større kvælstofudvaskning i gennemsnitsvandet end ammoniakvand.

Dette tyder på, at en del af det kvælstof, som udvaskes, stammer fra tidligere års gødning efterladt i planterester og humus i jorden, idet man i modsat fald må regne med en meget hurtig nitrifikation af ammoniumgødninger.

Stigende kvælstofgødskning vil bevirke, at mængden af kvælstof efterladt efter høst i rod- og stubrester øges (Kjellerup & Kofoed 1983).

Den gennem årene efterladte planterestmængde omdannet til humus vil derfor spille en rolle for kvælstofudvaskningen. Undersøgelser af, hvor stor en procentdel af tilført handelsgødning kvælstof der er optaget i planterne samme år bundet, i jorden samt udvasket, er gennemført ved tilførsel af ¹⁵N-mærket gødning i lysimeterforsøg (Kjellerup & Kofoed 1983). I et sådant forsøg er det fundet, at kvælstofoptagelsen det første år (1974) udgjorde 53-58% af det til-

førte handelsgødning kvælstof, i de efterfølgende år blev der kun optaget 1,7 og 0,6% af gødningen. Af den tilførte gødning blev 21% fastlagt i jorden, 5% udvasket, og 16% kunne ikke bestemmes.

Kvælstofudvaskningen i første udvaskningsperiode (dvs. efterår 1974 forår -75) udgjorde kun 2,8%, andet år 1,4% og tredje år 0,3% af den i 1974 tilførte gødning. Kun en lille del af kvælstofkoncentrationen bestemt i gennemsnitsvandsvand i et givet år stammer derfor fra gødning givet samme år (fig. 32).

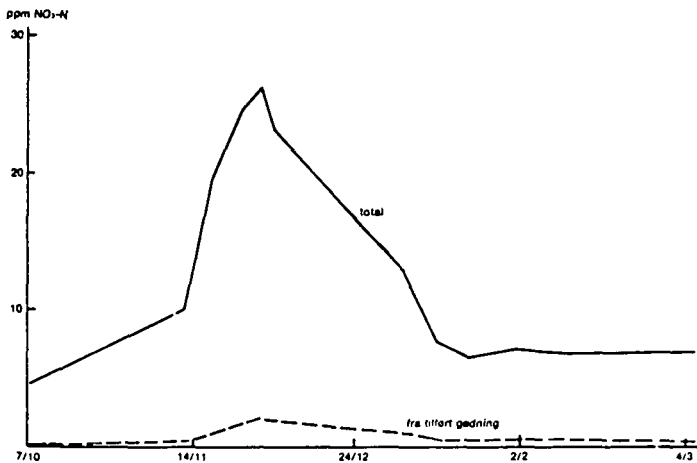


Fig. 32. Nitrat-N-koncentration i gennemsnitsvandsvand, ppm. (mg/l). Byg. Askov 1974-75 (Kjellerup & Kofoed 1983)

Ved at undlade gødskning vil man derfor ikke i de nærmeste år kunne reducere udvaskningen ret meget. Da udvaskningen for størstedelen er knyttet til nitrat frigivet fra mineralisering af planterester, vil en reduktion af efterladt plantemateriale indeholdende kvælstof snarere reducere udvaskningen. Mængden af stubrester i jorden vil imidlertid hænge sammen med størrelsen af udbyttet.

Kofoed (1983a, b) beregnede, at ved at undlade gødskning i 8 år, ville udbyttet falde til ca. 40% af, hvad det var ved normalgødskning, mens udvaskningen af kvælstof kun ville falde med 20% (fig. 33). Ved anvendelse af det dobbelte af normal gødningsmængde ville udbyttet derimod kun øges med ca. 25%, mens udvaskningen ville stige med 50-60%.

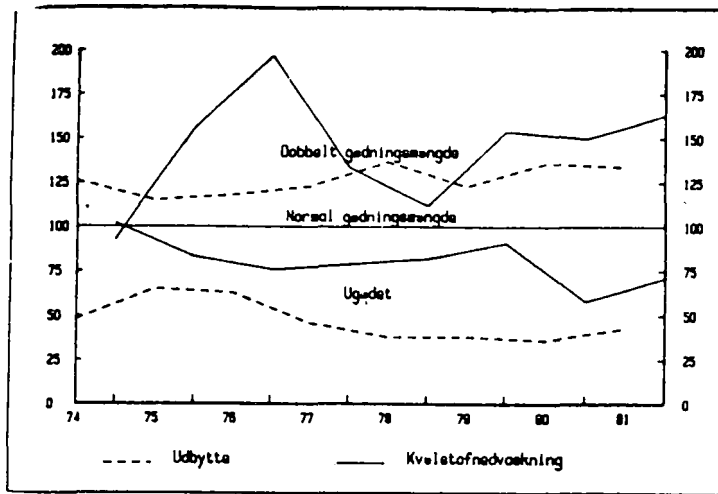


Fig. 33. Forholdstal for gødskningens indflydelse på udbytte og kvælstofudvaskning (Kofoed 1983b)

VI.3 Grundvand

Den primære kilde for drikkevand i Danmark er grundvand, kun 3-5% af drikkevandet kommer fra overfladevand (Bertelsen 1970).

Dannelse af grundvand sker principielt ved et overskud af nedbør. Grundvandet er den zone, hvor alle porer er vandfyldte, og den tid, der går inden nedbøren når grundvandet, er afhængig af jordtypen. På sandede jorder med ringe afstand fra jordoverfladen til grundvandsspejl sker nedsivning hurtigere end på lerjorder. I vurdering af grundvandskvalitet mht. kvælstofindhold vil indgå parametre som:

- den biologiske aktivitet i rodzonen
- mængden af nedsivende vand
- kemiske forhold i undergrunden

I årene 1975-79 er der gennemført systematiske undersøgelser af grundvandskvalitet i Jylland under landbrugsafgrøder (Pedersen 1982). Undersøgelserne er foretaget parallelt med de tidligere omtalte drænvandsundersøgelser.

Koncentrationen af natrium, magnesium, calcium, svovl og klorid har været nogenlunde konstant i alle årene. Indholdet af jern var under 1 mg/l på de fleste lokaliteter. På bakkesand kunne indholdet af jern dog være lidt større i 10 m dybde.

Fosforkoncentrationen var lav i alle lokaliteter (0-0,2 mg fosfor pr. l), hvorimod koncentrationen af kalium var forholdsvis høj (8 mg kalium pr. l i 5 m dybde).

Indholdet af ammoniumkvælstof var fra 0,6-2,7 mg pr. l, hvilket er relativt højt i forhold til koncentrationen i drænvand. Imidlertid er det specielt indholdet af nitratkvælstof, som ud fra et miljømæssigt synspunkt ikke må være for højt i grundvandet.

I den danske bekendtgørelse om vandkvalitet af 4. januar 1980 er der fastlagt følgende bestemmelser for nitratindehold i drikkevand:

vejledende værdi: 25 mg NO_3/l

højest tilladelige værdi: 50 mg NO_3/l

(som omregningsfaktor kan benyttes 1 mg N = 4,43 mg NO_3)

Miljøstyrelsen (1983) har lavet en opgørelse over nitratindehold i grundvand ud fra indhentede oplysninger fra amtskommuner og hovedstadsområdet samt fra alle øvrige udførte nitratundersøgelser. Opgørelsen bygger på drikkevandsanalyser fra 2800 vandværker og 1300 private enkeltanlæg, samt 12000 grundvandsanalyser fra borer, der er dybere end 10 m. Undersøgelsen omfatter 99% af drikkevandet fra vandværker.

Nitratindeholdet i grundvandet er som landsgennemsnit tredoblet i løbet af de sidste 30 år fra 4 mg nitrat/l til 13 mg nitrat/l (fig. 34). Der er dog tale om store regionale og lokale variationer. Grundvandet i Vestjylland er væsentligt kraftigere belastet end grundvandet på øerne (fig. 35). For landet som helhed har dog 69% af samtlige grundvandsanalyser et nitratindehold mindre end 5 mg nitrat/l, mens kun 5% har et indhold højere end 50 mg nitrat/l. Størst nitratforekomst er fundet i Ribe, Århus og Viborg amter, hvor henholdsvis 13,3, 14,1 og 15,7% af vandværker større end 10.000 $\text{m}^3/\text{år}$ har mere end 50 mg nitrat pr. l. De tilsvarende værdier for vandværker på Sjælland er 2-3%. Sammenlignes størrelsen af vandværkerne med antallet af prøver med nitratindehold større end 50 mg nitrat/l, vil de store vandværker (større end 10000 $\text{m}^3/\text{år}$), som står for 84% af vandforsyningen, kun have 2% af prøverne med et nitratindehold større end 50 mg/l.

Vanskeligheden med at vurdere nitratindeholdet i råvand og drikkevand er, at dette afhænger af årstidsvariationer, langtidspåvirkninger og lokale forhold. I bedømmelsen af en evt. nitratforureningsudbredelse i et område bør man an-

vende tidsserier, men i Danmark foreligger der til nu kun sjældent sådanne tidsserier.

Geografisk findes den største fare for nitratforurening på hedesletterne, hvor der kan eksistere oxiderede forhold hele vejen ned i profilen. På bakke-øer er vandudskiftet langt større end f.eks. på hedesletterne, men alligevel findes her ofte lokalt de hårdest ramte områder mht. nitratforurening (Pedersen 1983). Morænejord, som findes i Østdanmark, vil derimod være godt beskyttet over for nitratforurening pga. disse jorders store reduktionskapacitet.

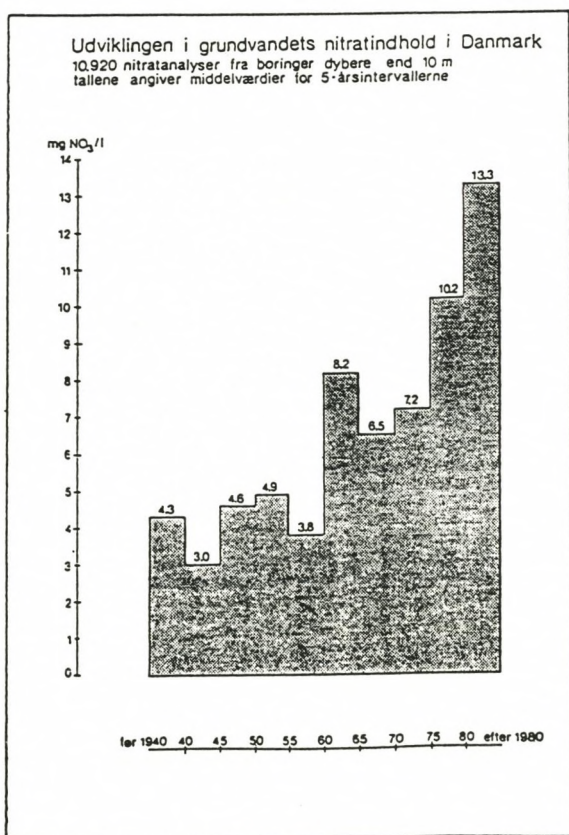


Fig. 34. Grundvandets nitratindhold, landsgennemsnit (Miljøstyrelsen 1983)

Årsagen til den forøgede nitratkoncentration i visse lokale områder i Danmark er i dag ikke endeligt fastlagt, da kendskabet er ufuldstændigt til de forhold og de processer, som er afgørende for nitratnedsivning, deriblandt betydningen af punktkilder (lokale brønde, spildevand), landbrugets dyrkningsmetode og afgrødevalg, de geologiske forhold og de klimatiske variationer.

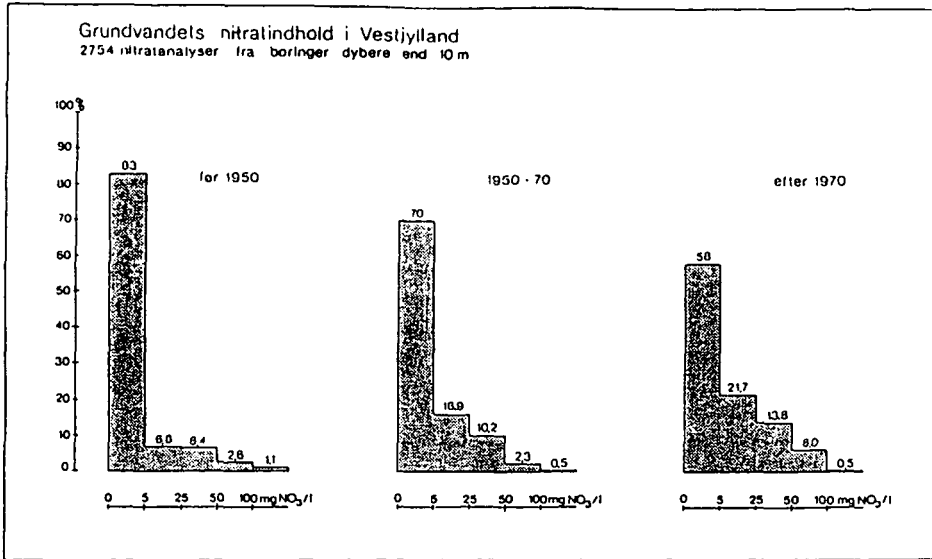


Fig. 35. Grundvandets nitratindhold i Vestjylland (Miljøstyrelsen, 1983)

Ud fra drænvands- og lysimeterundersøgelser er det fundet, at koncentrationen i det nedsivende vand typisk er omkring 10-115 mg nitrat/l. Nitratindholdet falder imidlertid stærkt med dybden i jordprofilen (tabel 50), hvilket bl.a. kan skyldes denitrifikation og kemisk nitratreduktion.

Tabel 50. Kvælstofindhold i grundvand, mg/l. Gns. 1975-79. Sandjord (Pedersen 1982)

Dybde i jordprofil, m	NO ₃ -N			NH ₄ -N		
	5,0	7,5	10,0	5,0	7,5	10,0
Grindsted	20,8	14,7	16,3	1,2	1,7	1,0
Ribe	14,2	10,6	-	2,3	1,5	-
Over Jerstal	13,9	8,8	7,8	4,8	2,1	2,0
Jyndevad	10,8	7,3	3,0	0,6	1,5	2,6
Fjølstervang	9,1	2,6	1,1	1,4	0,8	1,0
Lyne	7,1	1,2	1,2	2,7	1,5	1,2
Gennemsnit	12,7	7,5	5,9	2,2	1,5	1,6

Størrelsen af disse parametre kendes ikke, men Lind (1980) viser, at processerne kan have betydning under markforhold. Grundvandets koncentration af jern i Danmark er typisk 1-5 mg/l (Kristiansen 1980), dog med stor spredning. Ferrojerns andel er bestemt af surhedsgraden (pH) samt af iltningsgraden (redoxpotential). Da grundvandet i Danmark normalt har pH mellem 6 og 8 (Kristiansen 1980), skulle det meste jern findes som Fe²⁺. Muligheden for en kemisk nitratreduktion skulle derfor være til stede, dog under hensyntagen til jordtypevariation.

Grundvandsreservoirernes sårbarhed kan bedømmes ud fra perkolationstider (Villumsen 1983). Perkolationstiden er udregnet på basis af geologiske og geo-hydrologiske parametre og under den forudsætning, at nedsivningsmængden er bestemt af de naturlige klimaforhold. Nedbørens perkolationstid kan anvendes som led i en vurdering af risikoen for, at nitrat fra overfladen føres ned i grundvandsmagasinerne. Først når nitratreduktionsevnen i de jordlag, nedsivningsvandet passerer, er opbrugt, vil nitrat ikke længere kunne tilbageholdes kemisk, men blive ført ned i grundvandet. Grundvandet vil under sådanne omstændigheder kunne få tilført nitrat i mængder, der svarer til indholdet i det nedsivende vand. Manglende kendskab til den aktuelle resterende nitratreduktionskapacitet gør det umuligt at fastslå, hvor stort problemet er. Det er dog rimeligt at antage, at områder med de mindste perkolationstider, som typisk er de groveste og mest permeable aflejringer, vil være de mest sårbare over for nitrattilførsler. Tjell (1983) har anslået, at for hver promille reaktivt Fe²⁺, der findes i jorden, vil det tage ca. 15 år for reaktionszonen at bevæge sig ca. 1 m nedad.

Grundvandsreservoirer med frit vandspejl, hvor kalkaflejringer går næsten op til overfladen, kan dog have høje nitratkoncentrationer, sådanne findes bl.a. i Karupområdet. Undersøgelser af grundvandet i dette område er udført af DGU med 5 borer i og uden for Kompedal plantage. De 3 borer i og uden for plantagen havde alle nitratholdigt grundvand til et stykke under grundvandsspejlet, hvorimod de 2 borer i selve plantagen kun havde små nitratkoncentrationer (tabel 51). Tilstedeværelsen af ferrojern var bestemmende for nitratindeholdet. Nogen entydig sammenhæng mellem gødskningsniveau og kvælstofindhold er dog ikke fundet (svenske undersøgelser).

Staldgødning er mht. dosering sværere at håndtere end handelsgødning. Man kunne derfor forvente, at i egne med store husdyrhold/arealenhed ville der være større fare for kontaminering af grundvandet, specielt da husdyrholdet i Danmark er centreret i Vestjylland på sandjordene. Forsøg er dog ikke udført i Danmark endnu.

Effekten af gylle på grundvandskvaliteten er undersøgt af Foerster (1973) i Tyskland. Gødskningen medførte betydelige forhøjelser af grundvandets nitratindhold ned til 6 m. dybde i en sandjord. De tilførte gyllemængder var 600 t/ha, svarende til en kvælstofforsyning på ca. 5400-6000 kg kvælstof/ha, hvilket er højere gødningsmængder, end der benyttes i praktisk jordbrug. I svenske undersøgelser, hvor fast staldgødning blev tilført i stigende mængder fra 3,6 t/ha til 10,8 t/ha (svarende til 80-230 kg kvælstof/ha) og gylle i mængde fra 25 til 7,5 t/ha (svarende til 110-320 kg kvælstof/ha), blev der ikke fundet et signifikant forøget nitratindehold i grundvandet i 4 m dybde (Brink & Joelson 1978). Værdierne varierede en del og var som oftest lave (0,01-0,5 g nitrat/l), men kunne dog være højere i vinterperioden.

Tabel 51. Nitratinhold i grundvandsprøver (kristiansen, 1980)

Boring lokalitet	Dybde	mg/l					
	m u. terræn	NO ₃	NH ₄	SO ₄	Cl	Fe <0,45 µm	Mn <0,45 µm
Boring 6	8	58	<0,1	36	31	0,18	0,10
Gl. Agergård	10	55	0,5	47	26	1,0	0,22
Boring 7	7,8	0,2	<0,1	11	11	0,28	0,20
Kompedal pl. N	10,2	0,2	<0,1	10	10	0,32	0,10
"	12,1	0,4	<0,1	13	13	0,37	0,05
"	12,2	0,1	0,4	14	13	0,95	0,06
"	12,7	0,4	0,8	14	12	0,55	0,05
"	13,2	0,2	1,2	14	11	0,96	0,09
"	13,7	0,7	1,3	14	11	0,90	0,07
"	14,0	0,1	0,4	13	11	2,9	0,12
"	14,2	0,2	0,1	12	11	3,3	0,16
"	15,4	0,1	0,1	11	11	4,9	0,15
Boring 8	14	0,5	0,1	6	20	0,22	0,27
Kompedal pl. M	16	1,5	<0,1	5	17	0,07	0,06
"	18,2	0,7	0,1	8	15	0,24	0,07
"	19,5	0,1	<0,1	8	13	0,91	0,05
"	21,0	0,1	<0,1	12	15	2,2	0,05
Boring 9	8,0	5,4	1,7	8	15	0,07	1,1
Urhanedal	10,5	14	0,4	19	20	0,10	0,08
"	14,0	29	<0,1	29	20	0,65	0,56
"	16,5	28	0,1	30	20	0,29	0,07
"	18,5	11	0,6	12	19	0,08	0,37
"	21,0	7,6	0,1	8	18	0,14	0,18
Boring 10	9,0	5,1	<0,1	52	26	0,23	0,14
Gl. Gråmose	11,0	4	<0,1	25	21	0,20	0,07
"	13,0	38	<0,1	33	26	0,17	0,02
"	15,0	36	<0,1	30	21	0,10	<0,01
"	17,0	35	<0,1	33	21	0,13	0,01
"	18,5	26	<0,1	26	19	0,05	0,05

VI.4. Konklusion/diskussion

Risikoen for vandforurening af overfladevandet og grundvandet ved anvendelse af plantenæringsstoffer er ikke kun afhængig af én, men af mange faktorer. Af benyttede plantenæringsstoffer er det primært kvælstof, som kan have uheldige miljømæssige konsekvenser. Det er primært nitrat, der udvaskes, da ammonium vil kunne bindes i jorden eller nitrificeres. Udvaskning til dræn og undergrund af fosfor og kalium er af ringe størrelsesorden og har næppe betydning for vandkvaliteten.

Af de forskellige faktorer, der påvirker kvælstofudvaskning fra landbrugsarealer, har Brink (1978) opstillet dem i nedenstående prioritetsrækkefølge ud fra forsøg, hvor forskellige kombinationer af faktorerne er undersøgt mod hinanden i såvel mark- som karforsøg.

Nedbør > gødskningsintensitet > jordtype > hydrodynamisk dispersion > dyrkningsmetode = afgrødevalg > gødningsformen.

Forsøget er udført under svenske forhold og kan derfor ikke direkte overføres til danske forhold, dog er mange klima- og dyrkningsforhold så ens, at tendensen i prioritetsrækkefølgen sandsynligvis kan overføres til danske forhold.

Nedbør

Afstrømningen vil afhænge af nettonedbøren, og jo større denne er, alt andet lige, jo større vil næringsstofudvaskningen være. Data for lysimeterforsøg i Holland (Kolenbrander, 1975) viser næsten linearitet mellem afstrømningsmængde og udvasket nitratmængde. Denne lineære sammenhæng er dog kun gældende til en vis grænse, afhængig af jordens vandkapacitet. Jo mindre vandkapacitet, jo før vil den lineære relation ophøre. Afgørende er imidlertid også nedbørsoverskuddets tidsmæssige fordeling. I Vestjylland, som har større nedbør og større årsafstrømning, er risikoen større for udvaskning end i Østdanmark. En regulering af nedbøren lader sig ikke direkte udføre. Påvirkning af vandmængden er dog til en vis grad mulig ved vanding eller ved modifikation af dyrkningsmetoder eller afgrøder.

Gødskningsintensitet

Næringsstofftab er mindre fra naturområder og skov end fra opdyrket land. I forbindelse med fældning og gødskning af naturområder kan tabet dog være større. Øget kvælstofgødskning vil generelt føre til større udvaskning af kvælstof til dræn og et vist stykke ned i jordprofilen. Derimod behøver det ikke umiddelbart at føre til øget nitratindhold i grundvandet. Her spiller jordtype, denitrifikation og kemisk nitratreduktion stærkt ind. En øget tilførsel af kvælstof kan påvirke vandkvaliteten enten a) direkte via udvaskning af næringsstoffer, før de kan optages af planterne b) indirekte ved en øgning af mængden af organisk kvælstof, som senere bliver tilgængeligt ved mineralisering i jorden. Andelen af den direkte påvirkning mht. nitratudvaskning vides ikke

bestemt, men visse ting tyder på, at den er beskeden under danske forhold (under 5-10%). Langt hovedparten af gødning tilføres om foråret, hvor mængden af drænvand er beskeden, og kun lidt kvælstof vil være i jorden i uorganisk form pga. afgrødens optagelse.

Store mængder nedbør om foråret efter gødskning, men før afgrøden er i stand til optagelse, kan dog bevirke udvaskning i større mængder. Mængden af kvælstof i jorden ved høst er ofte af beskeden størrelse. Andersen & Jensen (1983) fandt et nitratindehold på 8 kg kvælstof/ha i 0-45 cm dybde i sandjord ved høst af vårbyg, og Hvelplund & Østergaard (1980) fandt et indhold på ca. 6 kg kvælstof/ha i de øverste 20 cm i lerjord.

Udenlandske forsøg synes at bekræfte, at kun en mindre del af tilført gødning udvaskes. Shaw & Jones (1976) fandt i lysimeterforsøg, at under 10% af kvælstofgødningen direkte blev udvasket, og Kolenbrander (1974) fandt, at det tilsvarende tal var under 5%.

Kvælstofgødskning vil da nærmere indirekte forøge størrelsen af nitratudvaskningen, ved at der fra en større afgrøde efterlades en større mængde letomsætteligt organisk stof, der ved mineralisering vil øge nitratindeholdet i jorden. Vintertemperaturen kan i den forbindelse have betydning. Jo længere tid marken er frosset om vinteren, jo mindre vil udvaskningen til dybereliggende jordlag være. Dels vil mineraliseringen være sat i stå ved lave temperaturer, dels vil en del af forårsafstrømningen ske som overfladeafstrømning.

Begrænsning i gødningsmængden vil derfor kun have betydning for reduktion af udvaskning ved overgødskning, hvor der efterlades en større mængde uorganisk kvælstof i jorden, end planterne kan optage. Løsningen er måske snarere, at man bør udvikle en mere effektiv brug af det tilgængelige kvælstof, deriblandt ved tilpasning af gødningsmængden efter mængden af kvælstof i jorden ved såning, samt ved at tilpasse gødningen til afgrødevalget (sædskiftet).

Jordtype

Sandjord har kun ringe vandholdende evne modsat lerjord, hvilket vil øge risikoen for udvaskning af kvælstof. Roddybden spiller ligeledes en rolle. På en lerjord med god struktur kan rødderne måske trænge ned til 1,5 m dybde eller mere, hvorimod de på en sandjord vil standse ved 0,4-0,6 m. Man kan intet direkte gøre for at ændre jordtypen, så en måde at begrænse nitratudvaskningen på må derfor være at undgå visse afgrøder på de lette jorder samt evt. at benytte delt gødskning.

Hydrodynamisk dispersion

På jord med "nedtryk" stammer vandet, som ledes i dræn eller undergrund, fra nedbør, som falder på parcellen. Nitrat vil derfor også komme derfra. På jorder med "optryk" kan vandet også komme fra andre sider, og dermed kan også nitrat have anden oprindelse end fra marken. Effekten kan delvis kontrolleres ved dræning, hvor dette er muligt, men de geologiske, meteorologiske og hydrologiske forhold som sådan kan ikke ændres.

Dyrkningsmetoder og afgrødevalg

Vækstperiodens længde har stor betydning for næringsstofudvaskning. Jo længere tid jorden er plantedækket, jo mindre risiko for udvaskning; f.eks. vil flerårigt græs, sukkerroer og vinterraps kunne medvirke til at formindske næringsstofudvaskning.

Derimod vil udvaskningen være større efter afgrøder med kort vækstsæson, såsom vårsæd. Kartofler, som har ringe roddebyde, vil også bidrage til udvaskning af næringsstoffer, hvorimod udvaskningen fra roer er mindre end fra korn. Dette er uddybet af Høg (1986c).

Gødningsform

I svenske undersøgelser (Brink 1978, 80) er der ikke vist sikre forskelle mellem fast staldgødning og gylle på nitratudvaskningen. I danske forsøg synes gylle at bevirke lidt større nitratudvaskning end fast staldgødning.

En sammenligning mellem staldgødning og handelsgødning er vanskelig, da gødsningstidspunktet kan være forskelligt og udvaskningen er årstidsbestemt. Staldgødning udbragt om efteråret eller vinteren kan give direkte udvaskning af næringsstoffer, og indirekte efterhånden som der sker mineralisering. Danske lysimeterforsøg viser, at tilføres samme mængde kvælstof i handelsgødning og husdyrgødning til byg, vil udvaskningen af nitrat være næsten dobbelt så stor ved staldgødningsanvendelse som ved anvendelse af handelsgødning. Tilføres de to gødningsformer derimod til roer, vil udvaskningen være lille og næsten uafhængig af gødningsformen.

VII. LANDBRUGSJORDENS NÆRINGSSTOFBALANCE

VII.1. Kvælstofbalancer

Gennemsnitsbalance på landsplan

En kvælstofbalance kan opstilles:

$$N(\text{gødning}) + N(\text{nedbør}) + N(\text{fixeret}) = N(\text{afgrøde}) + (N(\text{udvasket}) + N(\text{atmosfære}) + N(\text{i jord})).$$

Kvælstof kan tilføres med handelsgødning, naturgødning, nedbør og biologisk kvælstofbinding. Der kan i nogle tilfælde tilføres kvælstof fra jorden, dvs. at der mineraliseres mere kvælstof, end der bindes i jorden. Værdien af N (efterladt i jord) vil i dette tilfælde være negativ. Kvælstofbortførsel kan ske til afgrøder, dræn eller dybereliggende jordlag, til atmosfæren ved kemisk nitratreduktion eller denitrifikation samt bindes i jorden.

Tilførsel

Mængden af kvælstof tilført med handelsgødning kan bestemmes ret eksakt. Den udgjorde i 1981 128 kg kvælstof/ha og år. Mængden af kvælstof tilført med husdyrgødning kan være svær at vurdere, da den afhænger af fodringens intensitet, og af hvordan gødningen opbevares og udbringes. For 1981 er kvælstofforsyningen fra husdyrgødning beregnet til 55 kg kvælstof/ha og år (Henriksen 1983). Kvælstof kan tilføres fra atmosfæren som nitrat og ammonium. For ammonium vil en stor del sandsynligvis stamme fra fordampning af naturgødning. Jørgensen (1978) estimerede ud fra målinger af nitrat og ammonium i nedbøren en samlet kvælstofmængde tilført fra nedbøren på 12 kg kvælstof/ha og år. Den mængde kvælstof, der tilføres gennem bælplanter og bakterier, er vanskelig at gøre op. Den har tidsmæssigt aftaget stærkt pga. de ændrede dyrkningsbetingelser med den udvidede korndyrkning og rene græsmarker uden kløver. Skriver (1980) har estimeret størrelsen til 20 kg kvælstof/ha og år. Aslyng (1978) estimerede tallet til 25 kg kvælstof/ha og år, men udregningerne er udført ud fra 1976-værdier, hvorfor værdien sikkert er for høj i forhold til 1981-forhold. Henriksen (1983) har anslået en værdi på kun 10 kg kvælstof/ha og år svarende til nutidige dyrkningsforhold.

Bortførsel

Mængden af kvælstof bortført med afgrøden vil afhænge af arealudnyttelsen og høstudbyttet samt kvælstofindholdet i de høstede afgrøder. Det er derfor kun muligt at give et skøn over størrelsen, hvilket af Aslyng (1978) er opgjort til 130 kg kvælstof/ha og år. Kvælstof bortført ved udvaskning er beregnet til 50 kg kvælstof/ha og år (Henriksen 1983).

Til nu er det ikke muligt at sætte tal på de to parametre: denitrifikation og kvælstof indbygget i jorden. Man må formode, at der er sket en tilvækst i jordens kvælstofindhold i de senere år, da en større gødningstilførsel, specielt i form af husdyrgødning, vil bevirke en forøgelse af jordens totale kvælstofindhold.

Dette er fundet ved de langvarige gødningsforsøg ved Askov. Værdien af kvælstof i jorden vil derfor repræsentere "mertilvækst" og vil sammen med størrelsen af denitrifikation være et udtryk for den mængde af udefra tilført næringsstof, som ikke er fundet i afgrøden eller udvasket. Angående denitrifikation har Christensen (1980) vist, at jordluftens N_2O -indhold stiger med jordens indhold af let omsætteligt organisk stof samt ved stigende nitratmængder. Man må derfor formode, at den øgede gødskning i de senere år har bevirket en forøgelse af denitrifikationen.

Tabel 52. Kvælstofbalance i Danmark (kg N/ha/år). 1981 (Henriksen, 1983)

Tilførsel	kg/ha	%	Bortførsel	kg/ha	%
Handelsgødning	128	62	Afgrøder	130	64
Naturgødning	55	27	Udvaskning	50	24
Nedbør	12	6	Denitrifikation	25	12
Kvælstofbinding	10	5	Humus ⁺		0
Total	205	100	Total	205	100

Ca. 37% af den samlede gødningsmængde kommer ikke afgrøden til gode, men går tabt til dræn og undergrund, til luften via fordampning og denitrifikation eller bindes i jorden. Af den samlede gødningsmængde vil 24% mistes ved udvaskning. En del af kvælstoffet udvasket fra rodzonen vil dog kunne afgives til atmosfæren ved kemisk nitratreduktion. Størrelsen af denne kendes ikke.

Derimod vil denitrifikationstabt nok være begrænset, da Lind (1980) viste, at den største denitrifikation var i rodzonen.

En kvælstofbalance opstillet i Sverige synes i store træk at underbygge den i tabel 52 opstillede balance (tabel 53) (Brink 1980). I denne er det fundet, at 58% af den samlede kvælstofmængde fjernes med afgrøderne, hvilket er meget analogt med den estimerede procent i Danmark på 64. Udvaskningen i den svenske kvælstofbalance er fundet til 19% mod ca. 24% i den danske. I den svenske opstillede kvælstofbalance er der skelnet mellem kvælstof fastlagt i jorden og kvælstof tabt til atmosfæren. Hvis tallene fra de svenske forsøg kan overføres til danske forhold, vil ca. 3/4 af de 25 kg kvælstof/ha være forsvundet til atmosfæren og 1/4 fastlagt i jorden.

Tabel 53. Kvælstofbalance i Sverige 1980 (Kg N/ha/år) (Brink 1980)

Tilførsel	kg/ha	%	Bortførsel	kg/ha	%
Handelsgødning	80	56	Afgrøder	83	58
Naturgødning	38	26	Udvaskning	28	19
Nedbør	10	7	Til atmosfæren	25	17
Kvælstofbinding	16	11	Fastlagt	8	6
Total	144	100	Total	144	100

Stigende mængder kvælstofs indflydelse på de enkelte led i kvælstofbalancen

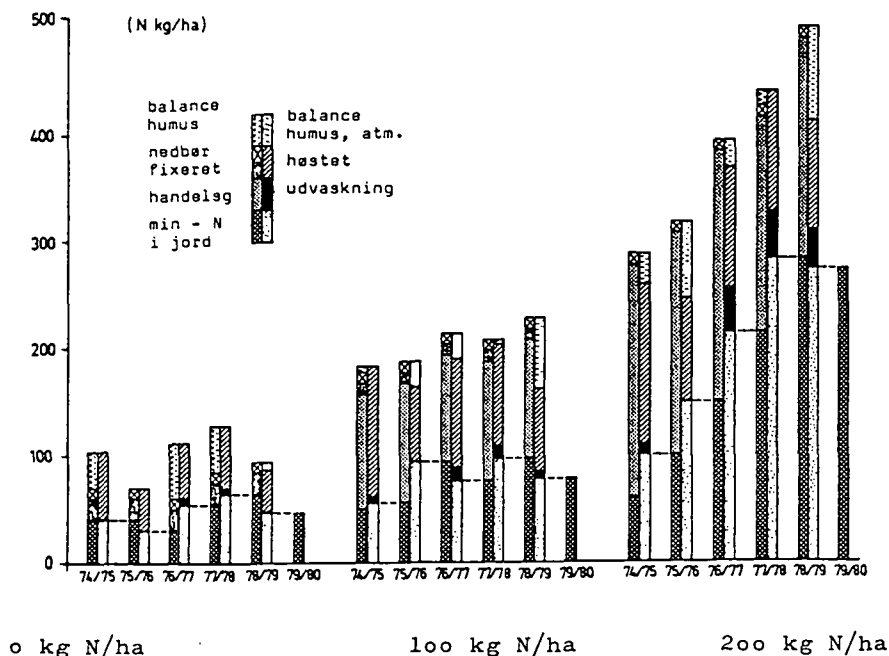
Simmelsgaard (1980) har i forbindelse med en undersøgelse af transport af næringsstoffer til dræn og undergrund opstillet en kvælstofbalance. I denne er målt mængden af kvælstof høstet samt udvasket til dræn og undergrund som funktion af stigende tilførsel af kvælstof (0, 2, 3 gange normal tilførsel af N).

På en uvandet lerjord har jorden i gennemsnit stillet ca. 29 kg kvælstof/ha og år til rådighed. Dette er dog nok en underestimering af mineraliseringen, da der i denne beregning er regnet med et denitrifikationstab på 0. Stigende gødskning med kvælstof bevirkede, at der procentvis bortførtes mindre i afgrøderne og udvaskedes mere til dræn. Derimod var udvaskning til undergrunden ikke forøget, hvilket viser, at lerjord selv ved store gødningsniveauer (3 x normalt niveau) er godt beskyttet mod udvaskning af nitrat til dybere jordlag og dermed også mod nitratforurening af grundvandet.

I Sverige er der i markforsøg undersøgt, hvad der sker med de enkelte parametre i kvælstofkredsløbet med en stigende tilførsel af handelsgødning (0, 100 og 200 kg kvælstof pr. ha som kaliumnitrat) (Brink & Linden 1980). Prøveudtagningen skete på Lana Forsökstation på en lerjord, hvor afgrøderne blev dyrket i sædskifte (fig. 36).

Ud fra den ikke kvælstofgødgede parcel kan det ses, at mineraliseringen i gennemsnit over 5 år har udgjort ca. 50-60 kg kvælstof/ha. Da størrelsen af den samlede mængde kvælstof tilført/bortført varierer en del fra år til år, vil det være rigtigt at opstille en kvælstofbalance for hvert enkelt år over en længere periode for at forhindre et "atypisk" år i at repræsentere kvælstofbalancen. Ved tilførsel af 100 kg kvælstof/ha og år vil der nogenlunde være balance, dvs. at den totale mængde kvælstof er nogenlunde konstant i den observerede 5-års periode. Mængden af uorganisk kvælstof i jorden vil være næsten uforandret, og størrelsen af "N-balancen" vil være lille (undtagen 1978/79), hvilket vil sige, at relativt samme mængde kvælstof på den ene side mineraliseres og på den anden side immobiliseres og/eller tabes til atmosfæren.

Ved gødskning med 200 kg kvælstof/ha vil der derimod ikke indstille sig en balance, forstået på den måde, at tilførsel af 200 kg kvælstof/ha og år vil accelerere kvælstofkredsløbet, så den totale mængde af kvælstof vil øges fra år til år. Mængden af kvælstof bortført i afgrøden vil kun være lidt større sammenlignet med mængden bortført ved 100 kg kvælstof/ha. Mængden af uorganisk kvælstof i jorden samt tabt ved udvaskning (undtagen det tørre år 1975/76) vil derimod være betydeligt forhøjet. I de fleste år (undtagen 1977/78) vil "N-balancen" være negativ, hvilket vil sige, at mængden af kvælstof bundet i jorden/denitrifikationsraten er øget.



Sædskifte: 1973 havre
1974 vinterhvede
1975 vinterhvede
1976 havre
1977 vinterhvede
1978 byg

Fixeret kvælstof er sat til : 20, 10 og 10 kg N/ha for
0, 100 og 200 kg N tilsat/ha.

Kvælstof i nedbør er ud fra andre forsøg sat til : 10 kg N/ha.

N-balance: er et udtryk for omder tilføres eller bortføres
kvælstof til jorden. Er balancen negativ, vil det
sige, at der i det pågældende år relativt er tabt
mere kvælstof til atmosfæren og immobiliseret i
jorden, end der er mineraliseret.

Fig. 36. Kvælstofbalancer for stigende kvælstofgødsning i perioden 1974/75 til 1978/79. Lerjord (Brink & Linden 1980)

Den bedste kvælstofbalance ud fra såvel udbytte som miljøhensyn vil ud fra det svenske forsøg være at benytte en kvælstofmængde på omkring de 100 kg kvælstof/ha og år under de givne dyrkningsforhold og jordtype (under svenske forhold - generelt er den benyttede kvælstofmængde lidt større i Danmark), hvor udbyttet vil være næsten optimalt, men risikoen for store kvælstoftab ved udvaskning eller akkumulering i jorden vil være reduceret, sammenlignet med tilførsel af 200 kg kvælstof/ha.

VII.2. Balancer for øvrige næringsstoffer

Makronæringsstoffer

Man tillægger næringsstoffer (-N) mindre betydning, hvorfor de kun omtales sporadisk her.

Fosfor

Modsat kvælstof, vil fosfor i "overskud" ikke udvaskes, men vil akkumuleres i jorden. Mere end halvdelen af tilført fosfor vil blive i jorden, hvilket vil bewirke en stigning i jordens fosforsyretilstand. En del fosfor kan dog også bindes til meget tungt tilgængelige forbindelser.

Kalium og magnesium

Kalium er som fosfor over en længere årrække blevet givet i overskud, hvilket har resulteret i stigning i kaliumkoncentrationen i jorden. Overgangen fra lav- til højprocentige kaligødninger med et lavere indhold af magnesium som følge- stof har være fremført som uheldigt for jordens magnesiumtilstand. Ved tilsætning af magnesium til NPK-gødninger er jordens magnesiumbalance dog bibeholdt.

Calcium

Tilførsel af calcium sker hovedsagelig via jordbrugskalk. Kun ca. 18 kg kalk (= ca. 7%) af det tilførte kalk genfindes i afgrøden. En meget stor del udvaskes. Da jordens reaktionstal imidlertid ikke har forandret sig meget i de sidste 10 år, tyder det ikke på, at calciummangel er almindelig i danske jorde.

Svovl

En væsentlig del af svovltilførslen til jorden sker via nedbør. Svovlforsyningsmængden fra luften er ikke kendt, men det menes, at planter kan optage hele den nødvendige svovlmængde som svovldioxyd fra luften, hvorfor tilførsel af svovl fra handelsgødning og husdyrgødning ikke er så nødvendig.

Natrium

Den atmosfæriske tilførsel af natrium spiller langt den største rolle i natriumforsyningen. Tilførslen varierer imidlertid betydelig. I de vestlige egne af lan-

det kan den være 50 kg natrium/ha og år, mens den aftager mod øst til kun 1/3 heraf.

Tilførslen af natrium som følgestof til handelsgødning er reduceret meget, men da forsyningen herfra kun udgør en mindre del af den samlede forsyning, vil det næppe influere.

Mikronæringsstoffer

For alle mikronæringsstofferne kobber, mangan, bor og zink gælder, at der tilføres betydeligt større mængder, end der fjernes med afgrøderne (tabel 54).

Modsat de fleste af makronæringsstofferne, som hovedsagelig bliver tilført jorden i form af handelsgødning, vil alle mikronæringsstofferne på nær kobber hovedsagelig blive tilført i form af husdyrgødning. Dette kan imidlertid indebære, at der kan være stor spredning på de opgivne værdier, da mikronæringsstofkoncentrationen i en given jord da vil afhænge af, hvilken gødningsform der er benyttet.

Tabel 54. Budget for makro- og mikronæringsstoffer (1974/75-1978/79) (efter Skriver, 1980). Gns. kg/ha/år (makro), g/ha/år (mikro)

	Gns. kg/ha/år							Gns. g/ha/år			
	P	K	Mg	Ca	S	Na		Cu	Mn	B	Zn
<u>Til jorden</u>											
Handelsgødning	20	49	7*	240*	21	3	Handelsgødning	210	110	80	35
Husdyrgødning	22	58	9	27	13	12	Husdyrgødning	150	550	55	450
Nedbør	-	3	3	8	16	30	Jordbrugskalk	2	100	2	10
							Nedbør	18	100	30	150
Sum	42	110	19	275	50	45	Sum	380	860	165	645
<u>Fra jorden</u>											
Afgrøde	18	80	9	18	15	11	Fra jorden				
Vandløb	0,05	5	5	127	28	16	Afgrøde	30	400	60	250
Nedsivning/ ophobning	24	25	5	130	7	18	Vandløb	3	35	10	45
							Nedsivning/ ophobning	347	425	95	350
Sum	42	110	19	275	50	45	Sum	380	860	165	645

* heraf fra jordbrugskalk: 2 kg Mg, 180 kg Ca.

Kilder: Aslyng (1978)
Andersen (1980)
Kjellerup & Kofoed (1979)
Jørgensen (1978)
Danmarks Statistik

Konklusion/diskussion

For såvel makro- som mikronæringsstoffer gælder det, at der tilføres større mængder, end der bortføres med afgrøden. Generelt er der således tale om en positiv næringsstofbalance. For næringsstoffer, som kun i ringe grad udvaskes, vil der derfor ske en akkumulering i jorden. Fosfor, kalium, mangan, zink, kobber og bor akkumuleres i jorden, hvorimod overskudstilførsler af kvælstof, calcium, natrium og klorid snarere vil udvaskes end akkumuleres i jorden.

REFERENCELISTE

- Andersen, A. & Jensen, M.B. (1983): Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. 2. Bygplanternes morfologiske udvikling i relation til kvælstof. Tidsskr. Planteavl 87, 217-236
- Andersen, A.J., Haahr, V., Jensen, E.S. & Sandfær, J. (1981): Effect of N-fertilizer on yield, protein content and symbiotic N-fixation in *Pisum sativum*. L. grown in pure stand and mixture with barley. EF-seminar om: "Perspectives for peas and lupins as protein crops" i Sorrento-Sant'Agello. Italien 19-22 oct. 1981.
- Andersen, C. (1981): Nitrogen turnover by earthworms and related problems in animal manured plots. N. Jordbr. forsk. 63, 363.
- Andersen, C. (1983): The influence of farmyard manure and slurry on the earthworm population (Lumbricidae) in arable soil. In press.
- Andersen, C., Eiland, F., & Vinther, F.P. (1983): Økologiske undersøgelser af jordbundens mikroflora og fauna i dyrkningssystemer med reduceret jordbehandling, vårbyg og efterafgrøde. Tidsskr. Planteavl 87, 257-296.
- Andersen, C. & Haarlov, N. (1978): Agermarkens fauna. Ugeskr. Agron., Hort., Forst., Lic. 123 (17), 364-369.
- Andersen, C.E. (1980): Dyrkningsfaktorer og planternes kemiske sammensætning. Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd, 1980. København. 261 pp.
- Andersson, R. (1982): Växtnäringsförluster från åker och skog. Vatten 38, 205-225.
- Aslyng, H.C. (1978): Miljø og jordbrug. DSR-forlag, Kbh. 127 pp.
- Augustin, J. (1975): Variations in the nutritional composition of fresh potatoes. J. Food Sci. 40, 1295-1299.
- Bailey, L.D., Spratt, E.D., Read, D.W.L., Warder, F.G. & Ferguson, W.S. (1977): Residual effects of phosphorus fertilizer. II. For wheat and flax grown on chernozemic soils in Manitoba. Can. J. Soil Sci. 57, 263-270.
- Baker, J.M. & Tucker, B.B. (1971): Effects of rates of N and P on the accumulation of $\text{NO}_3\text{-N}$ in wheat, oats, rye and barley on different sampling dates. Agron. J. 63, 204-207.
- Barea, J.M., Escudero, J.L. & Aguilar, C.A.G. (1980): Effects of introduced and indigenous VA-mycorrhizal fungi on nodulation, growth and nutrition of *Medicago sativa* in phosphate-fixing soils as affected by P fertilizers. Plant & Soil 54, 283-296.

- Barker, A.V. & Maynard, D.N. (1971): Nutritional factors affecting nitrate accumulation in spinach. *Comm. Soil Sci. & Plant Anal.* 2, 471-478.
- Barker, A.V., Peck, N.H. & MacDonald, G.E. (1971): Nitrate accumulation in vegetables. I. Spinach grown in upland soils. *Agron. J.* 63, 126-129.
- Barnes, J.M. & Magee, P.N. (1954): Some toxic properties of dimethylnitrosamine. *Br. J. Ind. Med.* 11, 167.
- Bauder, J.W. & Montgomery, B.R. (1979): Overwinter redistribution and leaching of fall-applied nitrogen. *Soil. Sci. Soc. Amer., J.* 43(4), 744-747.
- Bauder, J.W. & Montgomery, B.R. (1980): N-source and irrigation effects on nitrate leaching. *Agron. J.* 72(4), 593-596.
- Bengtsson, A. (1973): Försök med samodling av ärter och havre. *Lantbruks-högskolans meddelande. A*, 200.
- Bengtsson, A. & Eggum, B.O. (1970): Virkningen af stigende N-gødskning på havre- og bygproteinets kvalitet. *Tidsskr. Planteavl* 73, 105-114.
- Bennetzen, F. (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. *Tidsskr. Planteavl* 82(2), 81-99, 173-189, 191-220.
- Beringer, J.E. & Day, J.M. (1981): The role of biological nitrogen fixation in U.K. agriculture. The fertilizer society of London. 10th december 1981. 16 pp.
- Bertelsen, O.C. (1970): Har vi vand nok? *Vandteknik*, 38, 81-93. 539-545.
- Blanner, P. (1983): Nitratens vej mod et miljøproblem. *Ugeskr. Jordbrug* 128(28), 539-545.
- Bolton, J., Nowakowski S.Z. & Lazarus, W. (1976): Sulphur-nitrogen effects on the yield and composition of the protein-N, non-protein-N and soluble carbohydrates in perennial ryegrass. *Sci. food Agric.* 27, 553-560.
- Boschi, V., Spallacci, P. & Montorsi, M. (1977): The agronomic utilisation of pig slurry: Effect of forage crops and on soil fertility. In: Utilization of manure by land spreading. By: CEC (Commission of the European Communities), 105-118.
- Boulter, D. & Derbyshire, E. (1978): The general properties. Classification and distribution of plant proteins. *Plant Proteins* 1, 3-24. Butterworths & Co. Ltd., London.
- Brauer, A. (1960): Über den Einfluss der Düngung auf die Verdaulichkeit und den Futterwert von Wiesenheu. *Landw. Forsch.* 13, 201-216.
- Bresson, S., Jakobsen, P.E., Leighton, A.P., Henriksen, J., Kongsholm, H. & Thilsted, S.H. (1978): Kompendium vedrørende vitaminer og mineralstoffer. DSR Forlag, KVL. 89 pp.

- Brink, N. (1978): Kväveutlakning från odlingsmark. *Ekohydrologi* 2, 31-39.
- Brink, N. (1980): Vart tar gödseln vägen. *Ekohydrologi* 7, 43-44.
- Brink, N. & Joelsson, A. (1978): Stallgödsel på villovägar. *Ekohydrologi* 2, 1-16.
- Brink, N. & Lindén, B. (1980): Vart tar handelsgödselkvävet vägen. *Ekohydrologi* 7, 3-20.
- Broughton, W.J. (1981): Heterotrophic microorganisms. Nitrogen fixation. Vol. 1. Ecology. Clarendon Press, Oxford.
- Burford, J.R., Greenland, D.J. & Pain, B.F. (1976): Effects of heavy dressings of slurry and inorganic fertilizers applied to grassland on the composition of drainage waters and the soil atmosphere. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Technical Bull. 32, 432-443.
- Burg, P.F.J. van (1965): De stikstofbemesting van grasland. 7. Het nitraatgehalte als indicator vooe de stikstofvoeding. *Stikstof* 47/48, 461-469.
- Byers, M., Kirkmar, M.A. & Miflin, B.J. (1978): Factors affecting the quality and yield of seed protein. *Plant Protein* 13, 229-243. Butterworths & Co. Ltd. London.
- Böttcher, H., Ziegler, G. & Diwisch, F. (1969): Einfluss überhöhter Stickstoffdüngung auf Haltbarkeit und Qualitätserhaltung bei der Lagerung von Möhren *Arch. Gartenbau*, 17(1), 43-60.
- Cantliffe, D.J. (1972): Nitrate accumulation in spinach grown at different temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97, 674-676.
- Cantliffe, D.J. (1973): Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorus and potassium nutrition and light intensity. *Agron. J.* 65, 563-565.
- Carter, J.N. & Bosma, S.M. (1974): Effect of fertilizer and irrigation on nitrate-nitrogen and total nitrogen in potato tubers. *Agron. J.* 66, 263-266.
- Christensen, H.R. (1927): Jordbundsundersøgelser i forbindelse med fastliggende gødningsforsøg på mineraljord. *Tidsskr. Planteavl* 33, 197-411.
- Christensen, S. (1980): Percolation studies on denitrification. *Acta Agr. Scan.* 30, 225-246.
- Christensen, S. (1983): Kvælstoftab ved denitrifikation. Foredrag ved konsulentmøde.
- Christensen, W. (1970 a): Nitrat i overfladevand og grundvand. *Hedeselskabets Tidsskr.* 91, 50-60.
- Christensen, W. (1970 b): Nitrat i overfladevand og grundvand. *Vandteknik* 38, 24-29.

- Cleemput, O. van & Baert, L. (1980): Winter movement and uptake of N^{15} labeled nitrate by ryegrass on sandy soil. Medelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. 45(5), 1357-1364.
- Coic, Y.C. (1975): Cumulative and antagonistic effects of fertilizers on the protein and oil contents of dual purpose pulses. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland. p. 161-168.
- Cook, G.W. (1975): Sources of protein for people and livestock; The amount now available and future prospects. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland. 29-52.
- Cottenie, A. & Maele F. van de (1977): Soil, water, plant relationship as influenced by intensive use of effluents from livestock. In: Utilization of manure by land spreading by: CEC (Commission of The European Communities), 225-246.
- Dancer, W.S. (1975): Leaching losses of ammonium and nitrate in the reclamation of sand spoils in Cornwall. J. Environ. Qual. 4(4), 499-504.
- Danmarks Statistik (Landbrugsstatistik).
- Dart, P.J. & Mercer, F.V. (1965): The effect of growth temperature, level of ammonium nitrate and light intensity on the growth and nodulation of cowpea (*Vigna sinensis* Endl. Ex. Hassk.) Aust. J. Agric. Res. 16, 321-345.
- Darwinkel, A. (1975): Aspects of assimilation and accumulation of nitrate in some cultivated plants. - Disputats. - Pudoc, Wageningen, Agric. Res., 1-64.
- Davies, W.E. (1975): The effect of P, K and Ca on the yield, crude protein and mineral composition of lucerne and red clover. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland. 149-154.
- Dazzo, F.B. & Brill, W.J. (1978): Regulation by fixed nitrogen of hostsymbiont recognition in the Rhizobium-clover symbiosis. Plant Physiol. 62, 18-21.
- Dilz, K. & Mulder, E.G. (1962): Effect of associated growth on yield and nitrogen content of legume and grass plants. Plant and Soil 2, 229-237.
- Dorph-Petersen, K. (1946): Forsøg med staldgødning og kunstgødning ved Lyngby 1910-1942. Tidskr. Planteavl 50, 555-616.
- Dowdell, R.J. & Webster, C.P. (1976): Denitrification and leaching of nitrogen fertilizers. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Technical Bull. 32, 163-173.
- Eaglesham, A.R.J., Hassouna, S. & Seegers, R. (1983): Fertilizer-N effects on N_2 fixation by cowpea and soybean. Agron. J. 75(1), 61-66.

- Edje, O.T., Mughogho, L.K. & Ayonoadu, U.W.U. (1975): Response of dry beans to varying nitrogen levels. *Agron. J.* 67, 251-255.
- Eggum, B.O. (1968): Aminosyrekoncentration og proteinkvalitet. Stougaards Forlag, København.
- Eiland, F. (1978): Metodeproblemer i jordbundsmikrobiologien. *Ugeskr. Agron., Hort. Forst. Lic.* 123(17), 362-363.
- Eiland, F. (1980): The effects of manure and NPK fertilizers on the soil microorganisms in a Danish long-term field experiment. *Tidsskr. Planteavl* 84(5), 447-454.
- Eiland, F. (1981 a): The effects of high doses of slurry and farmyard manure on microorganisms in soil. *Tidsskr. Planteavl* 85(2), 145-152.
- Eiland, F. (1981 b): Organic manure in relation to microbiological activity in soil. Agricultural yield potentials in continental climates. *Proc. 16th. Colloquium. International. Potash Institute, Bern.* 147-156.
- Eiland, F. (1981 c): Staldgødningens betydning for mikrobiologisk aktivitet i jorden. *N. Jordbr. forsk.* 63, 360.
- Eisenbrand, G., Ungerer O. & Preussmann R. (1974): Formation of N-nitroso compounds from agricultural chemicals and nitrite. In: *N-nitroso Compounds in the Environment IARC Sci. Publ. No. 9.* Lyon 1974.
- Elonen, P. (1972): Influence of irrigation and nitrogen fertilization on the amino acid composition of spring wheat. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* 44, 56-61.
- Eppendorfer, W.H. (1968): The effect of nitrogen and sulphur on changes in nitrogen fluctuations of barley plants at various early stages of growth and on yield and amino acid composition of grain. *Plant and Soil* 29, 424-438.
- Eppendorfer, W.H. (1969): The effects of nitrogen and sulphur on dry matter yields of barley plants on total-N and -S concentrations in grain and straw and on cystine and methionine contents of grain. *Kgl. Vet.- og Landboh. Årsskr.* 1969, 100-116.
- Eppendorfer, W.H. (1975): Effects of fertilizers on quality and nutritional value of grain protein. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland. 249-264.
- Eppendorfer, W.H. (1977): Effects of varying amounts of sulphur and nitrogen on yield, N/S ratio and amino-acid composition of successive cuts of Italian ryegrass. *Kgl. Vet.- og Landboh. Årsskr.* 1977, 42-57.

- Eppendorfer, W.H. (1978): Effects of N-fertilization on amino acid composition and nutritive value of spinach, kale, cauliflower and potatoes. *J. Sci. Food Agric.* 29, 305-311.
- Esbjerg, N. (1929): Forsøg med gødskning af køkkenurter, samt enkelte arter af træplanter. I. *Tidsskr. Planteavl* 35, 325-389.
- Esbjerg, N. (1937): Forsøg med gødskning af køkkenurter, samt enkelte arter af træplanter. II. *Tidsskr. Planteavl* 42, 357-470.
- Falk, B. (1980): Kvävebinding hos baljväxter vid samodling med gräs och i renbestånd-undersökning med en ny ¹⁵N metodik. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för ekologi och miljövård. Rapport nr. 7. 80pp.
- FAO/WHO (1973): In energy and protein requirements 1973, Geneva. World Health Organisation Technical Report series No. 522.
- Fisher, D.J., Hayes, A.L. & Jones, C.A. (1978): Effects of some surfactant fungicides on *Rhizobium trifolii* and its symbiotic relationship with white-clover. *Ann. App. Biol.* 90, 73-84.
- Flengmark, P., Augustinussen, E. & Nordestgaard, A. (1983): Arter af bælg-sæd 1979-81. In press. (Personal communications).
- Foerster, P. (1973): Einfluss hoher Güllegaben und üblicher Mineraldüngung auf die Stoffbelastung im Boden- und Grundwasser in Sandböden Nordwest-deutschlands. *Acker- und Pflanzenbau* 137, 270-286.
- Fogh, H.T. (1972): Ændringer i jordens pH og kalkbehov efter anvendelse af kalksalpeter, flydende vandfri ammoniak eller urea. *Tidsskr. Planteavl* 76, 316-330.
- Fogh, H.T. (1974): Forsøg med forskellige udbringningsmåder for kalkammon-salpeter og flydende trykfri N-gødning til byg og bederoer. Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur. Meddelelse nr. 1167.
- Forureningsrådet-sekretariatet (1971): Jord. Hovedjordudvalgets redegørelse og forslag til forureningsbekæmpelse. Publikation nr. 21. 12-16, 22-27. Statens trykningskontor.
- Franco, A.A., Pereira, J.C. & Neyra, C.A. (1979): Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol.* 63, 421-422.
- Geissler, K. (1971): Untersuchungen zur hohen und zeitlichen Verteilung der Stickstoffdüngung der Feldgemüseproduktion unter Berücksichtigung des Harnstoffeinsatzes. *Archiv Für Gartenbau* 19, 425-441.

- Gerritse, R.C. (1977): Phosphorus compounds in pig slurry and their retention in the soil. In: Utilization of manure by land spreading by: CEC (Commission of the European Communities), 257-266.
- Colovnya, R.V., Zhuraleva, I.L. & Terenina, M.B. (1982): Amines in soil as possible precursors of N-nitroso compounds. Fra: N-nitroso compounds: occurrence and biological effects. Ed.: H. Bartsch, I.K. O'Neill, M. Castegnaro, M. Okada. TARC Scientific Publication No. 41, 327-335.
- Goswari, A.K., & Wilcox, J.S. (1969): Effect of applying increasing levels of nitrogen to ryegrass. - I. - Composition of various nitrogenous fractions and free amino acids. - J. Sci. Food Agric. 20, 592-595.
- Gregersen, A. & Knudsen, K.H. (1972): Sengødskning med kvælstof til byg med forskellig kvælstofgrundgødning. Tidsskr. Planteavl 76, 842-853.
- Groven, I. (1960): Gødningsforsøg med køkkenurter. Tidsskr. Planteavl 63, 553-612.
- Gustafson, A. & Hansson, M. (1980): Växtnäringsförluster i Skåne och Halland. Ekohydrologi 6, 3-20.
- Gustafson, A., Ryding S.O. & Ulén, B. (1981): Kontrol av växtnäringsläckage från åker och skog. Ekohydrologi 8, 31-43.
- Habben, J. (1973): Einfluss des stickstoff- und Kaliumdüngung auf Ertrag und Qualität der Möhre. Landw. Forsch. 26/II. 156-172.
- Haghparsat-Tanha, M.R. (1975): The influence of potassium on the activity of Rhizobium bacteria. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland. 169-178.
- Hahne, H.C., Kroontje, W. & Lutz, J.A. Jr. (1977): Nitrogen fertilization. I. Nitrate accumulation and losses under continuous corn cropping. Soil Sci. Soc. Am. J. 41, 562-567.
- Hansen, E. (1980): Cadmiumforurening. Miljøstyrelsen, 65-87.
- Hansen, F. (1948): Gødningsforsøg ved forsøgsstationen ved Studsgaard 1937-44. Tidsskr. Planteavl 51, 500-527.
- Hansen, H. (1976 a): Indholdet af nitrat og protein i hovedsalat (*Lactuca sativa*, *capita* (Butterhead salat)) dyrket under forskellige vilkår. Tidsskr. Planteavl 80(3), 370-380.
- Hansen, H. (1976 b): Kvælstofgødskningens indflydelse på grønsagers kemiske sammensætning. Tidsskr. Planteavl 80(5), 697-712.
- Hansen, H. (1977): Undersøgelse over variationen i kemisk sammensætning af grønsager i leverance til et storkøkken. Tidsskr. Planteavl 81(4), 492-495.

- Hansen, J. (1983): Afstrømning, jordtype, afgrøde og kvælstofudvaskning. Beretning nr. S 1669 96-106. Statens Planteavlsforsøg.
- Hansen, L. & Pedersen, E.F. (1975): Drænvandsundersøgelser 1971-74. Tidsskr. Planteavl 79(5), 670-688.
- Hansen, L. (1977): Vandbalance og kvælstofbalance. Statens Planteavlsmøde 1977, 20-25.
- Hansen, N.A. (1928): Gødningsforsøg på forsøgsstationen ved Årslev 1911-26. Tidsskr. Planteavl 34, 373-523.
- Harper, J.E. (1974): Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. Crop Sci. 14, 255-260.
- Henriksen, Aa. (1983): Jordens kvælstofindhold og -omsætning. Beretning nr. S 1669, 8-16. Statens Planteavlsforsøg.
- Henzell, E.F. (1962): Nitrogen fixation and transfer by some tropical and temperate pasture legumes in sandculture. Aust. J. Exp. Agr. and Animal Husbandry, 2, 132-140.
- Hojjati, S.M. & Maleki, M. (1972): Effect of potassium and nitrogen fertilization on lysine, methionine and total protein contents of wheat grain. Agron. J. 64, 46-48.
- Holewicz, M. (1971): Ertragsabhängigkeit des Spinats und einige wertbestimmende Bestandteile von der Düngung. Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde 130, 214-224.
- Hooker, M.L., Gwin, R.E., Herron, G.M. & Gallagher, P. (1983): Effects of long-term, annual applications of N and P on the corn grain yields and soil chemical properties. Agron. J. 75 (1), 94-99.
- Hunt, C.H., Rodriquez, D. & Bethke, R.M. (1950): The environmental agronomical factors influencing the thiamine, riboflavin, niacin and pantothenic acid content of wheat, corn and oat. Cereal Chemistry 27, 79-96.
- Hvelplund, E.K. & Østergaard, H.S. (1980): Efterafgrøders kvælstofudnyttelse i relation til gødskningsøkonomi og miljø. Landskontoret for Planteavl, 88 pp.
- Iversen, K. & Dorph-Petersen, K. (1948): Forsøg med store mængder fosforsyre og kaligødning. Jordbundsanalyser og markforsøg. 1940-46. Tidsskr. Planteavl 51, 438-479.
- Iversen, K. & Dorph-Petersen, K. (1950): Forsøg med staldgødning og kunstgødning på sandjord ved Lundgaard og Tylstrup, 1927-46. Tidsskr. Planteavl 53, 33-84.

- Iversen, K. & Dorph-Petersen, K. (1951): Forsøg med staldgødning og kunstgødning ved Askov 1894-1948. Tidsskr. Planteavl 54, 369-538.
- Jacobsen, E.E. (1975): Proteinkvalitet af byg i afhængighed af dyrkningsbetingelser og sort. Biotechnisk Institut. Beretn. nr. 75, 1-35.
- Jahn-Deesbach, W. & May, H. (1972): Der Einfluss von Sorte und Stickstoff-Spätdüngung auf den Thiamin- (Vitamin B₁) des Weizenkornes sowie der verschiedenen Mehltypen und Mühlen-Nachprodukte. Z. Acker- und Pflanzenbau 135, 1-18.
- James, D.W. (1978): Diagnostic soil testing for nitrogen availability: The effects of nitrogen fertilizer rate, time, method of application and cropping pattern on residual soil nitrogen. Bulletin, Utah Agricultural Experiment Station No. 497, 28 pp.
- Jansson, S.L. (1972): Kvävegödslingens och kvävetilgångens inverkan på aminosyresammansättningen hos vårsäd. NJF-symposium. Uppsala 18.-19. oktober 1972.
- Jensen, A. (1979): Undersøgelser vedrørende VA-mycorrhiza's forekomst og betydning for fosforoptagelsen hos byg. Ugeskr. Jordbrug 124 (29), 648-651.
- Jensen, A. (1983): The effect of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and growth of barley in two Danish soils. Plant & Soil 70 (2), 155-164.
- Jensen, H.L. (1969): Lucerne- og kløverrodknoldbakteriernes forekomst i danske landbrugsjorder. Tidsskr. Planteavl 73, 61-72.
- Jensen, I. (1980): Husdyrgødning som plantenæring og mulig forureningskilde. Ugeskr. Jordbrug 125 (1), 29-31.
- Jensen, I. (1981): Organisk contra uorganisk gødskning. Ugeskr. Jordbrug 126 (38), 603-607.
- Jensen, J. (1963): Some investigations on plant uptake of sulfur. Soil Sci. 95 (1), 63-68.
- Jensen, J. (1978): Indhold af B, F, Mn, Cu, Cd, Pb og Zn i drænvand. Tidsskr. Planteavl 82 (4), 540-548.
- Jensen, J. (1975): Sorter af vintergulerødder til industribrug og friskvaremarkedet 1971-1974. Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur. Meddelelse nr. 1186.
- Jensen, T.S. (1929): Om kunstgødningens indvirkning på jordens reaktion. Tidsskr. Planteavl 35, 390-419.

- Jensen, V. (1981): Heterotrophic microorganisms. Nitrogen fixation. I. Ecology (W.J. Broughton, Ed.). Clarendon Press, Oxford, 30-56.
- Johnson, J.W., Welch, L.F. & Kurtz, L.T. (1975): Environmental implications of N fixation by soybeans. *J. Environ. Qual.* 4 (3), 303-306.
- Jones, M.B., Street, J.E. & Williams, W.A. (1974): Leaching and uptake of nitrogen applied to annual grass and clover-grass mixtures in lysimeters. *Agron. J.* 66, 256-258.
- Jurinak, J.J. & Griffin, R.A. (1972): Nitrate ion absorption by calcium carbonate. *Soil Sci.* 130-135.
- Jørgensen, V. (1978): Luften og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. *Tidsskr. Planteavl* 82 (5), 633-656.
- Kearny, P., Oliver, J., Helling, Ch., Isense, A. & Kontson, A. (1977): Distribution, movement, persistence and metabolism of N-nitrosoatrazine in soil and model aquatic ecosystem. *J. Agric. Food Chem.* 25, 1177-1181.
- Khan, S.U. (1970): Enzymatic activity in a gray wooded soil as influenced by cropping systems and fertilizers. *Soil Biol. Biochem.* 2, 137-139.
- Khan, S.U. (1981): N-nitrosamine formation in soil from the herbicide glyphosate and its uptake by plants. ACS Symposium series 174, 275-287.
- Kimble, J.M., Bartlett, R.J., McIntosh, J.L. & Varney, K.E. (1972): Fate of nitrate from manure and inorganic nitrogen in a clay soil cropped to continuous corn. *J. Environ. Qual.* 1 (4), 413-415.
- Kjellerup, V. (1983): Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af nitratkvælstof. 1973-81. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1736.
- Kjellerup, V. & Klausen, P.S. (1975): Gylles indhold af plantenæringsstoffer. Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur. 1212. Meddelelse.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A.D. (1979): Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer. *Tidsskr. Planteavl* 83, 330-348.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A.D. (1983): Kvælstofgødskningens indflydelse på udvaskning af plantenæringsstoffer fra jorden. Lysimeterforsøg med anvendelse af ^{15}N . *Tidsskr. Planteavl* 87 (1), 1-22.
- Klausen, P.S. (1983): Gødningers kvælstofindhold og omsætning i jorden. Statens Planteavlsforsøg. Beretning nr. S 1669, 32-37.
- Klausen, P.S. & Larsen, K.E. (1977): Kvælstof, kalium og magnesium til kløvergræs. *Tidsskr. Planteavl* 81 (2), 203-214.
- Klausen, P.S. & Nemming, O. (1982): Udbringningstider for svinøgødnings til byg. *Tidsskr. Planteavl* 86, 189-192.

- Klemm, K.H. & Ansorge, H. (1967): Untersuchungen über den Einfluss einer langjährig unterschiedlichen Düngung auf die Qualität der Ernteprodukte. Albrächt-Thaer-Archiv 11 (5), 449-461.
- Koch, K. (1975): Influence of potassium on grain composition. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland p. 243-248.
- Kofoed, A.D. (1971): Humusbalancen. Statens Planteavlsmøde 1971, 20-25.
- Kofoed, A.D. (1974): Indhold af tungmetaller i handelsgødning. Ugeskr. Agron. og Hort. 119 (3), 864-865.
- Kofoed, A.D. (1975): Fertilizer use and protein production-introductory remarks. 11th colloquium. International Potash Institute, Berne/Switzerland. p. 17-28.
- Kofoed, A.D. (1977 a): Farmyard manure and crop production in Denmark. CEC (Commission of the European Communities), 29-44.
- Kofoed, A.D. (1977 b): Kvæggylle til græsmark. Virkningen på sammensætningen af jordluften. Ugeskr. Agron., Hort., Forst., Lic. 122 (1/2), 7-9.
- Kofoed, A.D. (1979): Naturgødning og næringsstofbalance. Ugeskr. Jordbrug 124 (1-2), 3-19.
- Kofoed, A.D. (1980 a): Belastning af jorden med husdyrgødning. Ugeskr. Jordbrug 125 (2), 40-43.
- Kofoed, A.D. (1980 b): Undersøgelser over indhold af nitrosaminer i landbrugsafgrøder. Statens Planteavlsmøde 1980, 18-21.
- Kofoed, A.D. (1981): Nitrogen losses and surface run-off from land spreading of manures. The Commission of the European Communities. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers/The Hague/Boston/London.
- Kofoed, A.D. (1983 a): Husdyrgødning og handelsgødning i planteproduktion. Statens Planteavlsmøde, 1983, 10-12.
- Kofoed, A.D. (1983 b): Nitrat i drikkevand og sundhedsfare. Ugeskr. Jordbrug 128 (17), 319-327, (18), 339-344.
- Kofoed, A.D. & Kjellerup, V. (1970): Nedvaskning af kvælstofforbindelser i jord. Tidsskr. Planteavl 73, 659-686.
- Kofoed, A.D. & Klausen, P.S. (1971): Kvælstofvirkning i nogle ældre og nyere bygsorter. Tidsskr. Planteavl 75, 7-26.
- Kofoed, A.D. & Klausen, P.S. (1983): Gødskningens indflydelse på jords og planters cadmiumindhold. Tidsskr. Planteavl 87 (1), 23-32.
- Kofoed, A. D. & Larsen, K. E. (1979): Forsøg med peraform. Langsomtvirkende kvælstofgødning. Tidsskr. Planteavl 73, 172-179.

- Kofoed, A.D., Nemming, O., Brunfeld, K., Nebelin, E. & Thomsen, J. (1981): Investigations on the occurrence of nitrosamines in some agricultural and horticultural products. *Acta Agri. Scan.* 31, 40-48.
- Kolenbrander, G. J. (1974): Efficiency of organic manure in increasing soil organic matter content. *Transact. 10th Int. Congr. Soil Sci, Moskva* 2, 129-136.
- Kolenbrander, G.J. (1975): Nitrogen in organic matter fertilizer as a source of pollution. Conf. on nitrogen as a water pollutant. IAWPR spec. Copenhagen, vol. 1.
- Kowalenko, C.G. & Cameron, D.R. (1978): Nitrogen transformations in soil plant systems in three years of field experiments using tracer and nontracer methods on an ammonium-fixing soil. *Can. J. Soil Sci.* 58 (2), 195-208.
- Kristiansen, H. (1980): Nitrat og jern i grundvand. *Vandteknik* 48 (5), 119-124.
- Lambert, J., Toussaint, B. & De Paepe, J. (1975): Fertilizer influence on the protein content and its value in major grasses and legumes of temporary grass for cutting. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland. 137-148.
- Lamm, C.G. (1971): Det danske jordarkiv. *Tidsskr. Planteavl* 75, 703-720.
- Larsen, J. & Christoffersen, P. (1979): C-Vitaminer i grønsager. *Ugeskrift for Jordbrug* 42, 993-997.
- Larsen, K. E. (1975): Isobutyliden divrea (Isodur) som langsomtvirkende N-gødning til græs. *Tidsskr. Planteavl* 79, 288-302.
- Larsen, K.E. (1981): Husdyrgødningsfosfor og dets anvendelse. *N. Jordbr. forsk.* 63, 386-387.
- Larsen, K.E. & Kofoed, A.D. (1983): Udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning. *Statens Planteavlsforsøg. Beretning S 1669*, 46-57.
- Laugesen, K. (1972): Urease i agerjord. *Tidsskr. Planteavl* 76, 221-229.
- Laugesen, K. & Mikkelsen, J.P. (1973): Fosfatase i jordbunden. *Tidsskr. Planteavl* 77 (3), 352-356.
- Lind, A.M. (1979): Nitrogen in soil water. *Nordic Hydrology* 10, 65-68.
- Lind, A.M. (1980 a): Denitrification in the root zone. *Tidsskr. Planteavl* 84, (2), 101-110.
- Lind, A.M. (1980 b): Nitratreduktion i rodzone og undergrund. *Ugeskrift for Jordbrug* 125 (3), 78-82.
- Lind, A.M. (1983): Omsætning af nitrat i jord. *Statens Planteavls møde 1983*, 13-17.

- Lind, A.M. & Pedersen, M.B. (1976 a): Nitrate reduction in the subsoil. II. General description of boring profiles, and chemical investigations on the profile cores. *Tidsskr. Planteavl* 80 (1), 82-99.
- Lind, A.M. & Pedersen, M.B. (1976 b): Nitrate reduction in the subsoil. III. Nitrate reduction experiments with subsoil samples. *Tidsskr. Planteavl* 80 (1), 100-106.
- Lindén, B. (1981): Ammonium- och nitratkvävetts rörelser och fördelning i marken. IV. Inverkan av gödslingssätt och nederbörd. Studier i fältförsök. Sveriges Landbruksuniversitet. Institutionen för markvetenskap. Avd. för växtnäringslära, rapport 145.
- Lindhard, J. (1971): De langvarige gødningsforsøg ved Askov. Statens Planteavlsmøde 1971, 9-19.
- Lindhard, J. (1975): Kvælstof i afgrøde og gennemsnitsvands vand efter tilførsel af nitrat- og ammoniumkvælstof. Lysimeterforsøg 1962-72. *Tidsskr. Planteavl* 79 (4), 536-544.
- Lindhard, J. (1980): Omsætning af organiske stoffer i jord målt gennem optagelse og udvaskning af kvælstof. Askov 1958-71. *Tidsskr. Planteavl* 84 (4), 317-330.
- Lingsten, L. & Brink, N. (1978): Åkergödslingens inverkan på miljön i en bäck. *Ekohydrologi* 2, 17-30.
- Lofs-Holmin, A. (1983): Influence of agricultural practices on earthworms (Lubricidae). *Acta agric. Scan.* 33, 225-234.
- Lorenz, O.A. & Weir, M.S. (1974): Nitrate accumulation in vegetables. *Environ. Qual. Food Supply*, Futura Publ. Co, Mount Kisco, N.Y., 93-103.
- Ludwick, A.E., Reuss, J.O. & Langin, E.J. (1976): Soil nitrate following four years continuous corn and as surveyed in irrigated farm field of control in eastern Colorado. *J. Environ. Qual.* 5 (1), 82-86.
- Lyngstad, I. (1979): Nitrogenomsætning i jord og udvaskning av nitrogen i norske undersøkelser. *N. Jordbr. forsk.* 61, 218-219.
- Maga, J.A., Moore, F.D. & Oshima, N. (1976): Yield, nitrate levels and sensory properties of spinach as influenced by organic and mineral nitrogen fertilizer levels. *J. Sci. Food. Agric.* 27, 109-114.
- Magdoff, F.R. & Amadon, J.F. (1980): Yield trends and soil chemical changes resulting from N and manure application to continuous corn. *Agron. J.* 72, 161-164.
- Maier, R.J. & Brill, W.J. (1978): Mutant strains of *Rhizobium japonicum* with increased ability to fix nitrogen for soybean. *Science* 201 448-450.

- Makarov, B.N. & Gerashchenko, L.B. (1981): Gaseous nitrogen losses from soil upon application of various amounts and forms of nitrogen fertilizer. *Soviet Soil Sci.* 13 (1), 51-57.
- Maynard, D.N. & Barker, A.V. (1971): Critical nitrate levels for leaf lettuce, radish and spinach plants. *Comm. Soil Sci. and Plant Anal.* 2, 461-470.
- Maynard, D.N. & Barker, A.V. (1972): Nitrate content of vegetable crops. *Hort. Sci.* 7, 224-226.
- Maynard, D.N., Barker, A.V., Minotti, P.L. & Peck, N.H. (1976): Nitrate accumulation in vegetables. *Agron. J.* 29, 71-118.
- McAllister, J.S.V. (1977): Efficient recycling of nutrient. Utilization of manure by land spreading by: CEC (Commission of the European Communities), 87-104.
- Meincke, J. (1979): Nedsivning fra markmødding og ensilagestakke. *Tidsskr. Planteavl* 83 (4), 441-467.
- Miljøstyrelsen, (1983): Nitrat i drikkevand og grundvand i Danmark.
- Mohr, U. & Hilfrich, J. (1972): Effect of a single dose of N-diethylnitrosamine in the rat kidney. *J. Natl. Cancer Inst.* 49, 1729.
- Murphy, W. E. & Connolly, V. (1975): The interaction of new cultivars of grass and legumes with fertilizers. 11th colloquium. International Potash Institute. Berne/Switzerland, 129-136.
- Müller, G. (1961): Über die bodenbiologische Dynamik eines 80 jährigen Dauerdüngungsversuches. *Zbl. Bakt. Abt. II.* 115, 585-593.
- Müller, G. Hickisch, B. & Tischer, P. (1972): Ermittlung bodenmikrobiologischer Aktivitätsparameter. *Zbl. Bakt. Abt. II* 127: 82-97.
- Nemming, O. (1976): Husdyrgødning til kløvergræs og rent græs. *Tidsskr. Planteavl* 80, 239-257.
- Nemming, O. (1977): Staldgødningsanvendelse og -forurening. *Statens Planteavlsmøde 1977*, 49-62.
- Nemming, O. (1982): Stigende mængder fast svinegødning og svinegylle til byg. *Tidsskr. Planteavl* 86, 127-132.
- Nielsen, J. & Eiland, F. (1980): Investigation on the relationship between P-fertility, phosphatase activity and ATP content in soil. *Plant and Soil* 57, 95-102.
- Nielsen, J.D. & Jensen, A. (1983): Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and uptake of various nutrients as well as uptake ratio of fertilizer P for lucerne (*Medicago sativa*). *Plant and Soil* 70(2), 165-172.

- Nielsen, N.J. (1931): Gødningsforsøg på Forsøgsstationen ved Studsgård 1918-1928. Tidsskr. Planteavl 37, 353-437.
- Nissen, T.V. (1978): Agerjordens mikrobiologi. Ugeskr. Agron., Hort., Forst., Lic. 123(17), 360-361.
- Nissen, T.V. (1981 a): Den biologiske kvælstofbinding. Ugeskr. Jordbrug 126(33), 495-499.
- Nissen, T.V. (1981 b): Om forekomst af kløverbakterier i nogle udvalgte danske landbrugsjorde. Tidsskr. Planteavl 85(2), 153-157.
- Nowakowski, T.Z., Bolton, J. & Lazarus, W. (1975): Effects of form and amounts of nitrogen and magnesium fertilizers on the yields and on the inorganic composition of Italian rye-grass grown on magnesium deficient soil. J. Sci. Food Agric. 26, 1483-1492.
- Nowakowski, T.Z. & Byers, M. (1972): Effects of nitrogen and potassium fertilizers on contents of carbohydrates and free amino acids in Italian rye-grass. J. Sci. Food Agric. 23, 1313-1333.
- Nowakowski, T.Z. & Cunningham, R.K. (1966): Nitrogen fractions and soluble carbohydrates in Italian ryegrass. II. Effects of light intensity, form and level of nitrogen. J. Sci. Food Agric. 17, 145-150.
- Nowakowski, T.Z., Mattingly, G.E.G. & Lazarus, W. (1977): Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on yields and on inorganic and organic composition of Italian ryegrass grown on phosphorus-deficient soil. J. Sci. Food Agric. 28, 491-500.
- Otani, K. (1974): Effect of nitrogen fertilizer on carotenoid content in carrots. J. Agric. Sci. Japan 18, 270-273.
- Pancholy, S.K. (1978): Formation of carcinogenic nitrosamines in soil. Soil Biol. Biochem. 10, 27-32.
- Pate, J.S. & Dart, P.J. (1961): Nodulation studies in legumes. IV. The influence of inoculum strain and time of application of ammonium nitrate of symbiotic response. Plant and Soil 15, 329-346.
- Patterson, I.G. & La Rue, T.A. (1983): Nitrogen fixation by soybeans: Seasonal and cultivar effects and comparison of estimates. Crop Sci. 23, 488-492.
- Peavy, W.S. & Greig, J. K. (1972): Organic and mineral fertilizers compared by yield, quality and composition of spinach. J. Amer., Soc., Hort., Sci. 97(6), 718-723.
- Peck, N. H., Barker, A.V., MacDonald, G.E. & Schallenberger, R. S. (1971): Nitrate accumulation in vegetables. II. Table beet grown in upland soils. Agron. J. 63, 130-132.

- Pedersen, E.F. (1982): Grundvandsundersøgelser på sandjord 1975-1979. Tidsskr. Planteavl 86(6), 543-566.
- Pedersen, E.F. (1983): Kvælstoftab gennem drænvand 1971-81. Statens Planteavlsforsøg. Meddelelse nr. 1704.
- Pedersen, J.B. (1983): Nitratforurening af grundvandet belyst ved eksempler fra Ringkjøbing amtskommune (I). Vandteknik 51(1), 23-28.
- Pedersen, M.B. & Lind, A.M. (1976 a): Nitrate reduction in the subsoil. I. Introductory studies of the nitrate reduction in the subsoil, and its influence on ground water quality. Tidsskr. Planteavl 80(1), 73-81.
- Pedersen, M.B. & Lind, A.M. (1976 b): Nitrate reduction in the subsoil. IV. Some physical properties of the subsoil, their influence on chemical interchange in the soil, and on ground water quality. Tidsskr. Planteavl 80(1), 107-118.
- Pettersson, B.D., Wistinghausen, E.V. & Brinton, W. Jr. (1979): Effects of organic and inorganic fertilizers on soil and crops. Meddelanden Nordisk forskningsring nr. 30. Järna.
- Phillips, W.E.J. (1968): Changes in the nitrate and nitrite contents of fresh and processed spinach during storage. J. Agr. Food Chem. 16, 88-91.
- Planteavlsberetninger:
- Planteavlsarbejdet i Landboforeningerne i Jylland. 1935-70.
- Beretning om Landboforeningernes Virksomhed for Planteavlen på Sjælland 1942-70.
- Beretning om Planteavlsarbejdet i Landboforeningerne i Fyns Stift. 1950-70.
- Beretning om Planteavlsarbejdet i De samvirkende Lolland-Falsterske Landboforeninger 1940-70.
- Planteavlen på Bornholm. 1950-70.
- Planteavlsarbejdet i Landboforeningerne. 1971-72.
- Planteavlsarbejdet i Landbo- og Husmandsforeningerne. 1973-78.
- Planteavlsarbejdet i de Landboøkonomiske foreninger. 1979-83.
- Postgate (1974): New advances and future potential in biological nitrogen fixation. J. Appl. Bact. 37, 185-202.
- Pratt, P.F., Broadbent, F.E. & Martin, J.P. (1973): Using organic wastes as nitrogen fertilizers. California Agriculture 27, 10-13.
- Quakenbush, L.S. & Wilson, R.G. (1981): Effects of herbicide and manure applications on soil chemistry and growth of fieldbeans (*Phaseolus vulgaris*). Weed Sci. 29, 508-512.

- Rasmussen, K. (1980): Cødskningsens økologiske aspekter. Ugeskr. Jordbrug 125(1), 19-24.
- Ray, P.M. (1972): The living plant. Holt, Rinehart and Winston, Inc. 206 pp.
- Read, D.W.L., Spratt, E.D., Bailey, L.D. & Waeder, F.G. (1977): Residual effects of phosphorus fertilizer. I. For wheat grown on four chernozemic soil types in Saskatchewan and Manitoba. Can. J. Soil Sci. 57, 255-262.
- Reuff, von B. (1970): Vitamin- und Spurenelementgehalt von Spinat unter dem Einfluss verschiedener Stickstoffformen und Stickstoffmengen. Landw. Forsch. 25/II, 106-114.
- Rhodes, A.P. & Jenkins, G. (1978): Improving the protein quality of cereals, grain legumes and oilseeds by breeding. Plant Proteins, 207-226. Butterworths & Co. Ltd. London.
- Risø, afdelingen for landbrugsforsøg. Årsberetning 1981. Ressourceudnyttelse og energi i planteproduktionen, 30-45.
- Robson, A.D. (1981): Mineral nutrition. In: Nitrogen fixation (W.J. Broughton, Ed.), Clarendon Press, Oxford. 3, 36-55.
- Ryden, J.C. (1983): Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen of ammonium nitrate. J. Soil Sci. 34, 255-365.
- Ryle, G.J.A., Powell, C.E. & Cordon, A.J. (1979): The respiratory costs of nitrogen fixation in soybean, cowpea and white clover. I. Nitrogen fixation and the respiration of the nodulated root. J. Exp. Bot. 30, 135-144.
- Scharrer, von K. & Werner, W. (1957): Über die Abhängigkeit des Ascorbinsäuregehaltes der Pflanze von ihrer Ernährung. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 77,122. Bandk. Heft 2, 97-110.
- Schiller, K. & Oslage, H.J. (1970): Untersuchungen über die Variabilität von Futtergerstenprotein. 1. Über den Einfluss ökologischer Faktoren auf den Proteingehalt in Gersten und dessen ernährungsphysiologische Qualität Landw. Forsch. 23, 317-332.
- Schuphan, W. (1974): Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments. Qual. Plant. 23, 333-358.
- Schuphan, W. (1976): Mensch und Nahrungspflanze. Der biologische Wert der Nahrungspflanze in Abhängigkeit von Pestizideinsatz, Bodenqualität und Düngung. Dr.W. Junk B.V. Verlag - Den Haag 1976, 37 p.
- Schuphan, W., Bengtsson, B., Bosund, I. & Hylmö, B. (1967): Nitrate Accumulation in Spinach. Qual. Plant. Mater. Veg. 14, 317-330.

- Seeger, J.R. (1961): Le problème de l'excrétion d'Azote des Légumineuses. *Premières Recherches en région équatoriale*. Plant and Soil 14, 277-288.
- Shaw, K. & Jones, E. (1976): Lysimeter studies on movement of applied mineral nitrogen through soil. Technical Bulletin. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 32, 222-236.
- Simmelsgaard, S.E. (1980): Transport af næringsstoffer til dræn og undergrund i relation til vandbalance. *Statens Planteavlsmøde 1980*, 8-13.
- Skriver, K. (1980): Gødningsforsyningen i Danmark. I. Landbrugsjordens næringsstofbalance. *Tidsskr. Landøkonomi* 167, 85-90.
- Sluismans, C.M.J. & Kolenbrander, G.J. (1976): De stikstofwerking van stalmost op korte en lange termijn. *Stikstof* 7, 349-354.
- Smith, C.R., Funke, B.R. & Schultz, J.T. (1978): Effects of insecticides on acetylene reduction by alfalfa, red clover and sweet clover. *Soil Biol. Biochem.* 10, 463-466.
- Spiers, G.A. & McGill, W.B. (1979): Effects of phosphorus addition and energy supply on acid phosphatase production and activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* 11, 3-5.
- Spratt, E.D. & McCurdy, E.V. (1966): The effect of various long-term soil fertility treatments on phosphorus status of clay chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 46, 29-36.
- Spratt, E.D., Warder, F.G., Bailey, L.D. & Read, D.W.L. (1980): Measurement of fertilizer phosphorus residues and its utilization. *Soil Sci. Am. J.* 44, 1200-1204.
- Stapel, C. (1979): Biologisk-dynamisk landbrug og nogle andre alternative landbrugsmetoder som led i verdens fødevareproduktion. *Tidsskr. Landøkonomi*. 166, 151-194.
- Steen, W. (1983): Soil animals in relation to agricultural practices and soil productivity. *Swedish J. Agric. Res.* 13, 157-165.
- Steenbjerg, F., Larsen, I., Jensen, I & Bille, S. (1972): The effect of nitrogen and simazine on the dry matter yield and amino acid content of oats and on the absorption and utilization of various plant nutrients. *Plant and Soil* 3, 475-496.
- Steenvoorden, J.H.A.M. & Oosterom, H.P. (1977): Leaching of nitrate and denitrification in a sandy soil as influenced by manure application. In: *Utilization of manure by land spreading by: CEC (Commission of the European Communities)*, 247-256.

- Stevens, R. J. & Cornforth, I.S. (1974): The effect of pig slurry applied to a soil surface on the composition of the soil atmosphere. *J. Sci. Food Agric.* 25, 1263-1272.
- Summerfield, R.J., Dart, P.J., Huxley, P.A., Eaglesham, A.R.J., Minchin, F.R. & Day, J.M. (1977): Nitrogen nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). I Effects of applied nitrogen and symbiotic nitrogen fixation on growth and seed yield. *Exp. Agric.* 13, 129-142.
- Tan, G.Y. (1981): Genetic variation for acetylene reduction rate and other characters in alfalfa. *Crop Sci.* 21, 485-488.
- Tate, R.L. & Alexander, M. (1974): Formation of dimethylamine and diethylamine in soil treated with pesticides. *Soil Sci.* 118, 317-321.
- Thomas, R.J., Jokinen, K. & Schrader, L.E. (1983): Effect of *Rhizobium japonicum* mutants with enhanced N_2 fixation activity on N transport and photosynthesis of soybeans during vegetative growth. *Crop Sci.* 23, 453-456.
- Tjell, J.C. (1983): Massebalance for kvælstof på dansk landbrugsjord. I: Seminar ATV-komiteen vedrørende grundvandsforurening.
- Trenner, P. & Rauhe, K. (1971): Über die Wirkung von Rindergülle in Kombination mit verschiedenen organischen Zusätzen auf das Umsetzungsgeschehen in einem Lehm Boden unter kontrollierten Laborbedingungen. *Arch. Bodenfruchtbarkeit. u. Pflanzenprodukt.* 15, 189-196.
- Ulén, B. & Brink, N. (1980): Omgivningens betydelse för primärproduktionen i vadsbrosjön. *Ekohydrologi* 7, 21-37.
- Villumsen, A. (1983): Aktuell status for grundvandskvaliteten i Danmark. I: Seminar ATV-komiteen vedrørende grundvandsforurening.
- Vinther, F.P. (1982): Nitrogenase activity (acetylene reduction) during the growth cycle of spring barley. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 145, 356-362.
- Virtanen, A.I. (1935): Riktlinjer för självförsörjande kvävehushållning i lantbruket. *Lantbruksakademiens handlingar och tidskrifter* 74, 609-664.
- Viuf, B.T. (1972): Varietal differences in nitrogen content and protein quality in barley. *Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Årsskr.* 1972, 37-61.
- Viuf, B.T. (1973): Højere proteinindhold i byg gennem forædling og N-gødskning. *Ugeskr. Agr. Hort.* 23, 396-400.
- Warren, R.G. & Johnston, A.E. (1967): Hoosfield Continuous Barley. Report Rothamsted Exp. Station, 1966, 320-338.
- Weber, C.R. (1966): Nodulating and nonnodulating soybean isolines: II. Response to applied nitrogen and modified soil conditions. *Agron. J.* 58, 46-49.

- Westermann, D.T., Kleinkopf, G.E., Porter, L.K. & Leggett, G.E. (1981): Nitrogen sources for bean production. *Agron. J.* 73, 660-664.
- Westermann, D.T. & Kolar, J.J. (1978): Symbiotic N_2 (C_2H_2) fixation by bean. *Crop Sci.* 18, 986-990.
- Wiklander, L., Vahtras, K. & Ohlsson, M. (1979): Nitrat och nitrit i markprofilen på Lanna. *Lantbrukshögskolans Meddelanden A.* no. 27, 12 pp.
- Wiklander, L. (1977): Leaching of plant nutrients in soil. IV. Content in drainage water and ground water. *Acta Agric. Scan.* 27, 175-189.
- Wilcke, D. (1962): Untersuchungen über die Einwirkung von Stallmist und Mineraldüngung auf den Besatz und die Leistung der Regenwürmer im Ackerboden. Monographie zur angew. Entomologie 18, 121-167.
- Wolf, E. (1955): Einfluss der Wachstumsdauer und steigender Nährstoffgaben auf den Karotin- und Vitamin C-Gehalt von Möhren und Sellerie. *Landwirtsch. Forsch.* 7, 139-143.
- Zary, K.W. & Miller, J.C. Jr. (1980): The influence of genotype on diurnal and seasonal patterns of nitrogen fixation in southern pea. (*Vigna unguiculata* (L) (Walp.)) *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 105, 699-701.
- Åkerberg, E. (1975): The interaction of new cultivars of forage crops with NPK (in Relation to protein production). 11th colloquium. *International Potash Institute Berne/Switzerland* p. 113-128.

Institutter m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafrøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Statens Bisydomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 62 00
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	(03) 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	(04) 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	(08) 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Afdeling for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng .	(06) 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	(07) 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	(07) 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	(05) 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	(05) 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	(04) 74 21 04
Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . . .	(06) 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	(08) 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Planteværnsafdelingen på »Godthåb«, Låsbyvej 18, 8660 Skanderborg .	(06) 52 08 77
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00