



Statens
Planteavlsforsøg

Planteværnscentret
Administrationen
Løttenborgvej 2 - DK-2800 Lyngby

Beretning nr. S 1669

Kvælstof og planteproduktion

Jørgen Hansen og Arne Kyllingsbæk (red.)

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1983



Statens
Planteavlsforsøg

Beretning nr. S 1669

Kvælstof og planteproduktion

Jørgen Hansen og Arne Kyllingsbæk (red.)

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1983

Forord

Landbrugets gødningsanvendelse og dens indflydelse på miljøet indgår i stigende grad i samfundsdebatten. Stadig flere institutioner beskæftiger sig med udredning og forskning vedrørende kvælstofbelastning af omgivelserne.

Statens Planteavlsforsøg har gennemført og gennemfører til stadighed forsøg, der belyser kvælstofomsætningen og herunder kvælstoftab. Forskning og forsøg på dette område er intensiveret betydeligt siden begyndelsen af 1970'erne, og der findes nu et omfattende datamateriale vedrørende kvælstof i jord og planter ved Statens Planteavlsforsøg.

Større forskningsprojekter er startet med bevillinger fra Statens jordbrugs- og veterinærvidenskabelige Forskningsråd. Forskningen gennemføres navnlig ved følgende fire institutter under Landbrugscentret:

Statens forsøgsstation, Askov : Husdyrgødning og handelsgødnings indflydelse på plante-
produktion og kvælstoftab

Statens forsøgsstation, Højer : Drønvandskvalitet og jordvandskvalitet ved forskellige
jordtyper og dyrkningsbetingelser

Statens forsøgsstation, Jyndeved: Vanding og dens indflydelse på kvælstofomsætning

Statens Planteavls-Laboratorium : Kvælstofreduktion i dyrkningslag og undergrund

Resultaterne offentliggøres løbende som beretninger og meddelelser fra Statens Planteavlsforsøg. For at give en samlet oversigt over nyere resultater og viden vedrørende kvælstof og planteproduktion besluttede Statens Planteavlsforsøg i april i år at udarbejde en publikation til udgivelse i 1983.

Resultaterne i beretningen er hovedsagelig hentet fra undersøgelser udført ved de nævnte fire institutter, og der er kun i begrænset omfang medtaget resultater fra andre danske institutter eller fra udlandet.

De enkelte afsnit er skrevet af medarbejdere fra de fire ovennævnte institutter. Forfatternavne for de enkelte afsnit fremgår af indholdsfortegnelsen.

Redigeringen er foretaget af lic. agro. Jørgen Hansen, Højer, og lic. agro. Arne Kyllingsbæk, Statens Planteavls-Laboratorium, med reference til en styregruppe bestående af forstanderne Lorens Hansen (formand), Aa. Henriksen, V. Jørgensen og A. Dam Kofoed.

Manuskriptet er renskrivet af assistent Annelise Wagner, Højer.

Højer, oktober 1983

Lorens Hansen

Indholdsfortegnelseside

1. Indledning. <u>A. Kyllingsbæk</u>	6
2. Jordens kvælstofindhold og -omsætning	8
2.1. Kvælstofindhold i forskellige jordtyper. <u>Aa. Henriksen</u>	8
2.2. Kvælstoffraktioner i jorden. <u>Aa. Henriksen</u>	11
2.3. Mineralisering af kvælstof. <u>Aa. Henriksen</u>	12
2.3.1. Mineralisering af planterester, grøngødning og staldgødning .	16
2.4. Denitrifikation og nitratreduktion. <u>A.-M. Lind og S. Christensen</u> ...	18
2.5. Biologisk kvælstofbinding. <u>F. Eiland</u>	26
3. Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab fra rodzonen	29
3.1. Kvælstofforbrug. <u>P. Søndergaard Klausen</u>	29
3.2. Gødningers kvælstofindhold og omsætning i jorden. <u>P. Søndergaard Klausen</u>	32
3.3. Kvælstoftilførsel	38
3.3.1. Afgrødernes kvælstofbehov. <u>K. E. Larsen</u>	38
3.3.1.1. Kvælstof og plantekvalitet	43
3.3.2. Udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning. <u>K. E. Larsen og A. Dam Kofoed</u>	46
3.3.3. Kvælstoftilførsel og kvælstofudvaskning. <u>V. Kjellerup og P. Søndergaard Klausen</u>	58
3.3.4. Kvælstofgødskning, samlet eller delt. <u>V. Kjellerup</u>	62
3.3.4.1. Nedvaskning og eftergødskning. <u>V. Kjellerup og J. Hansen</u>	66
3.3.4.2. Styret kvælstofgødskning. <u>A. Gregersen</u>	69
3.4. Andre dyrkningsforanstaltninger	71
3.4.1. Halmnedmuldning. <u>P. Schjøning</u>	71
3.4.2. Efterafgrøde. <u>K. J. Rasmussen</u>	76

	<u>side</u>
3.4.3. Jordbearbejdning. <u>K. J. Rasmussen</u>	82
3.4.3.1. Kvælstofudnyttelse og udbytteforhold	82
3.4.3.2. Kvælstof i jorden og kvælstoftab	85
3.4.4. Vanding. <u>A. Gregersen</u>	89
3.5. Afstrømning, jordtype, afgrøde og kvælstofudvaskning. <u>J. Hansen</u>	96
3.5.1. Vandbevægelse og nitratindhold i jordvand	96
3.5.2. Kvælstofudvaskning fra rodzonen	100
3.6. Nitrattilførsel til grundvand og vandløb. <u>E. Frimodt Pedersen</u>	107
3.6.1. Grundvand	108
3.6.2. Nitratudledning med drænvand	111
4. Kvælstofkredsløb og kvælstofbalance	114
4.1. Kvælstofkredsløb og -balance på landbrugsarealer. <u>Aa. Henriksen</u>	114
4.2. Kvælstofkredsløb og -balance på naturarealer. <u>Aa. Henriksen</u>	119
4.3. Forskelle mellem kvælstofmængden i omløb på landbrugs- og natur- arealer. <u>Aa. Henriksen og A. Kyllingsbæk</u>	120
4.4. Muligheder for begrænsning af kvælstoftab fra rodzonen. <u>A. Kyllingsbæk og J. Hansen</u>	121
5. Sammendrag	124
6. Litteratur	128
7. Stikord	136
8. Forfatteradresser	141

1. Indledning

Sammen med kulstof, ilt og brint udgør kvælstof (N) hovedbestanddelen af alt organisk stof i planterne. Kvælstofindholdet i planter udgør som regel fra 1-4 % af tørstoffet - afhængig af arten, udviklingstrin og planteorgan.

Hovedparten af kvælstofindholdet findes i aminosyrer, der indgår som byggesten i planternes proteinstoffer. Desuden indgår kvælstof i en lang række andre organiske forbindelser i planterne, bl.a. kan nævnes aminer, nukleinsyrer, klorofyl, vækststoffer og vitaminer.

Foruden organisk kvælstof findes der også uorganisk kvælstof i planterne. Uorganisk kvælstof er til stede hovedsageligt som nitrat (NO_3^-), men små mængder ammonium (NH_4^+) kan også forekomme. Nitrat findes især i unge velgødede planter, hvorimod modne plantedele som regel har et meget lavt nitratinhold.

Bortset fra bælgeplanterne, som i symbiose med knoldbakterier er i stand til at udnytte kvælstof fra luften, er de plantearter, som har landbrugsmæssig interesse, henvist til at optage kvælstof fra jorden. Kvælstof optages hovedsageligt som nitrat og ammonium. I planten reduceres nitrat over nitrit (NO_2^-) til ammonium, som derefter indgår i opbygningen af plantens forskellige kvælstof-forbindelser.

Den mængde kvælstof, som er til rådighed for en afgrøde i vækstperioden, stammer dels fra kvælstof tilført med nedbøren og ved mikroorganismers binding af kvælstof fra luften, og dels fra kvælstof frigjort ved nedbrydning af organisk stof, samt fra eventuelt tilført husdyr- og handelsgødning.

Kvælstof tilført fra atmosfæren og kvælstof frigjort ved nedbrydning af organisk stof i jorden dækker ikke under almindelige dyrkningsforhold den kvælstofmængde, der er nødvendig for at opnå et udbytte af en størrelse, som de givne klimatiske og øvrige dyrkningsbetingelser giver mulighed for.

Siden århundredeskiftet, da handelsgødning blev taget i anvendelse, er forbruget af kvælstofgødning steget støt. Især er der sket en stor stigning i forbruget de sidste 20-30 år. I samme periode er høstudbyttet for en række afgrøder også steget betydeligt. Stigningen i høstudbyttet skal dog ikke alene tillægges den stigende tilførsel af kvælstof, idet en forbedring af andre dyrkningsmæssige foranstaltninger også har haft betydning.

Stigningen i anvendelsen af kvælstof - herunder anvendelse af store mængder husdyrgødning - har imidlertid også rejst spørgsmålet, om kvælstofgødsningen har nået et niveau, som medfører, at udvaskning af kvælstof i form af nitrat fra rodzonen har fået et omfang, som dels påvirker de biologiske forhold i

vandløbene og havet på uheldig måde, og dels udgør en risiko for nedvaskning af uacceptable mængder nitrat til grundvandet.

Tilføres kvælstofgødning til en jord, hvor kvælstofkredsløbet er i ligevægt, vil der efterhånden indstille sig en ny ligevægt, hvor kvælstofmængden i kredsløbets enkelte led er øget, eller sagt på en anden måde: der nås en ny ligevægt på et højere niveau. Alt andet lige må en stigning i kvælstoftilførslen derfor også åbne mulighed for en større udvaskning af kvælstof fra rodzonen.

Ud fra dette kan dog ikke slutes, at den stigende anvendelse af kvælstof har medført, at tabet fra rodzonen er steget tilsvarende. Sideløbende med den stigende tilførsel af kvælstof er der således ved forædling fremkommet nye sorter og stammer, som er i stand til at udnytte større mængder kvælstof. Endvidere har en lang række andre dyrkningsmæssige faktorer en afgørende indflydelse på kvælstofomsætningen i jorden og planternes mulighed for udnyttelse af den tilgængelige mængde kvælstof.

For at kunne udnytte disse faktorer på den mest hensigtsmæssige måde og vurdere deres betydning under forskellige forhold er det af afgørende betydning at have et indgående kendskab til, hvorledes de påvirker planternes kvælstofoptagelse, og hvorledes de øver indflydelse på de enkelte led i kvælstofkredsløbet.

I det følgende er givet en omtale af, hvorledes landbrugets planteproduktion øver indflydelse på kvælstofkredsløbets forskellige led, herunder kvælstoftabet fra rodzonen.

I tilknytning hertil er der opstillet kvælstofbalancer for henholdsvis landbrugs- og naturarealer, samt peget på muligheder for begrænsning af kvælstofudvaskningen fra rodzonen.

2. Jordens kvælstofindhold og -omsætning

2.1. Kvælstofindhold i forskellige jordtyper

Kvælstof indgår kun i ringe mængder i jordbundens mineralske bestanddele. Derimod udgør elementært kvælstof, N_2 , ca. 78 % af atmosfærens luftarter. Heraf kan ved elektriske udladninger dannes kvælstofoxider, der iltes videre til nitrat og føres ned til jorden med nedbøren. Med kvælstof til rådighed i jorden skabtes basis for plantevækst, som gav organisk stof som energikilde for mikroorganismer. Blandt disse er der kvælstofbindende bakterier, dels fritlevende, dels sådanne, som lever i symbiose med bælgeplanter.

I tidens løb har disse processer ført til en ophobning af organisk bundet kvælstof i jorden, hovedsageligt i humus, der dannes som et "biprodukt" ved den mikrobielle nedbrydning af dødt organisk stof i jordskorpens øverste lag. Størrelsen heraf er i første række betinget af de givne klimatiske og jordbundsmæssige forhold. Men også den måde, hvorpå jorden anvendes, spiller en rolle.

Tabel 1 viser det totale kvælstofindhold i danske landbrugsjorde ned til 1 m dybde (Lamm 1971). Opdeling efter jordtype er foretaget på grundlag af teksturanalyse. Der er regnet med 2.500 t tørjord pr. ha pr. 20 cm jordlag.

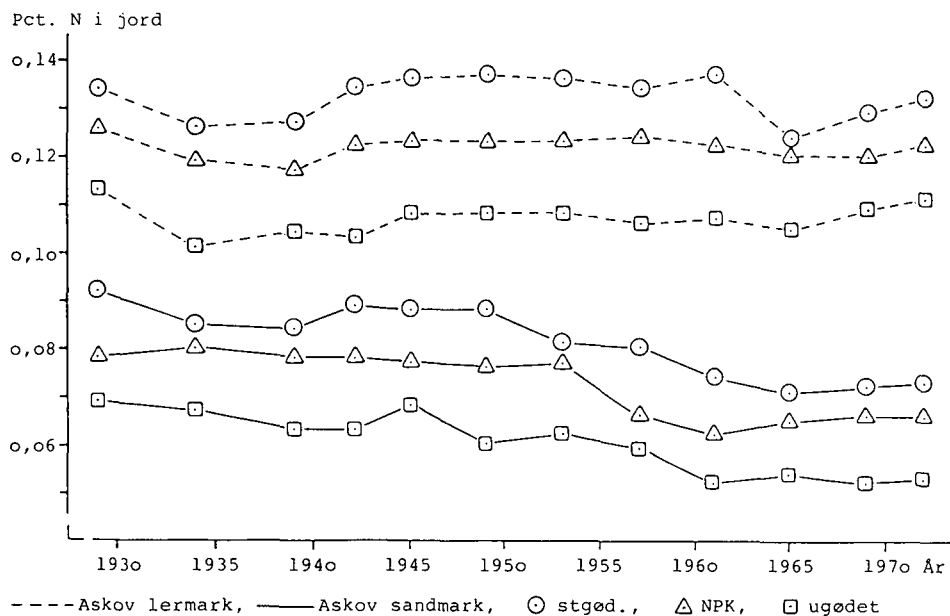
Tabel 1: Det gennemsnitlige totale kvælstofindhold i forskellige jordtyper og
=====
-dybder (Lamm 1971)

Jordtype	JB nr.	Antal prøver	Dybde cm:	Total-N, % af tørvægt			kg N/ha	
				0-20	20-50	50-100	0-20	0-100
Grovsandet jord	1	7		0,091	0,052	0,022	2.275	5.050
Finsandet jord	2	9		0,104	0,053	0,026	2.600	5.550
Lerbl. sandjord	3-4	9		0,129	0,068	0,031	3.225	6.950
Sandbl. lerjord	5-6	19		0,151	0,081	0,037	3.775	8.200
Lerjord	7-8	5		0,192	0,102	0,047	4.800	10.400
Humusjord		3		0,624	0,436	0,577	-	-

JB nr.: Jordtypenr. efter det danske jordklassificeringssystem (Landbrugsministeriet 1976)

Det fremgår, at det gennemsnitlige totale kvælstofindhold tiltager med stigende lerindhold. Der er flere årsager hertil. Blandt de vigtigste er en generelt højere planteproduktion med stigende lerindhold og deraf følgende større stub- og rodmasse tilført jorden. Endvidere lermineralernes evne til at adsorbere organiske stoffer, hvilket mindsker nedbrydningshastigheden, samt lermineralernes evne til at fikserer ammonium.

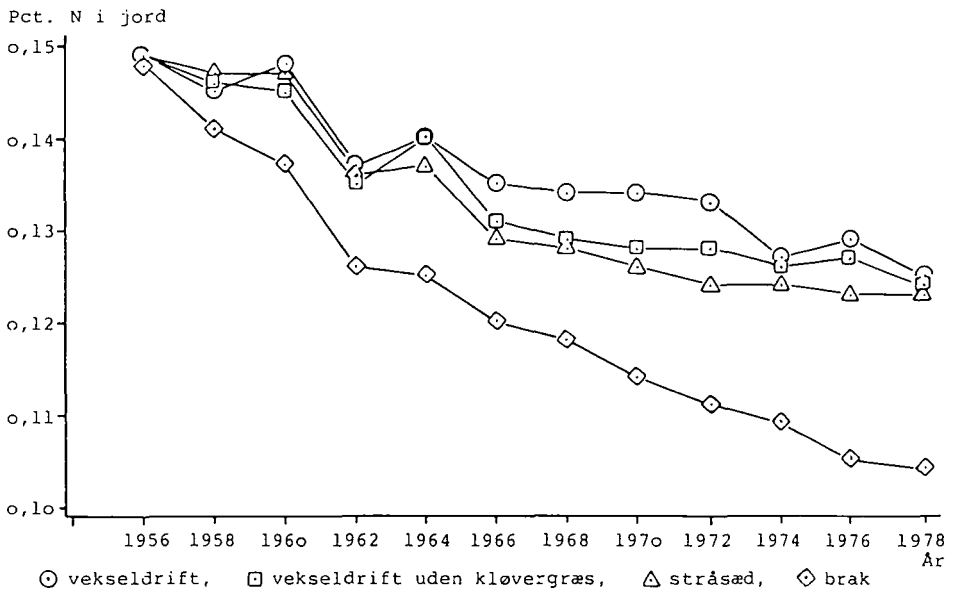
Som nævnt påvirkes det totale kvælstofindhold tillige i større eller mindre grad af den måde, hvorpå jorden dyrkes. Figur 1 viser gødskningens indflydelse på jordens kvælstofindhold i de langvarige gødningsforsøg på Askov ler- og sandmark (Kofoed 1982). Resultaterne viser ganske samme tendens på de to forsøgsarealer, nemlig aftagende kvælstofindhold fra staldgødet over handelsgødet til ugødet. Den stærkt jordtypebestemte forskel i kvælstofindhold, vist i tabel 1, fremgår ligeledes klart.



Figur 1: Staldgødningens og handelsgødningens indflydelse på jordens kvælstofindhold i de langvarige gødningsforsøg ved Askov.

Askov lermark er grov sandbl. lerjord (JB5), og Askov sandmark er grovsandet jord (JB1). (Kofoed 1982)

Figur 2 viser sædskiftets indflydelse på jordens kvælstofindhold i Askov (Larsen 1983). Den generelle nedgang i pløjelagets kvælstofindhold i sædskifte-leddene siden forsøgets start i 1956 kan formentlig forklares som "fortyndingseffekt" - en følge af, at pløjedybden er øget noget gennem årene. I brakjord er der derudover en klar nedgang i kvælstofindholdet.



Figur 2: Sædskiftets indflydelse på jordens kvælstofindhold. Askov ler-
===== mark, grov sandbl. lerjord (JB5). (Larsen 1983)

Inden forsøgets start blev arealet dyrket i vekseldrift med kløvergræs; ved brak er jorden holdt udyrket siden 1956. I nærværende materiale er det tydeligt, at vekseldriften med kløvergræs bevarer et lidt højere kvælstofindhold i jorden end de kløverfri sædskifter, og at nedgangen bliver særlig stor, hvor man anvender brak.

2.2. Kvælstoffraktionering i jorden

Jordens indhold af kvælstof kan generelt deles i en organisk og en uorganisk fraktion.

Den organiske fraktion udgør i reglen mere end 95 % af pløjelagets totale kvælstofindhold. Fraktionen omfatter både jordens mikroflora og fauna og planterester på alle stadier af nedbrydning fra friskt organisk stof til den relativt stabile stofgruppe, der benævnes humus.

Humus kan defineres som den fraktion af organisk stof, der er omdannet i en sådan grad, at den oprindelige morfologiske struktur ikke kan erkendes. Humus bestemmes som jordens totale indhold af organisk kulstof $\times 1,72$; heri indgår alt organisk stof, levende som dødt, uanset omsætningsgrad.

Humus er sammensat af mange forskellige kemiske forbindelser og kan opdeles i en række fraktioner. Nogle af disse har ved ^{14}C -datering vist sig at være meget gamle (1000-3000 år). Andre fraktioner er forholdsvis unge (0-25 år) (Sørensen 1973).

En vis mindre del af jordens humusindhold er let nedbrydeligt (labilt), andet er meget tungt nedbrydeligt (stabilt). Der er dog ingen skarpe grænser mellem fraktionerne.

Humus indeholder ca. 5 % kvælstof; ca. 75 % af dette er til stede hovedsageligt som aminosyrekvælstof. Resten findes indbygget i andre forbindelser af ukendt kemisk form.

Den uorganiske fraktion består overvejende af ammonium og nitrat. Små mængder af nitrit kan forekomme. NH_4^+ adsorberes til jordens kationbytningsskompleks og kan fikseres på lignende måde som kalium (K^+).

I modsætning til NH_4^+ bindes NO_3^- ikke af jordens adsorptionskompleks og er således frit bevægeligt med jordvæsken. Dette er årsag til, at kvælstof - i form af NO_3^- - kan udvaskes.

Ved en undersøgelse af danske jorde er fundet "naturligt" fikserede ammoniummængder mellem 50 og 300 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. ha i de øverste 20 cm, generelt stigende med lerindhold. I specielle jordtyper er fundet op til 600 kg N. Også i jorden under pløjelaget findes fikseret NH_4^+ , men i mindre mængder. Undersøgelser af jord fra fastliggende forsøg viste, at forskellige kvælstofformer kun øver ringe indflydelse på den fikserede ammoniummængde, der i øvrigt må anses for at være uden større betydning i jordens kvælstofbalance og dermed for planternes kvælstofforsyning (Nielsen 1971).

Adsorberet NH_4^+ samt NO_3^- udgør den direkte tilgængelige kvælstofkilde for planterne. Jordens indhold heraf er variabelt, idet det ændres i takt med en lang række faktorer såsom gødskning, planteoptagelse, klimatiske forhold og biologisk aktivitet. Ifølge Oversigt over Landsforsøgene (1982) varierer indholdet af adsorberet ammonium ved vækstperiodens begyndelse normalt mellem 1-3 mg $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. kg jord i pløjelaget og er mindre end 1 mg pr. kg jord i 25-100 cm dybde. Omregnet svarer dette til 15-25 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. ha til 1 m dybde. Nitratinholdet er mere varierende, men andrager normalt mellem 25 og 60 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ pr. ha til 1 m dybde for lerjorde, mens indholdet for sandjorde normalt er lavere.

Den umiddelbart plantetilgængelige kvælstofmængde ved vækstperiodens begyndelse udgør således kun omkring 1 % af jordens totale indhold, men set i forhold til f.eks. en bygafgrødes forbrug er mængden ikke uden betydning. På grovsandede jorde kan den tilgængelige mængde dog være nær 0.

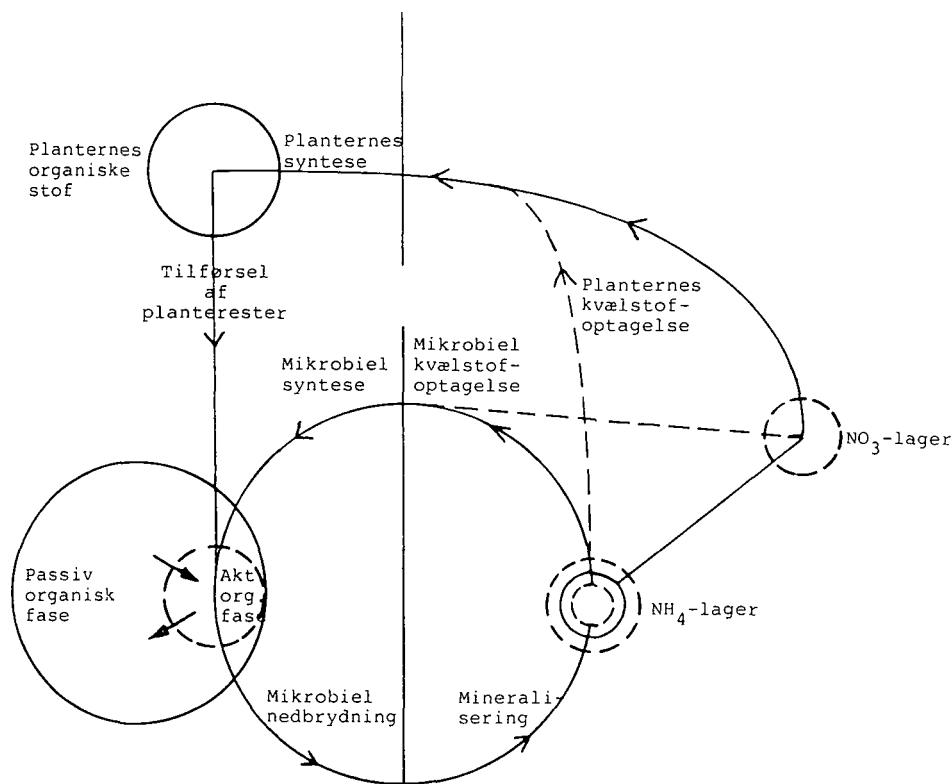
Organisk bundet kvælstof i jordens egen beholdning eller fra tilført organisk gødning er først tilgængeligt for planterne efter mineralisering.

2.3. Mineralisering af kvælstof

Ved kvælstofmineralisering forstås omdannelse af organisk bundet til uorganisk kvælstof, som er tilgængeligt for planter. Grundlaget herfor er den mikrobielle nedbrydning af organisk stof, hvori såvel bakterier som svampe tager del. Men også jordbundsfaunaen spiller en rolle i nedbrydningsprocesserne. Dette gælder specielt regnormene, der konsumerer og findeler planterester, som derved bliver lettere tilgængelige for mikroorganismene (Andersen et al. 1983).

En skematisk oversigt over den biologiske kvælstofomsætning i jord er vist i figur 3. Den store cirkel i figuren repræsenterer den biologiske aktivitet i marken, venstre halvdel dens organiske fase. Cirklen til venstre illustrerer jordens indhold af organisk stof med en aktiv og en passiv fraktion, som omtalt i det foregående afsnit.

Den let nedbrydelige fraktion, dvs. den aktive organiske fase, indeholder hovedsageligt kvælstof i aminosyrer, som formentlig indgår i proteiner. Første led i nedbrydningen består af en proteolyse, hvorved aminosyrerne frigøres. Disse kan herefter reduceres til ammoniak (NH_3) ved en proces, der benævnes ammonifikation. Den dannede ammoniak forbinder sig omgående med vand til den positivt ladede ammoniumion (NH_4^+). Den pågældende reaktion: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ erganske den samme, som finder sted, når flydende ammoniak nedfældes i jorden.



Figur 3: Skema over den biologiske kvælstofomsætning i marken
 =====
 (efter Jansson 1958)

De beskrevne processer er normalt aldrig begrænset af mangel på mikroorganismer, men af fysiske faktorer, som bestemmer deres aktivitet, såsom jordtemperatur, fugtighed, ilttilgang, surhedsgrad (pH) etc. Hvad angår temperaturkrav bør bemærkes, at forskellige grupper af mikroorganismer har forskellige temperaturkrav. Der sker således en ændring (tilpasning) af mikrofloraen med jordtemperaturens skiftet. Psykrofile (kuldeelskende) mikroorganismer kan vokse ved temperaturer ned til 0° C og har optimum under 20° C; andre grupper kræver f.eks. ca. 5° C for at vokse og har optimum ved 20-40° C. Der kan således i milde vintre, i det tidlige forår og sene efterår være en betydelig mikrobiel aktivitet i jord (Nissen 1974). Hvad angår krav til fugtighed har de i nedbrydningsprocesserne deltagende mikroorganismer optimum ved vandindhold nær markkapacitet. Jordens pH

påvirker forholdet mellem bakterier og svampe, idet det menes, at bakterier generelt har optimal vækst ved højere pH end svampe. Et godt luftskifte (ilttilgang) er en nødvendig betingelse for, at nedbrydningsprocesserne resulterer i en fuldstændig nedbrydning til CO_2 , NH_3 m.v.

I almindelighed må det siges, at forholdene i landbrugsjord vil betinge mikrobiel aktivitet og dermed nedbrydning af organisk stof undtagen i frostperioder, men at processernes omfang oftest begrænses af temperatur eller af jordens vandindhold.

Dannelse af NH_4^+ er en nøgleproces i omsætningen af organisk stof. Dette antydes af de koncentriske cirkler til højre på figur 3. Hver af disse repræsenterer en ammoniumforbrugende proces, og konkurrencestyrken er des større, jo mindre cirklerne er. Det fremgår således, at jordens mikroorganismer har den stærkeste konkurrencekraft, når det gælder om at udnytte det nydannede eller tilstedeværende NH_4^+ i jordens pulje. Først når mineraliseringen er større end mikroorganisernes behov, bliver der NH_4^+ tilovers til nitrifikation og sidst til forsyning af planterne. Denne situation betegnes nettomineralisering og fremkommer, når materialet i den aktive organiske fase, herunder planterester og rødder, er nedbrudt til et passende lavt kulstof-kvælstof (C/N)-forhold, som oftest under 20. Ved C/N-forhold mellem 20 og 30 vil der som regel hverken ske frigørelse eller fastlægning, medens højere C/N-forhold resulterer i en fastlægning (immobilisering) af NH_4^+ samt tillige af eventuelt tilstedeværende NO_3^- i jorden. Dette forårsages af følgende:

Kvælstof i form af NH_4^+ eller NO_3^- er nødvendig for at iværksætte den øgede vækst af den mikrobiologiske population, som fremkommer ved tilsætning af dødt organisk stof til jorden under forhold, hvor mikroorganismerne kan arbejde. Er C/N-forholdet højt, som f.eks. i halm (C/N-forhold 60-80), vil mikroorganismerne hurtigt immobilisere alt uorganisk kvælstof i jorden til opbygning af den øgede cellemasse, i figuren angivet ved mikrobiel assimilation og mikrobiel syntese. De involverede mikroorganismer er heterotrofe, hvilket vil sige, at de kræver organiske kulstofforbindelser som energikilde. Disse "forbrændes" til kuldioxid (CO_2), som afgår til atmosfæren. I takt hermed forbruges indholdet af energikilden, organisk kulstof, og C/N-forholdet mindskes. Som processen skrider frem, nås det punkt, hvor der ikke længere er energi til den store bestand af mikroorganismer, som blev opformeret i den indledende omsætningsfase. Dette fører til, at en stigende del af populationen dør på grund af energimangel, hvorefter de mineraliseres og afleverer deres kvælstofindhold til NH_4^+ -puljen. Gennem processen fra immobilisering over ligevægtsstadiet nås frem til nettomineraliseringen, der som nævnt ind-

træder, når C/N-forholdet falder til under ca. 20.

Under forhold, hvor den beskrevne heterotrofe omsætning, benævnt ammonifikationsprocessen, kan finde sted, vil der normalt også være vækstbetingelser for en anden gruppe af mikroorganismer, de såkaldte salpeterbakterier eller nitrificerende bakterier, der udnytter CO_2 som kulstofkilde og skaffer sig energi ved uorganisk iltning (chemoautotrofi). Salpeterbakterierne omfatter to typer, nemlig nitritbakterier (*Nitrosomonas*), der ilter NH_4^+ til NO_2^- , og nitratbakterier (*Nitrobacter*), der ilter NO_2^- videre til NO_3^- . Mellemproduktet, nitrit, findes kun sjældent i jord, idet mulighederne for oxidationen i sidste trin normalt er lig med eller større end tilsvarende i første trin. I øvrigt er den omtalte proces ganske den samme, som finder sted, når ammoniumholdige gødninger tilføres jorden.

Som nævnt har de nitrificerende bakterier større konkurrencekraft over for NH_4^+ end planterne, som derfor må dække så langt hovedparten af deres kvælstofbehov ved hjælp af NO_3^- . Dette gælder for de dyrkede landbrugsjorde i normal kalktilstand og ved normalt vandindhold.

Men netop jordens pH og iltindhold er faktorer, der i særlig grad påvirker de nitrificerende bakteriers aktivitet og dermed den hastighed, hvormed NH_4^+ omdannes til NO_3^- . Det angives således generelt, at pH skal være omkring 5,5, for at processen kan forløbe, samt at pH omkring 7,5 giver optimale betingelser. Munk (1958) har imidlertid vist, at der under i øvrigt optimale betingelser kan finde en ikke ubetydelig nitratdannelse sted ved pH så lavt som 4,4. Da de nitrificerende bakterier er obligat (strengt) aerobe, kan de kun producere NO_3^- i nærværelse af molekylær ilt (O_2). Processen vil derfor gå i stå, hvor ilt ikke er til stede. Dette kan forekomme, hvor jorden temporært eller måske konstant er vandmættet, således at luftskifte umuliggøres. Men allerede ved et iltindhold i jordluften på 1 % (ca. 1/20 af atmosfærens) forløber processen med ca. 50% af optimal hastighed (Black 1957). Et godt luftskifte i jorden fremmer således nitrifikationen. Nitrifikationsprocessen er derimod ikke særlig følsom over for tørre jordbundsforhold. Det er således vist, at 100% af tilført NH_4^+ blev nitrificeret i løbet af 21 dage ved en tension på 7 bar, hvilket er ensbetydende med en ret tør jord. Selv ved en tension på 15 bar (visnegrænsen) blev 50 % nitrificeret i samme tidsrum under i øvrigt optimale forhold (Justice & Smith 1962). Hvad angår temperatur har nitrificeringsprocessen optimum ved 30-33° C, men forløber, omend med stærkt begrænset hastighed, helt ned til en temperatur omkring frysepunktet.

Som for de mikrobielle nedbrydningsprocesser kan det generelt konkluderes, at nitrifikationsprocessen vil kunne forløbe i jorden størstedelen af året, dog med en i det væsentligste temperaturbetinget forskel i hastighed.

2.3.1. Mineralisering af planterester, grøngødning og staldgødning

Under normale klimatiske forhold vil en helt overvejende del af mineraliseringen finde sted i tidsrummet fra marts/april til december, hvor den gennemsnitlige daglige temperatur er over 3° C (Kolenbrander 1975). Yderligere faktorer, der bestemmer mineraliseringens omfang, er jordens vandindhold, samt den tilstedeværende mængde af tilgængeligt kvælstof.

Ved vurdering af mineraliseringens betydning for planteernæring og kvælstoftab er det nødvendigt at dele den i to afsnit, som kan benævnes efterårs- og sommer-mineraliseringen.

Efterårsmineraliseringen er som oftest begunstiget af relativ høj jordtemperatur og passende fugtighedsforhold. Der er følgelig gode fysiske betingelser for mineralisering af dødt plantemateriale i form af rod samt planterester fra de høstede kornafgrøder. Disse forbedres yderligere ved jordbehandlingen, som øger luftskiftet og dermed ilttilgangen.

Ved høst er jorden praktisk taget tømt for uorganisk kvælstof. Dette er vist ved et stort antal undersøgelser. Andersen og Jensen (1983) fandt således et indhold af uorganisk kvælstof i 0-45 cm dybde på 8 kg N pr. ha i sandjord ved høst af vårbyg. I lerjord fandt Hvelplund og Østergaard (1980) et indhold på ca. 6 kg N pr. ha i de øverste 20 cm, heraf halvdelen som nitrat. Da afgrøderesterne alle har et højere C/N-forhold end 20, vil efterårsmineraliseringens indledende fase være karakteriseret af immobilisering af kvælstof i den voksende population af mikroorganismer. Denne afløses imidlertid ret hurtigt af en nettomineralisering, hvilket fremgår af følgende resultater fra Hvelplund og Østergaards undersøgelser over mineraliseringen i ubevokset jord efter byg:

kg N/ha i 0-100 cm dybde til forskellige tidspunkter

Dato	NO ₃ -N	NH ₄ -N
14.08.	8,5	11,3
25.09.	21,5	12,8
31.10.	39,2	8,9
11.12.	50,1	9,4

Allerede efter ca. 6 uger er der tale om en nettomineralisering, bestemt i profilen, på 13 kg N pr. ha, stigende til ca. 40 kg i løbet af perioden indtil midten af december. Hele den mineraliserede mængde foreligger i form af nitrat, hvil-

ket bekræfter de gode betingelser for nitrifikation. Hertil kommer en beregnet udvaskning fra profilen på ca. 17 kg $\text{NO}_3\text{-N}$, samt et ikke nærmere bestemt tab ved denitrifikation.

Kolenbrander (1975) angiver, at der ved dyrkning af korn, sukkerroer og kartofler i gennemsnit nydannes og efterlades ca. 3.000 kg organisk stof i jorden pr. ha og med et indhold af ca. 65 kg N, svarende til et C/N-forhold på ca. 23. I rod og stub efter ital. rajgræs fandt Jensen (1980) 2.732 kg tørstof pr. ha med 51 kg N, medens Andersen og Jensen (1983) ved skridning har fundet indhold af kvælstof i bygrødder på ca. 30 kg N pr. ha svarende til 1,8 % af rodtørstof.

Tidspunktet for nettomineraliseringens indtræden afhænger, andre forhold lige, af det organiske stofs C/N-forhold. Der vil således ske en hurtigere mineralisering af grøngødning med et C/N-forhold omkring 20 end af halm med et C/N-forhold omkring 60. Dette fremgår af talrige undersøgelser, f.eks. Kolenbrander (1974). Ved tilførsel af grøngødning, f.eks. gul sennep, nedbrydes ca. 80 % i det første år, af halm 70 % og af staldgødning 50 %; en mindre del af resten nedbrydes i de følgende år. Den langsommere omsætning af staldgødning med et C/N-forhold på 20-30 skyldes sandsynligvis, at der inden udbringning er sket en omsætning i maddingen. Kolenbrander (1974) har beregnet, at der efter 8 år kun er 3-4 % tilbage af grøngødningen, men 13-14 % af halmen. For husdyrgødningens vedkommende er 20 % stadig ikke omsat efter 8 års forløb.

Ud fra et jorddyrkningsmæssigt synspunkt er efterårsmineraliseringen kun positiv, når den dannede nitrat kan optages i og udnyttes af en afgrøde. I modsat fald kan den give anledning til tab ved denitrifikation eller ved udvaskning - sidstnævnte yderligere med miljømæssige virkninger til følge.

Det ved sommermineraliseringen dannede nitrat kan derimod udnyttes af planterne. Omfanget af sommermineraliseringen er ligeledes bestemt af Hvelplund og Østergaard (1980) i en ubevokset lerjord (brak). Følgende resultater fandtes i 1979 efter nedfræsning af bygstub i august 1978:

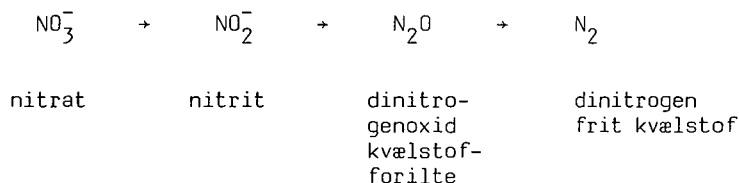
kg N/ha i 0-100 cm dybde til forskellige tidspunkter

Dato	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
02.04.	44	3,2
15.05.	60	-
01.07.	86	5,3
20.08.	94	7,2

Der er tale om en betydelig nettomineralisering, men det må understreges, at værdien for kvælstofmineralisering i brakjord ikke kan give det absolutte billede af, hvad der sker i en bevokset jord. Planternes vandforbrug med den deraf følgende udtørring af jorden og rodudskillelsen af letomsætteligt organisk stof med højt C/N-forhold vil virke hæmmende på nettomineraliseringen (Huntjens 1971) og kan øge denitrifikationen under lejlighedsvis vandmætning. Endvidere er mineraliseringen i forårs/sommerperioden her kun vist med en enkelt jord, en enkelt forfrugt og under de i det pågældende år herskende mineraliseringsbetingelser. Der vil derfor være betydelige variationer fra dette eksempel, ikke mindst beroende på forfrugt. Ompløjning af en kløvergræsmark eller anden bælg­sædafgrøde vil således resultere i en betydelig større kvælstofmineralisering det følgende år (se side 61) end tilsvarende efter korn som i eksemplet, medens roer indtager en mellemstilling.

2.4. Denitrifikation og nitratreduktion

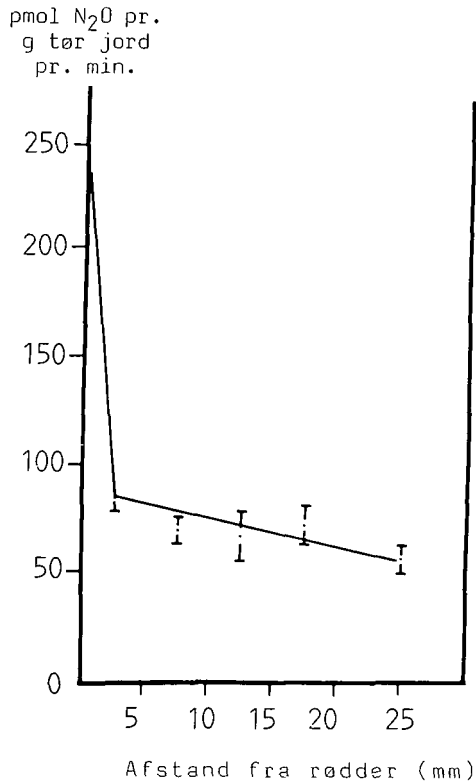
Denitrifikation er en mikrobiologisk omdannelse af NO_3^- til de luftformige kvælstofforbindelser, N_2O (dinitrogenoxid, kvælstofforilte eller lattergas) og N_2 (frit kvælstof). Omdannelsen forløber i jorden ved dårlige iltforhold, idet en stor del af jordens bakterier er i stand til at udnytte nitratets iltindhold, når der bliver mangel på atmosfærisk ilt (fakultativt anaerobe bakterier). Processen kan skrives således:



Denitrifikation og organisk stof. Foruden iltfattige forhold er det afgørende for denitrifikationens forløb, at der kan leveres energi til processen i form af let omsætteligt organisk stof. Processen stimuleres f.eks. stærkt ved tilsætning af glukose eller findelt plantemateriale. Derudover virker organisk stof stimulerende på den biologiske aktivitet med et øget iltforbrug fra de nærmeste omgivelser til følge. I markforsøg med anvendelse af organisk og uorganisk gødning viser målinger af koncentrationer og overfladeafgivelse af det ene denitrifikationsprodukt, N_2O , større mængder fra led tilført 100 t gylle pr. ha eller 100 t staldgødning pr. ha end fra led tilført 25 t gylle pr. ha og kunstgødning (160 kg N pr. ha). Dette gælder hovedsageligt i forårsmånederne, hvor der er store mængder nitrat i jorden og gunstige betingelser for denitrifikation på grund af højt vandindhold. Senere i vækstperioden udlignes forskellene mellem behandlingerne og falder til et meget lavt niveau. I det øverste dyrkningslag er mængden af organisk stof sjældent begrænsende for processen. Ud over tilført organisk gødning leverer også afgrøderester tilgængeligt organisk stof.

Anaerobe mikrolokaliteter. Det har vist sig, at der selv fra tilsyneladende vel-luftet jord kan afgives denitrifikationsprodukter. Dette skyldes formodentligt, at der inde i jordkrummer af en vis størrelse kan opstå iltfattige forhold, hvorved der er skabt betingelser for en denitrifikation. Dette er beskrevet af bl.a. Flühler et al. (1976).

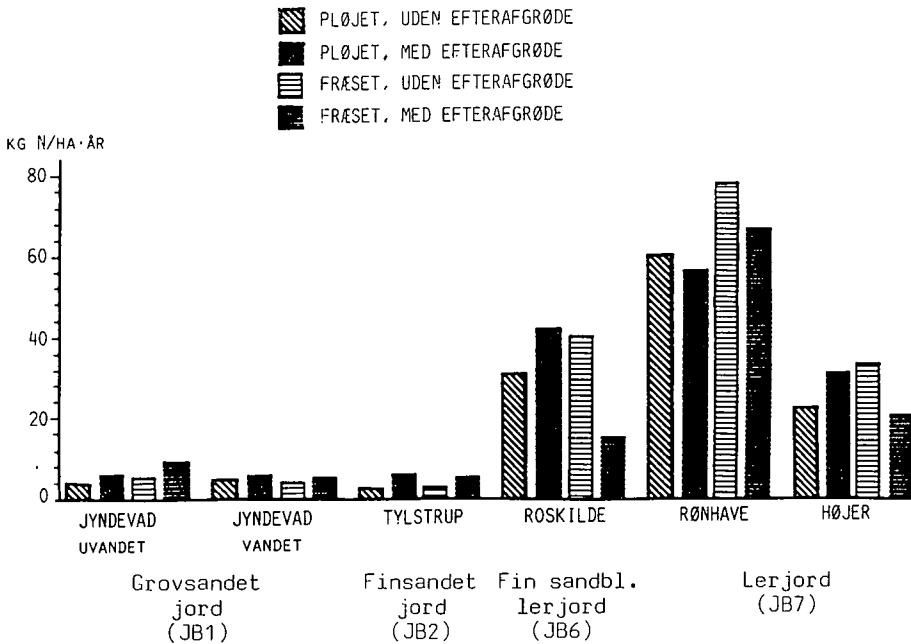
Denitrifikation og plantevækst. Plantevækstens indflydelse på denitrifikationen er mangesidig. Generelt gælder det, at der i nærheden af rødderne er forbedrede betingelser for denitrifikation af to årsager: 1) Røddernes forbrug af ilt formindsker iltindholdet lige i nærheden af rødderne og 2) røddernes udskillelse af organiske stoffer leverer energi til denitrifikationsprocessen. Røddernes indflydelse på denitrifikationen er vist i figur 4 (Smith & Tiedje 1979). Heraf fremgår, at denitrifikationen i 2,5 mm afstand fra roden falder til ca. entrediedel, hvorefter der sker et svagt fald ud til 25 mm afstand.



Figur 4: Denitrificerende aktivitet af jordprøver, der er udtaget i varierende afstand fra en rod, med anvendelse af en speciel "split-plute" - teknik.
 =====
 (Smith & Tiedje 1979)

Røddernes stimulerende virkning på denitrifikationen gælder dog kun, når der er rigeligt nitrat til stede. Under markforhold kan afgrøden imidlertid ofte være en særdeles effektiv konkurrent til de denitrificerende bakterier, da den som regel optager hovedparten af jordens nitratinhold. Denitrifikationen begrænses derfor af plantevæksten og er afhængig af den mængde nitrat, der dannes ved mineralisering og nitrifikation af organisk bundet kvælstof.

Jordtype, jordfugtighed, temperatur og pH. Jordtypens indflydelse er dels betinget af iltforholdene, som hænger sammen med jordfugtigheden, og dels betinget af tilgængeligheden af letomsætteligt organisk stof. Undersøgelser har vist, at lerjorde har en større denitrificerende evne end sandjord, figur 5 (Andersen et al. 1983). Denne effekt er særligt udtalt i de øverste jordlag, tabel 2 (Lind 1980). Det kraftige fald i denitrifikationen fra overfladen og ned gennem rodzonen skyldes formindskelsen i mængden af letomsætteligt organisk stof.

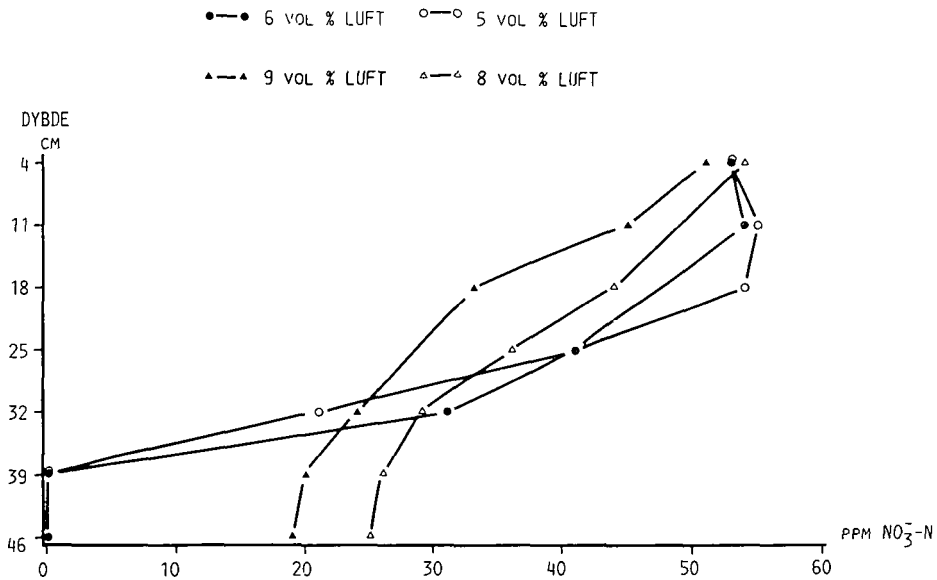


Figur 5: Denitrifikation på forskellige jordtyper med varierende jord-
 ===== behandling med og uden efterafgrøde
 (Efter Andersen et al. 1983)

Tabel 2: Denitrifikation i nogle danske jordtyper. Resultater fra laboratorie-
===== forsøg tilsat nitrat og under iltfrie betingelser ved 25°C (Lind 1980)

Lokalitet	JB nr.	Jorddybde cm	% ler	% humus	% N	% NO_3^- omdannet til $\text{N}_2\text{O} + \text{N}_2$ på 30 dage
Virumgård	6	0- 20	10,5	1,9	0,120	96
		20- 40	9,8	1,7	0,107	34
		40- 60	9,8	1,2	0,073	15
Askov	5	0- 23	13,0	3,8	0,186	97
		23- 50	19,8	1,4	0,061	12
		50-100	18,9	0,7	0,032	9
Lundgård	1	0- 25	4,3	1,9	0,086	58
		25- 55	4,0	1,2	0,040	51
		55-100	1,5	0,3	0,008	3
Borris	4	0- 40	5,5	1,5	0,086	37
		40- 90	4,4	0,4	0,021	8
		90-120	5,9	0,2	0,008	5

Jordfugtigheden er meget vigtig for forløbet af denitrifikationen, da den nok er den væsentligste årsag til variationer i iltpændingen i jorden. Resultater fra laboratorieforsøg med jorde med et vandindhold omkring markkapacitet viste, at ved 5-6 vol.% luft i jorden blev alt gennemslivende nitrat omsat, mens der ved 8-9 vol.% luft kun blev omsat godt halvdelen af det tilsatte nitrat, figur 6 (Christensen 1980).



Figur 6: Nitratprofiler for jordsøjler, der ved gennemstrømning
 ===== med vand er bragt til omsætningsligevegt. Jorden i søj-
 lerne har varierende luftindhold.
 (Efter Christensen 1980)

Denitrifikation påvirkes også i betydelig grad af temperaturen. Nömmik (1956) har således fundet en 7-dobling, og Lind (1980) en 3-4-dobling af produktionen af luftformigt kvælstof ved at øge temperaturen fra 10 til 25° C.

Denitrifikationens pH-optimum er ca. 7, men processen kan forløbe over et større pH-interval (Nömmik 1956). I langt de fleste dyrkede jorde er pH derfor ikke en væsentlig faktor.

Denitrifikation under markforhold. Under markforhold har Ryden (1983) ved målinger af denitrifikationstab fra et græsareal gennem 14 måneder fundet årlige tab på 1,6, 11,1 og 29,1 kg N pr. ha pr. år for tilførsel af henholdsvis 0, 250 og 500 kg N pr. ha. Der er fundet betydelige variationer gennem målesæsonen, f.eks. sker mere end 60% af det årlige tab i en 8 ugers periode efter tilførsel af kvælstofgødningen, når vandindholdet samtidig er større end 20 vægt%.

Andersen et al. (1983) har på sandjorde fundet tab på 5-10 kg N pr. ha pr. år, mens der på lerjorde er fundet tab på 30-70 kg N pr. ha pr. år, figur 5. Her er dog ikke benyttet målinger af overfladeafgivelse, men laboratorieundersøgelser af intakte, frisk udtagne jordprøver i almindelig atmosfære.

På forskellige målearealer er der i forårmånederne 1982 og 1983 fundet meget store forskelle på tabet af luftformigt kvælstof. Fra en jord, der havde ligget brak i adskillige år inden gødningstilførsel og tilsåning, var kvælstoftabet i april-maj 1982 på 3-5 kg N pr. ha. I 1983 var tabet i de samme to måneder på en jord med almindeligt sædskifte 40 kg N pr. ha, hvilket må tilskrives den meget store nedbør i foråret 1983.

Nitratreduktion i jordlag under rodzonen. Det nitrat, der ikke optages af planterne, og som ikke immobiliseres eller denitrificeres, vil blive udvasket fra rodzonen. Mulighederne for dets omdannelse i dybereliggende jordlag har været undersøgt i nitratreduktionsforsøg i laboratoriet med intakte boreprøver fra tre lokaliteter ned til 20 meter (Lind & Pedersen 1976).

Forsøg med jordprøver fra profilerne i flere dybder har bekræftet, at nitratreduktion finder sted, og har givet et indtryk af de enkelte jordlags evne til at reducere NO_3^- til de luftformige kvælstofforbindelser N_2O og N_2 . Nogle resultater herfra er vist i tabel 3.

Ved sammenligning med tabel 2 ses, at profilen fra Herlufmagle og Bræmning har omtrent samme evne til at reducere nitrat, som det øverste lag af ensandet jord, mens profilen fra Skælskør har en reduktionsevne svarende til niveauet for de nederste lag i forsøgene med denitrifikation i overjord. De undersøgte lokaliteter havde alle et ret højt grundvandsspejl, dvs., at den beskrevne proces tillige kan foregå i grundvandet.

Kemiske analyser af boreprøverne har givet et billede af sammenhængen mellem profilernes indhold af ferrojern (Fe^{++}) og nitrat. Hvor der var et højt indhold

af ferrojern, var der slet intet eller et meget lavt indhold af nitrat. En profils evne til at omdanne nitrat til luftformige kvælstofforbindelser er en kombination af profilens denitrificerende og reducerende egenskaber og vandets transportvej og transporttid. Når det meste af Danmarks grundvand har et lavt nitratindhold, kan det kun skyldes, at der sker en reduktion af nitrat under vandets passage gennem jordlagene fra rodzonen til grundvandet og i selve grundvandet.

Tabel 3: Nitratreduktion i undergrundsJORDE. Resultater fra laboratorieforsøg
===== tilsat nitrat og under iltfrie betingelser (Lind & Pedersen 1976)

Lokalitet	Dybde m	Opl. Fe^{++} ppm	% NO_3^- omdannet til $\text{N}_2\text{O} + \text{N}_2$ på 45 dage		ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ (målt i profil under rodzone)
			10° C	25° C	
Herlufmagle	8	48	4	36	0
lerjordsprofil	12	41	22	43	0
homogen	18	66	30	51	0
Brømming	Gns.				
sandjordsprofil	alle	3-8	2	51	0,5-2
lagdelt m. ler	dybder				
Skælskør	10	40	6	8	0,3
inhomogen	16	125	5	8	0,3
sandet					

2.5. Biologisk kvælstofbinding

Kvælstof fra atmosfæren kan som tidligere omtalt bindes af nogle bakterier og af blå-grønne alger, således at N_2 i luften omdannes til kvælstofforbindelser, der kan optages af planterne. Man skelner mellem fritlevende kvælstofbindende mikroorganismer (ikke-symbiotisk kvælstofbinding) og de kvælstofbindende mikroorganismer, der er knyttet til de højere planter (symbiotisk kvælstofbinding). De kvælstofbindende bakterier i fri tilstand i jorden tilhører især slægterne *Azotobacter* og *Clostridium*, mens knoldbakterierne i den symbiotiske kvælstofbinding især hører til slægten *Rhizobium*. Organismerne synes alle at have meget lidt tilfælles, bortset fra deres evne til at binde kvælstof. Der findes aerobe, fakultativt anaerobe og strengt anaerobe bakterieformer. De forekommer som heterotrofe (organismer, der bruger organiske forbindelser som den væsentligste kulstofkilde) og autotrofe livsformer (organismer, der bruger CO_2 som væsentligste kulstofkilde) og findes i mange forskellige jord- og vandsystemer. Faktorer som kulstofkilde, temperatur, pH og fugtighed påvirker stærkt typen og størrelsen af kvælstofbindingen.

De fritlevende kvælstofbindende bakterier. I danske landbrugsjorde er kvælstofbinding blevet undersøgt ved hjælp af acetylenreduktionsmetoden i forsøg med ensidig bygdyrkning med tilførsel af handelsgødning (Vinther 1982, Andersen et al. 1983). Der fandtes større kvælstofbinding i lerjorde (3-9 kg N pr. ha pr. år) end i sandjorde (1-3 kg N pr. ha pr. år). De angivne mængder skal nok tages med et vist forbehold, da det er fundet, at den anvendte metode ikke er nøjagtig under alle forsøgsbetingelser (Nohrstedt 1983).

Svingninger i jordtemperatur og jordfugtighed samt størrelsen af de tilgængelige mængder af omsætteligt organisk materiale har vist sig at påvirke kvælstofbindingsaktiviteten (Jensen 1981). Laboratorieforsøg med lerblandet sandjord har vist en meget lille aktivitet ved $5^\circ C$ og derunder og en stigende aktivitet ved øget temperatur op til $30-35^\circ C$. Temperaturen i danske jorde vil derfor altid være under det optimale for kvælstofbinding og dermed aktivitetsbegrænsende (Andersen et al. 1983). Virkningen af jordens fugtighed er hovedsagelig af indirekte karakter og skyldes jordvandets indflydelse på iltforholdene. De fleste fritlevende kvælstofbindende bakterier fungerer bedst ved lave iltspændinger og hæmmes stærkt af en atmosfære med normalt iltindhold (Jensen 1981). Målinger udført på jordprøver med bygplanter viste en jævnt stigende aktivitet gennem byggens vækstperiode, hvorefter aktiviteten igen faldt. Planternes stimulerende virkning på

aktiviteten skyldtes rodexudater, der blev udnyttet som næring af de kvælstofbindende bakterier, og at byggen ved optagelse af kvælstof mindskede koncentrationen af lettilgængeligt kvælstof. Desuden viste det sig, at tilførsel af kvælstof i form af handelsgødning hæmmede aktiviteten op til 7 uger efter tilførslen. Dette skyldes, at mikroorganismene udnytter kvælstofforbindelserne i jorden i stedet for at binde N_2 fra atmosfæren.

Selv om meget tyder på, at de fritlevende kvælstofbindende mikroorganismer kun bidrager lidt til jordens kvælstofforsyning under danske forhold, er der behov for mere forskning på området. Man har i de senere år fundet, at der også kan forekomme forskellige indbyrdes påvirkninger mellem fritlevende jordbakterier og forskellige græssers rodsystemer, som fører til kvælstofbinding (Dobereiner & Campelo 1971, Dobereiner & Day 1976). I tempererede områder er der fundet en kvælstofbinding på ca. 39 kg pr. ha pr. år (Raju et al. 1972, Vlassak et al. 1973, Kapustka & Rice 1976, Nelson et al. 1976). Derfor bør muligheden for kvælstofbinding i rhizosfæren (jorden i rodens umiddelbare nærhed) ikke undervurderes.

Symbiotisk kvælstofbinding. Der kendes omkring 14.000 bælgplantearter, men kun et mindre antal arter er blevet afprøvet med hensyn til deres kvælstofbindende evne. Blandt de mest anvendte arter her i landet kan nævnes lucerne, lupin, ært, kløver, vikke, fladbælg, hestebønne og bønne.

Når bakterierne inficerer rodhår, udvikles der knolde på rødderne. I knoldene indesluttet de inficerende mikroorganismer i membraner fra værtscellerne og omdannes til de såkaldte bakteroider, som binder luftens kvælstof. Værtsplanten kan udnytte kvælstoffet, og til gengæld får bakteroiderne tilført let opløselige kulhydrater. De befinder sig endvidere i omgivelser med de rette iltforhold, samtidig med at de er beskyttet mod konkurrence fra mikroorganismer i det omgivende miljø.

I jord, hvor der ikke er tilstrækkelig mange knoldbakterier af en ønsket art, må man tilføre effektive bakterier ved at pode frøene. I Danmark prøves effektiviteten af de bakteriestammer, som er specifikke for de anvendte bælgplanter i landbruget.

Størrelsen af den symbiotiske kvælstofbinding er meget afhængig af faktorer som jordbehandling, jordtype, klimatiske forhold samt plantesort/bakteriestamme.

Ved forsøg med ^{15}N -mærket kvælstof fandt Andersen et al. (1981) en kvælstofbinding på 128, 108 og 213 kg N pr. ha i henholdsvis kogeært, foderært og hestebønne. De fandt desuden, at den symbiotiske kvælstofbindingsaktivitet reduceres ved tilførsel af kvælstofgødning. Under danske forhold er en bælgplanteafgrøde i

stand til at binde fra 100 til 200 kg N pr. ha pr. år afhængig af art og dyrkningsbetingelser. Selv om afgrøden fjernes, vil der stadig være en mærkbar effekt på den efterfølgende afgrøde, idet der i byg er fundet en eftervirkning af forskellige bælglanteafgrøder svarende til ca. 5 hkg kerne pr. ha (Oversigt over Landsforsøgene 1973).

Foruden den kvælstofbinding, der finder sted i "rene" bælglanteafgrøder, sker der også en binding af kvælstof i kløvergræsmarker. Hvor meget kvælstof der kan spares ved at have kløver i en græsmark er vanskeligt at bestemme og vil afhænge af en række faktorer, bl.a. kvælstoftilførsel, kløverindhold i marken, jordtype, dyrkningsmetoder og klimatiske forhold. Tilførsel af kvælstof hæmmer som nævnt den symbiotiske kvælstofbinding, og samtidig øges konkurrencen fra græsset. I undersøgelser af Kofoed og Klausen (1969) med kvælstoftilførsel til græs i renbestand og kløvergræs fandtes i 2. brugsår, at kløverens effekt på udbyttet var størst uden tilførsel af kvælstof og aftog med stigende kvælstoftilførsel op til 155 kg N pr. ha. Ved anvendelse af større kvælstofmængder var udbyttet størst i renbestand af græs. Ud fra beregninger foretaget på grundlag af udbyttet og afgrødens kvælstofindhold må det formodes, at kløverens bidrag til kvælstofforsyningen ved en tilførsel op til 77,5 kg N pr. ha har været af en størrelsesorden på 90-120 kg N pr. ha pr. år.

I perioden 1950-70 blev der dyrket lucerne og bælgsæd på gennemsnitligt ca. 40.000 ha pr. år eller ca. 1,5 % af det samlede landbrugsareal. I 1981 var arealet reduceret til omkring 10.000 ha eller 0,3 % af det samlede dyrkede areal. Hertil kommer de betydelige kløvergræsarealer, som tidligere var udlagt. I 1983 er bælgsædsarealet øget til 24.000 ha, specielt på grund af en stærk stigning i ærte dyrkningen.

3. Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab fra rodzonen

3.1. Kvælstofforbrug

Udviklingen i tilførsel af N med handelsgødning og husdyrgødning er vist nedenstående. Tallene, der angiver kg N pr. ha, er gennemsnit for de anførte perioder (Landbrugsstatistik, flere årgange):

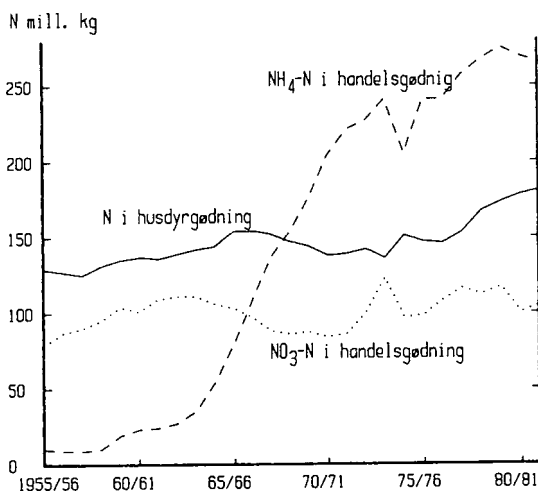
	Handels- gødning	Husdyr- gødning
1900-10	1	23
1910-20	3	25
1920-30	8	32
1930-40	10	38
1940-50	13	33
1950-60	29	41
1960-70	62	48
1970-75	109	50
1975-80	126	54
1980-81	129	61
1981-82	130	62

Landets totale forbrug af kvælstof er øget fra ca. 200 mill. kg i 1955 til 550 mill. kg i 1980.

Indtil 1960 dækkede husdyrgødningen mere end halvdelen af det samlede kvælstofforbrug, medens det omkring 1980 var ændret til 1/3 - på trods af, at kvælstofmængden med husdyrgødning er steget 34 %, figur 7.

Kvælstofforbruget i handelsgødning blev i samme periode mere end firedoblet.

Indtil midten af 60'erne var kalksalpeter absolut dominerende i valget af kvælstofgødning, men i løbet af få år blev flydende ammoniak og NPK-gødninger de foretrukne.



Figur 7: Danmarks kvælstofforbrug, mill. kg
 =====
 (Efter Gødningsstatistik, flere år-
 gange)

I de seneste år har flydende ammoniak dækket ca. 40 % og NPK-gødninger ca. 50 % af det samlede kvælstofforbrug. Rene nitratgødninger benyttes næsten ikke mere. At nitratforbruget stadig er på 100 mill. kg pr. år, skyldes anvendelsen af NPK-gødning, der indeholder omtrent lige dele nitrat- og ammoniumkvælstof.

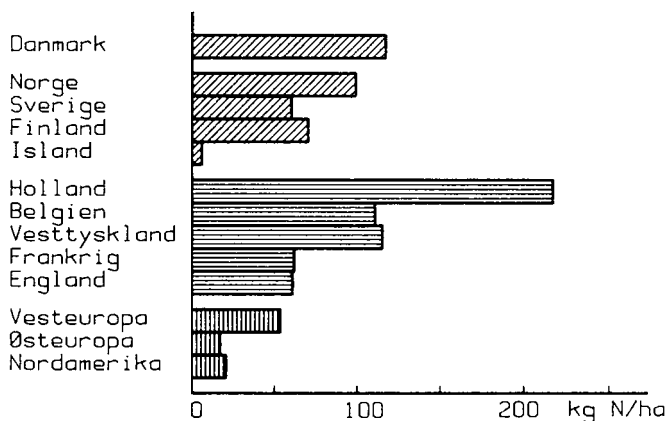
Som følge af ændrede driftsformer og nye handelsgødninger sker der også ændringer i kvælstofforbruget i Danmarks forskellige amter. Tabel 4 viser forbruget i 1980 og 25 år tidligere. Når der ikke er overensstemmelse mellem opstillingen side 29 og tabel 4, skyldes dette, at i førstnævnte opstilling er foretaget korrektionsberegning på grund af, at kvælstof i husdyrgødning har lavere gødningsværdi end kvælstof i handelsgødning.

I alle amter har der været en kraftig stigning i forbruget af kvælstof i handelsgødning; forbruget er i gennemsnit øget med ca. 100 kg N pr. ha. Stigningen har været stærkest i Jylland, hvor også kvælstoftilførsel med husdyrgødning er øget. I den forbindelse må det erindres, at græsmarksdyrkningen op til midten af 50'erne var baseret på kløvergræs, der stort set var selvforsynende med kvælstof. Siden da er kløvergræsset i stigende grad blevet erstattet med rene græsarter, som tilføres og kan udnytte kvælstofmængder op til 300-400 kg N pr. ha. Samtidig

er græsdyrkningen størst i Jylland, fordi det største husdyrhold findes her. Dyrkningen af øvrige bælplanter er ligeledes gået stærkt tilbage. Udtrykt på anden måde kan siges, at en del af kvælstofbindingen er flyttet fra bælplanternes knoldbakterier til gødningsindustrien.

Tabel 4: Kvælstofanvendelse, kg N/ha, i landets forskellige amter
 =====
 (Fra Landbrugsstatistik 1955 og 1980)

Amt	Husdyrgødning		Handelsgødning	
	1955	1980	1955	1980
Nordøstsjælland	65	43	32	132
Vestsjælland	71	58	24	115
Storstrøm	62	40	40	126
Bornholm	77	76	23	102
Fyn	80	69	28	122
Sønderjylland	64	85	18	138
Ribe	69	93	19	145
Vejle	72	87	27	149
Ringkøbing	64	90	20	146
Århus	74	75	28	134
Viborg	79	101	20	133
Nordjylland	74	90	20	141



Figur 8: Kvælstofforbrug i handelsgødning 1980 i forskellige lande
 ===== (FAO Fertilizer Yearbook 1981)

Det gennemsnitlige kvælstofforbrug for hele verden var i 1980 lidt over 13 kg N pr. ha i handelsgødning. Forbruget i forskellige lande er vist i figur 8.

Det ses af figuren, at der inden for de europæiske lande er stor forskel i kvælstofforbruget. De i figuren viste lande kan opdeles i tre grupper: I Danmark, Norge, Belgien og Vesttyskland anvendes 110-130 kg N pr. ha, medens forbruget i Holland er dobbelt så højt og i Sverige, Finland, Frankrig og England lidt over det halve.

3.2. Gødningers kvælstofindhold og omsætning i jorden

Husdyrgødninger. Som tidligere omtalt optager planterne kvælstof som NH_4^+ og især som NO_3^- . Ved anvendelse af husdyrgødning eller spildevandsslam tilføres en stor del af kvælstoffet i organisk bundet form og er derfor ikke umiddelbart tilgængeligt for planterne. Først efter mineralisering er organisk bundet kvælstof tilgængeligt.

Ved vurdering af husdyrgødningens værdi som gødning er det væsentligt at vide, hvor stor en del af kvælstoffet der findes i lettilgængelig form, idet afgrøder som f.eks. vårsæd med en kort vækstperiode først og fremmest udnytter denne del af kvælstoffet. Afgrøder med længere vækstperiode som roer og majs vil også i løbet af vækstperioden kunne udnytte en del af det mineraliserede organiske kvælstof. Hvor hurtigt denne mineralisering foregår, afhænger bl.a. af C/N-forholdet i gødningen (se afsn. 2.3.1.).

I tabel 5 er vist typiske indhold af kvælstof i forskellige husdyrgødninger.

Tabel 5: Husdyrgødningers kvælstofindhold

=====

	Tørstof	N, kg/tons		Antal	tons gødning
	%	Total	Ammonium	prøver	pr. gødn.enhed*
Fast gødning					
Kvæg	23	5,7	1,2	12	14
Svin	22	6,6	2,2	16	12
Høns	29	13,5	5,2	44	6
Slagtekyllinger	59	23,2	5,5	10	3½
Ænder	27	7,6	1,2	5	11
Mink	17	8,2	3,7	34	10
Gylle					
Kvæg	6,8	3,8	2,2	425	21
Svin	3,5	4,1	2,8	162	20
Slagtesvin	5,0	5,4	3,8	30	15
Søer + smågrise	2,2	2,9	2,1	17	27
Mink	4,5	5,9	3,9	12	14

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

Der er som følge af varierende fodring, opbevaring, tilledning af f.eks. ensilagesaft m.v. stor variation i gødningens kvælstofindhold inden for de enkelte dyregrupper, hvorfor man i det enkelte tilfælde må vurdere, om gødningens tørstofindhold er højere/lavere end angivet i forannævnte tabel. Beregninger har vist, at kvælstofindholdet er positivt korreleret med tørstofindholdet, og ud fra gødningens tørstofindhold kan således skønnes, om en gødningens kvælstofindhold er afvigende fra ovennævnte.

Handelsgødninger. Ved tilførsel af handelsgødning er kvælstoffet umiddelbart tilgængeligt for planterne, idet kvælstoffet er til stede som NH_4^+ , NO_3^- eller urinstof; sidstnævnte omdannes hurtigt til NH_4^+ i jorden.

I NPK-gødninger findes kvælstof som ammonium og nitrat, og for de flestes vedkommende er der tale om lidt større indhold af ammoniumkvælstof end nitratkvælstof, tabel 6.

Tabel 6: Forskellige handelsgødningers kvælstofindhold
=====

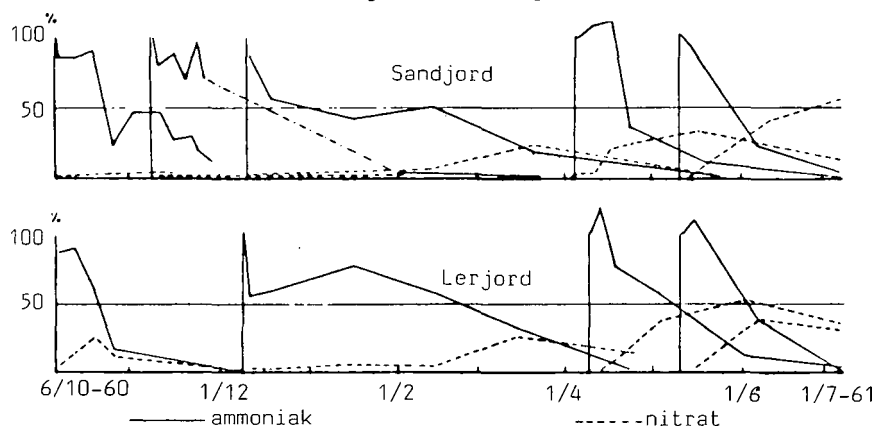
	%			Bemærkning
	Total-N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	
Kalksalpeter	15,5	14,5	1,0	
Chilesalpeter	16,0			
Svovlsur ammoniak	21,0		21,0	
Kalkammonsalpeter	26,0	13,0	13,0	
Flydende ammoniak	82,2		82,2	
Urea	46,0			Urinstof
NPK-gødninger	13-25	6-12	7-13	

Gødningernes omsætning i jorden. Ligesom NH_4^+ frigjort ved mineralisering indgår NH_4^+ tilført med handelsgødning i jordens NH_4 -lager (se figur 3) og dermed også i den biologiske kvælstofomsætning i jorden, hvilket almindeligvis medfører, at hovedparten nitrificeres. I figur 9 er vist eksempel på omsætningen af flydende ammoniak udbragt på forskellige årstider.

Forsøgsarealerne har været ubevokset hele året. Når jordens nitratindehold ikke stiger lige så meget, som ammoniakindholdet falder, skyldes dette i overvejende grad denitrificering og udvaskning af nitrat.

Det ses endvidere i figur 9, at halvdelen eller mere af den december-udbragte ammoniak genfindes som ammoniak et par måneder senere, men det tager kun 2-3 uger at nitrificere halvdelen af ammoniak, der udbringes i maj.

Kvælstof fundet som ammoniak og nitrat beregnet som % af tilført ammoniak



Figur 9: Omsætning af ammoniak i jorden 1960-61 i grovsandet jord (JB1) og grov sandbl. lerjord (JB5) (Kofoed et al. 1967)

Gødningstilførsel og pH. Optimal planteproduktion kræver passende reaktionstal i jorden - almindeligvis pH 6-8, afhængig af jordtype. For at opnå eller fastholde dette tilføres markerne med mellemrum kalk. Kalkbehovet påvirkes af den anvendte kvælstofform, som vist i tabel 7.

Tabel 7: Reaktionstal og kalkforbrug ved anvendelse af forskellige handelsgød-
===== ninger (Iversen & Dorph Petersen 1944)

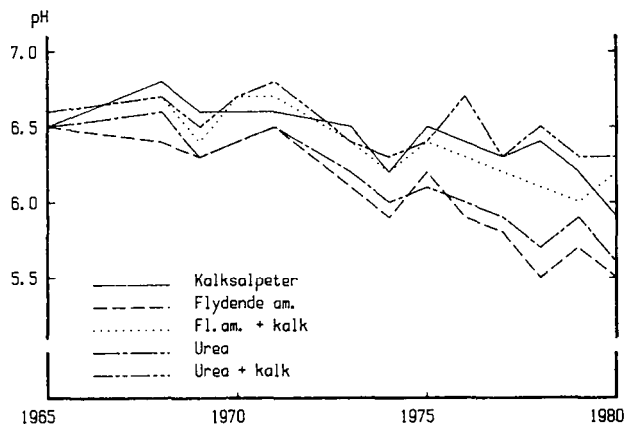
	Reaktionstal			Kalkbehov, t CaCO_3 /ha til pH 7,0
	1928	1931	1938	
Ugødet	6,8	6,8	6,8	1,2
Chilesalpeter	6,8	7,3	7,0	0
Svovlsur ammoniak	6,8	5,2	5,0	26,7
Kalksalpeter	6,5	6,8	6,2	3,5
$\frac{1}{2}$ chilesalpeter + $\frac{1}{2}$ svovlsur ammoniak	6,9	6,2	5,8	7,8
Kalkammonsalpeter	6,8	6,5	6,1	4,1

I foråret 1943 (tab. 7) tilførtes de ved kalkbehovbestemmelsen fundne kalkmængder, hvorefter der i efteråret 1943 fandtes et reaktionstal på 6,7-6,8 uanset anvendt kvælstofgødning.

I en anden forsøgsserie sammenlignedes ændringer i jordens pH ved tilførsel af henholdsvis kalksalpeter, flydende ammoniak og urea. Desuden undersøgte virkningen af 3,6 kg CaCO_3 pr. kg N tilført sammen med henholdsvis fl. ammoniak og urea. Resultaterne fra forsøg på grov sandblandet lerjord 1965-80 er vist i figur 10 (bl.a. efter Fogh 1972).

Det fremgår heraf, at både ammoniak og urea sænker pH i forhold til kalksalpeter, samt at den anvendte kalkmængde har været tilstrækkelig til at fastholde jordens pH.

Ændringer i forbrugsmønstret i kvælstofanvendelse til mere "sure" gødninger stiller således øget krav til kalktilførsel.



Figur 10: Forskellige kvælstofgødningers indflydelse på jordens pH i grov sandbl. lerjord (JB5)
 =====
 (Bl.a. efter Fogh 1972)

Fordele og ulemper ved forskellige gødningsformer. Fordelen ved anvendelse af ammoniumkvælstof frem for nitrat er, at dette i mindre grad nedvaskes, og nitrificering sker relativt langsomt ved lav jordtemperatur.

Flydende ammoniak fordrer specielt udbringningsudstyr, som placerer gødningen i 12-15 cm dybde. Selv om der indtræffer en tørkeperiode umiddelbart efter udbringningen, vil kvælstoffet derfor almindeligvis være placeret, hvor planterødderne har adgang.

På grovsandede jorde kan der dog om foråret være så lidt plantetilgængeligt kvælstof i de øverste jordlag, at planterne har behov for en overfladegødskning med kvælstof for at "starte" væksten så meget, at rødderne hurtigt kommer i forbindelse med den nedbragte fl. ammoniak. Det samme kan være tilfældet, hvor man har nedbragt husdyrgødning, selv om der med husdyrgødning er fuld dækning for afgrødens kvælstofbehov.

Ved anvendelse af normale mængder kvælstof i form af handelsgødning vil planterne optage kvælstoffet i løbet af vækstperioden. I husdyrgødning, hvor en stor del af kvælstoffet er organisk bundet, vil der ske en fortløbende mineralisering - også på tidspunkter, hvor arealet ikke er plantedækket. Derved indebærer anvendelse af husdyrgødning en relativt større risiko for kvælstofudvaskning end handelsgødning.

3.3. Kvælstoftilførsel

3.3.1. Afgrødernes kvælstofbehov

Planteproduktionens størrelse afhænger af mængden og intensiteten af de nødvendige produktionsfaktorer. Dette er af Justus von Liebig formuleret i minimumsloven, der siger, at den produktionsfaktor, der er i minimum, bestemmer udbyttets størrelse.

Under danske forhold er vand og kvælstof oftest de mest udbyttebegrænsende vækstfaktorer. Plantetilgængeligt kvælstof findes kun i begrænset mængde i jorden ved vækstsæsonens begyndelse om foråret. Det må derfor tilføres i form af handelsgødning og/eller husdyrgødning.

For fastlæggelse af de mest hensigtsmæssige gødningsmængder er det nødvendigt at have kendskab til forskellige afgrøders optagelse af plantenæringsstoffer. Hvor meget næringsstof der optages af en afgrøde er først og fremmest afhængig af udbyttets størrelse. På grundlag af forsøg med virkningen af forskellige faste kvælstofgødninger (Klausen 1974) kan anføres følgende værdier for tilførsel og optagelse af kvælstof i korn og grovfoderafgrøder, som vist i tabel 8.

Tabel 8: Tilførsel og optagelse af kvælstof, kg N/ha (efter Klausen 1974)
=====

	Korn			
	Byg	Havre	Hvede	Rug
Tilført	120	120	180	120
Optaget kerne	68	74	88	47
Optaget halm	29	28	38	24
I alt optaget	97	102	126	71

	Grovfoder			
	Bederoer	Kålroer	Kartofler	Græs
Tilført	240	240	120	240
Optaget rod/knolde	105	152	109	
Optaget top	107	55		
I alt optaget	212	206	109	220

De anførte værdier er fundet ved følgende udbyttelniveauer, hkg/ha:

Korn	Kerne	Halm	Grovfoder	Rødtørst	Topstørst
Byg	43	43	Bederoer	120	38
Havre	54	54	Kålroer	130	19
Hvede	50	66	Kartofler	90	
Rug	35	51	Græs		106

Undersøgelse af, hvor stor en del af tilført kvælstof i handelsgødning der optages i det år, gødningen er tilført, og hvor meget der optages i de følgende år, er gennemført i lysimeterforsøg med ^{15}N -mærket ammoniumnitrat (Kjellerup & Kofoed 1983). Resultaterne er vist i tabel 9.

Tabel 9: Kvælstofoptagelse i byg (kerne + halm) fra tilført gødning og fra jorden. Lysimeterforsøg, 1974, med ^{15}N -mærket ammoniumnitrat (Kjellerup & Kofoed 1983)

g N/m^2 +				% N
Tilført gødning	I alt optaget	Fra tilført gødning	Fra jorden	optaget fra tilført gødning
0	4,3	0	4,3	
5,4	7,7	2,8	4,9	52
10,8	11,0	5,9	5,1	55
16,2	14,9	9,3	5,6	57

* g $\text{N/m}^2 \cdot 10 = \text{kg N/ha}$

Af tabellen fremgår det, at der med byg som afgrøde er optaget fra 52-57 % af kvælstoffet det første år efter udbringning. I de efterfølgende år blev der med byg som 2. års afgrøde og vårraps som 3. års afgrøde optaget henholdsvis 1,7 og 0,6 % af den tilførte ^{15}N -mærkede ammoniumnitratgødning.

Undersøgelsen viste endvidere, som det ligeledes ses af tabel 9, at tilførsel af stigende mængder kvælstof i handelsgødning medfører, at planterne optager mere fra jordens kvælstofreserve, end hvor der ikke tilføres kvælstof. Stigende kvælstoftilførsel har således resulteret i 14-30 % højere kvælstofoptagelse fra jordens reserve.

Kvælstofoptagelsen i rod- og stubrester blev ligeledes undersøgt. Resultaterne af den samlede kvælstofoptagelse i rod- og stubrester, samt hvor meget af det fundne kvælstof der stammer fra tilført mærket kvælstofgødning første år efter udbringning og de efterfølgende to vækstår, er vist i tabel 10.

Tabel 10: Kvælstofoptagelse i rod- og stubrester. Lysimeterforsøg med ^{15}N -mærket ammoniumnitrat (Kjellerup & Kofoed 1983)

Tilført N g/m ²	Total N optagelse g N/m ² *			% N optaget af tilført mærket N-gødning		
	1. år	2. år	3. år	1. år	2. år	3. år
	<u>byg</u>	<u>byg</u>	<u>vårrops</u>	<u>byg</u>	<u>byg</u>	<u>vårrops</u>
5,4	0,87	0,79	1,97	2,5	0,2	0,2
10,8	0,91	0,95	2,87	3,6	0,2	0,2
16,2	0,90	1,16	4,46	2,7	0,2	0,3

* g N/m² · 10 = kg N/ha

Hvor meget kvælstof der skal tilføres en afgrøde vil variere fra sted til sted, idet der må tages hensyn til de lokale dyrkningsforhold, herunder jordtype og driftsform.

I tabel 11 er anført retningsgivende mængder for kvælstoftilførsel til forskellige afgrøder under hensyntagen til forfrugt.

Ud over kvælstof tilført med gødningen optager planterne også kvælstof frigjort ved mineralisering af organisk bundet kvælstof, som tidligere omtalt. I langvarige gødningsforsøg på ler- og sandjord ved Askov, som er gennemført siden 1893, har ugødet lerjord i gennemsnit stillet 42 kg N pr. ha til rådighed for afgrøderne, og ugødet sandjord i gennemsnit 33 kg N pr. ha (Kofoed & Nemming 1976). Det skal bemærkes, at der i det fireårige sædskifte indgår et års kløvergræs.

Tabel 11: Retningsgivende mængder for kvælstoftilførsel
 =====
 (efter "Håndbog for plantedyrkning" 1983)

Afgrøde og bruttoavl	Forfrugt m.v.	kg N/ha
Byg og havre ca. 45 hkg kerne/ha	kontinuerlig byg korn, sædskifte roer med husdyrgødning kartofler uden husdyrgødning kløvergræs	120 100 90 110 80
Vinterhvede og vinterbyg ca. 60 hkg kerne/ha	korn olieplanter frøgræs bælgplanter	170 160 145 130
Rug ca. 40 hkg kerne/ha	korn kartofler uden husdyrgødning	140 120
Vårhvede ca. 40 hkg kerne/ha	korn frø, roer, græs	90 50
Foder- sukkerroer ²⁾	med husdyrgødning ¹⁾ uden husdyrgødning	100 180
Kålroer ca. 100 hkg roetørstof/ha	med husdyrgødning ¹⁾ uden husdyrgødning	80 160
Spisekartofler 375 hkg knolde/ha	med husdyrgødning ¹⁾ uden husdyrgødning	60 120
Industrikartofler 90 hkg tørstof/ha	med husdyrgødning ¹⁾ uden husdyrgødning	90 150
Fabriksroer ca. 100 hkg roetørstof/ha	med husdyrgødning ¹⁾ , top fjernet uden husdyrgødning, top nedpl	50 120
Silomajs		150
Kløvergræs ca. 100 hkg græstørstof/ha	slæt afgræsning ³⁾	250 150
Rent græs	slæt	300
Helsød m.udl.		150
Rajgræs, ital. og alm. frøafgrøde		100
Rød- og hvidkløver frøafgrøde		0
Ærter		0
Vinterraps		180
Vårraps		170

1) 40 tons kvæggylle

2) 100 hkg roetørstof og 30 hkg toptørstof pr. ha

3) Ved rene afgræsningsmarker vil dyrene selv tilføre marken gødning

Foruden den kvælstofmængde, som jorden stiller til rådighed, tilføres der også kvælstof med nedbøren i størrelsesordenen 12 kg N pr. ha pr. år (Jørgensen 1972a).

Den kvælstofmængde, der tilføres med nedbøren, kan over et kortere åremål betragtes som værende konstant fra år til år, hvorimod kvælstofmængden, som jorden stiller til rådighed ved vækstperiodens begyndelse, kan variere meget fra år til år.

For at imødegå denne variation er der gennem de senere år udarbejdet såkaldte kvælstofprognoser til vejledning for jordbrugeren med hensyn til kvælstofbehov i den kommende vækstsæson.

Der anvendes to hovedprincipper: enten direkte jordanalyse i foråret eller jordbundsanalyse i efteråret kombineret med regulering baseret på størrelsen af kvælstofnedvaskning gennem vinteren.

Variationen mellem ejendomme er dog så stor, at en mere detaljeret vejledning, hvor flere faktorer indgår, er stærkt påkrævet. På 25 ejendomme er der således konstateret variation i kvælstofbehovet fra 30 til 190 kg N pr. ha (Oversigt over Landsforsøgene 1982). Disse ejendomme indgår i et forskningsprojekt under Landskontoret for Planteavl og skal danne grundlag for en model til forudsigelse af optimal kvælstoftilførsel til byg efter korn.

I modellen forventes anvendt parametrene: Jordens beholdning af kvælstof i marts, forventet mineralisering af kvælstof i vækstperioden, humusprocent, lerprocent, jordens vægtfylde og rodzonekapacitet for vand.

3.3.1.1. Kvælstof og plantekvalitet

Kvælstof såvel som andre vækstfaktorer påvirker planternes kemiske sammensætning og kvalitet. Specielt har kvælstoftilførsel indflydelse på planternes indhold af protein og på indholdet af $\text{NO}_3\text{-N}$.

Tabel 12 viser forskellige afgrøders indhold af total-N efter tilførsel af stigende mængder kvælstof i kalkammonsalpeter.

Med stigende kvælstoftilførsel til afgrøden stiger kvælstofindholdet. Det vil oftest være en fordel med et stort proteinindhold, da de afgrøder, der bruges til husdyrene, i de fleste tilfælde ikke sikrer tilstrækkelig proteinforsyning. Ekstra protein må derfor gives i form af kraftfoder.

Tabel 12: Indhold af total-N* i kerne (85 % tørstof) og i rod- og
 ===== græstørstof (Klausen 1974)

Tilført kg N/ha	% N		
	Rug	Byg	Havre
0	1,45	1,30	1,44
40	1,15	1,30	1,40
80	1,21	1,43	1,51
120	1,34	1,58	1,64
	Hvede	Kartofler	
0	1,48	0,81	
60	1,53	0,89	
120	1,57	1,04	
180	1,76	1,18	
	Bederoer	Kålroer	Græs
0	0,60	0,90	1,44
90	0,67	0,99	1,48
160	0,87	1,18	1,79
240	1,07	1,42	2,08

*Total-N · 6,25 = råprotein

Undersøgelse af de dyrkningsmæssige faktorerers indflydelse på udbytte og foder-
 værdi af græsser dyrket i renbestand viser, at øget kvælstofgødskning bevirker
 stigning i afgrødernes indhold af råprotein og et fald i indholdet af råfedt og
 kvælstoffri ekstraktstoffer, medens tørstofindholdet stort set er uændret (Peder-
 sen et al. 1971).

Et højt indhold af essentielle aminosyrer i kernen er af interesse i korn til
 foderbrug. Resultaterne fra forsøg med kvælstofvirkning i nogle ældre og nyere
 bygsorter viser, at indholdet af de enkelte aminosyrer påvirkes ved kvælstofgødsk-
 ning i samme retning som indholdet af total-N, dog således, at indholdet af es-
 sentielle aminosyrer som f.eks. lysin og methionin stiger relativt mindre ved
 stigende kvælstoftilførsel end f.eks. glutaminsyre og prolin (Kofoed & Klausen
 1971).

Som følge af kraftig kvælstofgødskning kan indholdet af $\text{NO}_3\text{-N}$ specielt i grovfoder som græs og roer blive ganske betydeligt forøget, tabel 13.

Tabel 13: Indhold af $\text{NO}_3\text{-N}$ i procent af organisk stof i kløvergræs og græs
 =====
 (Pedersen & Møller 1976)

Tilført kg N/ha	<u>Rødkløver + alm. rajgræs</u>		<u>Alm. rajgræs</u>	
	<u>gns.</u>	<u>variation</u>	<u>gns.</u>	<u>variation</u>
0	0,01	0,00-0,03		
125	0,02	0,00-0,06	0,02	0,00-0,08
250	0,04	0,00-0,14	0,02	0,00-0,10
375	0,08	0,00-0,24	0,05	0,00-0,17
500	0,13	0,02-0,34	0,09	0,02-0,26

Under visse omstændigheder kan nitrat i grovfoder påvirke malkekvægs sundhedstilstand og ydelse. Vombakterier reducerer normalt NO_3^- over NO_2^- til NH_4^+ , som bruges af vombakterierne til at danne protein. Er nitratkoncentrationen imidlertid større end bakterierne evne til at omdanne NO_2^- til NH_4^+ , er der risiko for stigende NO_2^- -optagelse i blodet med konsekvenser for iltoptagelsen og de dermed forbundne følger. Det angives ifølge Smith (1979), at foder med over 1,5 % NO_3^- i tørstoffet bør undgås.

Hos en række pattedyr kan NO_3^- reduceret til NO_2^- danne de såkaldte nitrosaminer eller mere korrekt N-nitrosoforbindelser, stoffer, der har vist sig potentielt kræftfremkaldende ved forsøg med rotter, kaniner, mus, hunde og marsvin i laboratorieforsøg.

På grundlag af undersøgelser over indhold af flygtige nitrosaminer i landbrugs- og havebrugsafgrøder efter anvendelse af forskellige mængder kvælstof i organiske gødninger og handelsgødning kan det dog konkluderes, at anvendelse af passende mængder kvælstofgødning ikke øver indflydelse på tilstedeværelse af flygtige nitrosaminer på det tidspunkt, afgrøderne høstes (Kofoed et al. 1981). I 4 ud af 187 planteprov blev fundet spor af nitrosaminer, men tilstedeværelsen kunne ikke bekræftes ved massespektrometri.

3.3.2. Udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning

Den tidligere alsidige driftsform i landbruget er idag i udstrakt grad afløst af en mere specialiseret drift. Dette kan være en driftsform, som er baseret på et større eller mindre svinehold og kornavl med enkelte vekselafgrøder som raps, frøgræs og i de senere år også ærter. En anden specialiseret driftsform, som har vundet stor udbredelse - især på de lettere jorde i Jylland - er baseret på et stort kvæghold, undertiden større end det tilliggende jordareal giver basis for, hvorfor der må indkøbes foder.

I det traditionelle sædskifte, hvor husdyrhold og markdrift er afstemt efter hinanden, er der normalt ikke sædskifteproblemer eller problemer med udnyttelse af husdyrgødningen. Anderledes stiller sagen sig med de mere specialiserede driftsformer. Hvor driften er baseret på svinehold og kornavl, må husdyrgødningen nødvendigvis anvendes til korn eller vekselafgrøderne, som ofte har en forholdsvis kort vækstperiode og derfor ikke er i stand til at udnytte husdyrgødningen i samme grad som f.eks. roer og kartofler, der har en længere vækstperiode. I landbrug med stort husdyrhold i forhold til jordtilliggende er problemet, at mængden af husdyrgødning er så stor, at den ikke med rimelighed kan anvendes til rodfrugter alene, men må anvendes til græsmarker og til f.eks. majs, som inogen grad anvendes til grovfoder i stedet for roer. Tilføres meget store mængder husdyrgødning, kan der endvidere være risiko for, at jorden overbelastes, hvilket kan give miljømæssige problemer.

Husdyrgødningens værdi som næringsstofkilde for planterne er afhængig af bl.a. næringsstofindhold og af udbringningstidspunkt og -måde.

Eftervirkning. Mens handelsgødningerne har et veldefineret indhold af kvælstof, er det modsatte tilfældet for husdyrgødningernes vedkommende, hvor der kan være betydelige variationer i kvælstofindholdet.

En stor del af husdyrgødningskvælstoffet er bundet i organiske forbindelser af forskellig art. Den del af kvælstoffet, som er til stede som ammoniumkvælstof og eventuelt som urinstof, kan vurderes til at have samme tilgængelighed som kunstgødningskvælstof. Kvælstof i organiske forbindelser i gødningen skal derimod som tidligere nævnt mineraliseres, inden planten kan udnytte det. Dette betyder, at husdyrgødningens virkning kan strække sig over flere år. Et eksempel på staldgødningens eftervirkning er vist i tabel 14.

Tabel 14: Virkning og eftervirkning af 40 t staldgødning pr. ha givet til roer
 =====
 ved varierende kvælstoftilførsel i handelsgødning
 (Kofoed & Klausen 1964)

	Merudbytte, a.e.* /ha			
	1 N	2 N	3 N	4 N
1. år, roer	15,1	10,0	7,9	4,8
2. år, byg	4,1	2,6	1,4	0,7
3. år, rug	1,8	2,5	2,2	1,4

1 N = 64 kg N/ha til roer og 31 kg til korn

*1 afgrødeenhed (a.e.) svarer til foderværdien af 100 kg bygkerne

Resultaterne viser, at jo kraftigere der gødes med handelsgødning, desto mindre bliver merudbyttet for staldgødning i rodfrugtafgrøden.

Eftervirkningen af staldgødningen er målt med merudbyttet årene efter tilførsel. Der har været størst eftervirkning 2. år i byg ved laveste tilførsel af handelsgødning. 3. år er der målt merudbytter (eftervirkning) på 1,4-2,5 a.e./ha.

Udbringningstidspunkt. Husdyrgødningens virkning og dermed dens værdi som gødning er i høj grad afhængig af udbringningstidspunktet, og det gælder først og fremmest kvælstofvirkningen.

Adskillige forsøg har vist, at dersom husdyrgødning udbringes om efteråret og henligger oven på jorden, er der generelt en meget lille virkningsgrad. 100 kg kvælstof i husdyrgødning kan under sådanne forhold erstattes af 5-15 kg kvælstof i handelsgødning, hvilket vil sige, at virkningsgraden af husdyrgødning er 0,05-0,15.

Anvendelse om foråret og omgående nedbringning giver normalt den bedste virkning. Tidspunktet for udbringning må dog afpasses efter jordtypen.

Byg. Virkningsgraden af husdyrgødning til byg varierer med gødningsform, udbringningstidspunkt og udbringningsmåde, tabel 15 og 16, samt figur 11.

Tabel 15: Fast svinegødning og -gylle til byg. Udbytte og merudbytte i hkg kerne, samt kvælstof %, 1975-78 (Nemming 1982)

Tilførsel kg N/ha		Lerjord 11 fs.	Sandjord 4 fs.	Gns. 15 fs.	Virkningsgrad for N	% N i kerne gns.
0		<u>27,6</u>	<u>7,5</u>	<u>22,2</u>		1,67
50	i kalk-	15,1	11,0	14,0		1,73
100	ammon-	17,8	16,4	17,4		1,94
150	salpeter	17,2	17,4	17,2		2,20
100	i fast	8,3	5,5	7,6		1,77
200	svine-	13,5	11,8	13,0	0,20	1,94
300	gødning	15,5	15,6	15,5		2,01
100	i svi-	10,5	10,2	10,4		1,91
200	ne-	14,2	13,8	14,1	0,30	2,11
300	gylle	17,1	15,4	16,7		2,30

Den bedre virkning af svinegylle hænger sammen med en større tilførsel af $\text{NH}_4\text{-N}$. Undersøgelserne viste endvidere, at kvælstofoptagelsen i kernerne stiger med stigende kvælstoftilførsel uafhængig af de anvendte gødningsformer, tabel 15.

Tabel 16: Udbringningstider for svinegødning og -gylle til byg. Udbytte og mer-
 ===== udbytte i hkg kerne pr. ha. 1975-78 (Klausen & Nemming 1982)

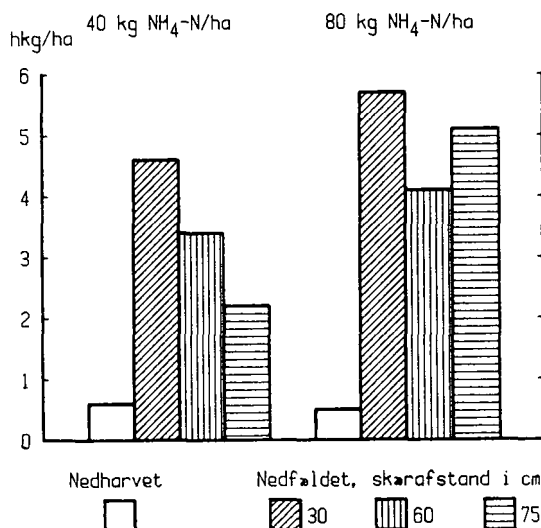
Tilførsel		Lerjord	Sandjord	Gns.	Virknings-	
kg N/ha		6 fs.	4 fs.	10 fs.	grad for N	
<u>0</u>		<u>35,2</u>	<u>7,5</u>	<u>24,1</u>		
50	{ i kalkammon- 100 salpeter	8,4	12,3	10,0		
		8,7	19,1	12,9		
200	{ i fast svine- gødning	nov.-dec. nedpløjet	4,0	10,1	6,4	0,10
		mar.-apr. nedpløjet	6,9	13,7	9,6	0,25
		mar.-apr. nedharvet	5,2	11,0	7,5	0,15
200	{ i svine- gylle	nov.-dec. nedpløjet	6,2	16,2	10,2	0,25
		mar.-apr. nedpløjet	6,7	18,1	11,3	0,35
		mar.-apr. nedharvet	9,9	18,4	13,3	0,55

Der er opnået den bedste virkning af fast svinegødning og svinegylle ved udbringning om foråret, tabel 16. Udbringning om efteråret har formodentlig medført nogen nedvaskning i den efterfølgende afstrømningsperiode og dermed tab af kvælstof.

Udbringning af gylle ved udspredning oven på jorden uden nedpløjning eller nedharvning medfører et betydeligt kvælstoftab som følge af ammoniakfordampning. Endvidere er der ved denne udbringningsmåde ofte betydelige lugtgener. Ved direkte nedfældning i jorden undgås disse problemer, og risiko for overfladeafstrømning undgås.

Nedfældning giver desuden et betragteligt merudbytte både i forhold til udspre-
ning oven på jorden og i forhold til nedharvning, figur 11. Nedfældningen blev
foretaget i marts-april. Nedharvning giver kun et beskedent merudbytte i forhold
til udspreddning.

Tilsvarende resultater er fundet i forsøg med bederoer.



Figur 11: Merudbytte for nedbringning af gylle til byg,
===== hkg kerne pr. ha

Nedfældning medfører en merudgift på 8-10 kr. pr. t i forhold til udspreddning oven
på jorden, og denne ekstraudgift må betales af merudbyttet.

Industrikartofler. Til produktion af kartoffelmel dyrkes der i Danmark ca. 10.000 ha med industrikartofler - en afgrøde, hvortil gylle finder anvendelse.

Ved denne produktion er det ønskeligt med et så højt tørstofindhold og dermed stivelsesindhold som muligt, idet dette forbedrer kvaliteten.

Forsøg med staldgødning og ajle (Iversen 1946) og igangværende forsøg med gylle til industrikartofler viser, at anvendelse af husdyrgødning sænker tørstofindholdet og dermed stivelsesindholdet. Husdyrgødningens uheldige indflydelse på tørstofprocenten modsvares af, at den medfører en stor udbyttestigning af knolde.

Når der anvendes 40 ton staldgødning eller 20 ton ajle eller 30 ton gylle, må der regnes med et fald i tørstofindholdet på 1-1,5 procentenheder. Af den grund bør mængderne af husdyrgødning begrænses, og en del af kvælstofgødningen til kartofler bør dækkes af handelsgødningskvælstof.

Majs. De mere specialiserede driftsformer har medført, at en del landbrug har udskiftet rodfrugtafgrøder eller større eller mindre dele heraf med majs og/eller græsafrøder, hvorefter der anvendes husdyrgødning til disse afgrøder.

Det antages normalt, at majs har samme næringsbehov som foderroer.

Foreløbige resultater fra igangværende forsøg med stigende mængder fast kvæg-gødning og kvæggylle til majs på grovsandet jord ved Lundgård viser god udbyttestigning for tilførsel af op til 100 t husdyrgødning, tabel 17.

Tabel 17: Tilførsel af husdyrgødning til majs og udbytte i hkg tørstof pr. ha
===== (kolbe + stængel)

		Fast gødning	Gylle
25 t husdyrgødning/ha		54,5	49,7
50 t	-	74,8	68,6
100 t	-	101,0	92,6
200 t	-	102,1	91,8

På grund af for lille opbevaringskapacitet er det ofte nødvendigt at udbringe gylle i vækstperioden, og majs er en af de afgrøder, der tilføres gylle i sommerperioden.

Den gødningsmæssige værdi af gylle ved udbringning i denne periode må vurderes som værende lille, idet tabet af kvælstof vil være stort som følge af ammoniakfordampning ved udspreddning ovenpå jorden. Dertil kommer risiko for svidning af majsplanterne under udbringningen.

Statens Planteavlsvforsøg har i 1981 igangsat undersøgelser for at belyse virkningen ved udbringning af gylle til majs i vækstperioden. Der udbringes 20, 60 og 90 t gylle pr. ha ved majsens fremspiring, samt ved 15 og 40 cm plantehøjde ved udspreddning med bladspreder, udlægning ovenpå jorden eller nedfældning mellem majsrækkerne.

De foreløbige resultater viser, at der er god virkning for nedfældning af gyllen. Den bedste virkning er opnået, når majsens er 15 cm høj.

Udlægning af gylle har givet væsentlig ringere virkning, idet gyllen kun i begrænset omfang har kunnet nedbringes.

Udspreddning med bladspreder ud over majs og jord har kun givet beskedne merudbytter, og ved større gyllemængder har der været direkte svidningsskader, når majsens var 40 cm høj.

Vårraps. Af sædskiftemæssige årsager er landbrug med intensivt svinehold interesseret i en vekselafgrøde, og vårraps indgår i stigende grad i sædskiftet. Også til denne afgrøde er der interesse for at anvende gylle i vækstperioden, og forskning vedrørende dette er iværksat.

Græs og kløvergræs. Kløvergræs og rent græs udnytter ikke husdyrgødningen særlig godt, men virkningsgraden afhænger af afgrøden og gødningsformen, tabel 18 og 19.

Tabel 18: Fast staldgødning til græs. Udbytte af ugødet og merudbytte i hkg tørstof pr. ha, 1968-73 (Nemning 1976)

	kg N i kas. pr. ha				Virknings-
	<u>0</u>	<u>100</u>	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>grad for N</u>
<u>Kløvergræs, 5 fs.</u>					
Ingen staldgødning	<u>104,2</u>	12,1	20,8	24,3	
200 N i staldgødning, november	8,5	19,2	27,3	34,1	0,38
200 N i staldgødning, forår	9,1	20,2	28,6	31,6	0,38
<u>Rent græs, 7 fs.</u>					
Ingen staldgødning	<u>32,2</u>	35,3	61,2	72,3	
200 N i staldgødning, november	8,2	43,8	67,3	77,1	0,10
200 N i staldgødning, forår	6,4	43,4	67,2	77,6	0,10

Specielt til rent græs er virkningsgraden af fast kvæggødning meget lav, mens gyllen har lidt bedre virkning.

Ved anvendelse af gylle opnås det bedste resultat efter udbringning om foråret. I disse forsøg er opnået merudbytter på henholdsvis 11,2 hkg tørstof i kløvergræs og 20,0 hkg i rent græs.

Tabel 19: Gylle til græs. Udbytte af ugødet og merudbytte i hkg tørstof pr. ha,
 ===== 1968-73 (Nemning 1976)

	kg N i kas. pr. ha				Virknings-
	<u>0</u>	<u>100</u>	<u>200</u>	<u>300</u>	<u>grad for N</u>
<u>Kløvergræs, 5 fs.</u>					
Ingen gylle	<u>104,2</u>	12,1	20,8	24,3	
200 N i gylle, november	9,6	20,0	26,3	33,4	0,43
200 N i gylle, forår	11,2	22,3	25,6	32,3	0,50
200 N i gylle, efter 1. slæt	-9,3	7,9	19,7	30,1	
100 N i gylle, nov. og efter 1. slæt	5,3	17,8	25,1	31,7	0,23
100 N i gylle, forår og efter 1. slæt	7,2	21,4	25,9	31,6	0,30
<u>Rent græs, 7 fs.</u>					
Ingen gylle	<u>32,2</u>	35,3	61,2	72,3	
200 N i gylle, november	11,4	47,1	66,3	76,5	0,15
200 N i gylle, forår	20,0	48,4	68,4	77,2	0,28
200 N i gylle, efter 1. slæt	10,2	44,6	65,0	74,0	0,13
100 N i gylle, nov. og efter 1. slæt	15,8	49,2	67,4	78,3	0,20
100 N i gylle, forår og efter 1. slæt	15,6	49,2	69,3	77,7	0,20

Græsmarkernes udbytte kan påvirkes negativt af gylle ved svidningsskader. Denne ulempe minimeres ved at tilføre under 15-20 tons gylle pr. ha pr. gang og endvidere ved i vækstsæsonen kun at tilføre gylle på kort og opret stub og undgå gylle- eller ajleudkørsel på sne, når der er risiko for efterfølgende frost.

Nedfældning af gylle til græs vil kunne reducere svidningsskader, samt den smit-terisiko fra bakterier og parasitter, der kan være forbundet med udbringning af gylle ovenpå græsafrøder. Mekanisk skade på græsserne ved selve nedfældningen kan dog være meget betydelig.

Store mængder husdyrgødning. Et aktuelt spørgsmål er, hvor store mængder husdyrgødning der kan anvendes, når der tilstræbes en rimelig udnyttelse af de tilførte plantenæringsstoffer og mindst mulig risiko for forurening.

På grov sandblandet lerjord ved Askov og på grovsandet jord ved Lundgård er der siden 1973 gennemført markforsøg til belysning af dette. Endvidere er samme problemstilling belyst i lysimeterforsøg med lerjord fra Rønhave og grovsandet jord fra Lundgård. Både gylle og fast staldgødning fra kvæg indgår i forsøget.

Forsøgene gennemføres i et 4-marks sædskifte, hvori indgår roer, byg, forårs-sået ital. rajgræs (på Lundgård majs) og byg. Der tilføres op til 100 t husdyrgødning pr. hahvert år. Til sammenligning indgår forsøgsled gødet med NPK i handelsgødning. Resultater fra afdelingen med gylle er vist i tabel 20.

Tabel 20: Belastning af jorden med stigende mængder kvæggylle. Markforsøg.

===== Udbytte, a.e./ha. Gennemsnit af 1-8 forsøgsår.

	NPK i handelsg.* /ha			t gylle/ha/år		
	<u>$\frac{1}{2}$</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>100</u>
Gylle til grov sandbl. lerjord (JB5) 1973-80						
Roer	104	122	139	94	106	124
Byg	42	53	52	49	59	57
Græs	37	55	69	37	49	66
Gennemsnit	56	71	78	57	68	76

Gylle til grovsandet jord (JB1)
1974-81

Roer	100	107	113	73	118	150
Byg	26	30	42	22	33	36
Majs	50	59	68	43	56	77
Gennemsnit	51	57	66	40	60	75

* 1 N er 80 kg N/ha til byg og 160 kg N/ha til græs og roer

Som det fremgår af tabel 20, er det navnlig i grovfoderafgrøderne, der er opnået merudbytter for anvendelse af 100 t gylle i forhold til 50 t pr. ha. Til de to bygafgrøder er der ikke større forskel på udbyttet, enten der er anvendt 50 eller 100 t gylle pr. ha.

Opstiller man derefter en kvælstofbalance for disse forsøg, finder man følgende, som vist i tabel 21.

Tabel 21: Belastning af jorden med stigende mængder kvæggylle. Markforsøg på ===== grov sandblandet lerjord (JB5). Kvælstofbalance, tilført og optaget kg N/ha/år, 1973-80

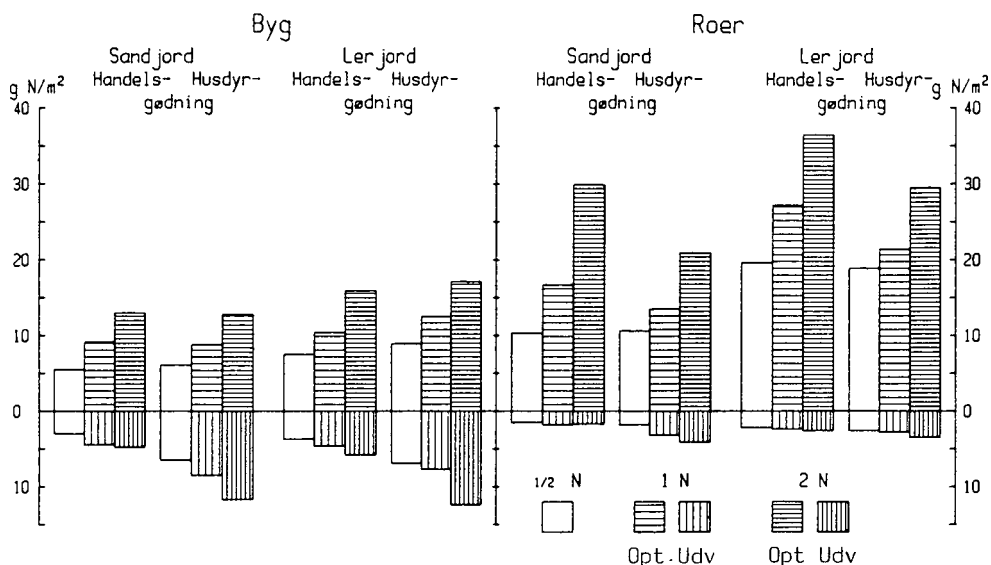
Afgrode	Forsøgsår	NPK i handelsg.* /ha/år			t gylle/ha/år		
		$\frac{1}{2}$	1	2	25	50	100
Gns. tilført		60	120	240	113	226	452
Bederøer optaget	1 og 5	152	199	266	142	179	234
Byg optaget	2,4,6 og 8	56	79	111	69	105	133
Græs optaget	3 og 7	95	170	275	95	143	200
Gns. optaget		90	132	191	94	133	175
Gns. tilført - optaget		-30	-12	49	19	93	277

*1 N er 80 kg N/ha til byg og 160 kg N/ha til græs og roer

Hvor der igennemsnit til et sædskifte med roer, byg, græs og byg i 8 år er anvendt 120 kg N pr. ha i handelsgødning, er der omtrent balance mellem tilført og bortført kvælstof, medens der er 93 kg N pr. ha i overskud efter 50 t gylle årlig pr. ha og 267 kg N i overskud efter 100 t gylle årlig pr. ha.

Undersøgelser over udvaskning efter anvendelse af store mængder husdyrgødning gennemføres i lysimeterforsøg med grovsandet jord fra Lundgård og lerjord fra Rønhave. Tilsammenligning indgår forsøgsled gødet med NPK i handelsgødning. Udvasning efter henholdsvis byg og roer er vist i figur 12.

I byg har kvælstofudvaskningen efter anvendelse af husdyrgødning været ca. dobbelt så stor som efter brug af handelsgødning. Dette skyldes, at byg efterlader jorden ubevokset, medens temperaturen endnu er så høj, at der foregår mineralisering af det i jorden og husdyrgødningen værende organisk bundne kvælstof.



Figur 12: Kvælstofoptagelse og -udvaskning efter stigende gødningstilførsel på grovsandet jord (JB1) og lerjord (JB7).

1 N = 5 kg gylle/m² eller 8 g N til byg eller 16 g N/m² til roer.

Lysimeterforsøg ved Askov, byg 1975, -77, -79 og -81, roer 1974 og -78. (Delvis Nemming 1977)

Ved anvendelse af 40-120 kg N pr. ha i kalkammonsalpeter til byg er udvaskningen i alt 30-50 kg N pr. ha på sandjord og 40-50 kg på lerjord. Ved tilførsel af 25 t gylle pr. ha udvaskes ca. 70 kg N pr. ha, efter 50 t ca. 80 kg og efter anvendelse af 100 t gylle udvaskes 120 kg N.

Efter roer, som har en længere vækstperiode, er kvælstofudvaskningen relativ lille og mindre påvirket af gødningens art, men også her er der størst udvaskning efter husdyrgødning. Det drejer sig om 20-30 kg N pr. ha efter en rodfrugtafgrøde på 90-125 a.e.

Med 50 t kvæggylle pr. ha tilfører man 115 kg $\text{NH}_4\text{-N}$, hvilket i mange tilfælde er tilstrækkeligt til f.eks. byg. Med denne mængde gylle er tilført rigeligt med P.

35 t svinegylle svarer i indhold af $\text{NH}_4\text{-N}$ og P til 50 t kvæggylle.

På baggrund af de anførte resultater og erfaringer i øvrigt kan følgende mængder være retningsgivende for acceptabel staldgødningsanvendelse: 50 t kvæggylle, 35 t svinegylle pr. ha pr. år eller evt. større mængder med års mellemrum efter den givne afgrødes behov.

Med disse mængder som grundlag kan man vurdere behovet for husdyrgødning til de enkelte afgrøder og tage de nødvendige hensyn til miljømæssige forhold.

3.3.3. Kvælstoftilførsel og kvælstofudvaskning

Kvælstofudvaskningen er hovedsagelig en følge af mineraliseringen efter høst og afstrømningen i efterårs- og vintermånederne (se dog afsn. 3.3.4.1.). I vækstsæsonen optager planterne kvælstoffet, og desuden er afstrømningen fra rodzonen som regel ringe i denne periode (Bennetzen 1978, Burns & Greenwood 1982, Kjellerup & Kofoed 1983).

Den udvaskede kvælstofmængde stammer dels fra nyt mineraliseret plantemateriale, dels fra jordens reserve af org. bundet kvælstof.

Nye lysimeterforsøg tyder på, at den kvælstofudvaskning, der direkte kan henføres til den nærmest forudgående kvælstoftilførsel, kun udgør en lille del af den totale udvaskning (Kjellerup & Kofoed 1983), tabel 22.

Tabel 22: Kvælstoftilførsel, total udvaskning og udvaskning af ^{15}N -mærket gødning. Lysimeterforsøg (efter Kjellerup & Kofoed 1983)

Tilført ^{15}N -mærket gødning i 74 g/m^2 *	Byg 74/75 Udvasket totalt g/m^2 *	Udvaskning % af tilført		
		Byg 74/75 ^{15}N -mærket	Byg 75/76 ^{15}N -mærket	Vårraps 76/77 ^{15}N -mærket
0	6,8			
5,4	6,4	2,9	1,5	0,3
10,8	6,1	2,8	1,5	0,3
16,2	6,6	2,8	1,5	0,4

* $\text{g/m}^2 \cdot 10 = \text{kg/ha}$

I tabellen er vist, hvor meget af den tilførte ^{15}N -mærkede gødning der udvaskes i de følgende afstrømningsperioder i % af tilført. Til sammenligning er anført, hvor meget der udvaskedes totalt i 1974/75.

Ca. 3 % af den ^{15}N -mærkede gødning er udvasket i den nærmest følgende afstrømningsperiode; resten af det udvaskede kvælstof må stamme fra jordens N-lager.

En samlet kvælstofbalance efter 3 års forløb for den ^{15}N -mærkede gødning gav følgende resultat: 58 % af den i form af ^{15}N -mærket ammoniumnitratgødning er optaget af afgrøderne, 21 % er fastlagt i jorden, og 5 % er udvasket med drænvand, dvs. i alt 84 % af det tilførte handelsgødningskvælstof, medens resten må antages at være denitrificeret til luftformige kvælstofforbindelser og afgivet til atmosfæren.

Resultaterne tyder på, at udvaskningen af tilført gødningskvælstof sker over en længere årrække, idet forskellen mellem totalt udvasket kvælstof og udvasket ^{15}N -mærket kvælstof i 1974/75 hovedsagelig må stamme fra tidligere tilført kvælstof, som har været fastlagt i jorden (jvf. de 21 % i ovenstående balance).

Stigende udvaskning med øget kvælstoftilførsel ses tydeligst ved tilførsel af mængder større end de optimale, dvs. ved større tilførsel, end planterne kan udnytte til forøgelse af produktionen.

Det fremgår især af langvarige undersøgelser over kvælstofudvaskningen med drænvand på lerjord (Sdr. Stenderup) og lerblandet sandjord (Agervig), tabel 23.

(Arealerne er de samme som i tabel 33, afsnit 3.5.2.; men da der er målt på forskellige drænledninger, er der ikke fuld overensstemmelse mellem afstrømnings- og udvaskningstal. Endvidere er tallene for kvælstoftilførsel forskellige, idet atmosfærisk nedfald er taget med i tabel 33, men ikke i tabel 23.)

1 N angiver normal kvælstoftilførsel til de forskellige afgrøder, og den største forøgelse af udvaskningen kan generelt konstateres ved tilførsel af halvdelen gange normal kvælstofmængde.

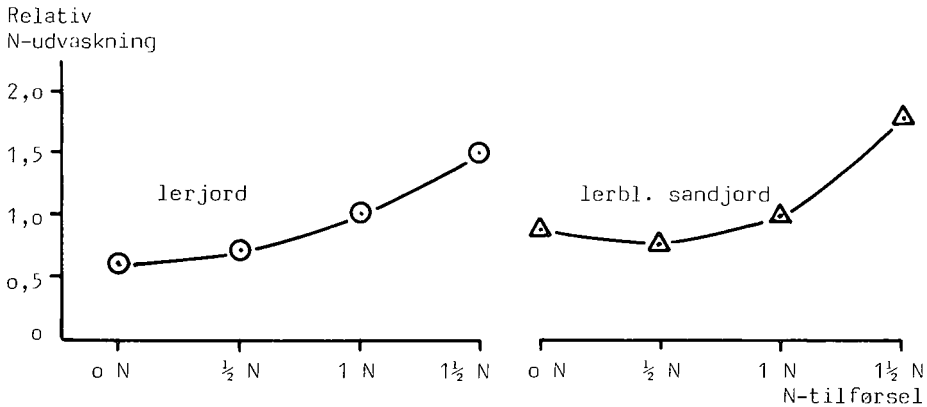
Tabel 23: Tilførsel af kvælstof, afstrømning, kvælstofudvaskning og kvælstofkoncentration i drænvand (efter Kjellerup & Kofoed 1979, Kjellerup 1983)

År	Afgøde	Tilførsel kg N/ha ved 1 N	Afstrøm- ning mm	Kvælstofudvaskning NO ₃ -N, kg/ha				Kvælstofkoncentration NO ₃ -N, mg/l			
				0 N	½ N	1 N	1½ N	0 N	½ N	1 N	1½ N
<u>Lerjord (JB7), Sdr. Stenderup</u>											
1973/74	Byg	110	148	12,8	14,3	16,1	17,6	8,6	9,7	10,9	11,9
1974/75	Byg	110	249	15,1	17,2	20,9	31,1	6,1	6,9	8,4	12,5
1975/76	Byg	110	6	2,0	0,9	0,4	0,1	-	-	-	-
1976/77	Raps	150	98	3,4	4,9	5,6	15,4	3,4	5,0	5,7	15,7
1977/78	Hvede	150	207	16,2	18,6	21,3	37,7	7,8	9,0	10,3	18,2
1978/79	Byg/udl.	135	162	4,8	7,0	14,2	20,4	2,9	4,3	8,8	12,6
1979/80	Græsfrø	120	225	0,4	1,5	2,4	9,5	0,2	0,7	1,1	4,2
1980/81	Græsfrø	55	406	6,6	8,6	16,6	24,0	1,6	2,1	4,1	5,9
1981/82	Hvede	160	242	8,4	10,0	23,8	30,9	3,5	4,1	9,8	12,8
Gns. 9 år		122	194	7,7	9,2	13,5	20,7	4,0	4,7	7,0	10,7
<u>Lerblandet sandjord (JB4), Agervig</u>											
1978/79	Byg/udl.	103	131	11,7	9,1	9,8	14,3	8,9	6,9	7,4	10,9
1979/80	Kløvergræs	240	145	10,9	7,9	9,5	19,8	7,5	5,4	6,5	13,7
1980/81	Kløvergræs	300	466	18,8	13,2	24,4	77,0	4,0	2,8	5,2	16,5
1981/82	Byg	70	260	41,8	43,9	44,8	48,5	16,1	16,9	17,2	18,7
Gns. 4 år		178	251	20,8	18,5	22,1	39,9	8,3	7,4	8,8	15,9

Dette underbygges af de relative gennemsnitstal for kvælstofudvaskningen, som er vist i kurveform i figur 13. Kurverne stiger stærkest fra 1 N til 1½ N, især på sandjorden.

På sandjorden har den lille kvælstoftilførsel (½ N) endog nedsat udvaskningen. Dette kan eventuelt skyldes en relativt bedre udnyttelse af jordens kvælstofreserve ved kvælstoftilførsel, jvf. tabel 9.

Resultaterne i tabel 23 og figur 13 understreger det indirekte i kvælstofgødningens indflydelse på udvaskningen, idet der også fra ugødet jord på begge arealer er sket udvaskning. Uanset om der tilføres kvælstof eller ej, vil der ske udvaskning som følge af kvælstofmineraliseringen fra jordens lager, men mineraliseringen vil generelt øges med stigende planteproduktion, som bl.a. er en følge af øget kvælstoftilførsel.



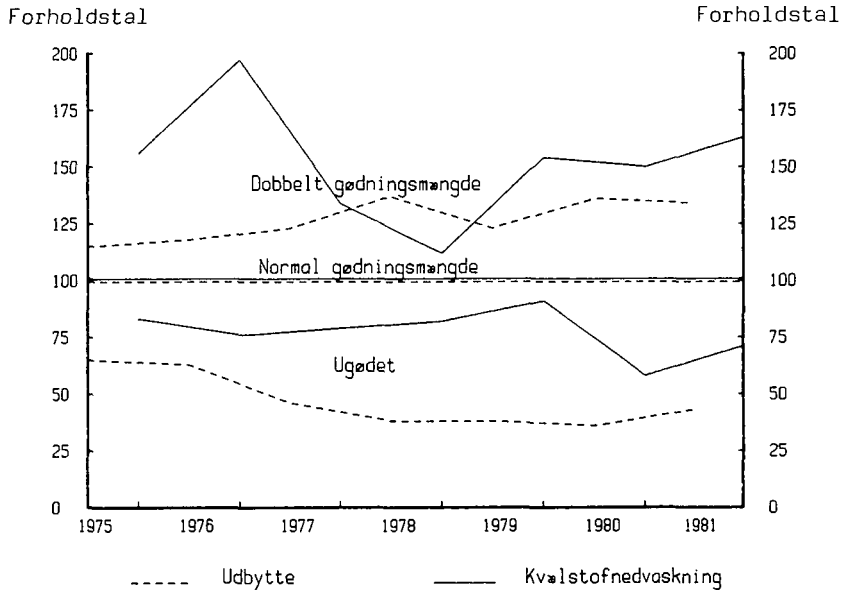
Figur 13: Gennemsnitlig relativ kvælstofudvaskning med drænvand på lerjord (JB7) ved Sdr. Stenderup (9 år) og lerbl. sandjord (JB4) ved Agervig (4 år). Beregnet efter gennemsnitstallene i tabel 23, 1 N = 1. (Efter Kjellerup 1983)

Betydningen af mængden af planterester for mineralisering og udvaskning fremgår i øvrigt af perioden 1981/82, Agervig, tabel 23. Den store udvaskning i denne periode skyldes opløjning af kløvergræsmarken i vinteren 1980/81 med efterfølgende mineralisering i 1981.

Til yderligere belysning af kvælstofgødskningens indflydelse på såvel udbytte som kvælstofnedvaskning anføres i figur 14 resultater fra 7 års lysimeterundersøgelser.

Kurverne viser gennemsnitsresultater af 4 afgrøder hvert år, hvede-bederoerbyg m. udlæg-græs. Normal gødningsmængde svarer til 100 kg N pr. ha til korn og 225 til roer og græs.

Både udbyttet og kvælstofnedvaskningen har varieret medklimaforholdene det enkelte år. I gennemsnit har en fordobling af kvælstoftilførslen øget udbyttet med 26 % og nedvaskning med 67 %, medens en undladelse af kvælstofgødskning i 7 år har reduceret kvælstofnedvaskningen med 25 %, mens udbyttet er mere end halveret.



Figur 14: Gødskningens indflydelse på udbytte og kvælstofnedvaskning.
 =====
 Forholdstal, normalgødskning = 100. Lysimeterforsøg ved Askov 1975-81/82

3.3.4. Kvælstofgødskning, samlet eller delt

Til vårsæd tilføres hele gødningmængden, herunder kvælstofmængden, ofte før såning, ligesom hovedparten af kvælstofmængden til vintersæd tilføres ad een gang i det tidlige forår. Udenlandske undersøgelser - specielt fra Vesttyskland (Riehle 1977) - har imidlertid vist, at man med fordel kan dele kvælstofmængden til korn, især vinterhvede.

For at belyse om der også under danske dyrkningsbetingelser kan opnås merudbytte ved deling af kvælstof, er der gennemført forsøg med deling af kvælstof til vinterhvede på grov sandblandet lerjord (Askov) og lerjord (Rønhave) (Olsen & Larsen 1983). Resultaterne er vist i tabel 24.

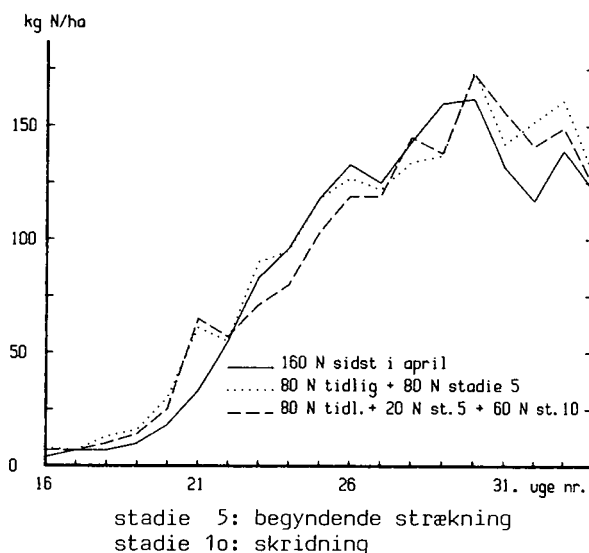
Tabel 24: Kvælstofvirkning ved forskellige udbringningstider til vinterhvede.
 =====
 Udbytte, merudbytte, hkg kerne og hkg halm pr. ha. Gns. af 3 år
 (Olsen & Larsen 1983)

kg N/ha ved stadium*			Askov		Rønhave	
1	2	3	kerne	halm	kerne	halm
120 - 0 - 0			<u>28,9</u>	<u>51,9</u>	<u>62,7</u>	<u>57,6</u>
40 - 80 - 0			-0,2	-2,3	-0,1	-0,6
80 - 0 - 40			4,0	-3,0	-5,5	-1,6
40 - 40 - 40			0,2	-0,1	-3,6	-2,9
60 - 40 - 20			3,0	-2,8	-2,4	-2,1
160 - 0 - 0			<u>28,6</u>	<u>55,7</u>	<u>64,4</u>	<u>58,3</u>
80 - 80 - 0			3,1	-2,7	1,3	4,4
80 - 0 - 80			3,5	-4,0	-7,0	-3,3
80 - 20 - 60			4,3	-4,1	-3,1	-1,4
40 - 80 - 40			1,6	0,7	-1,1	-1,3
LSD			1,8	4,3	1,4	4,8

* 1. ved buskning, 2. beg. strækning, 3. ved skridning

Af tabellen ses, at ved Askov er der opnået et lille merudbytte i kerne ved deling af kvælstofmængden, hvorimod merudbyttet ved Rønhave i de fleste tilfælde har været negativt. Sidstnævnte gør sig også gældende for halmudbyttet begge steder.

Ved vækstanalyse af planterne fandtes der ingen sikker forskel i kvælstofoptagelsen mellem de forskellige udbringningstider. Et eksempel er vist i figur 15.



Figur 15: Kvælstofoptagelse i strå + kerne i vinterhvede
 =====
 ved forskellige udbringningstidspunkter på grov
 sandbl. lerjord (JB5). Askov 1979-81
 (Olsen & Larsen 1983)

Resultater fra undersøgelser med deling af kvælstofmængden til byg er vist i tabel 25.

Af tabellen ses, at som gennemsnit af 15 forsøg har der været mindre udbytte ved delt gødskning med kalkammonsalpeter end ved engangstilførsel. Ved delt gødskning med N-30 (ureaammoniumnitrat) er opnået samme udbytte som ved engangstilførsel af kalkammonsalpeter ved såning.

I de to forannævnte forsøgsserier henholdsvis vinterhvede og vårbyg er forsøgene gennemført uden køreskade.

Ved deling af kvælstofmængde til vinterbyg viste Klausen og Kofoed (1980), at efterårsudbringning af en del af kvælstofmængden gav lavere merudbytte, end når alt kvælstof blev udbragt om foråret. På lerjorden var merudbyttet for 50 kg N pr. ha udbragt om efteråret 2,9 hkg kerne pr. ha, medens samme kvælstofmængde udbragt om foråret gav et merudbytte fire gange højere.

Tabel 25: Udelt og delt kvælstofgødsning til vårbyg 1977-81. Udbytte og merud-
===== bytte

o N	Engangs-	80 kg N/ha ved såning + 40 kg N/ha ekstra					
	tilførsel	i kas.			i N-30		
	før såning	tildelt ved stadium*			tildelt ved stadium*		
	120 kg N/ha	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Askov, grov sandblandet lerjord (JB5)							
<u>22,3</u>	26,5	23,8	24,7	24,3	26,1	25,9	24,4
Lundgård, grovsandet jord (JB1)							
<u>21,7</u>	31,0	31,4	30,7	30,0	31,5	31,8	31,2
Rønhave Lerjord (JB7)							
<u>36,5</u>	18,5	17,8	16,8	17,0	17,1	16,3	16,5
Gennemsnit af 15 forsøg							
<u>26,8</u>	25,3	24,3	24,1	23,8	24,9	24,6	24,0

* 1. ved buskning 2. beg. strækning 3. strækning

Undersøgelser over tidlig og sen udbringning om foråret til vinterbyg viste, at man får det største kerneudbytte ved tildeling af hele kvælstofmængden i det tidlige forår, ca. 1. april, tabel 26.

Tabel 26: Tidlig og sen forårsudbringning af kalkammonsalpeter til vinterbyg.
===== Udbytte og merudbytte, hkg kerne/ha (Klausen & Kofoed 1980)

Udbragt dato	Grov sandbl. lerjord (JB5), kg N/ha			Grov sandjord (JB1), kg N/ha		
	0	100	150	0	100	150
ca. 01.04.	<u>26,0</u>	27,9	34,1	<u>12,7</u>	21,6	26,3
ca. 01.05.	<u>26,0</u>	26,6	32,1	<u>12,7</u>	18,6	20,9

Endvidere viste undersøgelserne, at fast gødning, kalkammonsalpeter, gav større kerneudbytte end fl. ammoniak. Det mindre udbytte, der er fundet ved fl. ammoniak, skyldes antagelig skader ved nedfældningen.

Ulemperne ved delt kvælstofgødskning som følge af køreskade i vårbyg er undersøgt af Højmark (1972). Forsøgene viste, at kørsel med traktor kan foretages uden væsentlig risiko for skader, indtil kornet begynder at strække sig, hvilket vil sige, når de aksbærende strå begynder længdevæksten. Dette er dog under forudsætning af, at jorden kan "bære" traktoren uden at danne dybe spor. Kørsel efter begyndende strækning og indtil skridning har medført varig skade på planterne.

Generelt må der kalkuleres med, at der skal et merudbytte på $1\frac{1}{2}$ -2 hkg kerne til at dække de ekstra arbejdsomkostninger og eventuelle køreskader på afgrøden.

Resultaterne fra de ovenfor omtalte undersøgelser tyder ikke på, at der i almindelighed opnås et højere udbytte ved at tilføre kvælstofmængden ad flere gange i løbet af vækstperioden. Det bør dog nævnes, at der i landsforsøg er opnået et rentabelt merudbytte på 1,5 hkg kerne pr. ha for en todelt tilførsel af kvælstof til vinterhvede, ligesom det har vist sig at være en fordel at dele kvælstofmængden til rug (Oversigt over Landsforsøgene 1982). Ved deling af kvælstofmængden til vinterbyg fandtes derimod i overensstemmelse med Klausen og Kofoed (1980), at hele mængden med fordel kunne udbringes omkring 1. april. I vårbyg varierede resultaterne, men ved tilførsel af store kvælstofmængder fandtes i gennemsnit et merudbytte på 1,6 hkg kerne pr. ha for deling af kvælstofmængden.

Årsagen til de varierende resultater af en deling af kvælstofmængden skal formentlig søges i, at der i nogle tilfælde ikke kom nedbør efter kvælstoftilførsel, således at det tilførte kvælstof først er blevet tilgængeligt for planterne langt senere i vækstperioden.

3.3.4.1. Nedvaskning og eftergødskning

Såfremt der efter gødningsudbringning og i perioden tilegentlig vækst falder store nedbørsmængder, opstår der risiko for, at en del af kvælstoffet nedvaskes (Kofoed & Kjellerup 1970). Risikoen er størst ved anvendelse af nitratholdige gødninger på sandjord, hvor jordens vandkapacitet og planternes roddybde er mindst.

Er der under sådanne forhold tilført nitratholdig kvælstofgødning tidligt om foråret, kan der i mange tilfælde opnås betydelige merudbytter ved at tilføre ekstra kvælstofgødning til erstatning for det, der er gået tabt ved nedvaskning, tabel 27.

Tabel 27: Udbytte efter stigende mængder flydende ammoniak og kalkammonsalpeter
===== udbragt ved såning, samt merudbytte for eftergødskning med 40 kg N/ha i kalkammonsalpeter den 18. maj. Hkg kerne pr. ha. Grovsandet jord (JB1), 1977 (Højmark & Fogh 1977)

kg N/ha	Flydende ammoniak ved såning		Kalkammonsalpeter ved såning	
	ingen efter- gødskning	efter- gødskning	ingen efter- gødskning	efter- gødskning
a. Kun naturlig nedbør i foråret (140 mm)				
0	16,3	+14,9	16,3	+14,9
40	31,4	+12,7	23,7	+14,3
80	43,7	+10,0	32,8	+13,4
120	52,3	+ 1,6	41,3	+ 8,8
160	56,7	+ 4,4	47,9	+ 6,7
b. Naturlig nedbør + 60 mm vanding i foråret (i alt 200 mm)				
0	11,5	+ 14,2	11,5	+14,2
40	19,3	+17,3	13,9	+16,8
80	32,2	+13,0	20,2	+18,4
120	43,9	+ 7,4	24,7	+16,3
160	50,9	+ 2,9	31,6	+12,1

Ved anvendelse af fl. ammoniak er risikoen for kvælstofnedvaskning væsentlig mindre end ved anvendelse af nitratholdige kvælstofgødninger. Dette skyldes dels, at NH_4^+ er langt mindre mobil i jorden end NO_3^- , og desuden må nitrificeringen antages at forløbe langsomt under de iltfattige forhold i jorden ved stor nedbør (se afsnit 2.3.). Chansen for virkning af eftergødskning er derfor ligeledes mindre, når der er anvendt fl. ammoniak.

Foråret 1983 er et eksempel på klimatiske forhold, hvor der sker direkte nedvaskning af en del af den tilførte kvælstofgødning. Maj måned havde en nedbør på 2-3 gange det normale, og der er utvivlsomt nedvasket en del nitrat fra tilført gødning, som ikke blev optaget af planterne, da væksten var hæmmet eller helt sat i stå p.g.a. de ekstremt våde forhold.

Dette støttes af orienterende undersøgelser i vårbyg på grovsandet jord i Kornved udført af Rasmussen (1983).

Der blev udbragt 120 kg N pr. ha som NPK-gødning den 21. marts. Nitratkoncentrationen i jordvandet steg i de dybere lag og faldt samtidig i de øverste jordlag i løbet af april og maj måneder, som vist i nedenstående opstilling:

Dybde, cm	$\text{NO}_3\text{-N}$, mg/l			
	01.04.	14.04.	02.05.	16.05.
20	85	119	19	1
40	485	514	155	2
60	72	52	93	62
80	52	31	72	68
100	11	21	65	48

Tallene er behæftede med nogen usikkerhed, og størrelsen må tages med forbehold. Ligeledes kan mængderne af $\text{NO}_3\text{-N}$ ikke beregnes, idet vandindholdet i jorden ikke er kendt. Målingerne udtrykker dog en klar tendens til en koncentrationsnedgang i de øvre lag og en stigning i de nedre, hvilket må tolkes som en nedadgående nitratbevægelse i jorden. Nitrat, der har bevæget sig ned i 100 cm dybde, har formentlig været tabt for bygplanterne, idet rodvæksten sandsynligvis har været hæmmet på grund af de våde forhold. Kvælstofoptagelsen fra de dybere lag har dermed formentlig været stærkt begrænset.

3.3.4.2. Styret kvælstofgødskning

Ideen bag en styret kvælstofgødskning er at holde afgrøderne optimalt forsynet med kvælstof gennem hele vækstperioden, hvilket, alt andet lige, vil give den bedste kvælstofudnyttelse.

Styring af planternes kvælstofforsyning foretages især på grundlag af planteanalyser, men kan suppleres med en bestemmelse af indholdet af uorganisk kvælstof i rodzonen.

Ved anvendelse af planteanalyser vurderes planternes ernæringstilstand med hensyn til kvælstof på grundlag af $\text{NO}_3\text{-indholdet}$ (Scaife 1979) og/eller indholdet af total-N set i relation til tørstofproduktionen (Nielsen 1973).

En generel basering af kvælstofforsyningen på en mindre mængde i foråret plus et senere tilskud rummer tre faremomenter, som bør tages i betragtning: 1. at eftergødskningen bliver foretaget for sent, 2. at gødningen ikke kommer til at virke på grund af manglende nedbør og 3. at analysen er forkert, især hvor den er baseret på tørstofproduktionen, som vil være vanskelig at bestemme med god sikkerhed.

I øvrigt følger kvælstofoptagelsen ikke tørstofproduktionen, men løber forud for denne. Mangel på kvælstof vil hurtigt virke reducerende på tørstofproduktionen, hvorfor et forhold mellem disse to enheder også kan være en tvivlsom vejledningsparameter. Derimod synes kvælstofoptagelsen at følge tilvæksten i bladareal (Simmelsgaard 1981).

Med hensyn til problemet vedr. manglende nedbør i forbindelse med tilførsel af kvælstof i vækstperioden kan dette afhjælpes ved vanding.

En anden mulighed er tilførsel af gødningen direkte med vandingsvandet, idet der er udviklet systemer, hvormed opløst gødning kan tilføres vandingsvandet.

Amerikanske undersøgelser (Miyamoto et al. 1975) samt forsøg ved Jyndevad (Jensen 1983) har vist, at fl. ammoniak ikke bør udbringes med vandingsvandet, da tabet ved fordampning af ammoniak er meget stort, når der anvendes sprinkleranlæg eller vandingsmaskiner.

Når udbringning af gødning med vandingsvand næsten ikke anvendes i Danmark, må det tilskrives fire årsager:

at det i alle tilfælde kun kan omfatte en del af gødningen og således stiller øgede krav til investering,

at vandfordelingen med den anvendte teknik og de i Danmark herskende vindforhold er for dårlig og således vil medføre en tilsvarende dårlig gødningsfordeling, at tidspunktet for gødningsudbringning i de almindeligste afgrøder ligger før egentlig vandingsbehov, hvorfor arbejdsbesparelsen vil være tvivlsom,

at der i Danmark i stor udstrækning anvendes fl. ammoniak, som er den billigste kvælstofgødning, og som under normale forhold ikke er udsat for nedvaskning.

3.4. Andre dyrkningsforanstaltninger

3.4.1. Halmnedmuldning

På landbrugsejendomme, som drives uden husdyr, forekommer ofte et overskud af halm fra kornproduktionen. En mulighed for bortskaffelse af denne halm er nedmuldning i jorden.

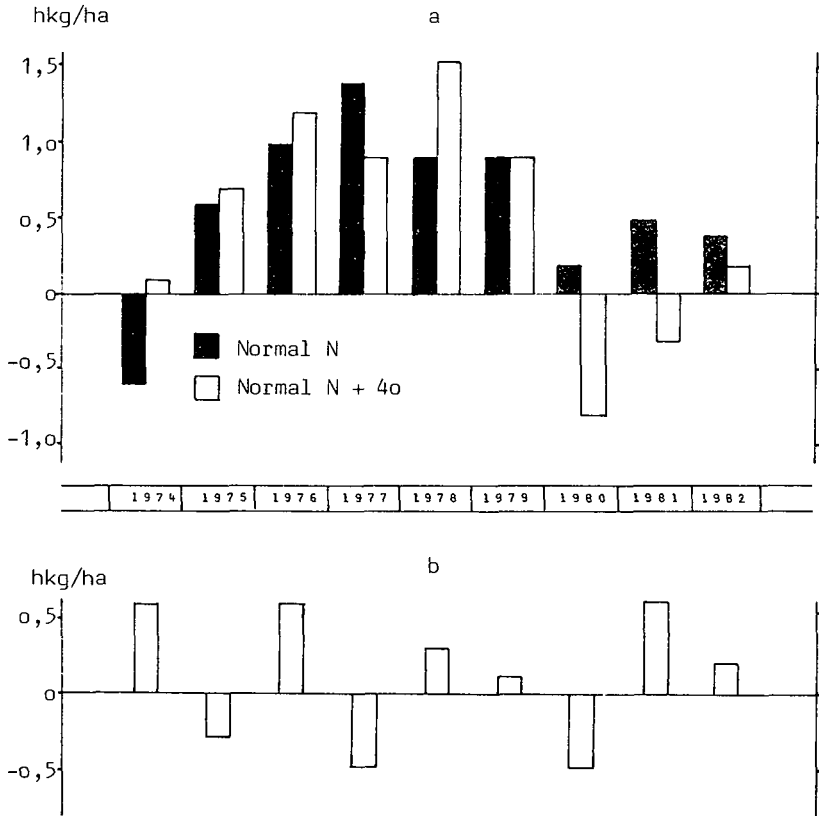
Udbytteforhold. Der foreligger en del danske forsøgsresultater, som belyser problemstillingen omkring halmnedmuldning. De fleste af disse forsøg er gennemført i ensidig korndyrkning og viser såvel positive som negative virkninger på udbyttet.

De landøkonomiske foreninger har i perioden 1973-82 gennemført en forsøgsserie med halmnedmuldning på 8-9 fortrinsvis sandede jorde i Jylland (Oversigt over Landsforsøgene 1974-82). I figur 16a er vist merudbyttet for nedmuldning af den producerede halmmængde ved to kvælstofniveauer. Som gennemsnit af de ni år har der været et lille merudbytte på 0,5 hkg pr. ha efter halmnedmuldning. Det fremgår, at effekten af halm har været ens uanset kvælstofniveau; det har altså ikke været nødvendigt at give ekstra kvælstof for at kompensere for det kvælstof, som immobiliseres om efteråret (se afsn. 2.3.).

I de landøkonomiske foreningers forsøg undersøgte det også, hvordan tildeling af 40 kg N pr. ha ekstra om efteråret påvirker halmens virkning. Det viste sig at være unødvendigt med denne foranstaltning. Udbyttet er praktisk taget ikke blevet påvirket, fig. 16b, og det betyder, at den efterårsudbragte gødning er tabt. Til sammenligning kan nævnes, at de forårsudbragte 40 kg N pr. ha hævede udbytte-niveauet med 1,9 hkg pr. ha.

Det, der her er anført for sandede jorde, støttes af et forsøg, som gennemføres af Statens Planteavlsvforsøg (Olsen 1983). Siden 1966 er der på to morænelerjorde samt en grovsandet hedeslettejord undersøgt effekten af såvel halmnedmuldning som -afbrænding. På den grovsandede jord er der kun i 3 ud af 16 år fundet positiv effekt af at give kvælstof i forbindelse med nedmuldningen om efteråret. Som gennemsnit er der på denne jordtype målt et mindre udbytte på 0,7 hkg pr. ha for at give 40 kg N om efteråret til parceller med halm. Dette antyder, at omsætning

gen af halmen muligvis fremmes så meget af det uorganiske kvælstof, at der starter en nettofrigivelse af kvælstof fra halmen i løbet af afstrømningsperioden. Både det tilførte kvælstof, samt (noget af) halmens indhold må dernæst formodes at gå tabt ved nedvaskning.



- a. Merudbytte for halmnedmuldning ved to niveauer af forårs-N gødskning
- b. Merudbytte for efterårstildeling af 40 kg N pr. ha ved nedmuldning af halm

Figur 16: Halm og kvælstof i relation til udbytte i vårbyg.
 =====
 Fortrinsvis sandede jorde. Hvert år er gennemsnit af 6-9 forsøg.
 (Oversigt over Landsforsøgene 1974-82)

De to lerjorde har i modsætning hertil givet positivt merudbytte for efterårs-N i forbindelse med halm i næsten samtlige 16 forsøgsår. Det drejer sig imidlertid om en beskeden gevinst på gennemsnitlig 0,8-0,9 hkg pr. ha. Regnes med en udgift på 1,5 hkg byg til de udbragte 40 kg N, har der således kun i 3-4 ud af de 16 år været rentabilitet i at give kvælstofgødning samtidig med nedmuldningen.

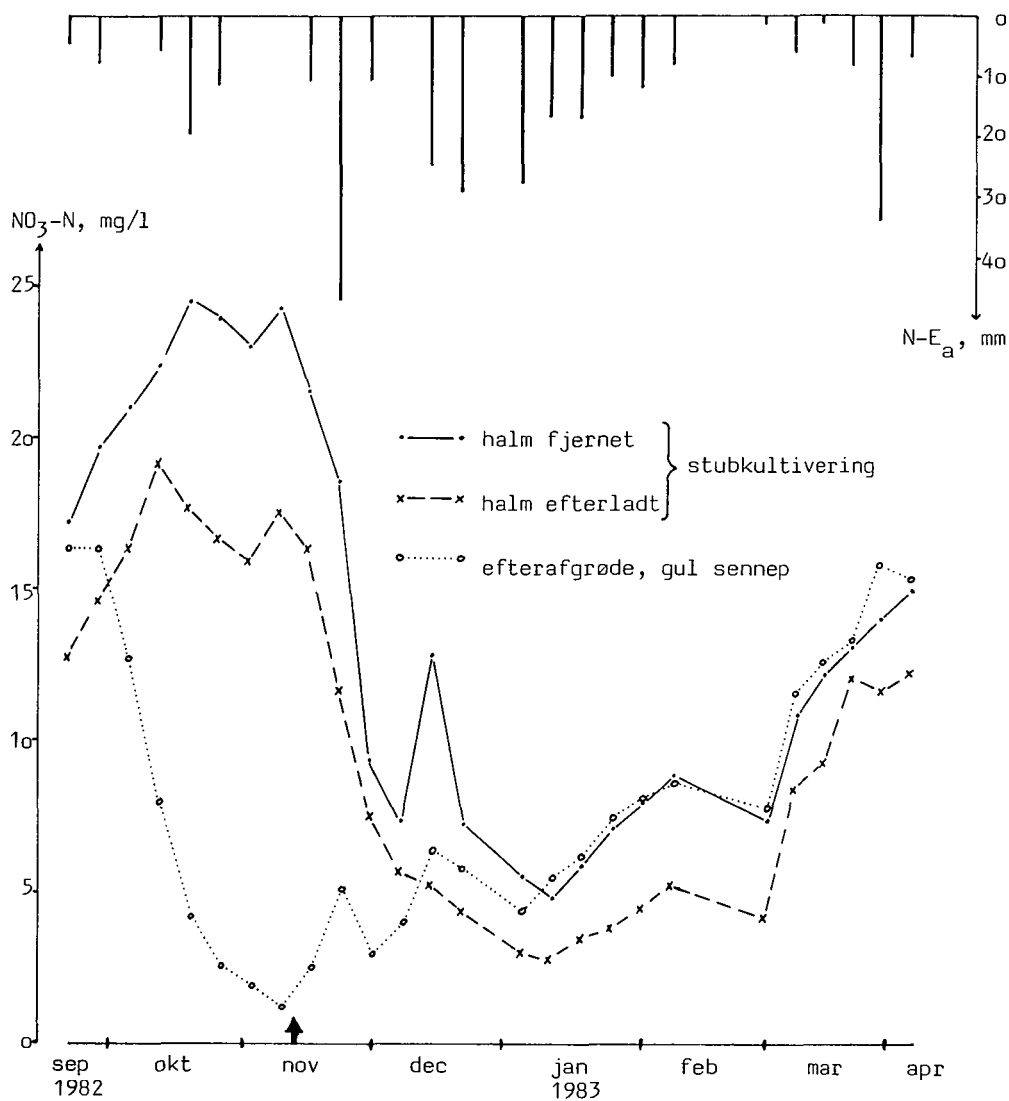
I andre forsøg under Statens Planteavlfsforsøg undersøges halmens virkning ved tre kvælstofniveauer med tildeling af gødningen om foråret. Også disse forsøg gennemføres i ensidig vårbyg. Som gennemsnit af 9 år er der fundet et mindre udbytte for halm på 0,8-1,0 hkg pr. ha på tre lerjorde, samt praktisk taget upåvirket udbytte på en grovsandet jord. Udbyttedepressionen på lerjordene er størst ved lavt kvælstofniveau. Derimod har halmen på sandjorden sin bedste virkning netop ved det lave kvælstofniveau, hvor der er konstateret et egentligt merudbytte for nedmuldning.

Sammenfattende må det konkluderes, at halmnedmuldning kan gennemføres i ensidig vårbygdyrkning uden store udbyttedepressioner i den efterfølgende afgrøde. På lerjorde kan dog forventes en lille udbyttereduktion, som er mindst ved et højt kvælstofgødningsniveau. På sandjorde er udbyttet upåvirket eller svagt bedret efter halmnedmuldning. Tildeling af ekstra kvælstof samtidig med nedmuldning om efteråret er overflødig.

Halm og kvælstofudvaskning. Der er hidtil kun udført få undersøgelser over, hvorledes halmnedmuldning påvirker kvælstofudvaskningen, men netop i disse år gennemfører Statens Planteavlfsforsøg undersøgelser til belysning af problemstillingen.

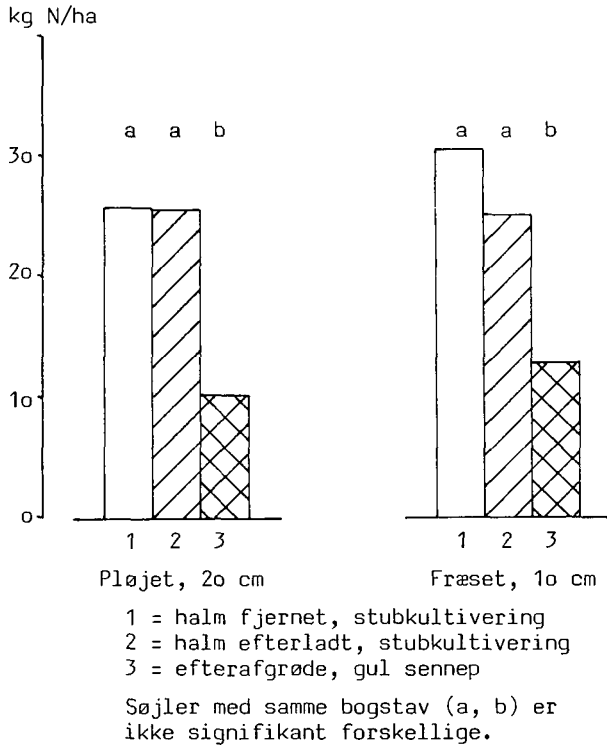
Gennem vinterperioden måles jordvandets koncentration af uorganiske kvælstof-forbindelser bl.a. i et forsøg med henholdsvis halmnedmuldning og efterafgrøde i ensidig bygdyrkning. Målingerne udføres på en lerjord (marsk) samt en fin lerblandet sandjord. Resultater fra vinterperioden 1982/83 ses i figur 17.

Det fremgår af figur 17, at der er målt lidt lavere koncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ i parceller med halmnedmuldning. Forskellen mellem kurverne med og uden halm er imidlertid på intet tidspunkt statistisk sikker. Derimod ses efterafgrøden af gul sennep at have en klar indflydelse på nitrat-koncentrationen i de øvre jordlag (se nærmere omtale, afsn. 3.4.2.).



Figur 17: Jordvandets koncentration af NO₃-N i 20 cm dybde i et forsøg med halm og efterafgrøde. Lerjord (JB7), Højer. 4 gentagelser pr. forsøgsled. Pilen angiver tidspunkt for efterårsjordbehandling (parceller med pløjning 20 cm, såvel som fræsning 10 cm). N-E_a angiver den vandmængde, der har gennemstrømmet jorden i perioden fra sidste til aktuelle måledato.

Såfremt det forudsættes, at nitrat følger jordvandet ved dets nedadgående bevægelse, kan beregnes den kvælstofmængde, som udvaskes forbi en given dybde, f. eks. forventet rodzonedybde, ved en given overskudsnedbør (Bennetzen 1978). I figur 18 er vist den således beregnede mængde kvælstof, som er udvasket under 80 cm dybde i samme forsøg som figur 17.



Figur 18: Beregnede værdier for udvaskning af $\text{NO}_3\text{-N}$ under
 =====
 dybden 80 cm, lerjord (JB7), Højer. Perioden
 22.09.82-06.04.83. Overskudsnedbør i perioden =
 323 mm.

Det noteres, at der ikke kan registreres statistisk sikker forskel på forsøgsled med og uden halm.

Halmens indflydelse på jordens kvælstofdynamik er afhængig af de klimatiske betingelser. Der er således også fundet variation fra år til år. I 1981/82 blev der, ligeledes på lerjorden, målt en svagt signifikant reduktion i kvælstofudvaskningen efter halmnedmuldning. Yderligere viser tretidligere års orienterende målinger på lerjorden, samt to års målinger fra sandjorden den samme tendens: en varierende grad af reduktion i kvælstofudvaskningen efter halmnedmuldning.

Sammenfattende må det konkluderes, at halmnedmuldning har en svagt reducerende virkning på kvælstofudvaskningen, men denne effekt er af væsentlig ringere omfang end virkningen af en vellykket efterafgrøde.

3.4.2. Efterafgrøde

Dyrkning af efterafgrøder kan have interesse af forskellige årsager - dels til forbedring af jordstrukturen ved ensidig korndyrkning, dels fordi efterafgrøden kan have en positiv forfrugtsværdi, og dels fordi efterafgrøden kan have en foderværdi i landbrug med kvæghold. Desuden kan kvælstoftab fra rodzonen begrænses ved dyrkning af efterafgrøder, som før nævnt.

Udbytteforhold. Forskellige plantearter kan anvendes som efterafgrøder - dels som udlæg i en kornafgrøde, og dels ved såning efter høst.

Udlæg i kornafgrøde. Plantearter som italiensk rajgræs, rødkløver, sneglebælg, serradel, persisk kløver, rundbælg og blodkløver er undersøgt i forsøg (Nielsen 1929, Iversen 1944, Hansen 1955, Oversigt over Landsforsøgene 1969, 1971, 1976, 1980, Beretn. fællesforsøg 1970, Rasmussen 1973b, Stockholm 1979, Hansen et al. 1980), og der er konstateret betydelige udbytteforskelle fra planteart til planteart.

I Oversigt over Landsforsøgene (1980) konkluderes således, at kvælstofgødet italiensk rajgræs pr. ha yder 2-4 gange højere udbytter end kløver, sneglebælg og persisk kløver, og at italiensk rajgræs for tiden må betragtes som den bedst egnede efterafgrøde udlagt i byg om foråret.

Udbyttet af kvælstofgødet italiensk rajgræs kan dog variere meget fra år til år. Der er således målt udbytter på 11-32 hkg tørstof pr. ha i udlægsåret (Rasmussen 1973b, Hostrup & Hansen 1977, Stockholm 1979).

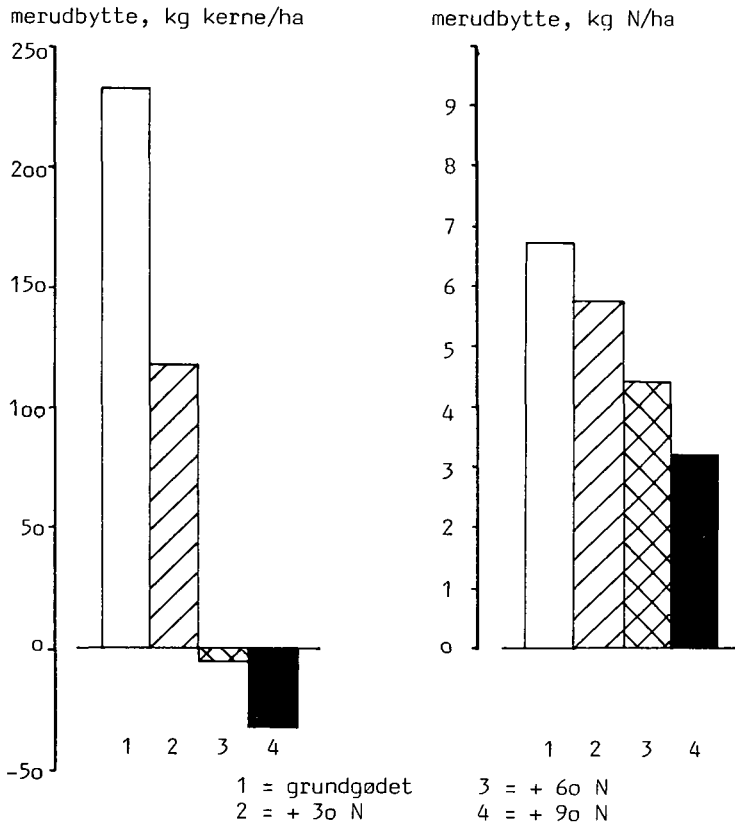
Efterafgrødens forfrugtsværdi viser ligeledes varierende resultater. Forfrugtsværdien er aftagende med stigende kvælstoftilførsel til den efterfølgende bygafgrøde (Oversigt over Landsforsøgene 1971). Afhængig af jordtypen varierer virkningen fra et udbyttetab i byg på ca. 10 hkg på marskjord (Stockholm 1979) til et merudbytte på 2,4 hkg på sandjord.

Såning efter høst. Til dette formål er plantearter som gul sennep, sileta, foder-rybs (perko), phacelia, turnips, foderræddike og fodermarvkål undersøgt i forsøg (Oversigt over Landsforsøgene 1969, Hostrup & Hansen 1977, Stockholm 1979, Hansen et al. 1980, Hvelplund & Østergaard 1981, Nielsen 1982, Rasmussen & Olsen 1983).

Såtidspunktet for efterafgrøden er meget afgørende for udviklingen i efterårets løb. Det har vist sig, at udbyttet falder med 5-6 % for hver dag, spiringen forsinkes i efteråret (Hostrup & Hansen 1977), og udbyttet bliver oftest mindre end 10 hkg tørstof pr. ha ved såning efter ca. 1. september. Kahnt (1976) angiver, at en produktion på mindre end 20 hkg tørstof pr. ha i en efterafgrøde ikke giver nogen målelig forøgelse af jordens humusindhold, samt at mindre end 10 hkg tørstof pr. ha som regel ikke giver nogen udbyttetigning i den efterfølgende kornafgrøde. Til belysning heraf kan anføres, at Rasmussen og Olsen (1983) fandt, at der i 19 forsøg ud af 39 blev høstet efterafgrøder, der gav mindre end 10 hkg tørstof pr. ha, og kun i 2 år ud af 6 høstedes der mere end 20 hkg tørstof pr. ha på sandjord.

Forfrugtsværdien ved såning efter høst kan variere fra et merudbytte på 3,2 hkg til et udbyttetab på 1,6 hkg kerne pr. ha (Nielsen 1982, Rasmussen & Olsen 1983). Merudbytterne var størst på sandjord og mindst eller negative på lerjord.

Der var en positiv effekt af efterafgrøden ved laveste kvælstoftilførsel til den efterfølgende kornafgrøde (0-60 N pr. ha) på 2,1-5,5 hkg bygkerne pr. ha, hvor efterafgrøden blev nedpløjet, og 1,0-3,4 hkg, hvor den blev nedfræset. Ved stigende kvælstofmængder aftog merudbytternes størrelse og blev ofte negative ved største kvælstofmængder (90-150 N pr. ha), se figur 19.



Figur 19: Merudbytte for efterafgrøde i hkg kerne og kg N pr. ha ved stigende kvælstoftilførsel til byg. Gennemsnit af 6 forsøg, 1974-82. (Rasmussen & Olsen 1983, Andersen & Jensen 1983)

Kvælstof i afgrøden. Gul sennep som efterafgrøde kan give et kvælstofindhold i bygkerne i den efterfølgende bygafgrøde, som er 0,11-0,13 procentenheder højere, end ved dyrkning uden efterafgrøde (Rasmussen & Olsen 1983). Efterafgrødens indflydelse på kernekvælstof i den efterfølgende bygafgrøde aftager dog med stigende

kvælstoftilførsel til denne (Andersen & Jensen 1983), figur 19. Trods små udbyt-
tetab ved de to største kvælstofmængder giver disse dog små merudbytter af kvæl-
stof i kerne.

Et enkelt års undersøgelse af halm viste, at denne på grov sandjord ved Jynde-
vad indeholdt 16 % (4 kg N pr. ha) mere kvælstof efter en efterafgrøde end uden
efterafgrøde, mens det tilsvarende merudbytte på lerjord ved Roskilde var 35 %
(18 kg N pr. ha).

Begrænsning af kvælstoftab. Ved dyrkning af forårssåede afgrøder ligger jorden
uden plantedække i 7-8 måneder årlig. Afhængig af jordtypen, bearbejdningen og
plantearten sker der en større eller mindre mineralisering og frigørelse af kvæl-
stof med muligheder for tab af dette til undergrunden i denne periode.

Kvælstoftab fra rodzonen kan begrænses ved dyrkning af efterafgrøder, der kan
opsamle det kvælstof, som den primære afgrøde har efterladt, eller som frigøres
ved mineralisering efter høst.

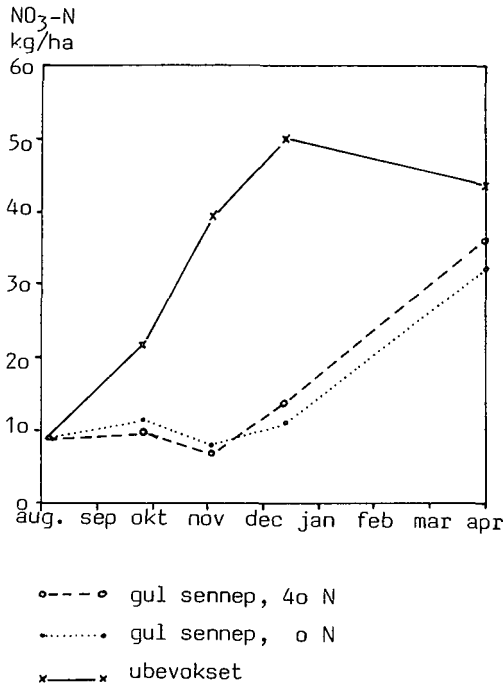
Kvælstofgødet gul sennep som efterafgrøde har i gennemsnit af 2 år på lerjord
ved Rønhave reduceret kvælstofudvaskningen med 16 kg N pr. ha pr. år. På lerjord
ved Højer blev der udvasket 10 kg N pr. ha mere ved dyrkning af kvælstofgødet ef-
terafgrøde end ved dyrkning af byg uden efterafgrøde. Denne forskel kan skyldes,
at der ved Rønhave var en veludviklet bestand af sennep, mens bestanden ved Højer
var ringe; men årsagen kan også være en større residual kvælstofmængde efter høst
ved Højer.

I afsnit 3.4.1. ses i figur 17, hvorledes nitratkoncentrationen i jordvandet va-
rierer efter høst i lerjord ved Højer. Den akkumulerede udvaskede kvælstofmængde
uden efterafgrøde var på 28,1 kg N pr. ha og var signifikant højere end den til-
svarende udvaskede kvælstofmængde på 11,6 kg N pr. ha, hvor der er dyrket en ef-
terafgrøde af gul sennep, figur 18.

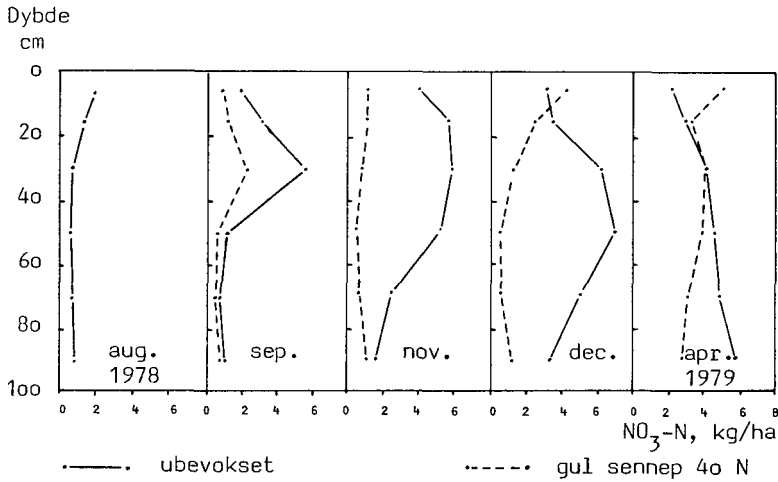
I gennemsnit af 4 år er der i marts måned fundet 3 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ pr. ha mere i dybden
0-50 cm på grov sandjord efter gul sennep som efterafgrøde end uden efterafgrøde
(Drengsted). I 0-45 cm dybde fandt Andersen og Jensen (1983) i april måned, at
jordens indhold af kvælstof i grøngødede parceller var henholdsvis 3,2 og 5,4 kg
højere i uvandet og vandet grov sandjord (Jydevad) og i lerjord ved Roskilde 2,2
kg højere end i jord uden efterafgrøde.

På grundlag af den kvælstofmængde, der var til rådighed ved vækstsæsonens begyndelse, og den genfundne kvælstofmængde ved høst af byg har Andersen og Jensen (1983) beregnet, at efterafgrøden kunne tilskrives en virkning på henholdsvis 11, 22 og 28 kg Npr. ha på vandet og uvandet grovsandet jord (Jydevad) og på lerjord (Roskilde).

Efterafgrødens virkning på kvælstofudvaskningen og jordens kvælstofindhold er ligeledes fundet i forsøg af Hvelplund og Østergaard (1980). De konkluderer (se fig. 20 og 21), at gul sennep som efterafgrøde er i stand til at opsamle og forhindre udvaskning af alt det kvælstof, der mineraliseres om efteråret på lerjord, uanset om sennepen gødes eller ej, mens der vil gå en del tabt på sandjord - specielt ved tidlig nedfræsning, og at dyrkning af efterafgrøde sænker nitratinholdet i jorden, hvorved denitrifikation stort set forhindres i efterårsmånederne.



Figur 20: Den samlede mængde $\text{NO}_3\text{-N}$ ned til 1 m dybde
 =====
 i jord med gødet og ugødet efterafgrøde og
 i ubevokset jord, 1978-79.
 (Hvelplung & Østergaard 1980)



Figur 21: Nitrat-N i jord med og uden efterafgrøde
 =====
 (Hvelplund & Østergaard 1980)

Sammenfattende kan anføres: De bedst egnede efterafgrøder under danske forhold er italiensk rajgræs sået som udlæg i dæksæd og gul sennep sået efter høst.

En efterafgrøde sået efter høst udvikles som regel p.g.a. sent høsttidspunkt for svagt til, at den kan øve væsentlig indflydelse på jordstrukturen og den efterfølgende kornafgrøde. Økonomisk set vil dyrkning af en sådan efterafgrøde derfor være urentabel, men dyrkning af efterafgrøde kan begrænse udvaskning af kvælstof i efterårs- og vintermånederne.

3.4.3. Jordbearbejdning

Ved jordbearbejdning øges luftskiftet i jorden og dermed muligheden for mineralisering af det organisk bundne kvælstof.

Gennem en årrække er udviklingen gået mod en dybere jordbearbejdning, hvorved en større kvælstofreserve er gjort tilgængelig for mineralisering. Herved kan der stilles større kvælstofmængder til rådighed for planterne, men nitratudvaskningen kan også forøges.

Sker jordbearbejdningen umiddelbart forud for såning eller plantning af en afgrøde, vil denne kunne optage hele eller dele af den frigjorte nitrattængde. Sker bearbejdningen derimod efter høst, vil der være mulighed for, at dele af det ekstra mineraliserede kvælstof med overskudsnedbøren transporteres til dybere liggende jordlag.

3.4.3.1. Kvælstofudnyttelse og udbytteforhold

Pløjning. I forsøg med jordbearbejdning tilføres ofte forskellige kvælstofmængder for at undersøge, dels om der ved den ændrede jordbearbejdning frigøres eller bindes kvælstof, og dels om tilførsel af kvælstof kan kompensere for en mindre jordbearbejdning.

Hansen (1971) fandt ingen udbyttømæssig vekselvirkning mellem pløjedybde og stigende kvælstoftilførsel, d.v.s., at merudbytterne for stigende kvælstofmængder var ens uanset pløjedybden.

I adskillige markforsøg på lerjorde i Norge er der imidlertid fundet vekselvirkninger mellem kvælstofgødsning og jordbearbejdning (Njøs 1982). Den optimale pløjedybde fandtes således at være mindre, jo større kvælstofmængder der tilførtes.

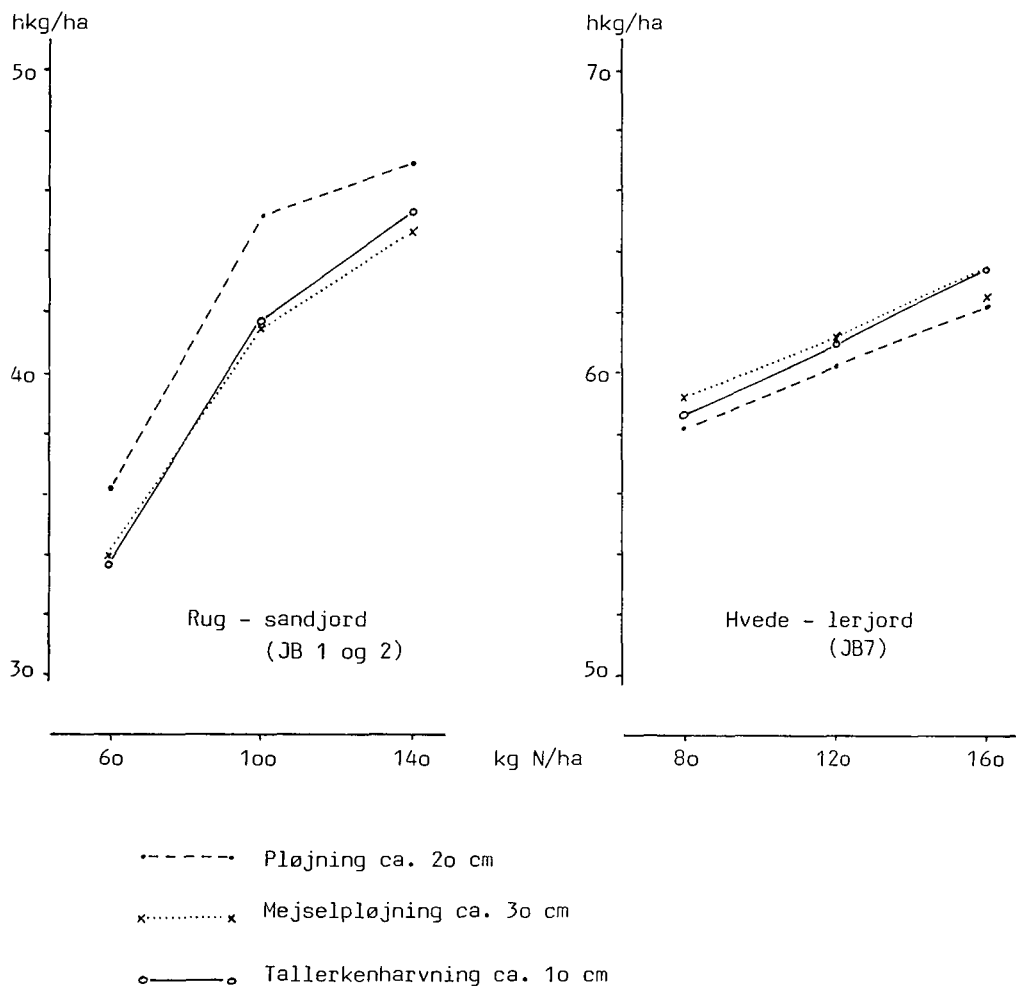
På grovsandet jord, sandblandet lerjord og på lerjord er der ikke fundet signifikant vekselvirkning mellem forskellige pløjetidspunkter og stigende kvælstofmængder. Kvælstofvirkningen var stort set ens ved alle pløjetidspunkter. D.v.s., at det må være meget små kvælstofmængder, der blev mineraliseret som følge af pløjning og udvasket ved de tidligste pløjetidspunkter, som var omkring 1. oktober (Rasmussen 1974).

Harvning. Stigende antal harvninger fra 1 til 3 gange med en 5-tands harve kombineret med stigende bearbejdningsdybde fra 4 til 12 cm øgede udbytterne ved den laveste kvælstofmængde. Ved den største kvælstofmængde opnåedes størst udbytte ved 2 harvninger til max. 8 cm dybde (Njøs 1982).

I danske forsøg med vårsæd på lerjord er det ligeledes vist, at det største merudbytte for kvælstoftilførsel er opnået efter overfladisk harvning. Jo mere intensiv harvningen var, desto lavere merudbytter blev der opnået for tilførsel af kvælstof (Rasmussen 1973a).

Alternative jordbearbejdningsmetoder. I adskillige forsøg er pløjning sammenlignet med mejselpløjning, harvning, tallerkenharvning, fræsning og direkte såning i stubjord med en fræsersåmaskine. Behandlingerne er kombineret med stigende kvælstofmængder. Et eksempel er vist i figur 22. I figuren ses, at kurverne er parallelle, hvilket viser, at der ikke er vekselvirkning mellem jordbearbejdning og kvælstof til vintersæd (Rasmussen 1982). Dette blev også bekræftet af en statistisk analyse af resultaterne.

Samme observation er gjort i forsøg med vårbyg, hvor forskellen mellem pløjning og fræsning var den samme ved alle kvælstofniveauer (Rasmussen & Olsen 1983). Merudbyttet for kvælstof er altså ens uanset bearbejdningsmetode, men udbytteneiveauet er forskelligt. Alternative jordbearbejdningsmetoder kræver således større mængder kvælstof tilført, for at der kan opnås samme udbytte som ved pløjning.



Figur 22: Vekselvirkning mellem jordbearbejdning og kvælstoftilførsel i vintersæd (Rasmussen 1982)

Jordpakning. Ved færdsel på jorden med traktorer, redskaber og transportvogne sker der en sammentrykning af jorden, som under uheldige forhold kan give strukturelskader og udbyttetab.

I forsøg med stigende antal overkørsler under forskellige fugtighedsforhold er det vist, at sandjord er mere følsom overfor jordpakning ved lille end ved stor kvælstofmængde.

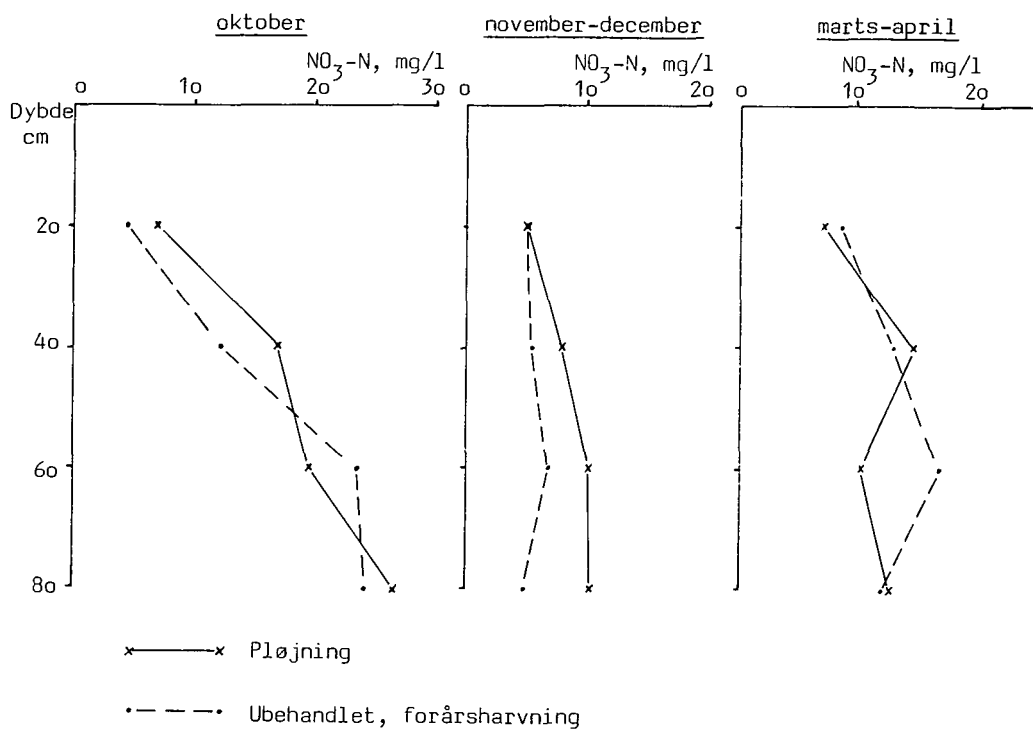
Der var tendens til, at variationen i det optimale porerumfang og luftindhold indsnævredes ved den lille kvælstofmængde, mens udbyttet var ret uafhængig af pore- og luftindhold ved den store kvælstofmængde.

På to lerjorde (Højer og Rønhave) var der tendens til, at det optimale pore- og luftindhold var lavere med stigende kvælstofmængde. D.v.s., at en tæt jord muligvis kræver en større kvælstofmængde tilført (Rasmussen 1976).

Jordbearbejdning og kvælstof i afgrøden. Danske undersøgelser har ikke vist forskelle i bygkerners kvælstofindhold, uanset om der blev pløjet eller fræset (Rasmussen & Olsen 1983). Ellis og Kenneth (1980) fandt imidlertid, at pløjning resulterede i en højere kvælstofkoncentration i tørstoffet end andre behandlingsmetoder, og O'Sullivan og Ball (1982) fandt, at reduceret jordbearbejdning, der gav mindre udbytter end pløjning, resulterede i et højere kvælstofindhold i kernerne.

3.4.3.2. Kvælstof i jorden og kvælstoftab

Virkningen af reduceret jordbearbejdning på kvælstofudvaskningen er varierende. I forhold til traditionel jordbearbejdning nedsatte reduceret jordbearbejdning (een enkelt forårsfræsning) således kvælstofnedvaskningen under 80 cm dybde med 22 kg N pr. ha i vinteren 1977/78 (400 mm nedbør) og med 13 kg N pr. ha i vinteren 1978/79 (200 mm nedbør) (Hansen et al. 1980). Igangværende undersøgelser viser imidlertid ingen væsentlig forskel i udvaskningen fra pløjet og fræset jord, se figur 18. Tilsvarende resultater er fundet i en undersøgelse på en grovsandet jord, hvor der i fire vinterperioder er udtaget jordvandsprøver til analyser af $\text{NO}_3\text{-N}$ i forskellige dybder i pløjet og ubehandlet stubjord, figur 23.

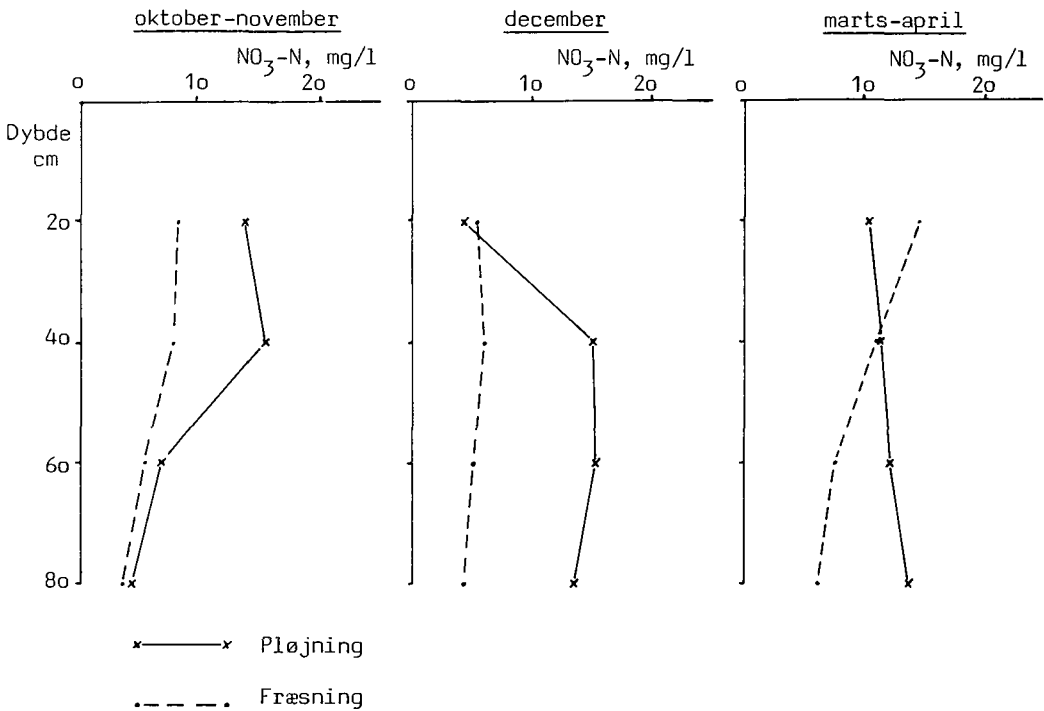


Figur 23: Koncentration af NO₃-N i jordvand i forskellig dybde på grovsandet jord (JB1), Drengsted. Gennemsnit af 4 år (1978-82) for de angivne perioder.

I oktober er der en ophobning af kvælstof i 60-80 cm dybde. I november-december er koncentrationerne stort set ens i alle dybder, og forskellen mellem behandlingerne er små og usikre. I marts er koncentrationerne af NO₃-N øget ved begge behandlinger. På intet tidspunkt er der imidlertid signifikante forskelle mellem pløjet og ubehandlet jord.

Kvælstofmængden i ubehandlet jord er da også kun beregnet til at være 2,5 kg pr. ha større end i pløjet jord.

I en undersøgelse på lerjord i efterårs- og vinterperioden er koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ lidt større i pløjet end i ubehandlet jord (forårsfræsning). I forårsperioden ser det ud til, at der mineraliseres mere kvælstof i de øvre lag i den ubehandlede jord end i den pløjede jord. Kvælstofindholdet i det tilgængelige jordvand er beregnet til at være ca. 6 kg pr. ha højere i pløjet jord end i ubehandlet jord, men forskellen er ikke signifikant.



Figur 24: Koncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ i jordvand i forskellig dybde på lerjord (JB7),
 =====
 Højer. Gennemsnit af 6 år (1977-83) for de angivne perioder.

Burford et al. (1981) viste, at frigivelsen af N_2O var op til 15 gange større fra direkte sået end fra pløjet lerjord med omkring 7 % humus (Denchworth). Sent efterår og forår, hvor forskellene var størst, målttes frigivelse fra direkte sået jord på 2,5-3,0 mg N pr. m^2 pr. time (omregnet til 0,6-0,7 kg N pr. ha pr. dag). Et lignende forhold målttes på en jord med omkring 40 % humus (Lawford), men frigivelsen af N_2O var kun 10-20 % af, hvad der målttes på Denchworth-jorden. Forskellen mellem de to jorde skyldes bl.a. et højere lerindhold på Denchworth-jorden (50 % ler mod 35 % i Lawford-jorden).

Undersøgelsen viste altså, at denitrifikationen er mere fremherskende efter direkte såning end efter pløjning på disse to lerjorde med ringe vandledende evne. Denne konstatering har betydelig interesse, fordi forenkledte jordbehandlingssystemer overalt i verden vinder større udbredelse i bestræbelserne på at reducere energiforbruget.

De ovenfor anførte resultater er meget varierende, men sammenfattende kan dog anføres følgende:

Traditionel jordbearbejdning med pløjning til ca. 20 cm dybde er den sikreste metode, men under visse forhold kan jordbearbejdningen reduceres uden fare for væsentlige udbyttetab.

Reduceret jordbearbejdning kræver ofte større kvælstofmængder for at nå udbytte-niveauet af traditionel jordbearbejdning.

Komprimeret jord kræver større kvælstofmængder.

Reduceret jordbearbejdning synes at give en lidt mindre kvælstofomsætning og -udvaskning end traditionel jordbearbejdning, men resultaterne er usikre.

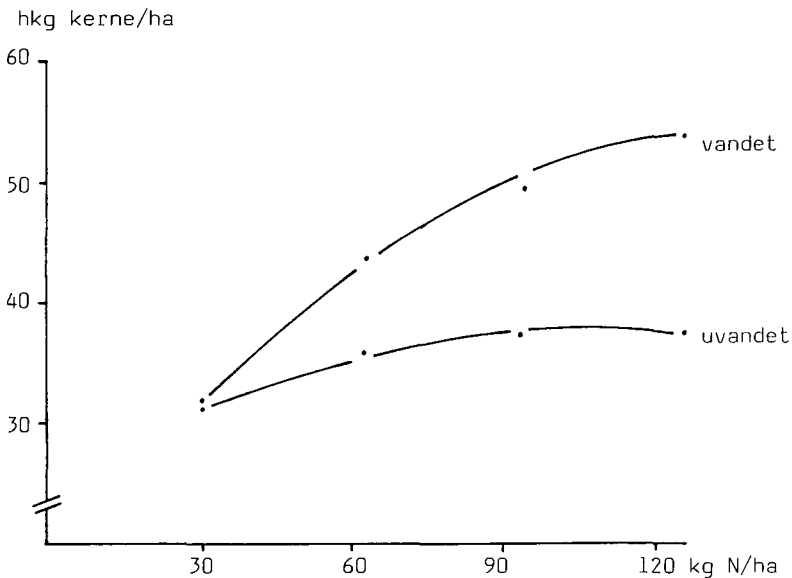
Jordbearbejdningens indflydelse på afgrødernes kvælstofindhold er lille og usikker.

3.4.4. Vanding

Vandtilførsel, udbytte, kvælstofudnyttelse. Når man måler på tørstofudbytte, vil man ofte konstatere en positiv vekselvirkning mellem vand og kvælstof. Figur 25 viser resultater fra vandingsforsøg i byg med stigende mængder af kvælstof (Knudsen & Gregersen 1966). Det er tydeligt, at merudbyttet for vanding øges med stigende kvælstofmængde.

I byg på grovsandet jord ved Jyndeved (Gregersen & Hejlesen 1983) er der fundet stærk positiv vekselvirkning mellem vand og kvælstof 1978-79, men kun svag positiv vekselvirkning 1980-81, og på lerblandet sandjord ved Borris er vekselvirkningen i tilsvarende forsøg negativ. Tiltagende lejesæd kan her være årsagen.

I græsforseg (Gregersen 1980) er der både på lerjord og sandjord fundet positiv vekselvirkning mellem vand og kvælstof.



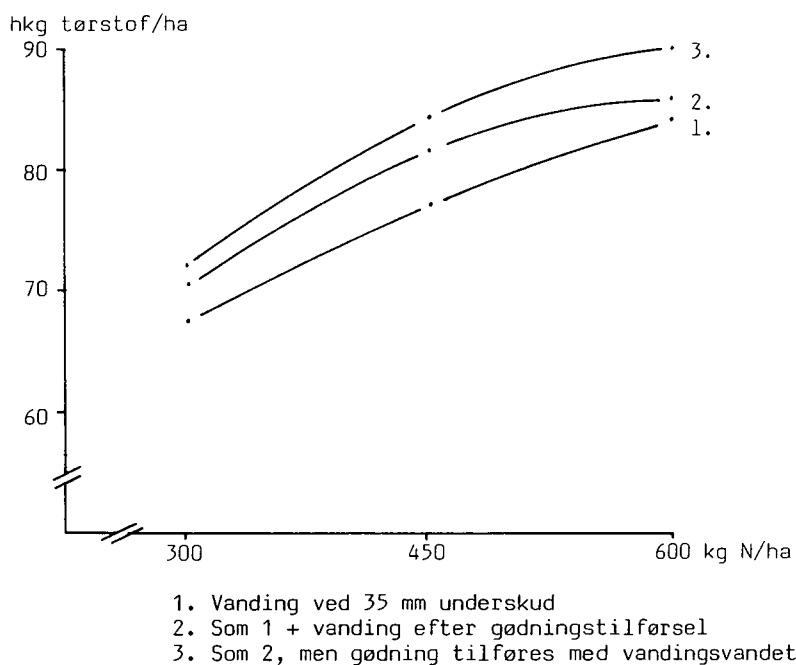
Figur 25: Vekselvirkning mellem vand og kvælstof. Gennemsnit
===== for 3 bygsorter. (Knudsen & Gregersen 1966)

Målt på kvælstof vil vekselvirkningen ofte være mindre udtalt. En slags "luksus-optagelse" gør, at en lille afgrøde ved samme gødningstildeling har et procentisk større indhold af kvælstof end en større afgrøde. Vanding medfører her, at der fjernes mere kvælstof med afgrøden, men det procentiske indhold af kvælstof bliver lavere med vandingen (Jørgensen 1975). Med andre ord: vanding forbedrer kvælstof-udnyttelsen.

Tilføres der gødning i vækstperioden, bør gødskning og vanding koordineres således, at gødningen føres ned i planternes rodzone med vandingsvandet.

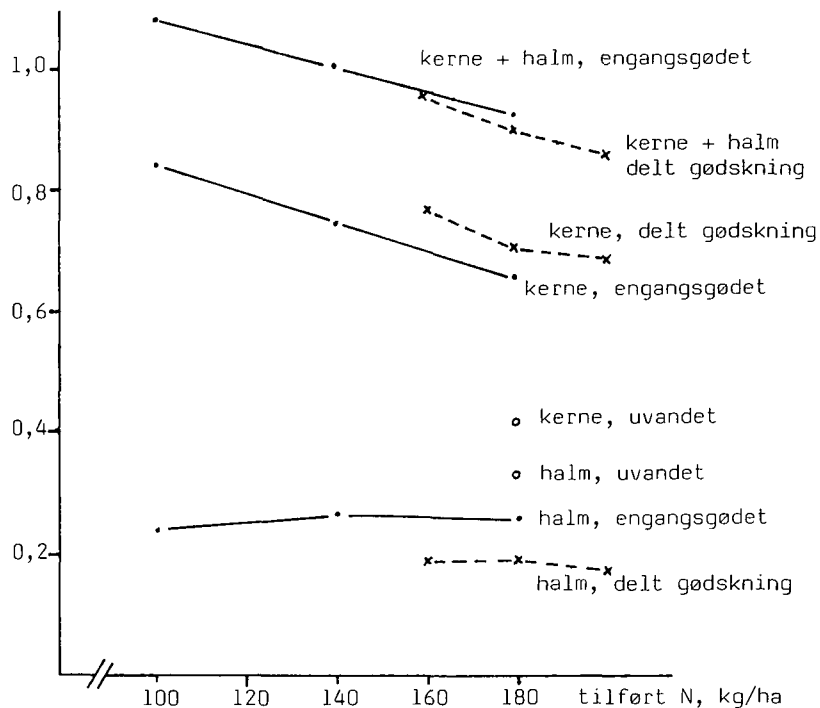
Figur 26 viser den trinvis øgede harmonisering mellem vanding og gødskning i græs (Jensen 1983).

Vanding efter slæt og gødningstilskud har i forhold til vanding ved 35 mm underskud løftet udbyttekurven fra 1 til 2; og en yderligere harmonisering, hvor kvælstofgødningen er opløst i vandingsvandet, har løftet kurven fra 2 til 3. Det gennemsnitlige kvælstofudbytte er øget med 4 % fra led 1 til led 2 og med yderligere 3 % fra led 2 til led 3.



Figur 26: Tørstofudbytte som funktion af kvælstoftilførsel
 =====
 ved forskellig vanding og gødskning
 (Jensen 1983)

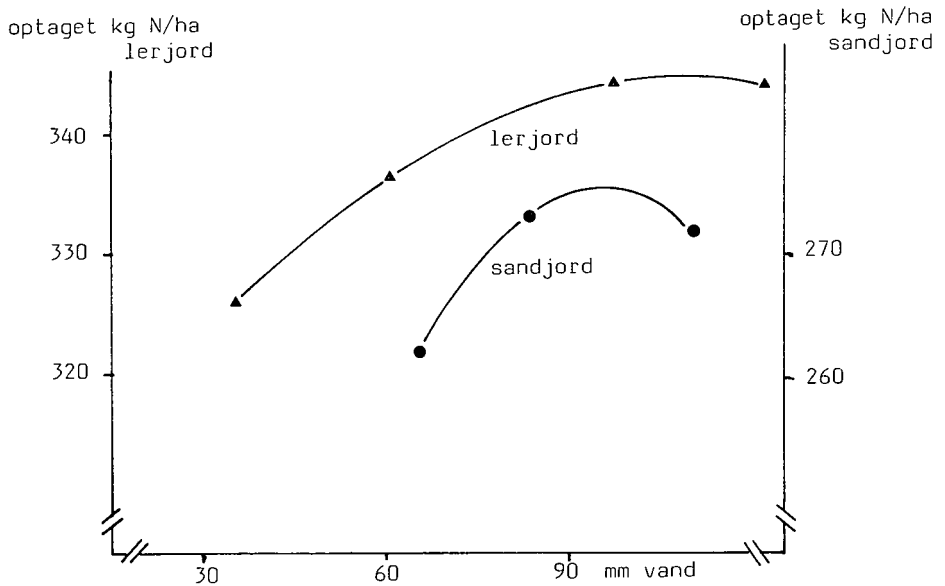
høstet N/ tilført N



Figur 27: Forholdet mellem optaget kvælstof og tilført kvælstof i hvede ved Jyndevad 1981 og 1982 ved henholdsvis engangs- eller delt kvælstoftilførsel (Hejlesen 1983)

Kvælstof delvis udbragt med vandingsvandet til hvede har vist nogen effekt på kerneudbyttet (Gregersen & Hejlesen 1982) og ret god effekt i et igangværende nyt forsøg ved Jyndevad (Hejlesen 1983). Den indhøstede kvælstofmængde i kerne plus halm er næsten ens uanset udbringningsmåden, figur 27, men det er karakteristisk, at udbringning af en del af gødningen med vandingsvandet har øget kvælstofmængden i kernetørstof og formindsket den del, der findes i halmtørstof.

I øvrigt viser figur 27 balance mellem høstet og tilført kvælstof ved 140 kg N pr. ha. Halm fra uvandet areal indeholder i gennemsnit en større del af det tilførte kvælstof end halm fra vandet areal, medens det er omvendt med kernen.



Figur 28: Kvælstofoptagelse som funktion af stigende vandtilførsel
 ===== til kløvergræs (Knudsen 1966)

I forsøg med vanding af kløvergræs under forskellige klima- og jordbundsforhold (Knudsen 1966) er der som vist i figur 28 konstateret stigende mængde af indhøstet kvælstof med stigende tilførsel af vand indtil en grænse, der igennemsnit af årene var ca. 100 mm. Der er også stigende kvælstofoptagelse ved stigende vandingshyppighed. Vanding er foretaget ved henholdsvis 65, 40 og 30 mm underskud på lerjord og ved henholdsvis 40 og 30 mm på sandjord. I resultaterne indgår også virkning af stigende vandmængde, idet hyppigere vanding medfører dette, men også ved samme vandmængde har den mindste udtørring før vanding været bedst.

I majs er der med vanding høstet større kvælstofmængder i afgrøden end uden vanding (Gregersen 1982).

uvandet		90 % af tilført N
vandet	80 mm	115 % af tilført N
vandet	120 mm	122 % af tilført N

Vandingens betydning for kvælstofoptagelsen ses også af sædskifteforsøg på uvandet og vandet areal (Heick & Sandfær 1957, Knudsen 1963). I gennemsnit af sædskiftet er der i vandet afgrøde optaget 30 % mere kvælstof end tilført, medens der i uvandet er optaget 15 % mindre end tilført, tabel 28. Når optagelsen er større end tilført, skyldes det bl.a., at der i sædskiftet indgår kløvergræs, som ikke er tilført kvælstofgødning.

Tabel 28: Høstet og tilført kg N/ha i sædskifteforsøg
=====

Afgrøde	Høstet		Tilført	Høstet/tilført	
	Vandet	Uvandet		Vandet	Uvandet
Havre	91	64	54	1,69	1,19
Byg	60	42	31	1,94	1,35
Rug	68	53	68	1,00	0,78
Kl.græs	244	95	-	-	-
Foderroer	135	122	276	0,49	0,44
Kartofler	77	70	91	0,85	0,77
Gns.	113	74	87	1,30	0,85

Sammenfattende kan anføres, at en koordinering af kvælstoftilførsel og vandtilførsel giver en bedre kvælstofudnyttelse i græs. I kornforsøg giver vanding en større kvælstofoptagelse, men det relative merudbytte af kvælstof er væsentlig

mindre end det relative merudbytte i hkg kerne. Det ser dog ud til, at en relativ større del af det tilførte kvælstof overføres til kernen, når der vandes, hvilket er væsentligt med den hidtil gennemførte udnyttelse af halm.

Stigende vandingshyppighed medfører stigende kvælstofoptagelse i kløvergræs. Det samme gælder stigende vandmængder, men kun op til markkapacitet. En egentlig overfyldning (overvanding) af jorden er ikke gavnlig.

Vanding og afstrømning. Afstrømningen fra vandet og uvandet areal er undersøgt ved Bennetzen (1978), Jørgensen (1979b) og i modelforsøg ved Gregersen og Knudsen (1980).

Modelforsøgene dækker en lang årrække, 1957-1976, medens de øvrige undersøgelser dækker kortere åremål. Kun for årene 1975 og 1976 er der sammenfaldende beregninger, som her er vist i tabel 29.

Tabel 29: Afstrømning fra uvandet og merafstrømning fra vandet areal. Grovsand-
===== det jord (JB1), 1975-76. Tal i parentes 1957-76.

Periode	Græs		Vårsæd	
	Af- strømn. mm	Meraf- strømn. mm	Af- strømn. mm	Meraf- strømn. mm
01.04-01.10. (Bennetzen 1978)	71	62	56	28
01.04-01.10. (Jørgensen 1979)	46	21	-	-
01.04-01.10. (Gregersen & Knudsen 1980)	53	42	83	34
01.04-01.10. (Gregersen & Knudsen 1980)	(74)	(35)	(127)	(34)
01.05-10.08. (Jørgensen, 1979)			0	5
01.04-10.08. (Gregersen & Knudsen 1980)			5	1

I alle tilfælde er undersøgelserne afsluttet senest 1. december, i Bennetzens og Jørgensens forsøg senest 1. oktober. På grovsandet jord vil forskellen mellem vandet og uvandet næsten være udlignet på dette tidspunkt. I modelberegningerne

findes for oktober-november en merafstrømning efter vanding på 8 mm i græs og 5 mm i vårsæd. Ud fra modelberegningerne er konkluderet følgende: Afstrømningen er 50-80 mm større i Jylland end på øerne. Vanding forøger afstrømningen med 25-50 mm i græs, 20-40 mm i vårsæd og 15-35 mm i kartofler. Dette er kun en lille procentdel af den samlede afstrømning (se tabel 32 og 34, afsn. 3.5.2.).

De i tabel 29 anførte størrelser er alle fra grovsandet jord, medens de fra modelberegninger konkluderede størrelser også dækker andre jordtyper. I øvrigt er der af Gregersen og Knudsen (1981) på amtsbasis og med landsgennemsnit givet normalværdier for merafstrømning som følge af vanding.

Sammenfattende kan siges, at vanding medfører øget afstrømning. Denne merafstrømning udgør ca. en trediedel af den ved vanding tilførte vandmængde, men set i relation til totalafstrømning er det en ret lille procentdel. Merafstrømning finder især sted fra juli til oktober.

Vanding og kvælstofmineraliseringen i vækstperioden. Der foreligger kun få målinger af nettomineralisering på vandet-uvandet jord. Bennetzen (1978) har i gennemsnit af tre års målinger på grovsandet jord fundet følgende resultater, tabel 30.

Tabel 30: Vandingens indflydelse på kvælstofmineraliseringen i grovsandet jord
===== (JB1), 1974-77, kg N/ha/år (efter Bennetzen 1978)

	Græs		Byg	
	vandet	uvandet	vandet	uvandet
Tilført N i gødning + nedbør + vand	264	194	123	111
Høstet + udvasket	295	211	150	104
Differens	-31	-17	-27	7

Ændring i jorden org. lager	-32 ¹⁾	-16 ¹⁾	-26	9
Ændring i jordens uorg. lager	1	- 1	- 1	- 2
Nettomineralisering	32	16	26	- 9

¹⁾Afgrøden indeholdt bælgeplanter det første år, og der indgår således biologisk bundet kvælstof i tallene. P.g.a. stor kvælstoftilførsel med gødning har den biologiske kvælstofbinding dog næppe påvirket forskellen mellem vandet og uvandet i "ændring i jordens org. lager".

Det er således fundet, at nettomineraliseringen ved vanding er øget med 16 kg N pr. ha på græsareal og med 35 kg N pr. ha i et areal med byg. De pågældende år var ret tørre år, og differensen mellem vandet og uvandet skønnes i gennemsnit at være mindre ved målinger over et længere åremål.

Mineraliseringen af kvælstof er afhængig af jordtemperaturen og hæmmes både af tørke og for megen fugtighed. Vanding vil således oftest fremme mineraliseringen. C/N-forholdet i jordens organiske materiale er dog afgørende for, om der bliver tale om en nettomineralisering (se afsn. 2.3.). Et højt C/N-forhold vil medføre kvælstoffastlægning og samtidig bevirke en mindre tørstofproduktion end et lavt C/N-forhold, selv om tilførsel af kvælstofgødning er ens.

3.5. Afstrømning, jordtype, afgrøde og kvælstofudvaskning

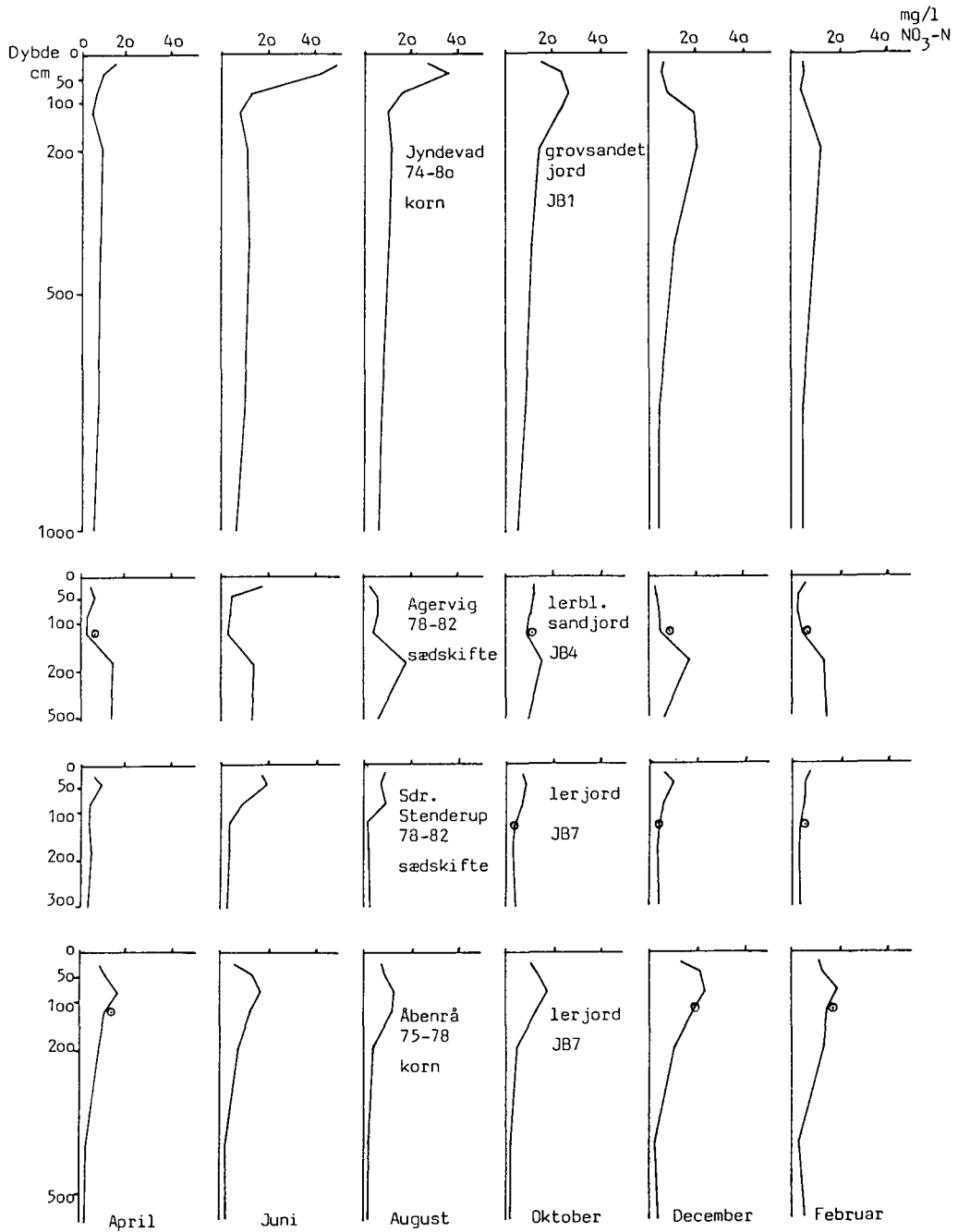
3.5.1. Vandbevægelse og nitratindhold i jordvand

Nitrat bevæger sig gennem jorden opløst i jordvandet. Transporten foregår ved to processer: 1. massestrømning, hvor nitrat transporteres af det strømmende jordvand, og 2. diffusion, som forårsages af koncentrationsforskelle i jordvandet.

Diffusion kan foregå i samme retning eller modsat vandbevægelsen og således fremme eller hæmme udvaskningen.

Nitrattransport i jord over store afstande foregår hovedsageligt ved massestrømning, men over kortere afstande og ved lave nitratkoncentrationer kan diffusion også bidrage.

Vandets strømning gennem jorden sker i porer af forskellig størrelse og dermed med forskellig hastighed. Dette forårsager sammen med diffusionen en fordeling af nitraten i jordvandet - hydrodynamisk dispersion - således at der sker en vis koncentrationsudjævning. Medvirkende til denne er også den kvælstoffrigørelse ved mineralisering og kvælstoftabet ved denitrifikation, som finder sted i afstrømningsperioden. Herved fremkommer karakteristiske koncentrationsprofiler ned gennem jorden, figur 29.



Figur 29: Koncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ i jordvand og drænvand $\circ$ på forskellige jordtyper
 =====

Nedadgående vandbevægelse og stoftransport finder som hovedregel først sted, efter at jorden er opfugtet til markkapacitet. Markkapaciteten varierer i danske jorde fra 15 vol.% eller mindre på sandjorde til 40 vol.% eller mere på lerjorde.

Ved forsøg og modelberegninger er det fundet, at en nettonedbør (nedbør - fordampning) af ca. samme størrelse som markkapacitet vil udvaske ca. 50% af nitratmængden i en jord (Bennetzen 1978, Burns 1976, Jensen 1980, Rijtema 1980).

Bennetzen fandt således følgende tal for udvaskning på grovsandet jord (Jyndevad) efter en vandet kornafgrøde:

Totalt udvasket under 90 cm	01.09.75-01.03.76	72 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$
Markkapacitet i 0-90 cm		122 mm
Nettonedbør for udvaskning af	36 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$	140 mm

På grund af den mindre markkapacitet vil den samme nettonedbør kunne udvaske en større mængde nitrat på sandjord end på lerjord eller nedvaske samme nitratmængde til større dybder. Der skal f.eks. ca. 300 mm nettonedbør til at udvaske 50 % af nitratmængden under 1 m på en lerjord med 30 vol.% markkapacitet, mens der kun skal ca. 150 mm til at udvaske 50 % under samme dybde på en sandjord med 15 vol.% markkapacitet.

Kvælstofudvaskningens størrelse er bestemt af afstrømningsmængden og kvælstofkoncentrationen i jordvandet. Denne påvirkes af flere forhold, bl.a. planteoptagelsen af kvælstof, denitrifikation og nitratreduktion, mineralisering af org. kvælstof, kvælstoftilførsel med gødningen og jordens vandindhold.

Det betyder, at fysiske og kemiske forhold i jorden, temperatur, fugtighed, vandindhold og plantevækst øver indflydelse på koncentrationen. Denne varierer typisk over året og med dybden og desuden fra jordtype til jordtype som vist i figur 29. Normalt findes den højeste koncentration i de øverste jordlag om foråret efter gødningstilførsel, og når temperaturen er tilstrækkelig høj for mineralisering (april-juni), og om efteråret efter høst, hvor der ikke er planter til at optage det mineraliserede kvælstof (september-december). Koncentrationen er lavere om sommeren, hvor planterne optager kvælstof, og afstrømningen er ubetydelig (juni-august), og i løbet af efterår og vinter, hvor der sker nedvaskning (december-februar-april).

Koncentrationen aftager med dybden for alle jordtyper og på alle tidspunkter af året. Koncentrationsnedgangen er mest udpræget på lerjorde, mindre, men dog betydelig, på sandjorde.

Ved Agervig falder koncentrationen sandsynligvis også med større dybde, men der foreligger ikke tal herfor, da der kun er målt til 3 m dybde. Koncentrationsnedgangen skyldes bl.a. udligning ved hydrodynamisk dispersion, men højst sandsynlig også denitrifikation og nitratreduktion (se afsn. 2.4.).

Den samlede virkning over tiden og dybden af mineralisering, hydrodynamisk dispersion og denitrifikation og nitratreduktion på nitratkoncentrationen i jord- og grundvand kan illustreres af Jyndeved-resultaterne fra august til februar, figur 29. Mineralisering og nitrifikation af kvælstof øger nitratkoncentrationen i de øvre jordlag i august-september. Efterårets nettonedbør vasker nitrat ned i jorden, og samtidig sker der koncentrationsudligning ved hydrodynamisk dispersion og også som følge af nitrifikation og denitrifikation (oktober-december). Nedvaskning og koncentrationsudligning fortsætter, og desuden sker der koncentrationsnedgang i grundvandet, formodentlig som følge af nitratreduktion (februar).

I Jyndeved findes grundvandet i 2-3 m dybde, ved Åbenrå findes et sekundært grundvandslag i en dybde varierende fra 1-4 m under jordoverfladen. I Agervig og Sdr. Stenderup er grundvandsdybden ikke målt.

Jordtypens betydning for nitratkoncentrationen i jordvandet er mest tydelig for de dybere jordlag, hvor koncentrationen på sandjorde er større end på lerjorde. Dette skyldes formodentlig bl.a. større reduktionskapacitet og længere opholdstid af jordvandet i lerjordene og dermed større nitratreduktion (se afsn. 2.4.).

I rodzonelaget er der ikke nogen tydelig forskel mellem sand- og lerjorde. Dog kan der i en stor del af året konstateres størst koncentration i den grovsandede Jyndeved-jord i dette jordlag.

Drænvandets nitratkoncentration varierer ikke særlig meget i løbet af afstrømningsperioden, figur 29, ligesom der heller ikke er nogen klar sammenhæng mellem jordtype og koncentration. Der er derimod tydelig overensstemmelse mellem koncentrationen i jordvandet i drændybde og i drænvandet. Koncentrationerne er nærens, eller drænvandets koncentration ligger lidt over jordvandets koncentration. Koncentrationsforskellene er mest tydelige på den finsandede Agervig-jord.

3.5.2. Kvælstofudvaskning fra rodzonen

Gennem en årrække er der udført undersøgelser af kvælstofudvaskningen fra rodzonen, og tabel 31 og 33 viser hovedresultaterne fra disse undersøgelser.

På danske mineraljorde er kvælstoftabet næsten udelukkende et tab af $\text{NO}_3\text{-N}$, idet NH_4^+ dels bindes i jorden, og dels nitrificeres. Koncentrationen af NH_4^+ i jordvandet er derfor meget lavere end koncentrationen af NO_3^- , som det fremgår af nedenstående opstilling (efter Simmelsgaard 1980):

		gennemsnitlig middelkoncentration i jordvand, 0-180 cm dybde, mg/l		
		$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N} / \text{NH}_4\text{-N}$
Sdr. Stenderup, 1978-80, lerjord	(JB7)	0,10	7,0	70
Agervig, 1978-80, lerbl. sandjord	(JB4)	0,11	11,6	105

Til eksempel på udvaskningen kan anføres følgende tal (efter Pedersen 1983):

		gennemsnitlig udvaskning med drænvand, kg/ha/år		
		$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N} / \text{NH}_4\text{-N}$
15 lerjordsarealer 1971-81		0,62	21,9	353

Tabet af nitrat og dermed kvælstoftabet fra rodzonen bestemmes af et kompliceret samspil af flere faktorer. De vigtigste er nedbør, afstrømning, jordtype, afgrøde og kvælstoftilførslen (se også afsn. 3.3.3. og 3.3.4.1.), men også andre dyrkningsforanstaltninger (afsn. 3.4.1.-3.4.3.) kan påvirke tabet.

Nedbørsmængden og -fordelingen i vækstperioden har afgørende indflydelse på plantevæksten. For lille eller dårlig fordelt nedbør hæmmer planternes vækst og dermed deres kvælstofoptagelse, og udvaskningen af kvælstof øges. Dette illustreres tydeligt af tabet fra uvandet græs i de tørre år 1975/76 og 1976/77 i Jyndevad, hvor der trods lille afstrømning, tabel 32, var en stor udvaskning, tabel 31.

Specielt i 1975 har græsset slet ikke kunnet udnytte den tilførte kvælstofmængde. For uvandet korn samme sted i 1975/76 var udvaskningen moderat, men den høstede kvælstofmængde var lav, og nettofastlægningsen i jorden stor.

Afstrømningsmængden spiller en afgørende rolle for udvaskningen gennem dræn (se figur 32), men kan også have stor betydning for nedvaskningen til undergrunden og dermed for den totale udvaskning.

I 1977/78 har en stor afstrømning medført stor udvaskning fra uvandet byg på grovsandet jord i Jyndevad og fra byg på lerjord ved Åbenrå, og 1979/80 er der fundet stor udvaskning samtidig med stor afstrømning fra kløvergræs på finsandet jord ved Agervig, tabel 31-34. Ligeledes har stor drænastrømning på lerjord 1974/75 medført større udvaskning af kvælstof end året før, hvor afgrøden var den samme, men drænastrømningen mindre, se tabel 23. Afstrømningens betydning findes således for forskellige jordtyper.

Vanding påvirker også kvælstofudvaskningen og kan både forøge og nedsætte tabet. På grovsandet jord (Jyndevad) har vanding reduceret kvælstofudvaskningen fra græs i forhold til uvandet med gennemsnitlig 22 kg N pr. ha til trods for 63 mm større afstrømning, tabel 31 og 32. Det skyldes formodentlig, at vanding har forbedret væksten og måske desuden øget roddybden, således at kvælstofoptagelsen er blevet større. Dette underbygges af, at optaget kvælstof i forhold til tilført er større i vandet end i uvandet græs.

I vandet korn, Jyndevad, har vanding derimod øget både afstrømning og udvaskning af kvælstof (+14 kg N/ha udvasket), tabel 31 og 32. Dette kan bl.a. skyldes, at den større planteproduktion i vandet korn har medført en større mængde plantester efter høst med deraf følgende større mineralisering og udvaskning af kvælstof. Dette støttes af, at den høstede kvælstofmængde var relativt større i vandet end uvandet korn.

En medvirkende årsag til den modsatte virkning af vanding i græs og korn kan således være, at græs dækker jorden året rundt, mens jorden ligger ubevokset efter korn i eftersommer- og efterårsmånederne, med andre ord: en afgrødevirkning.

En afgrøde, som dækker jorden året rundt, kan optage kvælstof i perioder, hvor der sker mineralisering af kvælstof. En sæsonafgrøde, som sås i april og høstes i eftersommer eller efterår, har ikke mulighed for at optage kvælstof tidlig og sent på året. Der vil derfor ofte være større udvaskning fra en kornafgrøde end fra en græsafrøde, hvilket også fremgår af resultaterne fra Jyndevad, tabel 31. I gennemsnit er der udvasket 63 kg N pr. ha fra græs og 70 kg fra korn. Ses der på de vandede led alene, hvor vækstbetingelserne har været optimale, og virkningen af

afgrøden derfor slår bedre igennem, er forskellen noget større (se også figur 12).

Kvælstofudvaskningen er som regel forskellig fra jordtype til jordtype, således at der tabes mest fra de lette og mindst fra de svære jorde. Dette underbygges af resultaterne i tabel 31 og 33, hvor den gennemsnitlige udvaskning for de fire arealer var:

Jynde vad	, grovsandet jord (JB1)	:	66	kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$			
Agervig	, lerbl. sandjord (JB4), normal N	:	50	-	-	-	
Sdr. Stenderup	, lerjord (JB7), normal N	:	16	-	-	-	
Åbenrå	, lerjord (JB7)	:	57(32)	-	-	-	

Åbenrå-jorden falder dog udenfor det "normale" mønster, hvilket skyldes den uforklarligt store drænvandsafstrømning i 1977/78, se tabel 34. Ses der bort fra dette år, fås det iparentes anførte tal, hvilket bringer Åbenrå-jorden i overensstemmelse med de øvrige arealer.

I øvrigt er det ikke muligt at foretage en præcis sammenligning af de fire arealer med hensyn til jordtypens betydning for udvaskningen, idet tilførte kvælstofmængder, afgrøder og afstrømning ikke var ens for lokaliteterne, og desuden er målingerne ikke sket over lige mange år. Udvas kningstallene kan derfor kun vise den generelle tendens vedrørende jordtypens indflydelse, som også er konstateret i andre undersøgelser (se f.eks. Burns & Greenwood 1982, Kolenbrander 1982, Rijtema 1980).

Jordtypens betydning for nitratudvaskningen hænger først og fremmest sammen med poregeometrien og hydraulisk ledningsevne. Sandjordene har store porer, størst hydraulisk ledningsevne (vandledende evne) og mindst markkapacitet og derfor størst udvaskning (se afsn. 3.6.). Desuden er denitrifikationskapaciteten størst i lerjorde (se afsn. 2.4.), hvilket også kan medvirke til den mindre udvaskning.

I de fleste tilfælde i tabel 31 og 33 er mængden af høstet + udvasket kvælstof større end tilført. Det betyder, at der netto er frigjort kvælstof ved mineralisering fra jordens beholdning, i tabellen benævnt "jordens balance". Det skal anføres, at den reelle værdi af "jordens balance" er anderledes end den angivne, idet denne er beregnet som difference uden at medtage tabet ved denitrifikation, fordi dette ikke kendes. Ved Agervig, tabel 33, indgår desuden biologisk kvælstofbinding i jordens balance, da afgrøden 1979-80 var kløvergræs.

Jordens reserver af org. bundet kvælstof er således ikke uden betydning selv ved tilførsel af handelsgødning, og jorden kan i nogle tilfælde stille lige så meget som 1/3 eller halvdelen af høstet mængde til rådighed (se vandet korn, Jydevad, tabel 31; se også afsn. 3.3.1.).

Tabel 31: Kvælstofbalance i kg N pr. ha/år. Opgjort pr. 1. april
===== (efter Simmelsgaard, 1980)

			Afgrøde	Til- ført	Høst- et	Udvasket		Jordens balance
						gen- nem- dræn	til under- grund	
<u>Jydevad, grovsandet jord (JB1)</u>								
Vandet	1974-75	Græs		100	104	0	19	- 24
	1975-76	-		341	361	0	20	- 40
	1976-77	-		403	352	0	66	- 15
	1977-78	-		387	354	0	68	- 42
	1978-79	-		383	381	0	31	- 23
	1979-80	-		407	353	0	107	- 53
Gennemsnit	1974-80			337	317	0	52	- 32
Uvandet	1974-75	Græs		90	76	0	26	- 12
	1975-76	-		324	169	0	150	5
	1976-77	-		177	129	0	84	- 36
	1977-78	-		328	236	0	34	58
Gennemsnit	1974-78			230	153	0	74	3
Vandet	1974-75	Rug		100	76	0	51	- 27
	1975-76	Byg		131	90	0	72	- 31
	1976-77	Byg		139	107	0	73	- 41
	1977-78	Byg		132	54	0	82	- 4
	1978-79	Byg		130	72	0	98	- 40
	1979-80	Byg		150	85	0	83	- 18
Gennemsnit	1974-80			131	81	0	77	- 27
Uvandet	1974-75	Rug		90	70	0	35	- 15
	1975-76	Byg		122	33	0	56	33
	1976-77	Byg		122	66	0	51	5
	1977-78	Byg		122	52	0	107	- 37
	1978-79	Byg		122	77	0	70	- 25
	1979-80	Byg		133	77	0	58	- 2
Gennemsnit	1974-80			119	63	0	63	- 7

Tabel 32: Vandbalance i mm/år. Opgjort pr. 1. april
 ===== (efter Simmelsgaard, 1980)

			Afgrøde	Afstrømning		Ned-	Van-
				gen- nem dræn	til under- grund	bør	ding
<u>Jydevad, grovsandet jord (JB1)</u>							
Vandet	1974-75	Græs	o	598	918	115	
	1975-76	-	o	455	702	254	
	1976-77	-	o	448	645	350	
	1977-78	-	o	670	992	153	
	1978-79	-	o	458	799	104	
	1979-80	-	o	587	864	108	
Gennemsnit	1974-80		o	536	820	181	
Uvandet	1974-75	Græs	o	554	918	20	
	1975-76	-	o	367	702	0	
	1976-77	-	o	366	645	0	
	1977-78	-	o	606	992	0	
Gennemsnit	1974-78		o	473	814	5	
Vandet	1974-75	Rug	o	607	918	115	
	1975-76	Byg	o	408	702	87	
	1976-77	Byg	o	392	645	152	
	1977-78	Byg	o	665	992	95	
	1978-79	Byg	o	509	799	70	
	1979-80	Byg	o	587	864	116	
Gennemsnit	1974-80		o	528	820	106	
Uvandet	1974-75	Rug	o	561	918	20	
	1975-76	Byg	o	382	702	0	
	1976-77	Byg	o	365	645	0	
	1977-78	Byg	o	658	992	0	
	1978-79	Byg	o	450	799	0	
	1979-80	Byg	o	532	864	0	
Gennemsnit	1974-80		o	491	820	3	

Tabel 33: Kvalstofbalance i kg N pr. ha/år. Opgjort pr. 1. april
 ===== (efter Simmelsgaard, 1980)

			Afgrøde	Til- ført	Høst- et	Udvasket gen- nem dræn til under- grund		Jordens balance
<u>Agervig, lerblandet sandjord (JB4)</u>								
0 N	1978-79	Byg + udl.	12	65	3	23	-	79
	1979-80	Kløvergræs	16	192	18	25	-	219
Gennemsnit	1978-80		14	129	10	24	-	149
Normal N	1978-79	Byg + udl.	112	87	13	30	-	18
	1979-80	Kløvergræs	256	248	23	33	-	48
Gennemsnit	1978-80		184	168	18	32	-	34
1,5 x normal N	1978-79	Byg + udl.	162	114	7	48	-	7
	1979-80	Kløvergræs	376	300	22	73	-	19
Gennemsnit	1978-80		269	207	15	61	-	14

Sdr. Stenderup, lerjord (JB7)

0 N	1978-79	Byg + udl.	12	39	4	3	-	34
	1979-80	Rødsvingel	12	28	4	2	-	22
Gennemsnit	1978-80		12	34	4	3	-	29
Normal N	1978-79	Byg + udl.	147	96	11	6		34
	1979-80	Rødsvingel	132	84	8	5		35
Gennemsnit	1978-80		140	90	10	6		34
1,5 x normal N	1978-79	Byg + udl.	215	111	18	4		82
	1979-80	Rødsvingel	192	96	22	8		66
Gennemsnit	1978-80		204	104	20	6		74

Åbenrå, lerjord (JB7)

Uvandet	1975-76	Havre	62	87	23	2	-	51
	1976-77	Vi.hvede	137	151	33	7	-	54
	1977-78	Byg	118	151	90	16	-	139
Gennemsnit	1975-78		107	130	49	8	-	80

Tabel 34: Vandbalance i mm/år. Opgjort pr. 1. april
 ===== (efter Simmelsgaard, 1980)

			Afgrøde	Afstrømning		Ned-	Van-
				gen-	til	bør	ding
				nem	under-		
				dræn	grund		
<u>Agervig, lerblandet sandjord (JB4)</u>							
0 N	1978-79	Byg + udl.	41	290	727	0	
	1979-80	Kløvergræs	180	476	972	41	
Gennemsnit	1978-80		111	383	850	21	
Normal N	1978-79	Byg + udl.	144	192	727	0	
	1979-80	Kløvergræs	293	331	972	41	
Gennemsnit	1978-80		219	262	850	21	
1,5 x normal N	1978-79	Byg + udl.	65	269	727	0	
	1979-80	Kløvergræs	180	461	972	41	
Gennemsnit	1978-80		123	365	850	21	
<u>Sdr. Stenderup, lerjord (JB7)</u>							
0 N	1978-79	Byg + udl.	108	158	592	0	
	1979-80	Rødsvingel	219	212	816	0	
Gennemsnit	1978-80		164	185	704	0	
Normal N	1978-79	Byg + udl.	144	104	592	0	
	1979-80	Rødsvingel	294	129	816	0	
Gennemsnit	1978-80		219	117	704	0	
1,5 x normal N	1978-79	Byg + udl.	136	98	592	0	
	1979-80	Rødsvingel	341	90	816	0	
Gennemsnit	1978-80		239	94	704	0	
<u>Åbenrå, lerjord (JB7)</u>							
Uvandet	1975-76	Havre	174	94	656	0	
	1976-77	Vi.hvede	194	99	616	0	
	1977-78	Byg	472	105	994	0	
Gennemsnit	1975-78		280	99	755	0	

3.6. Nitrattilførsel til grundvand og vandløb

Hvert år er der overskudsnedbør (nettonedbør), der skal skaffes bort fra planternes rodzone. Hvor stor overskudsnedbøren er, afhænger af nedbør og fordampning. Nedbøren er størst, og fordampningen er mindst i Jylland, og derfor er der her en betydeligt større overskudsnedbør end på øerne.

Hvordan overskudsnedbøren skaffes bort, og hvad der bliver den endelige recipient, afhænger af den pågældende jords fysiske egenskaber.

Sandjorde med mange store porer, har en større hydraulisk ledningsevne og en mindre markkapacitet end lerjorde. Da det som regel er unødvendigt at dræne sandjord, går det meste af afstrømningsmængden til grundvandet.

Jorde med en finere tekstur, som f.eks. lerjorde, har en mindre hydraulisk ledningsevne end sandjorde. Her er der kun få store porer, og på disse arealer er det ofte nødvendigt at dræne for at skaffe overskudsnedbøren bort. Hvor stor en del af overskudsnedbøren der ledes bort som drænvand, og hvor meget der strømmer til grundvandet, afhænger af de fysiske forhold i jorden, nedbørens fordeling og intensitet.

I tabel 35 er der givet eksempler på afstrømning på forskellige jorde incl. en udrænet sandjord.

Drænvandet vil normalt strømme direkte til vandløb eller søer for til sidst at ende i havet, mens resten af overskudsnedbøren vil strømme mod grundvandet.

Tabel 35: Afstrømningens fordeling til dræn og grundvand på forskellige jord-
===== typer. Gns. af 2-10 år (efter Simmelsgaard 1980 og Pedersen 1983)

		Nedbør, mm		Afstrømning, mm			% i dræn
		Nedbør	Vanding	Total	Dræn	Undergr.	
Åbenrå, lerjord (JB7)	1975-78	755		379	280	99	73
Sdr. Stenderup, lerjord (JB7)	1978-80	704		339	207	132	61
Agervig, lerbl. sandjord (JB4)	1978-80	850	21	488	150	338	31
Jydevad, grov- sandet jord (JB1)	1974-80	820	74	507	0	507	0
15 lerjorde	1971-81	632		257	120	137	47

3.6.1. Grundvand

Vand, der bevæger sig ned gennem planternes rodzone, indeholder opløste næringsstoffer bl.a. nitrat. Når vandet forlader planternes rodzone, vil koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ i den del af overskudsnedbøren, der strømmer til grundvandet, være af omtrent samme størrelse, som koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvand (se figur 29).

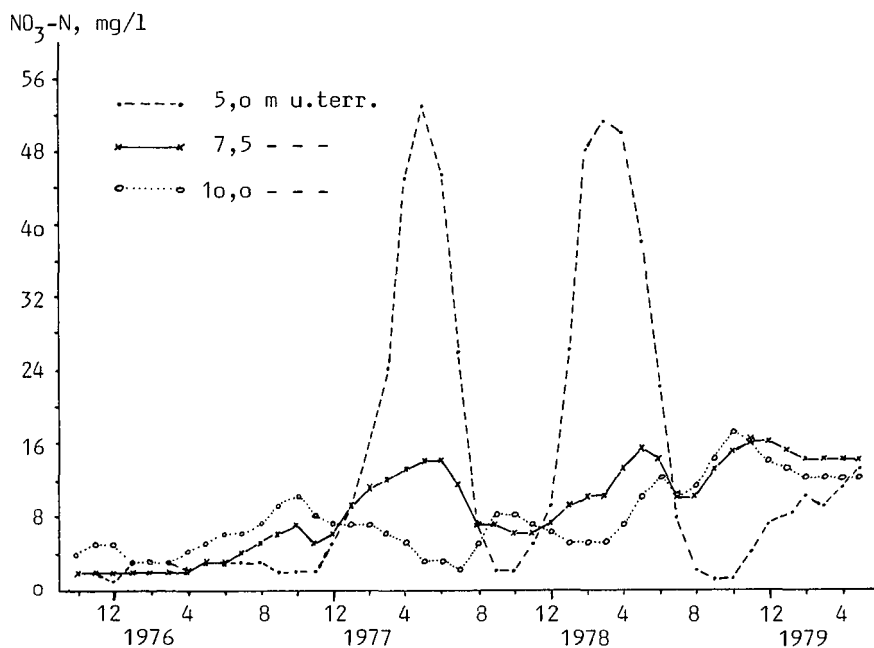
Hvordan koncentrationen vil være, når vandet når ned til det eksisterende grundvandslag, vil afhænge af de fysiske og kemiske forhold i det jordlag, vandet passerer, idet der kan være tale om en betydelig nitratreduktion i visse jordlag (se afsn. 2.4.).

I figur 29 ses, at koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ i jord- og grundvand er aftagende med dybden. Det skyldes sandsynligvis bl.a. denitrifikation og nitratreduktion.

Sikre tal for denitrifikationens og nitratreduktionens størrelse under markforhold er vanskelige at fremskaffe, men både danske (afsn. 2.4.) og hollandske undersøgelser (Rijtema 1980) viser, at processerne kan spille en betydelig rolle. Rijtema (1980) anfører således, at denitrifikationen under hollandske forhold antages at reducere den endelige udledning af nitrat med omkring 50 %.

Under danske forhold kendes grundvandskvalitet fra Danmarks Geologiske Undersøgelser (DGU), som i forbindelse med borer og efter drikkevand og vandingsvand har udført mange kvalitetsbestemmelser. Det generelle billede af DGU's analyser af grundvand er, at der kun undtagelsesvis findes nitrat i grundvand under morænelerjord (Christensen 1970). Det skyldes som tidligere nævnt lerjordens reducerende evne. Grundvandskvalitet fra sandjorde med højtliggende grundvand er bl.a. undersøgt af DGU i Karupområdet (Andersen & Kristiansen 1982) og af Statens Planteavlsvforsøg ved systematiske målinger på 6 sandjordsarealer i Jylland i 1975-79 (Pedersen 1982). DGU's undersøgelse i Karupområdet viste, at de øverste oxiderede grundvandslag var nitratholdige med størst indhold under landbrugsarealer (5-25 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$) og mindst (< 0,1 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$) under skovklædte arealer, og at tilstedeværelse af reducerende jernforbindelser var bestemmende for nitratinholdet i de dybere grundvandslag.

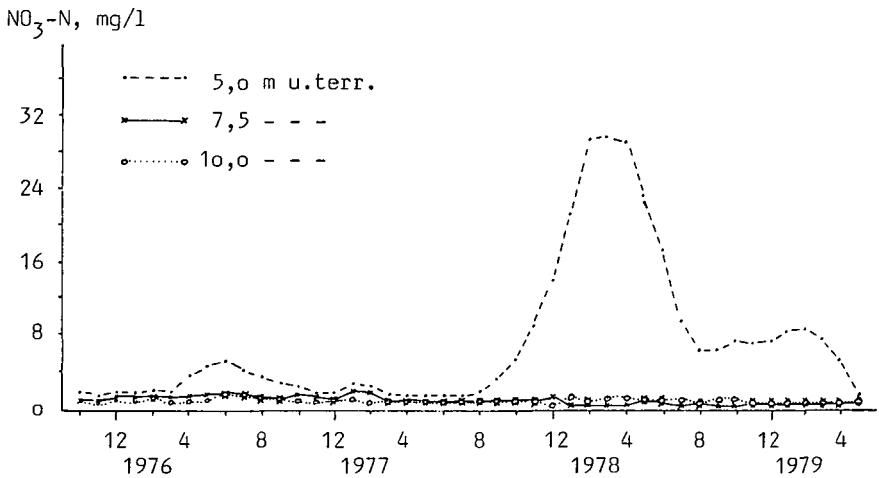
I grundvandsundersøgelser på 6 sandjordsarealer i Jylland 1975-79 (Pedersen 1982) er indholdet af nitratkvælstof bestemt i 5, 7,5 og 10 meters dybde.



Figur 30: Koncentration af NO₃-N i grundvand i forskellig dybde.
 ===== Over Jerstal (Pedersen 1982)

Figur 30 viser nitratkoncentrationer i grundvand ved Over Jerstal, hvor der er en sandjord af smeltevandstypen (hedeslettesand), og figur 31 viser nitratkoncentration i grundvand på bakkeøsand ved Lyne.

På den grovsandede hedeslettesand i Over Jerstal ses en meget tydelig variation i nitratkoncentrationen i 5 meters dybde. Det kan i 1977 være påvirkninger fra en unormal stor nedbør og dermed stor afstrømning, og for 1978 kan det være udvaskning fra staldgødning udbragt i efteråret 1977. I 7,5 og 10 meters dybde er koncentrationerne lavere, variationen er mindre og noget forsinket i forhold til 5 meters dybde. Det stemmer overens med Bennetzen (1978) og Simmelsgaard (1980), der finder aftagende koncentration i de dybere grundvandslag.

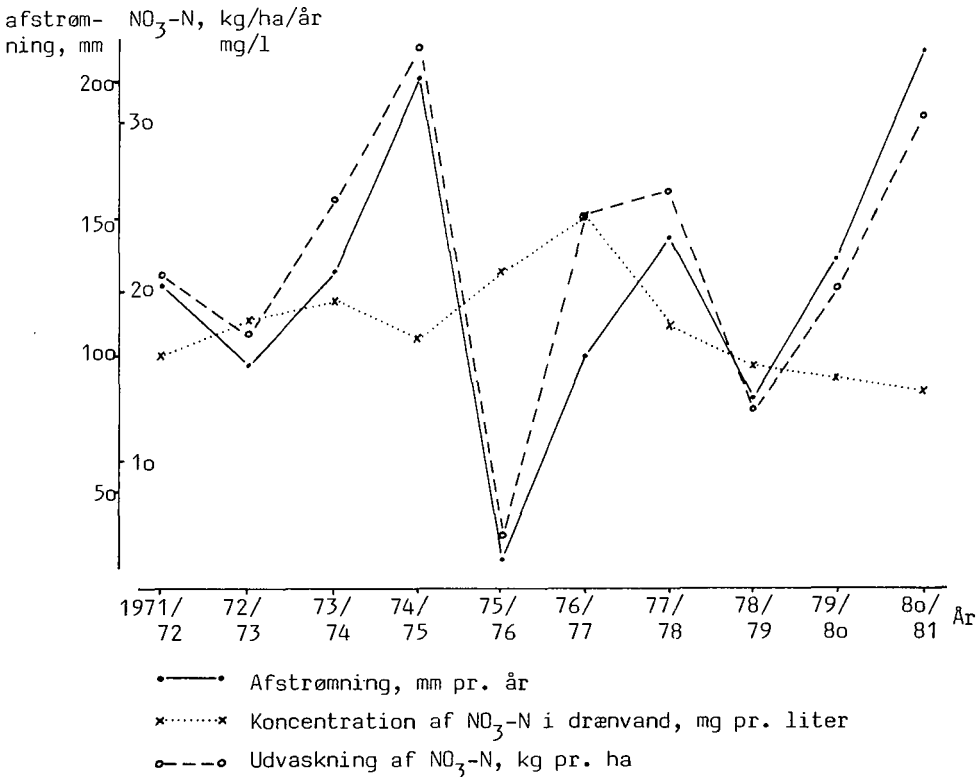


Figur 31: Koncentration af NO₃-N i grundvand i forskellig dybde.
 ===== Lyne (Pedersen 1982)

På bakkeøsandet ved Lyne er både koncentrationsniveau og variationen i koncentrationen af NO₃-N betydelig mindre end tilfældet er på hedeslettesand. Denne jord har et større ler + siltindhold i overjorden end arealet ved Over Jerstal, og fra 7,5 m og nedad findes et ler + siltindhold på omkring 20 %. I 5 meters dybde er målt et stigende indhold af NO₃-N i en enkelt periode, nemlig i 1978. Det kan skyldes de meget store nedbørsmængder i sidste kvartal af 1977 og første kvartal i 1978 sammen med en eventuel uudnyttet kvælstofreserve fra staldgødning udbragt til bederoer 1977, men der er i øvrigt forskellige ydre påvirkninger, der har indflydelse på omsætningen af organisk stof i de øvre jordlag og dermed en eventuel nedvaskning af nitratkvælstof til grundvandet.

3.6.2. Nitratudledning med drænvand

Det nitrat, der med drænvand ledes ud i vandløb, vil sammen med de næringsstoffer, der i øvrigt er opløst i den pågældende recipient, skabe betingelser for en øget grødevækst (eutrofiering) med de uheldige følger, dette kan få. Hvor store mængder nitrat der tabes fra landbrugsarealer ved afstrømning til vandløb, kendes ikke nøjagtig, da det ikke er muligt at foretage eksakte målinger under alle forhold. Foruden afstrømning fra dræn er der også tale om horisontal afstrømning fra det højtliggende grundvandsspejl.



Figur 32: Drænvandsafstrømning, koncentration og udvaskning af NO₃-N
 =====
 (Pedersen 1983)

Tabel 36: Afstrømning og kvælstofudvaskning gennem dræn på 15 lerjordsarealer, 1971-81 (efter Pedersen 1983)

Lokalitet	Drænvandsafstrømning		Udvaskning af $\text{NO}_3\text{-N}$		Koncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvand	
	mm/år gns.	Std. afv. % af gns.	kg/ha gns.	Std. afv. % af gns.	mg/l gns.	Std. afv. % af gns.
Næstved	124	71	27,7	66	22,4	17
Lunding	90	50	20,3	45	22,5	20
Norring	74	65	9,8	65	13,2	26
Silstrup	197	42	28,7	65	14,6	46
Herlufmagle	127	44	29,3	46	23,0	28
Ruds-Vedby 1	142	48	27,3	56	19,3	19
Ruds-Vedby 2	122	57	28,8	72	23,7	34
Fjelstrup 1	123	49	19,6	60	16,0	58
Fjelstrup 2	127	64	21,1	56	16,6	35
Fjelstrup 3	86	58	14,1	43	16,4	40
Daugård	132	50	19,0	51	14,4	27
Ørum	179	40	25,6	39	14,3	12
Odder 1	103	48	17,4	44	17,0	15
Odder 2	89	53	16,8	61	18,9	25
Bjerringbro	88	63	23,3	62	26,6	24
Gennemsnit	120	44	21,9	39	18,2	18
Standardafv. % af gns.	29		27		22	

Der er generelt god sammenhæng mellem drænvandsafstrømning og udvaskning af nitrat, hvilket fremgår af figur 32 (Pedersen 1983). Målingerne er foretaget over 7-10 år på 15 lerjordsarealer. Den gennemsnitlige årlige nitratkoncentration i drænvandet varierer mindre end den årlige afstrømning og udvaskning af nitrat. Dette skyldes sandsynligvis kvælstofomsætningen i jorden og hydrodynamisk dispersion, som medfører en vis koncentrationsudligning i jordvandet (se afsn. 3.5.1.).

Desuden kan der også forekomme "overlapping" fra år til år af nitrat, der bevæger sig ned gennem jorden, såfremt ikke alt nitrat fra den forudgående afstrømningsperiode er udvasket (Jensen 1980).

Drænvandets gennemsnitlige nitratkoncentration (figur 32) var 18,2 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ og viser kun en mindre variation over årene.

Den betydelige årlige variation i nitratudvaskningen, figur 32, skyldes hovedsageligt forskelle i afstrømningen. Men desuden var der store forskelle i udvaskningen fra lokalitet til lokalitet, tabel 36. Det kan hænge sammen dels med jordvariationen, og dels med sædskiftet. Den gennemsnitlige udvaskede mængde var 21,9 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ pr. ha.

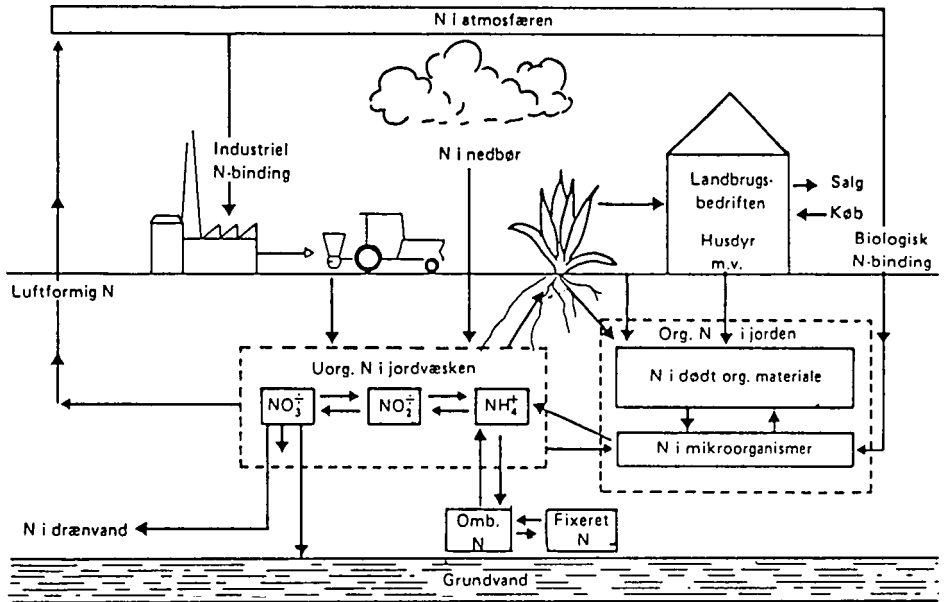
Nedbørsfordeling og fordampning bevirker, at den største afstrømning sker i efterår- og vintermånederne. Det betyder, at vandløbene i denne periode har den største vandføring. Sammen med den større afstrømningsmængde føres der også større mængder nitrat til vandløbene. Det vil ofte resultere i en øget koncentration af nitratkvælstof i efterårs- og vintermånederne.

Et øget indhold af nitratkvælstof i vandløbene behøver ikke umiddelbart at medføre en øget biologisk aktivitet. Den biologiske aktivitet er til dels bestemt af temperaturforholdene, og temperaturen i vandløbene vil være lavest i måneder med stor afstrømning og størst koncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$.

4. Kvælstofkredsløb og kvælstofbalance

4.1. Kvælstofkredsløb og -balance på landbrugsarealer

Kvælstoffets kredsløb i landbruget er i skematiseret form vist i figur 33.



Figur 33: Kvælstoffets kredsløb i landbruget (Bennetzen 1978)
=====

Der er her tale om et såkaldt "åbent" kredsløb med menneskelig indgriben i form af kvælstoftilførsel med organiske og uorganiske gødninger, samt fjernelse af afgrøden. Kvælstofbalancen kan stærkt skematisk opstilles i følgende ligning:

$$N(\text{tilført}) - N(\text{høstet}) - N(\text{tabt}) - \Delta N(\text{lager}) = 0$$

Ligningens første led dækker over kvælstoftilførsel med handelsgødning, husdyrgødning, nedbør og symbiotisk/ikke-symbiotisk kvælstofbinding. Der skal i det følgende kort redegøres for de enkelte led som grundlag for opstilling af en gennemsnitsbalance på landsplan.

Tages gennemsnit af de sidste 5 år, fås en tilførsel på 128 kg N med handelsgødning og 55 kg N med husdyrgødning, i alt 183 kg N pr. ha.

Tilførselen er selvsagt ikke den samme fra ejendom til ejendom, men varierer med arealbenyttelse i overensstemmelse med de på grundlag af mangeårige gødningsforsøg anbefalede kvælstofmængder til de enkelte afgrøder.

Fra atmosfæren er fra tidernes morgen tilført små mængder af NO_3^- og NH_4^+ med nedbøren. Førstnævnte dannes ved elektriske udladninger i atmosfæren, sidstnævnte hidrører fra udslip af NH_3 ved biologiske reaktioner i jordoverfladen, samt fordampning fra naturgødning. Målinger af NO_3^- og NH_4^+ i nedbøren fra et større antal danske opsamlingssteder over to perioder viser følgende resultater:

Periode	kg/ha			
	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	i alt	
1955-61	4,6	2,3	6,9	(Jensen 1962)
1970-77	7,1	4,9	12,0	(Jørgensen 1979)

Som det fremgår, er der på det nærmeste sket en fordobling i tilførsel over en periode på 15 år. Denne må i det væsentligste tilskrives øget industriel aktivitet. Det kan tillige nævnes, at der dannes små mængder af kvælstofilter i forbrændingsmotorer. Den stigende tilførsel er positiv set fra et landbrugssynspunkt. En negativ side er, at den øgede tilførsel også dækker vandområderne.

Tilførsel af kvælstof ved ikke-symbiotisk binding kan formentlig anslås til gennemsnitlig 4 kg pr. ha pr. år (Vinther 1982). På grundlag af de i 1981 dyrkede arealer med bælplanter kan beregnes, at den symbiotiske kvælstofbinding udgør mindre end 1 kg N pr. ha på landsbasis. Heri indgår dog ikke kløver i græsmarker. Men ud fra forbrug af kløverfrø og den generelle anvendelse af kvælstofgødning til græsmarker kan kløverens bidrag næppe anslås til mere end ca. 5 kg N pr. ha, altså i alt et bidrag på 6 kg pr. ha fra symbiotisk kvælstofbinding. Forskellige vilde bælplantearter, som før ydede et vist bidrag til markens kvælstofforsyning, findes nu kun på udyrkede arealer.

På bortførelssiden er den største post fjernelse med afgrøderne. Aslyng (1978a) har beregnet bortførselen til gennemsnitligt 130 kg N pr. ha. En beregning baseret på arealanvendelse 1981, de gennemsnitlige høstudbytter og kvælstofindhold heri (Mineralstofftabel 1974) viser ca. 120 kg N bortført pr. ha. Beregninger af denne art er behæftet med nogen usikkerhed, idet der indgår en del skøn i grundlaget herfor. Generelt må nok antages, at høstudbytterne, specielt græsudbytterne, ikke er ansat for højt og dermed heller ikke kvælstofbortførselen fra marken. Aslyngs angivelse på 130 kg N pr. ha pr. år må derfor anses som realistisk.

Undersøgelser over den kvantitative denitrifikation under markforhold befinder sig endnu på et indledende stadium. Hertil kommer, at de hidtil fundne resultater viser, at denitrifikationen beror så stærkt på de fysiske og kemiske forhold i jorden, at der skal et meget stort antal målinger til for at danne grundlag for et rimeligt gennemsnitligt skøn (se afsn. 2.4.).

Med den nuværende viden er det således endnu ikke muligt at anslå et konkret gennemsnitstal for tab ved denitrifikation for Danmarks landbrugsareal. Men det kan med sikkerhed siges, at tabet er øget i takt med den stigende kvælstoftilførsel.

En anden faktor i den øjeblikkelige gennemsnitlige kvælstofbalance, som der ikke kan sættes en konkret talværdi på, er ændring i jordens kvælstoflager. Lindhard (1970) og Aslyng (1978a) forudsætter, at der gennemsnitligt sker en tilvækst i jordens lager på grund af den øgede kvælstoftilførsel og dermed øgede afgrøder, som efterlader større mængder organisk stof i jorden i form af rod og afgrøderester. De to nævnte forfattere vurderer den gennemsnitlige tilvækst til henholdsvis 33 og 15 kg N pr. ha pr. år. Forholdet er vist i figur 1, hvoraf tydeligt fremgår, at kvælstoflageret opretholdes på et højere niveau ved gødskning, specielt med husdyrgødning. På den anden side er der gennem en årrække sket en betydelig ændring i arealbenyttelsen i retning mod øgede kornarealer på bekostning af bl.a. græsarealer. Som vist i figur 2 vil en sådan ændring generelt mindske jordens kvælstoflager. Det er rimeligt at antage, at de modsat rettede processer for tiden ophæver hinanden. Set over en længere årrække er der dog ikke tvivl om, at den stigende kvælstofanvendelse har øget jordens kvælstoflager.

Kvælstoftab ved udvaskning omfatter dels tab gennem drænvand, delstab med afstrømning til grundvandet.

Som tidligere nævnt er der på 15 danske lerjordsarealer i 1971-81 målt et udvaskningstab af $\text{NO}_3\text{-N}$ gennem dræn direkte til vandløb på i gennemsnit 21,9 kg N pr. ha pr. år, men med betydelig sted- og årsvariation (Pedersen 1983). I betragtning af at undersøgelsen omfattede 15 lokaliteter i en relativt lang måleperiode, er der imidlertid god grund til at antage, at tallet er repræsentativt.

Koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ vil være omtrent den samme i vand, der afstrømmer gennem dræn og til undergrunden, se figur 29. Med dette udgangspunkt og ud fra beregnet afstrømning til undergrund på de 15 lerjordsarealer kan kvælstoftabet til undergrunden på disse arealer sættes til gennemsnitlig 25 kg N pr. ha pr. år. Man kommer herefter frem til et gennemsnitligt kvælstoftab ved udvaskning fra rodzonen i lerjorde på $22 + 25 = 47$ kg N pr. ha pr. år.

Sandjordsarealer er drænet i langt mindre grad end lerjordsarealer, og hvor dræning forekommer, vil der være større afstrømning til grundvandet end gennem dræn. Kjellerup (1983) har fundet en udvaskning fra drænet sandjord på gns. 22 kg N pr. ha pr. år gennem dræn. For samme sandjord kan på grundlag af vandbalancemålinger beregnes en afstrømning til undergrunden på 31 kg N pr. ha pr. år, eller i alt 53 kg N pr. ha pr. år. Den totale udvaskning fra udrænet lerblandet sandjord og grovsandet jord ved normal kvælstoftilførsel er fundet til henholdsvis 50 og 66 kg N pr. ha pr. år (se tabel 31 og 32). På baggrund heraf anslås den totale udvaskning fra sandjordsarealer til ca. 55 kg N pr. ha pr. år og stort set udelukkende til undergrunden.

Baseret på jordtypefordeling, hvor der for landet som helhed findes ca. 50 % sandjord (Aslyng 1978b), kan det totale gennemsnitlige udvaskningstab fra rodzonen af Danmarks landbrugsareal herefter anslås til ca. 50 kg N pr. ha pr. år. Det skal understreges, at tallet angiver den skønnede størrelse af den kvælstofmængde, der udvaskes fra rodzonen, og således ikke omfatter nitratreduktionen i de dybere liggende jordlag over samt i grundvandsreservoirer. De angivne værdier for udvaskning til undergrunden er derfor større end de kvælstofmængder, der totalt tilføres grundvandet (se afsn. 2.4. og figur 29).

På baggrund af foranstående og med de angivne forbehold for de enkelte poster kan herefter opstilles følgende gennemsnitsbalance for kvælstofomsætningen pr. ha landbrugsareal i Danmark:

<u>Tilført med:</u>	<u>kg N/ha/år</u>	<u>Bortført med:</u>	<u>kg N/ha/år</u>
Handelsgødning	128	Afgrøder	130
Naturgødning	55	Udvaskning	50 ¹⁾
Nedbør	12	Denitrifikation	25
Biol. N-fiksering	10	Humus	0
Humus	<u>0</u>		<u> </u>
I alt	205		205

1) Lerjord : dræn 22 kg N/ha, undergrund 25 kg N/ha
 Sandjord: undergrund 55 kg N/ha

På grundlag af de tidligere nævnte overvejelser må det antages, at "tilførsel" ved frigørelse og "tab" ved binding af kvælstof i humus ophæver hinanden. Som gennemsnit for landbrugsarealet er disse poster derfor sat = 0 i balancen. Spørgsmålet er herefter, om de 25 kg N pr. ha, der fremkommer som "rest" i balancen, kan forudsættes tabt ved denitrifikation. Som nævnt er der endnu for få målinger af denitrifikationen under markforhold til en sikker vurdering heraf. Men en del resultater, danske såvel som udenlandske, tyder på, at et tab af denne størrelse er realistisk. Andersen et al. (1983) fandt således et tab på 39,3 kg N pr. ha pr. år i forsøg ved Roskilde og 8 kg N pr. ha pr. år i forsøg ved Jyndevad. Aslyng (1978) har anslået et gennemsnitstab til 43 kg N pr. ha.

Endelig skal det nævnes, at Wetselaar og Farquahar (1980) på grundlag af en omfattende litteraturoversigt anfører, at der kan ske et tab af luftformige kvælstofforbindelser direkte fra afgrøder.

4.2. Kvælstofkredsløb og -balance på naturarealer

På naturarealer foregår kvælstofkredsløbet uden menneskelig indgriben. Der er således tale om et "lukket" kredsløb, hvor leddet N(høstet) i den tidligere nævnte ligning bortfalder. Ligeledes reduceres leddet N(tilført) til "naturlig" tilførsel, nemlig N i nedbør og N tilført ved symbiotisk og ikke-symbiotisk kvælstofbinding.

Kvælstoftilførselen med nedbør udgør som foran nævnt 12 kg N pr. ha pr. år. Hvor der vokser vilde bælgplanter på arealet, kommer der et kvælstofbidrag herfra, hvis størrelse afhænger af bælgplanternes art og tæthed, men som næppe kan sættes til mindre end 4 kg N pr. ha pr. år. Den ikke-symbiotiske kvælstofbinding må antages at bidrage med mindst samme mængde som på dyrkede arealer, nemlig omkring 5 kg N pr. ha pr. år. Dette ud fra den betragtning, at de fleste fritlevende kvælstofbindende bakterier fungerer bedst ved lave iltspændingsforhold (uforstyrret jord) og hæmmes ved tilførsel af kvælstof i handelsgødning. Overensstemmende hermed anfører Nissen (1966), at fritlevende kvælstofbindende bakterier muligvis har større betydning for kvælstofbalancen på naturarealer end på dyrkede jorde. Det må anses for realistisk at regne med en kvælstoftilførsel på mindst 20 kg N pr. ha pr. år til naturarealer, nemlig de 12 kg med nedbøren og 8-9 kg ved mikrobiel kvælstofbinding.

I jord, der henligger i naturtilstand, vil humusindholdet indstille sig i en ligevægtstilstand. Niveauet heraf vil være bestemt af jordens tekstur, samt de klimatiske betingelser. Dette indebærer tillige, at jordens kvælstofindhold vil være i ligevægt det ene år med det andet. Ledet N(lager) kan derfor i praksis regnes for konstant. I konsekvens heraf må leddet N(tabt) være lig med N(tilført), nemlig ca. 20 kg N pr. ha pr. år. Heraf vil næppe mere end 2-3 kg N pr. ha pr. år tabes ved denitrifikation, idet nitratkoncentrationen i jorden aldrig bliver stor.

På dette grundlag må der regnes med, at der fra udyrket jord i ligevægtstilstand udvaskes 17-18 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ pr. ha pr. år. Hovedparten vil bevæge sig mod grundvandet, idet afdræningen til vandløb normalt er ringe. Det skal understreges, at betragtningen kun gælder for jorde med normale afdræningsforhold. Under forhold, hvor jorden er konstant vandmættet (moser), hæmmes den biologiske omsætning, hvilket resulterer i konstant ophobning af organisk stof.

På baggrund af foranstående kan opstilles følgende anslåede kvælstofbalance for naturarealer:

<u>Tilført med:</u>	<u>kg N/ha/år</u>	<u>Bortført med:</u>	<u>kg N/ha/år</u>
Nedbør	12	Denitrifikation	3
Biol. N-fiksering	8	Udvaskning	17
Humus	<u>0</u>	Humus	<u>0</u>
I alt	20		20

Ca. 10 % af Danmarks areal er dækket med skov. Arealmæssigt har kvælstofbalancen i skove således interesse. Men det skal understreges, at de kun i få tilfælde kan karakteriseres som naturarealer, idet der er tale om en gradvis fjernelse af planteproduktion indtil den afsluttende renafdrift med påfølgende nyplantning. Ved undersøgelse i danske skovjorde fandt Bornebusch (1930) en betydelig nitrifikation såvel i bøge- som granskov. Jordenes pH var i området 4-5,5. Når væksten slutter i løbet af efteråret, vil nitrifikationen fortsætte endnu en tid med deraf følgende tab ved udvaskning. I en rapport fra Miljøstyrelsen (1983) er kvælstofbidraget til vandløb ansat til 5 kg N pr. ha pr. år. Andre 15-20 kg må således bevæge sig mod grundvandet. Forholdene er således nogenlunde som på naturarealer hvad kvælstoftab til vandfasen angår. Men det understreges, at renafdrift forstyrrer den "naturlige" balance og resulterer i kvælstoftab af en helt anden størrelsesorden end foran beskrevet. Endvidere kan der være forskelle i fordampning og dermed afstrømning mellem løvfældende og stedsegrønne skovarealer.

4.3. Forskelle mellem kvælstofmængden i omløb på landbrugs- og naturarealer

En sammenligning mellem kvælstofbalancen på landbrugs- og naturarealer kan synes urealistisk. Grundene hertil er mange. Ikke desto mindre har en sammenligning interesse, idet den belyser virkningen af nutidig landbrugsdrift.

Med fornyet understregning af den uundgåelige usikkerhed, der knytter sig til forskellige poster i de opstillede balancer, kan det konstateres, at det intensive jordbrug har øget kvælstofmængden i omløb med en faktor ca. 10 i forhold til naturkredsløbet. Dernæst, at tabet fra kredsløbet i form af kvælstofudvaskning fra rodzonen kun er øget med en faktor ca. 2,5.

Man må i denne forbindelse i øvrigt gøre sig klart, at forøgelsen i kvælstofomsætning og dermed tab ved udvaskning er en proces, som har været i gang, siden man for ca. 6.000 år siden gjorde de første tilløb til et egentligt jordbrug i Danmark. Bestræbelserne har siden stedse haft til formål at øge produktionen af fødeemner. Ethvert resultat heraf er forbundet med øget kvælstofomsætning og dermed risiko for større tab ved udvaskning. Gennem tiderne har skiftende dyrkningsmetoder og driftsformer påvirket dette tab med forskellig styrke.

Tilførsel af handelsgødning er som regel ikke direkte årsag til tab af kvælstof fra rodzonen, idet kvælstofgødning udbragt om foråret normalt ikke udvaskes, ligesom nitratinholdet i jorden ved høst i de fleste tilfælde er næsten 0, når der ikke overgødes. Men indirekte er der ved kvælstoftilførselen skabt mulighed for et større kvælstoftab, fordi øget kvælstofgødsning medfører større udbytter, hvorved der også efterlades større mængder kvælstof i jorden i form af afgrøderester, der i løbet af efteråret mineraliseres i større eller mindre udstrækning. Anvendelse af husdyrgødning virker på samme måde, idet mineralisering af det organisk bundne kvælstof fortsætter hen gennem efteråret.

Med ændringen mod en mere specialiseret driftsform i landbruget er arealet med vårsæd gennem en årrække steget stærkt på bekostning af arealet med roer og græs. Dette har medført, at et tilsvarende større areal henligger ubevokset i efterårs- og vintermånederne. Ud fra ønsket om at holde udvaskningen på et så lavt niveau som muligt har denne udvikling ikke været ønskværdig, idet der sker en større udvaskning fra en ubevokset jord end fra en plantedækket jord.

Dertil kommer, at det med den specialiserede driftsform er nødvendigt at anvende husdyrgødning til afgrøder som f.eks. vårsæd, der på grund af en kortere vækstperiode ikke er i stand til at udnytte kvælstof frigjort ved mineralisering af staldgødning om efteråret i samme grad som f.eks. roer.

4.4. Muligheder for begrænsning af kvælstoftab fra rodzonen

Både ud fra et landøkonomisk og et miljømæssigt synspunkt er det af betydning at begrænse kvælstoftabet fra rodzonen mest muligt.

Som foran anført udvaskes der kun undtagelsesvis kvælstof direkte fra tilført handelsgødning. Dette kan dog forekomme, hvis der om foråret falder store mæng-

der nedbør umiddelbart efter, gødningen er udbragt. Risiko herfor er størst på lette sandjorde og ved anvendelse af gødninger, som indeholder kvælstof i form af $\text{NO}_3\text{-N}$. Denne udvaskning af kvælstof kan i nogen grad imødegås ved kun at tilføre en del af kvælstofmængden før såning og resten senere i vækstperioden, dvs. en form for delt eller styret kvælstofgødsning.

Udvaskning af kvælstof direkte fra tilført handelsgødning er imidlertid under normale forhold lille i sammenligning med kvælstofmængden, der udvaskes om efteråret og gennem vinteren forårsaget af mineralisering af planterester og evt. staldgødning.

Det er således i landbrugets arealanvendelse og produktionsstruktur, de største muligheder for en formindskelse af kvælstoftabet ved landbrugsproduktion skal findes, og i mindre grad i selve gødningsforbruget.

I bedrifter med et stort husdyrhold i forhold til jordtilliggende kan det dog være et problem at få husdyrgødningen anvendt på rimelig måde. Tilførsel af hele mængden på egne arealer kan medføre stor risiko for udvaskning af kvælstof. En mulighed for at løse dette problem er oprettelse af en såkaldt gødningsbank, som det er gjort i Holland, med henblik på at få en bedre fordeling og dermed en bedre udnyttelse af husdyrgødning samt mindre udvaskning af kvælstof (Kofoed 1983).

De senere års stigning i arealet med vintersæd på bekostning af arealet specielt med vårbyg vil uden tvivl være medvirkende til at mindske kvælstofudvaskningen, da vintersæden optager i det mindste en del af den kvælstofmængde, der frigøres ved mineralisering i løbet af efteråret.

En anden mulighed for at reducere kvælstofudvaskningen er såning af en efterafgrøde af f.eks. gul sennep eller udlæg af rajgræs evt. med henblik på en græsfrøafgrøde den følgende vækstsæson. En efterafgrøde af gul sennep har størst virkning ved sennedpløjning om efteråret. Årsagen til dette kan være, at afgrøden ved den seneste nedpløjning ikke bliver omsat i samme grad som ved tidlig nedpløjning, hvorved en større del af afgrødens kvælstofindhold bevares som organisk bundet kvælstof vinteren igennem. I relation til det sidst omtalte kan det overvejes at nedpløje en efterafgrøde om foråret på lettere jorde. På disse jorde, hvor udvaskningsproblemerne er størst, kan pløjning om foråret antagelig i mange tilfælde foretages, uden at der opstår problemer med såbedet. På lerjorde bør en forårspløjning derimod undgås, idet dette kan give problemer med jordstrukturen.

I modsætning til efterafgrøde synes nedmuldning af halm ikke at begrænse kvælstofudvaskningen i væsentlig grad.

Reduceret jordbehandling synes at give lidt mindre kvælstofomsætning og kvælstofudvaskning end traditionel jordbehandling, men virkningen er lille og usikker.

Et interessant spørgsmål er, om nitrificeringen om efteråret kan hæmmes ved tilførsel af et nitrificeringshæmmende stof til jorden. I denne forbindelse kan det nævnes, at undersøgelser fra Tyskland har vist lovende resultater med tilsætning af disse stoffer til efterårsudbragt gylle. Lignende undersøgelser er under gennemførelse her i landet.

Endelig skal det nævnes, at der for tiden arbejdes på at forbedre gødskningsvejledningen ved hjælp af kvælstofprognoser. I disse tages der bl.a. hensyn til jordens indhold af tilgængeligt kvælstof ved vækstperiodens begyndelse. Herved er der mulighed for at forbedre kvælstofudnyttelsen i jordbruget og dermed eventuelt formindske kvælstoftabet fra rodzonen.

Det er ikke muligt at undgå udvaskningstab i det kvælstofkredsløb, som er forbundet med planteproduktion. Men ved stedse øget indsats i jordbrugsforskningen vil der antageligt stadig findes nye veje til at mindske det tab, landbrugsproduktionen medfører.

5. Sammen drag

I beretningen er givet en omtale af kvælstofomsætningen i jorden og de faktorer, som påvirker omsætningen. Desuden omtales kvælstofindhold og -fraktioner i jorden, samt gødsningens og sædskiftets betydning for jordens kvælstofindhold (kap. 2).

Ved hjælp af forsøgsresultater er der givet en beskrivelse af kvælstofgødningers omsætning i jorden og af afgrødernes kvælstofbehov, samt af deres udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning og ved kvælstoftilførsel under forskellige former og tidspunkter (kap. 3). Indflydelsen af kvælstoftilførsel, andre dyrkningsforanstaltninger, samt jordtype, klimaforhold og afgrøde på kvælstoftabet fra rodzonen er omtalt ud fra nyere forsøgsresultater, og desuden er resultater vedrørende kvælstoftabet til grundvand og overfladevand beskrevet (kap. 3).

Endelig er der givet en samlet vurdering af kvælstofkredsløbet på landbrugsarealer i forhold til naturarealer, og virkningen af landbrugets planteproduktion på kvælstofbalancen er omtalt (kap. 4).

Det totale kvælstofindhold i 0-100 cm dybde i danske jorde varierer fra omkring 5 til omkring 10 t pr. ha med ca. halvdelen i pløjelaget. Tilførsel af husdyrgødning opretholder kvælstofindholdet på et højere niveau end tilførsel af handelsgødning. Ugødet jord har lavest kvælstofindhold. Planteproduktionen stabiliserer kvælstofindholdet i jorden; i udyrket jord faldet indholdet. Mere end 95 % af jordens kvælstofindhold findes organisk bundet, resten overvejende som frit NO_3^- eller adsorberet eller fikseret NH_4^+ . I 0-100 cm dybde er der i størrelsesordenen 25-60 kg NO_3^- -N og 15-25 kg adsorberet NH_4^- -N pr. ha, i de øverste 20 cm er der omkring 50-300 kg fikseret NH_4^- -N pr. ha.

Mineraliseringen af kvælstof øges med stigende temperatur og iltindhold i jorden og forløber bedst ved et vandindhold nær markkapacitet. Den begrænsende faktor i landbrugsjord vil oftest være lav fugtighed og temperatur.

Nettomineraliseringen sker, når C/N-forholdet i det organiske materiale er mindre end 20. Større C/N-forhold vil ofte føre til immobilisering af kvælstof. C/N-forholdet betinger hurtigst mineralisering af grøngødning (C/N ca. 20), og langsommere af staldgødning (C/N 20-30) og halm (C/N ca. 60).

Denitrifikation sker kun under iltfattige forhold og ved tilstedeværelse af NO_3^- og letomsætteligt organisk stof. Processen er stærkt temperaturafhængig. Nær planterødder kan betingelserne for denitrifikation være bedst. I laboratorieforsøg med danske jorde er der fundet større denitrifikation i rodzonens øvre lag end i de nedre p.g.a. et større indhold af organisk stof. Denitrifikationen fandtes at være større på lerjord end på sandjord. Nitratreduktion i underjorden er

størst i lerrige jorde, hvor vandbevægelsen er langsomst, og indholdet af Fe^{++} er størst.

Ved biologisk kvælstofbinding bindes luftens N_2 symbiotisk (bælgplanternes knoldbakterier) og ikke-symbiotisk (fritlevende bakterier). Den ikke-symbiotiske binding påvirkes af de samme faktorer som kvælstofmineraliseringen, den symbiotiske er afhængig af bælgplanterne. Ikke-symbiotisk binding er i forsøg fundet til 1-9 kg N pr. ha pr. år afhængig af jordtype. Den symbiotiske kvælstofbinding i en bælgplanteafgrøde er i størrelsesordenen 100-200 kg N pr. ha pr. år, og i en kløvergræsmark er den beregnet til omkring 90-120 kg N pr. ha pr. år.

Forbruget af handelsgødning er steget stærkt siden år 1900 og udgør nu gennemsnitlig ca. 130 kg N pr. ha pr. år. Siden 1960 er forbruget af ammoniumgødninger steget stærkt på bekostning af rene nitratgødninger. Forbruget af husdyrgødning udgør ca. 62 kg N pr. ha pr. år. Gødningsforbruget er størst i Jylland. Handelsgødningernes kvælstofindhold er umiddelbart tilgængeligt for planterne. Husdyrgødningens indhold af organisk bundet kvælstof er først tilgængeligt efter mineralisering, hvorfor husdyrgødning har en vis langtidsvirkning (eftervirkning). Handelsgødninger, der indeholder NH_4^+ , nedsætter jordens pH og kræver derfor kalktilførsel.

Afgrødernes kvælstofbehov er afhængig af plantearten. Behovet er størst for græs og rodfrugter, mindre for korn og 0 for rene bælgplanteafgrøder. Kvælstoftilførsel kan forøge planternes kvælstofoptagelse fra jordens lager. Vejledningen i kvælstofgødskning kan forbedres på basis af bestemmelse af jordens tilgængelige kvælstofindhold ved vækstsæsonens start. Kvælstoftilførsel øger kvælstofindholdet i planterne. Ved tilførsel af store mængder kvælstof stiger indholdet af glutaminsyre, prolin og nitrat forholdsvis mest, sidstnævnte dog kun i vegetativt plantemateriale.

Husdyrgødning har størst virkning ved forårsudbringning og ved anvendelse til afgrøder med en forholdsvis lang vækstperiode som roer og kartofler. Virkningen af gylle er størst ved nedfældning, idet fordampningstab af ammoniak derved undgås. P.g.a. ændrede driftsformer anvendes husdyrgødning nu også til bl.a. græs, korn, majs og vårraps, ligesom den udbringes i vækstperioden bl.a. som gylle. Udbringning måske tidligt i vækstperioden for at opnå en god virkning og undgå skade på planterne.

Kvælstofudvaskningen er hovedsageligt en følge af mineralisering af planterester og jordens organiske stof. Direkte udvaskning af kvælstof fra tilført gødning er normalt af langt mindre betydning, men kan forekomme især på grovsandede jorde,

hvis der om foråret falder store nedbørsmængder umiddelbart efter, gødningen er bragt ud. Den største udvaskning konstateres ved overgødskning og ved tilførsel af husdyrgødning til afgrøder med kort vækstperiode. En deling af kvælstofgødningen i vækstperioden medfører kun små eller ingen merudbytter i forhold til én-gangstilførsel om foråret. Ved nedvaskning af gødningen under unormalt store nedbørsmængder om foråret kan det dog være påkrævet med eftergødskning. Gødningstilførsel kan ske med vandingsvand, med dette praktiseres næsten ikke i Danmark.

Halmnedmuldning påvirker kun det efterfølgende kornudbytte i ringe grad og begrænser kun kvælstofudvaskningen lidt. En efterafgrøde har varierende virkning på det efterfølgende udbytte, men en veludviklet afgrøde kan begrænse kvælstofudvaskningen væsentligt.

Normalt giver traditionel jordbehandling det sikreste udbytteresultat, men under visse forhold kan jordbehandlingen reduceres uden udbytтетab. Dette kræver dog ofte større kvælstofmængder for at nå udbytténiveauet ved traditionel jordbehandling. Reduceret jordbehandling synes at give lidt mindre kvælstofomsætning og kvælstofudvaskning end traditionel jordbehandling, men virkningen er lille og usikker.

Ved vanding er der ofte positiv vekselvirkning mellem vand og kvælstof, især på sandjord, men udbyttet stiger stærkere med vandingen end kvælstofoptagelsen. Vanding kan medføre relativt større kvælstofoptagelse i kerne end i halm i kornafgrøder. Afstrømningen øges kun lidt ved vanding. Vanding vil ofte fremme kvælstofmineraliseringen i vækstperioden, men medfører ikke nødvendigvis større kvælstofudvaskning.

Nitrat bevæger sig gennem jorden opløst i jordvandet, og fra mineraljorde udvaskes kvælstof udelukkende som $\text{NO}_3\text{-N}$, idet NH_4^+ bindes i jorden. En afstrømning svarende til markkapacitet kan udvaske ca. 50 % af nitratmængden i en jord. Dette medfører, at der udvaskes mest kvælstof fra sandjorde, som har mindst markkapacitet. Nitratkoncentrationen i jord- og grundvand aftager med dybden og varierer over året. I dybden er koncentrationen mindst på lerjord og størst på sandjord. I drændybde er koncentrationen næsten ens i drænvand og jordvand. Kvælstoftabet fra rodzonen er generelt størst ved stor afstrømning på sandjord og ved dyrkning af afgrøder med kort vækstperiode, men der er betydelige variationer som følge af det komplicerede samspil, som bestemmer udvaskningen. Nitrattilførslen til vandløb sker bl.a. gennem dræn. Drænafstrømningen synes at variere fra op til 2/3 af total afstrømning på lerjorde til omkring 1/3 på sandjorde. I landsdækkende undersøgelser er fundet en gennemsnitlig drænafstrømning på ca. 47 % af total af-

strømningen fra lerjorde. Kvælstofudvaskningen gennem dræn på lerjorde er fundet til gennemsnitlig 22 kg N pr. ha pr. år med betydelige variationer og er hovedsageligt bestemt af den årlige afstrømning. I vandløbene stiger nitratkoncentrationen om efteråret og vinteren, idet afstrømningen sker i denne periode.

På dræned jorde går en del og på udræned hele afstrømningen til grundvandet. Grundvandsundersøgelser på sandjord viser betydelige udsving i koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ i 5 m dybde, men kun små eller ingen udsving i 7,5 og 10 m dybde. Koncentrationen er også lavere i 7,5 og 10 m dybde end i 5 m dybde og lavest i jorde med reducerende jordlag. Under landbrugsarealer er konstateret større koncentrationer af $\text{NO}_3\text{-N}$ i de øvre grundvandslag end under skovarealer.

Kvælstofmængden i omløb ligger på et betydeligt højere niveau på landbrugsarealer end på naturarealer .g.a. arealanvendelsen, produktionsstruktur og gødningsanvendelsen. Kvælstofudvaskningen er dog øget langt mindre end kvælstofmængden i omløb og vurderes til 50 kg N pr. ha pr. år som landsgennemsnit. Kvælstofudvaskning vil under alle omstændigheder finde sted som et uundgåeligt led i kvælstofkredsløbet uanset gødskning og arealanvendelse. Dette tab bør begrænses mest muligt af hensyn til såvel kvælstofudnyttelsen i planteproduktionen som til miljøet.

6. Litteratur

- Andersen, A. & Jensen, M. B. (1983): Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrking. 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 on "Perspectives for Peas and Lupins as Protein Crops" in Sorrento-Sant'Agnello (Napoli), Italy, 19-22 Oct. 1981.
- 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, L. J. & Kristiansen, K. (1982): Nitrate in groundwater and surface water related to land use in the Karup basin, Denmark. In: "Impact of Agricultural Activities on Groundwater". Int. Symposium, IAH. Prague, Czechoslovakia.
- Aslyng, H. C. (1978a): Miljø og jordbrug. DSR-forlag, København, pp 127.
- Aslyng, H. C. (1978b): Jord, vandforsyning og planteproduktion. Ugeskr. f. Agronomer 123, 389-398.
- Bennetzen, F. (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. 1 og 3. Tidsskr. Planteavl 82, 81-99, 191-220.
- Beretning om fællesforsøg i landbo- og husmandsforeningerne (1970): 244-249.
- Black, C. A. (1957): Soil-Plant Relationships. Wiley & Son, New York.
- Bornebusch, C. H. (1930): The fauna of forest soil. Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark 11, pp 224.
- Burford, J. R.; Dowdell, R. J. & Grees, R. (1981): Emission of nitrous oxide to the atmosphere from direct drilled and ploughed clay soils. J. Sci. Food Agric. 32, 219-223.
- Burns, I. G. (1976): Equations to predict the leaching of nitrate uniformly incorporated to a known depth or uniformly distributed throughout a soil profile. J. agric. Sci. Camb. 86, 305-313.
- Burns, I. G. & Greenwood, D. J. (1982): Estimation of the year-to-year variation in nitrate leaching in different soils and regions of England and Wales. Agricultural and Environment 7, 35-45.
- Christensen, S. (1980): Percolation studies on denitrification. Acta Agr. Scand. 30, 225-236.
- Christensen, W. (1970): Nitrat i overfladevand og grundvand. Hedeselskabets Tidsskr. 91, 50-60.

- Dobereiner, J. & Campelo, A. B. (1971): Nitrogenase activity and oxygen sensitivity of the *Paspalum notatum*-*Azotobacter paspali* association. *J. Gen. Microbiol.* 71, 103-116.
- Dobereiner, J. & Day, J. M. (1976): Associative symbiosis in tropical grasses: Characterization of microorganism and dinitrogen-fixing sites. In *Proc. 1st. Int. Symposium on Nitrogen Fixation* (W. E. Newton & C. J. Nyman, Eds.). Washington University Press, Pullman, 518-538.
- Ellis, F. B. & Kenneth, H. R. (1980): Effects of cultivation on the distribution of nutrients in the soil and the uptake of nitrogen, and phosphorus by spring barley and winter wheat on three soil types. *Soil and Tillage Res.* 1, 35-46.
- FAO Fertilizer, Yearbook 1981, Bd. 31.
- Flühler, H.; Stolzy, L. H. & Ardakani, M. S. (1976): A statistical approach to define soil aeration in respect to denitrification, *Soil Sci.* 122, 115-123.
- Fogh, H. T. (1972): Ændringer i jordens pH og kalkbehov efter anvendelse af kalksalpeter, fl. am. og urea. *Tidsskr. Planteavl* 76, 316-330.
- Gregersen, A. (1980): Vand og kvælstofgødning til flerårigt græs og kløvergræs. *Tidsskr. Planteavl* 84, 191-208.
- Gregersen, A. (1982): Vanding af majs 1976-1980. *Tidsskr. Planteavl* 86, 427-436.
- Gregersen, A. & Hejlesen, E. (1982): Kvælstof i vandingsvandet til hvede. *Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1693.*
- Gregersen, A. & Hejlesen, E. (1983): Kvælstof i vandingsvandet til byg. *Tidsskr. Planteavl* 87, 141-151.
- Gregersen, A. & Knudsen, H. (1980): Vindhastighed, vandbalance og vandingsbehov 1957-78. *Tidsskr. Planteavl* 84, 111-161.
- Gregersen, A. & Knudsen, H. (1981): Normalværdier for vandingsbehov, afstrømning og nettovandbehov ved forskellig rodzonekapacitet. *Statens Planteavlsforsøg, Beretn. nr. S1537.*
- Gødningsstatistik. Superfos A/S og DLG (flere årgange).
- Hansen, F. (1955): Forsøg med grøngødning 1942-1953. *Tidsskr. Planteavl* 58, 485-510.
- Hansen, L. (1971): Pløjedybde og furebundsløsning. *Tidsskr. Planteavl* 75, 47-55.
- Hansen, L.; Rasmussen, K. J. & Nielsen, C. (1980): Reduceret jordbehandling, efterafgrøde og nedbringning af halm ved bygdyrkning. *Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1525.*
- Heick, F. & Sandfær, J. (1957): Fastliggende forsøg med vanding og gødskning. *Tidsskr. Planteavl* 60, 621-656.
- Hejlesen, E. (1983): Personlig medd.

- Hostrup, S. B. & Hansen, P. F. (1977): Supplerende grovfoderproduktion med efterafgrøder. Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1317.
- Huntjens, J. L. M. (1971): The influence of living plants on mineralisation and immobilization of nitrogen. *Plant and Soil* 35, 77-94.
- Hvelplund, E. & Østergaard, H. (1980): Efterafgrøders kvælstofoptagelse i relation til gødskningsøkonomi og miljø. Landskontoret f. Planteavl, pp 88.
- Højmark, J. (1972): Køreskade i byg som følge af kørsel med traktor i vækstperioden. Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1035.
- Højmark, J. & Fogh, H. (1977): Nedvaskning af kvælstof og efterergødsning af byg på sandjord. Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1382.
- Håndbog for plantedyrkning (1983). Redigeret af Landskontoret f. Planteavl. Landbrugets Informationskontor, pp 192
- Iversen, K. (1944): Forsøg med grøngødning 1938-42. *Tidsskr. Planteavl* 42, 102-117.
- Iversen, K. (1946): Fosforsyre- og kaliforsøg ved statens forsøgsstationer 1927-42. *Tidsskr. Planteavl* 50, 299-366.
- Iversen, K. & Dorph-Petersen, K. (1944): Forsøg med forskellige kvælstofgødninger. *Tidsskr. Planteavl* 48, 418-515.
- Jansson, S. L. (1958): Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralisation-immobilization relationships. *Kung. Lantbrukshögskolans Annaler* 24, 101-361.
- Jensen, F. (1983): Personlig medd.
- Jensen, H. E. (1980): Afgrødeproduktion og -kvalitet, lysenergi- og vandudnyttelse, nitrogenbalance og -transport i relation til nitrogen- og vandstatus. Eksperimentelle studier med *Lolium perenne*. Doktordisputats KVL, København, pp 373.
- Jensen, J. (1962): Undersøgelser over nedbørens indhold af plantenæringsstoffer. *Tidsskr. Planteavl* 68, 894-906.
- Jensen, V. (1981): Heterotrophic microorganisms. Nitrogen fixation. Vol. I. *Ecology* (W. J. Broughton, Ed.). Clarendon Press, Oxford, 30-56.
- Justice, J. K. & Smith, R. L. (1962): Nitrification of ammonium sulfate in a calcareous soil as influenced by combinations of moisture, temperature and levels of added nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26, 246-250.
- Jørgensen, V. (1975): Vanding af græs og kløvergræs. *Tidsskr. Planteavl* 79, 545-560.
- Jørgensen, V. (1979a): Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder. *Tidsskr. Planteavl* 82, 633-656.

- Jørgensen, V. (1979b): Planternes vandforbrug, klimaforhold og planteproduktion. Tidsskr. Planteavl 83, 287-304.
- Kahnt, G. (1976): Ackerbau ohne Pflug. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, pp 128.
- Kapustka, L. A. & Rice, E. C. (1976): Acetylene reduction (N_2 -fixation) in soil and old field succession in central Oklahoma. Soil Biol. Biochem. 8, 497-503.
- Kjellerup, V. (1983): Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af nitratkvælstof 1973-81. Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1736.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A. Dam (1979): Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer. Tidsskr. Planteavl 83, 330-348.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A. Dam (1983): Kvælstofgødskningens indflydelse på udvaskning af plantenæringsstoffer fra jorden. Lysimeterforsøg med anvendelse af ^{15}N . Tidsskr. Planteavl 87, 1-22.
- Klausen, P. Søndergaard (1974): Virkningen af forskellige faste kvælstofgødninger. Tidsskr. Planteavl 78, 67-84.
- Klausen, P. Søndergaard & Kofoed, A. Dam (1980): Kvælstofgødskning af vinterbyg. Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1527.
- Klausen, P. Søndergaard & Nemming, O. (1982): Udbringningstider for svinegødning til byg. Tidsskr. Planteavl 86, 189-192.
- Knudsen, H. (1983): Fastliggende forsøg med vanding og gødskning 1950-60. Tidsskr. Planteavl 67, 652-678.
- Knudsen, H. (1966): Vanding af kløvergræs under forskellige jordbunds- og klimaforhold. Tidsskr. Planteavl 70, 1-12.
- Knudsen, H. & Gregersen, A. (1966): Vand og kvælstof til bygsorter 1962-65. Tidsskr. Planteavl 70, 346-352.
- Kofoed, A. Dam (1982): Humus in long term experiments in Denmark. Proc. of the land use seminar on soil degradation, Wageningen, 241-258. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Kofoed, A. Dam (1983): Den hollandske gødningsbank. Ugeskr. f. Jordbrug 128, 433-434.
- Kofoed, A. Dam & Kjellerup, V. (1970): Nedvaskning af kvælstofforbindelser i jord. Tidsskr. Planteavl 73, 659-686.
- Kofoed, A. Dam & Klausen, P. Søndergaard (1964): Forsøg med stigende mængder kvælstof til staldgødet og ikke staldgødet jord. Tidsskr. Planteavl 68, 23-58.
- Kofoed, A. Dam & Klausen, P. Søndergaard (1969): Kvælstofgødning til kløvergræs og rent græs. Tidsskr. Planteavl 73, 203-246.

- Kofoed, A. Dam & Klausen, P. Søndergaard (1971): Kvælstofvirkning i nogle ældre og nyere bygsorter. Tidsskr. Planteavl 75, 7-26.
- Kofoed, A. Dam; Lindhard, J. & Klausen, P. Søndergaard (1967): Forsøg med flydende vandfri ammoniak. Tidsskr. Planteavl 71, 145-225.
- Kofoed, A. Dam & Nemming, O. (1976): Fertilizers and manure on sandy and loamy soils. Annales agronomiques 27, 583-610.
- Kofoed, A. Dam; Nemming, O.; Brunfeldt, K.; Nebelin, E. & Thomsen, J. (1981): Investigation in the occurrence of nitrosamines in some agricultural and horticultural products. Acta Agr. Scand. 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 and fertilizer as a source of pollution. Conf. on nitrogen as a water pollutant. IAWPR Spec. Copenhagen, vol. 1.
- Kolenbrander, G. J. (1982): Fertilizer and pollution. In: Indian Society of Soil Science. Transact. 12th Int. Congr. Soil Sci.: Managing soil resources to meet the challenges to mankind. Panel discussion papers. 5. Whether Soil Researchs. New Delhi, pp 248-266.
- Lamm, C. G. (1971): Det danske jordarkiv. Tidsskr. Planteavl 75, 703-720.
- Landbrugsministeriet (1976): Den danske jordklassificering. Teknisk redegørelse, 77. Landbrugsstatistik. Statistisk Medd. (flere årgange).
- Larsen, K. E. (1983): Personlig medd.
- Lind, A.-M. (1980): Denitrification in the root zone. Tidsskr. Planteavl 84, 101-110.
- Lind, A.-M. & Pedersen, M. B. (1976): Nitrate reduction in the subsoil. II og III. Tidsskr. Planteavl 80, 82-106.
- Lindhard, J. (1970): Om vandforurening med gødningsstoffer. Kvælstofkredsløbet. Tidsskr. f. Landøkonomi 157, 64-76.
- Miljøstyrelsen (1983): Opgørelse af belastningen fra land af de indre danske farvande med organisk stof, total-N og total-P, pp 85.
- Mineralstofftabel (1974): Landbrugets Informationskontor.
- Miyamoto, S.; Ryan, J. & Stroehlein, J. L. (1975): Reducing ammonia volatilization. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39, 544-548.
- Munk, H. (1958): The nitrification of ammonium salts in acid soils. Landw. Forsch. 11, 150-156.

- Nelson, A. D.; Barber, L. E.; Tjepkema, J. D.; Russel, S. A.; Powelson, R.; Seidler, R. J. & Evans, H. J. (1976): Nitrogen fixation associated with grasses in Oregon. *Can. J. Microbiol.* 11, 523-530.
- 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. Dissing (1971): Fiksering og frigørelse af ammonium. *Tidsskr. Planteavl* 75, 239-255.
- Nielsen, J. M. (1973): Kornplanternes ernæringstilstand vurderet og reguleret ud fra planternes kemiske sammensætning. *Doktordisputats. DSR-forlag, København*, pp 358.
- Nielsen, N. J. (1929): Udbytte og eftervirkningsforsøg med forskellige bælgplanter 1914-24. *Tidsskr. Planteavl* 35, 269-292.
- Nielsen, V. (1982): Undersøgelser vedr. reduceret jordbehandling. 14. beretn. *SjF* pp 43.
- Nissen, T. V. (1966): Mikroorganismernes liv. *Teknisk Forlag, København*, 147
- Nissen, T. V. (1974): Mikrobiel aktivitet i jordbunden ved forskellige temperaturer. *Tidsskr. Planteavl* 78, 211-216.
- Njøs, A. (1982): Effect of soil cultivation and compaction on grain crops and weeds - interactions with nitrogen fertilization. In: *Proc. of the 9th Conference of the International Soil Tillage Research Organization, Osijek, Yugoslavia*, 323-328.
- Nöhrstedt, H. Ö. (1983): Conversion factor between acetylene reduction and nitrogen fixation in soil: Effect of water content and nitrogenase activity. *Soil Biol. Biochem.* 15, 275-279.
- Nömmik, H. (1956): Investigations on denitrification in soil. *Acta Agr. Scand.* 6, 195-228.
- Olsen, C. C. (1983): Personlig medd.
- Olsen, C. C. & Larsen, K. E. (1983): Kvælstofgødskning samlet og delt til vinterhvede. *Tidsskr. Planteavl* (i trykken).
- O'Sullivan, M. F. & Ball, B. C. (1982): Spring barley growth, grain quality and soil physical conditions in a cultivation experiment on a sandy loam in Scotland. *Soil and Tillage Res.* 2, 359-378.

- Oversigt over Landsforsøgene. 1969:777-780; 1971:1128-1129; 1973:2047; 1974:2048; 1975:50-51; 1976:50-51, 141-143; 1977:42-44; 1978:44-45; 1979:46-47; 1980:46-48, 185-186; 1981:47-48; 1982:49-50, 141-142, 151-156, tabel 127. Landskontoret f. Planteavl.
- Pedersen, E. Frimodt (1982): Grundvandsundersøgelser på sandjord 1975-1979. Tidsskr. Planteavl 86, 543-565.
- Pedersen, E. Frimodt (1983): Drænvandsundersøgelser 1971-81. Statens Planteavlsforsøg, Beretn. nr. 51667.
- Pedersen, E. Nørgaard; Frederiksen, J. Højland; Skovborg, E. B.; Møller, E. & Witt, N. (1971): Græsser i renbestand. I. 1. beretning fra Fællesudvalget for Statens Planteavls- og Husdyrbrugsforsøg, 1-83.
- Pedersen, E. Nørgaard & Møller, E. (1976): Almindelig rajgræs og kløver i renbestand og blanding. 6. beretning fra Fællesudvalget for Statens Planteavls- og Husdyrbrugsforsøg, 1-27.
- Raju, P. N.; Evans, H. J. & Seidler, R. J. (1972): An asymbiotic nitrogen-fixing bacterium from the root environment of corn. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. 69, 3474-3478.
- Rasmussen, K. J. (1973a): Harvningsintensitet til byg. Udbytter og jordfysiske målinger. Tidsskr. Planteavl 77, 443-470.
- Rasmussen, K. J. (1973b): Minimal jordbearbejdning. Statens Planteavlsforsøg, Medd. nr. 1104.
- Rasmussen, K. J. (1974): Forskellige pløjetidspunkter og furejævning til byg. Tidsskr. Planteavl 78, 682-696.
- Rasmussen, K. J. (1976): Jordpakning ved færdsel om foråret. II. Jordfysiske målinger. Tidsskr. Planteavl 80, 535-856.
- Rasmussen, K. J. (1982): Jordbearbejdningsmetoder til vintersød. Tidsskr. Planteavl 86, 531-541.
- Rasmussen, K. J. (1983): Personlig medd.
- Rasmussen, K. J. & Olsen, C. C. (1983): Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. 1. Vækstbetingelser, jordfysiske målinger og udbytter ved ensidig byg og sædskiftebyg. Tidsskr. Planteavl 87, 193-215.
- Riehle, G. (1977): Kunstgødning til korn. Tolvmandsbladet nr. 9, 449-456.
- Rijtema, P. E. (1980): Nitrogen emission from grassland farms - a model approach. In: The role of nitrogen in intensive grassland production. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 137-147.

- Ryden, J. C. (1983): Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. *J. Soil Sci.* 34, 355-365.
- Scaife, A. (1979): The snappy sap test. How to monitor crop nitrogen on the farm. *Big Farm Management*. November, 17-20.
- Simmelsgaard, Sv. E. (1980): Transport af næringsstoffer til dræn og undergrund i relation til vandbalance. *Statens Planteavlsmøde 1980*, 8-13.
- Simmelsgaard, Sv. E. (1981): Kvælstofbalance i vårsæd gennem vækstsæsonen. *Nordisk Jordbrugsforskning* 63, 41-42.
- Smith, J. W. (1979): "Dairy Briefs". Extension Service, University of New Hampshire.
- Smith, M. S. & Tiedje, J. M. (1979): The effect of roots on soil denitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 951-955.
- Stokholm, E. (1979): Grøngødningens indflydelse på udbytte og jordstruktur. *Tidskr. Planteavl* 83, 543-549.
- Sørensen, L. H. (1973): Om humus. *Ugeskr. f. Agronomer* 118, 887-890.
- Vinther, F. P. (1982): Nitrogenase activity (acetylene reduction) during the growth cycle of spring barley. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 145, 356-362.
- Vlassak, K.; Paul, E. A. & Harris, R. E. (1973): Assessment of biological nitrogen fixation in grassland and associated sites. *Plant and Soil* 38, 637-649.
- Wetselaar, R. & Farquhar, G. D. (1980): Nitrogen losses from tops of plants. *Advances in Agronomy* 33, 263-299.

7. Stikord

Afstrømning	60, 94, 95, 101, 107, 109, 111, 113
- jordtyper	107
- kvælstofudvaskning	98-101
Aminosyrer	6, 12, 43, 44
Ammonifikation	12, 15
Ammonium, adsorberet	11, 12
- fikseret	11
Ammoniumgødninger, kalkbehov	36
Ammoniumkoncentration, jordvand	100
Biologisk kvælstofbinding	26
Bælgplanter	6, 8, 27
- eftervirkning	28
C/N-forhold	14, 16, 17
Denitrifikation	17, 18, 99, 108
- husdyrgødning	19
- jordtype	21, 102
- kvælstoftab	22-24, 116, 118, 119
- iltspænding	19, 21, 22
- organisk stof	18-20
- plantevækst	19, 20
- temperatur	23
Drænvandsafstrømning	101, 107, 111
Efterafgrøde	76
- kvælstofudvaskning	79, 80, 122
- planteart	76, 77
- såning efter høst	77
- udbytte	77
- udlæg i korn	76

Flydende ammoniak, omsætning i jorden	35
- nedvaskning	67
Fordampning	107, 113
Grundvand	25, 107, 108
Grundvandskvalitet	108
Gødning, kvælstof	38
- omsætning i jorden	35
- pH	36-37
Halmnedmuldning	71, 76
- udbytte	71-73
- kvælstofudvaskning	73-76, 122
Humus	8-11, 119
Husdyrgødning, belastning af jorden	55, 56
- byg	48, 49
- eftervirkning	46, 47
- græs, kløvergræs	53, 54
- kartofler	51
- kvælstofudnyttelse	46
- majs	51, 52
- udbringningsmåde	49, 50
- virkningsgrad	47-49, 50
- vårraps	52
Hydraulisk ledningsevne	103, 107
Hydrodynamisk dispersion	96, 99, 112
Jordbearbejdning	82
- alternative metoder	83, 84
- denitrifikation	88
- harvning	83
- kvælstofgødskning	82, 83
- kvælstofmineralisering	82
- kvælstofudnyttelse	82, 83

Jordbearbejdning, kvælstofudvaskning	85, 88, 123
- pløjning	82
Jordpakning	85
Jordprofiler	24, 25
Jordtyper	8
Jordvand	73, 74, 96
Kalkammonsalpeter, nedvaskning	67
Knoldbakterier	6, 27
Koncentrationsudjævning, nitrat	96, 99, 112
Kvælstof i atmosfæren	8
- i jorden	8, 11, 12, 116
- i jorden, kvælstofgødsning	9, 10, 116
- i jorden, sædskifte	10
- i nedbør	43, 114, 115, 118
- i planter	6
- plantekvalitet	43-45
Kvælstofbalance, landbrugsarealer	56, 118, 120
- naturarealer	119, 120
Kvælstofbehov, afgrøder	38, 42
Kvælstofbinding, biologisk	26
- ikke-symbiotisk	26, 27, 115, 119
- symbiotisk	27, 28, 115, 119
Kvælstofforbrug, gødning	29-32, 115
- handelsgødning	29-31
- husdyrgødning	29-31
Kvælstoffraktioner i jorden	11
Kvælstofgødsning, eftergødsning	66, 67, 69
- kvælstofnedvaskning	66-69
- køreskader	66
- samlet/delt	62-66
- styret	69, 70
- udbytte	61, 62
- vandingsvand	70
kvælstofimmobilisering	14, 16

Kvælstofindhold, handelsgødninger	34
- husdyrgødninger	32, 33
- plantearter	43, 44
Kvælstofkredsløb	7
- landbrugsarealer	114
- naturarealer	119
Kvælstofmineralisering	12-14, 16-18, 60, 61, 99, 101, 102
- vanding	95, 96
Kvælstofoptagelse	39, 44, 57, 64, 89-94, 99, 101, 102
- fra gødning	40
- i rod, stub	41
Kvælstofprognose	43
Kvælstofudnyttelse	46
Kvælstofudvaskning, afgrøder	57, 60, 101
- dræn, undergrund	60, 61, 68, 96-106, 111-113, 117, 121
- efterafgrøder	79-81, 122
- halmnedmuldning	73-76, 122
- handelsgødning	56, 57
- husdyrgødning	56, 57
- jordbearbejdning	85, 123
- jordtype	102
- kvælstoftilførsel	56-58, 60-62, 121, 122
- vanding	101
Markkapacitet	98, 102, 107
Massestrømning	96
Nedbør, kvælstofindhold	43, 115
- kvælstofudvaskning	68
Nettonedbør	98, 99, 107
Nitrat i jorden	11, 12, 16
- i planter	6, 45
- i vandløb	111, 113
Nitratdiffusion	96

Nitratkoncentration, drænvand, jordvand	60, 73, 74, 79, 96-100, 108, 111-113
- grundvand	108-110
- jorddybde	99
- jordtype	99
- årstid	99
- vandløb	113
Nitratreduktion	24, 25, 99, 108
Nitrifikation	15, 99
- hæmning	123
Nitrit	6, 11, 45
 Overskudsnedbør	 107
 Planteanalyser	 69
Plantekvalitet	43
Porer, porerumfang, jord	85, 96, 102
 Regnorme	 12
Råproteiner, afgrøder	44
 Vandbevægelse i jord	 84, 96, 98
Vanding	89, 101
- afstrømning	94, 95, 101
- kvælstofgødsning og -udnyttelse	89-94
- kvælstofmineralisering	95, 96
- kvælstofoptagelse	89-94, 101
Vandløb	111, 113
Virkningsgrad, husdyrgødning	47-49, 53, 54

8. Forfatteradresser

Søren Christensen	Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby
Finn Eiland	Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby
Anders Gregersen	Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev
Jørgen Hansen	Statens Forsøgsstation, Siltoftvej 2, 6280 Højer
Aage Henriksen	Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby
Viggo Kjellerup	Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejle
P. Søndergaard Klausen	Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejle
A. Dam Kofoed	Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejle
Arne Kyllingsbæk	Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby
K. E. Larsen	Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejle
Anne-Margrethe Lind	Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby
E. Frimodt Pedersen	Statens Forsøgsstation, Siltoftvej 2, 6280 Højer
Karl J. Rasmussen	Statens Forsøgsstation, Siltoftvej 2, 6280 Højer
Per Schjøning	Statens Forsøgsstation, Siltoftvej 2, 6280 Højer

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 Sortsafprøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 62 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
Statens Forsøgsstation, Ødum, 8370 Hadsten	(06) 98 92 44
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 05
Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Statens Planteavls-Laboratorium, Pedersholm, 7100 Vejle	(05) 82 79 33

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årlev	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årlev	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årlev	(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 Plantepestologi, 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