



Statens
Planteavlsforsøg

Beretning nr. S 1853

Statens
Planteværnscenter
Lottenbergvej 2
2800 Lyngby, 02-87 25 10

Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab på sandjord

Kvælstofgødskningens og dyrkningssystemets indflydelse
på kvælstofudnyttelsen og kvælstoftabet ved planteproduktion
på sandjord

Arne Kyllingsbæk
Statens Planteavls-Laboratorium
Lyngby

Svend E. Simmelsgaard
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1986



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1853

Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab på sandjord

Kvælstofgødsningens og dyrkningssystemets indflydelse
på kvælstofudnyttelsen og kvælstoftabet ved planteproduktion
på sandjord

Arne Kyllingsbæk
Statens Planteavlsv-Laboratorium
Lyngby

Svend E. Simmelsgaard
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1986

Forord

Landbrugets og samfundets interesse for kvælstofgødsningens miljøeffekt har resulteret i en række udredningsarbejder. Fra Statens Planteavlsforsøg foreligger bl.a. beretning nr. S1669 "Kvælstof og planteproduktion" og beretning S1809 "Husdyrgødning og dens anvendelse".

Sandjordenes dyrkningsegenskaber og ringe vandholdende evne betyder, at kvælstofudnyttelse og kvælstoftab varierer meget.

Nærværende publikation giver en samlet oversigt og vurdering af kvælstofudnyttelse og kvælstofomsætning på danske sandjorde. Til vurdering er indsamlet de sidste 10-15 års forsøgsresultater, der indeholder oplysninger om kvælstoftilførsel og kvælstofoptagelse. Der er alene medtaget resultater fra Statens Planteavlsforsøg og kun fra forsøgsarealer med sandjorde JB1-4. Forsøg med husdyrgødning er udeladt.

Ved indsamlingen er ydet bidrag fra samtlige forsøgsstationer under Landbrugscentret. Talmaterialet er indsamlet og bearbejdet af cand. agro. Sv. E. Simmelsgaard, Højer Forsøgsstation. Redigering og koordinering er foretaget af lic. agro. Arne Kyllingsbæk, Statens Planteavls-Laboratorium. Cand. agro. Jørgen Djurhuus, Højer Forsøgsstation, medvirkede ved bearbejdning og vurdering af talmaterialet. I en projektgruppe indgik desuden cand. agro. Anders Gregersent, Jydevad Forsøgsstation, cand. agro. Viggo Kjellerup, Askov Forsøgsstation, og forstander Lorens Hansen, Højer Forsøgsstation, formand. Renskrivning og opstilling af manuskript er foretaget af Annelise Wagner, Højer Forsøgsstation.

Højer Forsøgsstation i november 1986

Lorens Hansen

<u>Indholdsfortegnelse</u>	<u>side</u>
1. Indledning. A. Kyllingsbæk	6
2. Sandjorde som dyrkningsmedium. L. Hansen	7
3. Kvælstofomsætning i rodzonen. A. Kyllingsbæk	10
3.1. Kvælstofmineralisering og kvælstofimmobilisering	10
3.2. Plantetilgængeligt kvælstof i jorden om foråret	11
3.3. Kvælstofmineralisering i vækstperioden	13
4. Kvælstofudnyttelse i forskellige afgrøder. S. E. Simmelsgaard	15
4.1. Kvælstofoptagelse i planter	15
4.2. Datagrundlag	16
4.3. Vandforsyning og N-udnyttelse, relativ fordampning	18
4.4. Statistisk metode	19
4.5. Tørstofudbytte og kvælstofoptagelse i forskellige afgrøder	22
4.5.1. Kornarter	23
4.5.2. Raps og ærter	32
4.5.3. Græs, kløvergræs og helsød	33
4.5.4. Kartoffler, roer og majs	36
4.5.5. Diskussion og sammenligning af afgrøder	39
4.6. Tørstofudbytte og kvælstofoptagelse i korn ved delt kvælstofgødsning. A. Gregersent	42
5. Kvælstoftab fra rodzonen. A. Kyllingsbæk	48
5.1. Denitrifikation	48
5.2. Kvælstofudvaskning	49
5.2.1. Jordtype og afstrømning	54
5.2.2. Sædkifte og afgrøder	55
5.2.3. Kvælstoftilførsel og gødningstype	57
5.2.4. Halmnedmuldning	60
5.2.5. Efterafgrøder	63
5.2.6. Jordbearbejdning	65

	<u>side</u>
6. Kvælstofbalancer. S. E. Simmelsgaard	67
7. Muligheder for at forbedre udnyttelsen og mindske tabet af kvælstof fra rodzonen. A. Kyllingsbæk	73
8. Sammendrag. A. Kyllingsbæk	77
9. Litteratur	81
 Appendiks A. S. E. Simmelsgaard	 85
Appendiks B. S. E. Simmelsgaard	88
Appendiks C. S. E. Simmelsgaard	90

1. Indledning

Ændrede driftsformer i landbruget som følge af rationalisering har medført, at den tidligere anvendte vekseldrift, hvor husdyrhold og afgrødevalg var afpasset efter hinanden, nu er afløst af mere specialiserede driftsformer. I de specialiserede driftsformer er hovedvægten som regel enten lagt på et stort husdyrhold eller på ensidig plantedyrkning baseret hovedsagelig på dyrkning af korn. I mange tilfælde er sidstnævnte driftsform kombineret med et større eller mindre svinehold.

Over den samme tidsperiode med omlægning af driften i landbruget er der konstateret en stigning i nitratinholdet (NO_3^-) i grundvandet og en øget eutrofiering af vandløb og de kystnære vandområder. Fra flere sider tillægges dette hovedsagelig landbrugets ændrede driftsformer, og at forbruget af kvælstofgødning (N) gennem de seneste år er steget betydeligt. For at klarlægge problemernes omfang og årsag er der gennem de senere år udført en række undersøgelser til belysning af bl.a. gødsningens og andre dyrkningsmæssige foranstaltningers betydning for tabet af næringsstoffer fra rodzonen.

Resultaterne fra disse undersøgelser viser, at problemerne især er til stede, hvor driften er lagt an på et i forhold til jordtilliggende stort husdyrhold, hvorved det kan være vanskeligt at få den store mængde husdyrgødning udnyttet på bedste måde. Endvidere sker der en udvaskning af kvælstof fra arealer, der ligger ubevokset hen fra høst til næste forår. Dette skyldes, at den mængde organisk kvælstof, der mineraliseres om efteråret, udvaskes med overskudsnedbøren. Kvælstoftab på denne måde forekommer således især, hvor driftsformen er lagt an på dyrkning af vårsædsafgrøder.

Kvælstofudvaskningen påvirkes af mange faktorer - både klimatiske, biologiske, jordbundskemiske og jordbundsfysiske samt af forskellige dyrkningsmæssige foranstaltninger. For at belyse forholdene på sandjorde er der - på basis af en statistisk bearbejdning af resultater fra forsøg udført ved Statens Planteavl-forsøg - i det følgende foretaget en vurdering af kvælstofudnyttelsen for forskellige afgrøder tilført kvælstof i form af handelsgødning.

I tilknytning hertil er der givet en omtale af sandjorde som dyrkningsmedium samt kvælstofomsætningen i og kvælstoftabet fra rodzonen. Endvidere er der opstillet kvælstofbalancer ved dyrkning af forskellige afgrøder samt foretaget en vurdering af muligheder for ved hjælp af dyrkningsmæssige foranstaltninger at påvirke kvælstofkredsløbet og derigennem mindske tabet af kvælstof fra rodzonen og øge udnyttelsen.

2. Sandjorde som dyrkningsmedium

Knap 1,7 mio. ha (60 %) af Danmarks dyrkede jorde er sandjorde. Sandjorde er af forskellig oprindelse og type. De omfatter smeltevandssand i de vestjyske hedesletter, hævet havbund i store dele af Vendsyssel samt morænesandjord på bakkeøerne i Vestjylland og morænesandjorde i Himmerland, Midtvestsyssel og stedvis på Øerne. Endvidere forekommer sandjorde som flyvesand og strandenge.

Ved den danske jordklassificering er foretaget en opdeling i 12 jordtyper (JB1-JB12). Deraf betegnes JB1-4 som sandjorde, tabel 1.

Tabel 1. Landbrugsarealer med sandjord (efter Arealdatakontoret, pers. medd)
=====

JB1	grovsandet jord	660.000 ha
JB2	finsandet jord	270.000 ha
JB3	grov lerblandet sandjord	780.000 ha
JB4	fin lerblandet sandjord	

Dyrkede sandjorde indeholder 2-3 % organisk stof i muldlaget, medens indholdet i undergrunden er lavere. Indholdet af kvælstof, tabel 2, udgør 2,0-2,5 t pr. ha i muldlaget (0-20 cm) på grovsandede jorde og 2,5-3,5 t på lerblandede sandjorde. For 100 cm dybde er indholdet 5-7 t kvælstof pr. ha.

Tabel 2. Det gennemsnitlige totale kvælstofindhold i forskellige jordtyper og
=====
-dybder (efter Henriksen, 21)

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	2275	5600
Finsandet jord	2	9		0,104	0,053	0,026	2600	6200
Lerbl. sandjord	3-4	9		0,129	0,068	0,031	3225	7700

Den organiske pulje af kvælstof nedbrydes ved mineralisering, se afsnit 3.1. (s. 10). I sandjorde er mineraliseringsbetingelserne normalt gode. Luftskifteforholdene er gode, og temperaturen høj. Fugtighedsforholdene er normalt gode - undtagen i tørkeperioder om sommeren. Den organiske pulje af kvælstof får hvert år et tilskud fra efterladte rodrester og afgrøderesster samt evt. også ved tilførsel af husdyrgødning. Balance mellem tilførsel og nedbrydning bestemmes af afgrødevalg og dyrkningsforanstaltninger - herunder gødsning, vanding og jordbearbejdning.

Planteproduktionen på sandjorde er navnlig bestemt af vandforsyningen og af gødskningen. Sandjorde har et stort antal grovporer, der sørger for hurtig afdræning af overskydende vand og et godt luftskifte for planterødder og aerobe biologiske processer i jorden.

Sandjorde har en ringe vandholdende evne. Den plantetilgængelige vandmængde er 0,8-1,2 mm pr. cm jorddybde. Den effektive roddybde er ringe - specielt på grovsandet jord med undergrund af grovsand.

Rodzonekapacitet er den vandmængde, der ved markkapacitet er til rådighed for planterne. Rodzonekapaciteten er bestemt af jordtype og roddybde.

Rodzonekapaciteten er meget lav for de grovsandede jorde. En stor planteproduktion på disse jorde er kun mulig i år med stor og rigtig fordelt nedbør eller ved vanding. For de lerblandede sandjorde er rodzonekapaciteten væsentligt større og nærmer sig lerjordenes med 150-200 mm.

Vandindholdet ved markkapacitet viser samtidig, hvor stor en overskudsnedbør der skal til for at forskyde hele vandmængden ud af rodzonen.

På de grove sandjorde vil en overskudsnedbør på 75-90 mm gennemvaske hele rodzonen, og de opløste næringsstoffer, f.eks. nitratkvælstof, vil være tabt for planteproduktionen. På de lerblandede sandjorde skal der være en overskudsnedbør på 170-225 mm, før hele rodzonen er gennemvasket.

Tab af kvælstof kan også forekomme ved denitrifikation, se afsnit 5.1. (s. 48). Denitrifikation af nitrat forudsætter anaerobe forhold i jorden eller i dele af den. Betingelserne for denitrifikation i sandjorde er ringe; kun i korte perioder med vandmættet jord er luftskiftet tilstrækkelig lavt til, at denitrifikation er mulig.

Statens Planteavlsforsøg har 5 faste forsøgsstationer på sandjord. Forsøgsarbejdet på Foulumgård er påbegyndt omkring 1982. Indtil 1978 er gennemført forsøg på sandjord ved Studsgård. Jordtype, kvælstofindhold og tekstur fremgår af tabel 3, hvor der tillige er vist data for et forsøgsareal ved Agervig.

Tabel 3. Jordklassificering af "sandjordsstationer", kvælstofindhold og tekstur i 0-25 cm dybde

		JB nr.	kg N/ha		Vægt %				
			Dybde, cm		Hu- mus	Ler	Silt	Fin- sand	Grov- sand
			0-20	0-100					
Jyndeved	grov sand	1	2870	7500	2,3	3	4	19	72
Lundgård	grov sand	1	2820	6700	2,2	4	4	24	66
Tylstrup	fin sand	2	3180	8000	2,6	4	6	76	12
Studsgård	grov lerbl. sand	3	3410	6500	3,2	5	6	43	43
Borris	fin lerbl. sand	4	3660	9100	2,7	5	8	51	34
Foulumgård	fin lerbl. sand	4	3070	8700	3,0	7	10	46	34
Agervig	fin lerbl. sand	4	5060	7600	6,5	5	5	44	39

Ved vandbalanceberegninger anvendes roddybde og rodzonekapacitet, som er anført i tabel 4.

Tabel 4. Roddybde, vandindhold ved markkapacitet og rodzonekapacitet for nogle sandjorde

	Roddybde cm	Vandindhold mm	Rodzonekapacitet mm
Jyndeved	50	90	60
Lundgård	50	75	50
Studsgård	50	90	60
Tylstrup	75	190	140
Borris	100	170	125
Foulumgård	100	210	150
Agervig	60*	150	110

* Den ringe roddybde skyldes stor jordtæthed i 60-90 cm dybde.

3. Kvælstofomsætning i rodzonen

3.1. Kvælstofmineralisering og kvælstofimmobilisering

Sandjorde (JB1-4) indeholder som omtalt i afsnit 2 (s. 7) fra 2-3 t N/ha i plø-jelaget. Kun en lille del findes som uorganisk kvælstof: ca. 5 %. Langt den største del, ca. 95 %, er til stede som organisk bundet kvælstof. Organisk bundet kvælstof omfatter jordens mikroflora og -fauna samt planterester og andet dødt organisk stof på forskellige nedbrydningsstadier.

Jordens indhold af uorganisk kvælstof er hovedsagelig til stede som ammonium og nitrat. Størstedelen er ammonium, der er fikseret i jordens mineralske bestanddele. Mængden af ombytteligt ammonium samt ammonium i opløsning og nitrat varierer og udgør sjældent mere end ca. 1 % af jordens kvælstofindhold. Kun denne del er umiddelbart tilgængelig for planterne. Det organisk bundne kvælstof skal først nedbrydes til uorganisk kvælstof - mineraliseres - før det kan udnyttes af planterne.

Mineralisering af det organisk bundne kvælstof foretages af jordens mikroflora og finder sted, når jordtemperaturen er over 4-5° C. Derved omdannes det organisk bundne kvælstof til ammonium, som videre omdannes til nitrat.

Forholdet mellem kulstof (C) og kvælstof (N) - C/N-forholdet - i det organiske stof, der mineraliseres, er afgørende for, om der frigøres mere kvælstof, end mikroorganismerne igen skal bruge til opbygning af nyt organisk stof.

Er C/N-forholdet under ca. 20, som f.eks. i frisk græs, frigøres mere kvælstof, end mikrofloraen skal bruge. Den overskydende kvælstofmængde kan udnyttes af planterne. Forholdet betegnes nettomineralisering.

Er C/N-forholdet over ca. 20, som f.eks. i halm (C/N-forhold 60-80), har mikrofloraen brug for mere kvælstof, end der frigøres ved mineraliseringen. Denne kvælstofmængde henter mikrofloraen fra det tilstedeværende uorganiske kvælstof - ammonium og nitrat. Situationen betegnes som kvælstofimmobilisering.

Året igennem, når jordtemperaturen og jordfugtigheden tillader det, foregår der en løbende omsætning af kvælstof i jorden - et såkaldt kvælstofkredsløb, hvor dødt organisk stof nedbrydes og nyt organisk stof dannes (25).

Tilføres kvælstof til jorden, f.eks. kvælstof i handelsgødning, husdyrgødning, kvælstof med nedbøren, ved biologisk kvælstofbinding eller i form af planterester, indgår dette i kredsløbet på samme måde som det i forvejen tilstedeværende kvælstof.

Kvælstofmineralisering/-immobilisering er af stor interesse, da disse processer har betydning for planternes udnyttelse af kvælstof og dermed også for tabet af kvælstof fra rodzonen.

Kvælstofmineraliseringen er uønsket efter vækstperiodens afslutning. Dette skyldes risikoen for, at det dannede nitratkvælstof vaskes ud af rodzonen og går tabt for planteproduktionen. Endvidere medfører udvaskningen fare for, at grundvandet tilføres nitrat.

Kendskab til størrelsen af den kvælstofmængde, som mineraliseres, er af betydning ved gødningsplanlægningen. Almindeligvis er mineraliseringen større i lerjorde end i sandjorde som følge af større kvælstofindhold. Som hovedregel regnes med, at der årlig mineraliseres 1-2 % af jordens indhold af organisk bundet kvælstof.

Er jorden tilført husdyrgødning eller på anden måde tilført organisk materiale f.eks. ved nedpløjning af en efterafgrøde eller nedmuldning af halm, vil dette have indflydelse på mineraliseringen de følgende år, ligesom forfrugt og jordbearbejdning har betydning.

Mineraliseringshastigheden og dermed også mængden af frigjort kvælstof øges med jordtemperaturen og jordens fugtighed.

3.2. Plantetilgængeligt kvælstof i jorden om foråret

Kvælstofmængden, der er til rådighed for planterne om foråret, er ikke kun afhængig af mineraliseringen det forudgående efterår, men også af kvælstoftabet fra rodzonen som følge af denitrifikation og udvaskning, se afsnit 5.1. (s. 48) og 5.2. (s. 49). For sandjorde har udvaskningen normalt den største betydning.

Jordens indhold af plantetilgængeligt kvælstof om foråret udgør grundlaget for udarbejdelse af prognoser for optimal kvælstoftilførsel (53).

Bestemmelsen af plantetilgængeligt kvælstof foretages enten direkte ved jordbundsanalyser tidligt forår eller ved analyser om efteråret og korrigeret af resultaterne for udvaskningstab på grundlag af nedbøren i vinterhalvåret.

I tabel 5 er vist resultater fra bestemmelse af indholdet af ammonium- plus nitratkvælstof i sandjorde på otte forskellige ejendomme gennem tre år. Bestemmelserne er foretaget i marts 1980, 1981 og 1982 (53). Forfrugten var korn, og jordene har ikke de to forudgående år været dyrket med bælplanter eller tilført husdyrgødning.

Tabel 5. Indhold af tilgængeligt ammonium- og nitratkvælstof i 0-50 cm dybde
===== på forskellige ejendomme med jordtyper JB1-4, marts 1980, 1981 og
1982 (efter Østergaard et al., 53)

JB-nr.	kg N/ha			Gennem- snit
	1980	1981	1982	
1	15,7	14,0	11,5	13,7
3	17,1	16,5	23,4	19,0
4	40,1	23,7	35,2	33,0
4	46,2	17,2	19,2	27,5
4	20,4	15,8	24,6	20,3
4	28,5	20,7	28,7	26,0

Af tabellen ses, at jordens indhold af tilgængeligt kvælstof om foråret varierer fra år til år på samme ejendom, og at indholdet er noget større i den fine lerblandede sandjord (JB4) end i den grovsandede jord (JB1).

I en grovsandet jord (JB1), 0-45 cm dybde, fandt *Andersen & Jensen* (1) et kvælstofindhold (ammonium + nitrat) om foråret på 14 kg N pr. ha, og i andre undersøgelser på samme jordtype fandt *Søgaard, K. & Thomsen, P.* (pers. medd.) i 0-40 cm dybde et indhold på 12-16 og ca. 12 kg N pr. ha, se tabel 6 (s. 13).

I undersøgelser af forskellige jordes indhold af nitratkvælstof gennem to år (1956 og 1957) fandt *Poulsen & Hansen* (39) i månederne januar-marts et nitratkvælstofindhold i sandjorde på 5-20 kg N pr. ha i 0-60 cm dybde.

Ved hjælp af simuleringsmodellen NITCROS - udviklet af *Hansen & Aslyng* (19) - fandt forfatterne ved beregning, at der i en sandjord (JB1) ved Karup i gennemsnit for årene 1969-77 om foråret var en tilgængelig kvælstofmængde på 6-8 kg N pr. ha afhængig af afgrøden. Det er forudsat, at der hvert år dyrkes samme afgrøde.

Da jordens indhold af plantetilgængeligt kvælstof om foråret som nævnt er stærkt påvirket af nedbøren foregående efterår og vinter, vil kvælstofindholdet variere fra år til år. Ud fra resultater af de foreliggende undersøgelser må det skønnes, at for sandjorde af typen JB1 og JB2 vil den tilgængelige kvæl-

stofmængde være af størrelsen 10-20 kg N pr. ha og for jordtyperne JB3-4 15-40 kg N pr. ha. Hele den tilgængelige mængde kvælstof kan dog næppe udnyttes, da planterne formentlig ikke er i stand til at tømme jorden totalt for tilgængeligt kvælstof. I praksis regnes ikke med, at indholdet i grovsandede jorde af typen JB1 har nogen nævneværdig betydning for afgrødernes kvælstofforsyning.

3.3. Kvælstofmineralisering i vækstperioden

Som anført ovenfor er mineraliseringen afhængig af flere faktorer, bl.a. jordtemperatur, jordfugtighed og den foregående dyrkningsmæssige anvendelse af jorden. Det betyder, at den kvælstofmængde, som frigøres i vækstperioden, vil variere fra år til år.

I de omtalte undersøgelser af *Poulsen & Hansen* (39) fandtes en mineralisering for sandjorde på omkring 40 kg N pr. ha i 0-60 cm jorddybde i maj-juli.

I undersøgelser af kvælstofmineraliseringen i en ugødet grovsandet jord (JB1) ved Jyndevad dyrket med hhv. byg (*Søegaard, K.*) og rajgræs (*Thomsen, P.*) fandtes de i tabel 6 viste resultater.

Tabel 6. Kvælstofmineralisering i en ugødet grovsandet jord (JB1) dyrket med
===== byg eller rajgræs (K. Søegaard & P. Thomsen, pers. medd.)

Af-grøde	Måleperiode	Optaget N		N-indhold i 0-40 cm dybde		N-mineralisering kg/ha i måleperioden (a+b+d-c)
		kg/ha		(NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) kg/ha		
		top	rod	måleperiodens		
				begyndelse	afslutning	
		(a)	(b)	(c)	(d)	
Byg	21.03.-17.08.83	24,5	1,0	11,8	16,8	30,5
Byg	12.03.-20.08.84	19,3	12,1	14,3	15,9	33,0
Byg	23.03.-21.08.85	30,7	9,5	15,9	11,0	35,3
Raj-græs	10.04.-16.10.84	17,5	18,2	11,8	9,4	33,3

I langvarige gødningsforsøg anlagt 1893 ved Askov (32) er der på sandjord uden tilførsel af kvælstof i gennemsnit opnået en kvælstofoptagelse i den høstede afgrøde på 33 kg N pr. ha. Det skal bemærkes, at der i det 4-årige sædskifte indgår kløvergræs.

Det må erindres, at selv om der ikke er gødet med kvælstof i de nævnte undersøgelser, så tilføres der kvælstof fra atmosfæren af en størrelsesorden på 1,0 kg N/ha pr. måned.

Hansen & Aslyng (19) fandt ved beregning ud fra simuleringsmodellen NITCROS en årlig mineralisering for en sandjord (JB1) ved Karup på 75 kg N pr. ha i gennemsnit for årene 1968-77 ved ensidig bygdyrkning og 81 kg N pr. ha i gennemsnit ved ensidig dyrkning af bederoer. Ifølge Aslyng (5) kan det ved dyrkning af byg påregnes, at 40-45 % af mineraliseringen finder sted i byggens vækstperiode og endnu mere for bederoer, der fortsætter væksten til hen på efteråret.

I fig. 1 er vist den beregnede mineralisering for de enkelte år ved den ensidige bygdyrkning.

Ud fra et groft gennemsnit af de her refererede resultater må det skønnes, at kvælstofmineraliseringen for sandjorde i vækstperioden for byg er af en størrelsesorden på 20-30 kg N pr. ha og noget større for afgrøder som bederoer og græs, der fortsætter væksten til hen på efteråret.

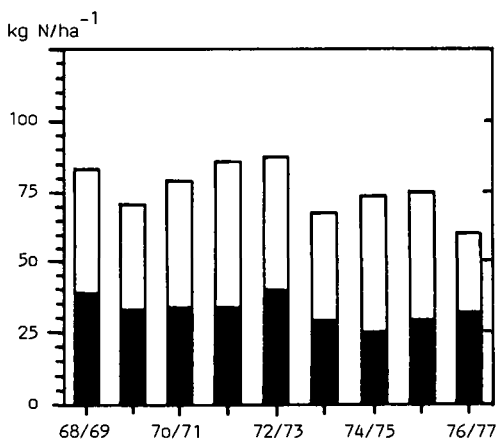


Fig. 1.

Beregnet årlig mineralisering ved dyrkning af vårbyg på sandjord (JB1) ved Karup 1968-77.

Sort : 1. april - 31. juli,

Total: 1. april - 31. marts.

Der er tilført 140 kg N/ha i handelsgødning. (efter Hansen & Aslyng, 19)

4. Kvælstofudnyttelse i forskellige afgrøder

4.1. Kvælstofoptagelse i planter

Ved kvælstofudnyttelse forstås her den mængde kvælstof, der fjernes med afgrøden i forhold til kvælstofgødskningen. Den mængde N, der totalt optages i afgrøden, vil være noget større, idet den også omfatter indholdet i de plantester - rod og stub, der efterlades på marken.

Kvælstof optages i planten som ammonium eller nitrat. I planten indgår kvælstof i en række vigtige organiske bestanddele, bl.a. proteiner. I den vegetative vækstfase er der især behov for kvælstof til opbygning af bladenes fotosyntheseapparat. I den reproduktive fase medgår en del til frugt og frødannelse. Planterne er normalt mest følsomme for kvælstofmangel i de tidlige vækstfaser, hvor bladdannelsen foregår. Dette skyldes til dels, at kvælstof er mobilt i planten og kan translokere fra ældre blade til yngre blade og fra blade til frugt og frø. Herved kan planten i nogen grad udjævne svingninger i kvælstofforsyningen, hvis blot den akkumulerede optagelse er tilstrækkelig stor.

I fig. 2 er som eksempel vist forløbet af kvælstofoptagelse og tørstofproduktion i en bygafgrøde på sandjord. Kvælstofkoncentrationen i planten falder med tiden, men afhænger meget af N-gødskning og vækstbetingelserne i øvrigt.

Ved Statens Planteavlsvforsøg er der udført og udføres til stadighed en række forsøg med forskellige afgrøder, hvor kvælstof indgår som faktor, og hvor der foreligger målinger af tørstofudbytte og kvælstofindhold.

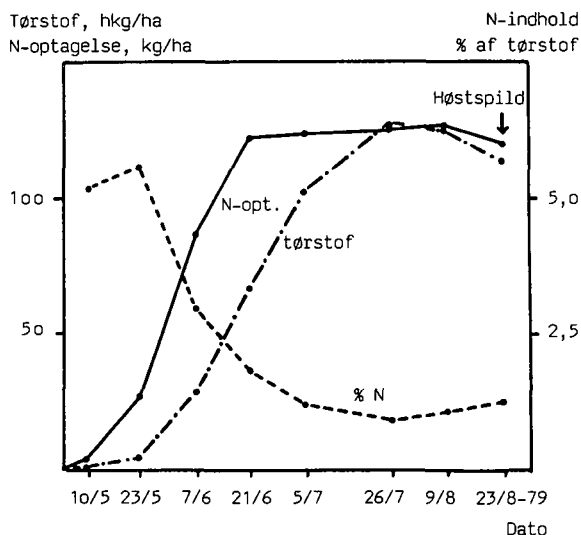


Fig. 2.

Total tørstofftilvækst (top + stub + rod), kvælstofoptagelse og N-indhold i vandet byg på grovsandet jord (JB1) ved Jyndevad i 1979.

I det følgende er vist resultater fra en statistisk bearbejdning af resultater fra forsøg udført på sandjorde. Formålet er at klarlægge, hvor stort et tørstofudbytte og en kvælstofoptagelse der i gennemsnit af en årrække kan forventes for forskellige afgrøder ved forskellig kvælstoftilførsel.

Da vandforsyningen ofte er begrænsende for udbyttets størrelse og dermed også for kvælstofoptagelsen, er beregningerne foretaget ved forskellig vandforsyning.

4.2. Datagrundlag

De anvendte forsøgsresultater er begrænset til at omfatte data fra:

1. Forsøg udført i årene 1970-84
2. Forsøg udført på sandjord og lerblandet sandjord (JB1-4)
3. Forsøg, hvor N-indholdet er målt enten i hele den høstede afgrøde eller i kerne/frø
4. Forsøg, hvor der alene er gødet med handelsgødning
5. Følgende afgrøder: a. korn, ærter og raps
b. græs, kløvergræs og helsød
c. kartofler, roer og majs

I materialet indgår også resultater fra vandingsforsøg og forsøg med delt kvælstofgødskning. For disse forsøg blev der indhentet oplysninger om tidspunkt og mængde for hhv. vanding og gødskning.

I tabel 7 er vist en oversigt over det anvendte materiale. Tabellens første kolonne angiver for hver afgrøde antallet af forsøg, der indgår i materialet. I anden kolonne er disse ganget med antallet af steder og år, forsøget har været udført, og i tredje kolonne er der igen ganget med antallet af forsøgsled i hvert enkelt forsøg. I fjerde og sidste kolonne er vist antal resultater, når der inden for hvert forsøg, sted og år tages gennemsnit af de forsøgsled, der er tilført den samme N-mængde og er vandet ens. Disse gennemsnit er anvendt i den videre statistiske bearbejdning med betegnelsen enkeltresultater. Udover det antal gentagelser, hvert enkelt forsøg er udført med, er et enkelt punkt således i mange tilfælde gennemsnit af adskillige forsøgsled.

Tabel 7. Oversigt over omfanget af de indsamlede forsøgsresultater. Sidste kolonne angiver antallet af enkeltresultater, efter at der for hvert forsøg, sted og år er taget gennemsnit af forsøgsled med samme N-tilførsel og vanding.

Afgrode	Antal			
	forsøg	sted år	forsøgs- led	sted, år, N-tilf. vanding
<u>Korn og salgsafgrøder</u>		kerne eller frø		
Byg	29	188	1911	598
Havre	3	9	100	26
Rug	8	73	290	128
Vinterbyg	9	51	359	131
Hvede	4	25	123	54
Raps	3	20	45	27
Ærter	1	15	32	15
		kerne og halm		
Byg	16	64	759	236
Havre	1	5	13	13
Rug	1	1	4	4
Vinterbyg	5	17	204	62
Hvede	1	3	72	18
<u>Grovfoder</u>				
Græs	15	76	492	241
Kløvergræs	3	19	74	34
Helsød	8	41	134	98
Kartofler	6	33	289	174
Kålroer	1	2	8	8
Foderroer	8	23	103	87
Majs	6	25	208	58

4.3. Vandforsyning og N-udnyttelse, relativ fordampning

Vandforsyningen i uvandede forsøg er ofte begrænsende for udbyttets størrelse og dermed også for N-udnyttelsen. I tørkeår - som f.eks. 1976 - var der en betydelig reduktion i udbytte og N-optagelse i uvandede forsøg, mens der i andre år - som f.eks. 1984 - ikke var væsentlig forskel mellem vandede og uvandede forsøg. For at beskrive N-udnyttelsen og vekselvirkningen mellem vand og kvælstof er det således ikke tilstrækkeligt at opdele materialet i uvandede og vandede forsøg. En opgørelse af det aktuelle vandforbrug for hvert sted, år og forsøgsled for hver afgrøde var nødvendig.

Først blev der foretaget en opgørelse af den maksimale vandmængde, der år for år var til rådighed for en afgrøde i dennes vækstperiode som: rodzonekapacitet + nedbør + vanding. Opgøres vandforsyningen i absolutte mængder, er det imidlertid vanskeligt at sammenligne afgrøderne indbyrdes på grund af store forskelle i vækstperiodernes længde og dermed også i behovet for vand fra afgrøde til afgrøde. Som mål for vandforsyningen anvendtes derfor relativ fordampning, som er forholdet mellem den aktuelle og potentielle fordampning.

Ved at anvende relativ fordampning elimineres betydningen af vækstperiodens længde - græs kontra vårbyg - samt eventuelle forskelle i fordampningsniveau fra år til år. Ligeledes elimineres betydningen af forskellig rodzonekapacitet fra jordtype til jordtype.

Relativ fordampning er for hver afgrøde beregnet som forholdet mellem summen af daglig beregnet aktuel fordampning (E_a) og summen af målt potentiel fordampning (E_p) over den periode af vækstsæsonen, hvor den aktuelle afgrøde har det største vandforbrug.

Som mål for E_p er benyttet data fra Jyndevad forsøgsstations net af fordampningsmålere. E_a beregnes som en reduktion af E_p ud fra det aktuelle vandindhold i rodzonen efter en simpel model, som er beskrevet i appendiks A (s. 85). Hovedprincippet er, at E_a antages at være lig med E_p , indtil halvdelen af rodzonekapaciteten (se tabel 4, s. 9) er brugt. Derefter antages det, at E_a aftager relativt i takt med, at den sidste halvdel af rodzonekapaciteten bruges. Er f. eks. 75 % af rodzonekapaciteten opbrugt, bliver $E_a = \frac{1}{2} E_p$.

Opgørelsen er for de enkelte afgrøder efter anvisning fra Jyndevad forsøgsstation foretaget over følgende perioder:

Vinterhvede	11.05.-25.07.	Ærter	21.05.-01.08.
Vinterrug	11.05.-25.07.	Græs/kløvergræs	01.04.-15.09.
Vinterbyg	16.04.-20.06.	Middelt. kartofler	05.06.-20.08.
Vårbyg	16.05.-20.07.	Sildige kartofler	05.06.-01.10.
Vinterraps	01.05.-10.07.	Foderroer	26.06.-15.10.
Vårraps	21.05.-20.08.	Majs	26.06.-15.09.

Der er regnet med samme periode hvert år, idet det er skønnet, at den variation i vandingssæsonens begyndelse og længde, der måtte være fra år til år, ikke vil påvirke den relative fordampning væsentligt.

4.4. Statistisk metode

En oversigt over N-optagelsen som funktion af N-gødskningen for de anvendte forsøgsresultater viste, at variationen var stor. For at finde rimelige middelværdier for N-optagelsen blev som udgangspunkt følgende to muligheder afprøvet:

1. Inddeling i forskellige N-gødskningsniveauer og derefter beregning af den gennemsnitlige N-optagelse for hvert niveau.
2. Udjævning ved hjælp af mindste kvadraters metode efter opstilling af en matematisk model.

Sidstnævnte metode blev valgt, idet den gav den bedste estimering af vekselvirkningen mellem vand og kvælstof.

Til beskrivelse af udbyttekurven og N-optagelseskurven som funktion af hhv. N-gødskning og relativ fordampning antages det, at følgende to modeller er tilstrækkeligt nøjagtige til nærværende formål:

$$Y_1 = a_1 + b_1N + c_1N^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = a_2 + b_2E + c_2E^2 \quad (2)$$

hvor Y = udbytte i hkg/ha eller N-optagelse i kg/ha,

N = N-gødskning i kg/ha,

E = relativ fordampning, E_a/E_p ,

a-c = konstanter.

For vegetative afgrøder kan sidste led i ligning (2) ofte udelades. I en undersøgelse af merudbytter ved vanding i vårbyg, græs og kartofler fandt *Greger- sen & Ølesen* (16) således kun kvadratisk afhængighed af relativ fordampning i vårbyg.

Ved kombination af ovenstående modeller og efter en række prøveberegninger blev følgende grundmodel opstillet:

$$Y = a + bN + cN^2 + dE + eNE + fNE^2. \quad (3)$$

Ved beregningerne, hvor der blev anvendt multipel regression, blev der yderligere indlagt restriktionen $e + 2f = 0$. Dette bevirker, at optagelseskoefficienten ved et givet N-niveau altid bliver størst (eller mindst) ved $E = 1$.

De beregnede konstanter - a, b, c, d, e og f - er vist i tabelform i appendiks B (s. 88).

Karakterisering af N-optagelsen

N-optagelsen kan karakteriseres på forskellig måde. I fig. 3 er som eksempel vist N-optagelse i kerne + halm som funktion af N-tilførsel for vårbyg ved $E_a/E_p = 1$, en såkaldt N-optagelseskurve. N-udnyttelsen defineres her som

$$\text{N-udnyttelse} = \frac{\text{N-optaget}}{\text{N-tilført}}. \quad (4)$$

Af figuren ses, at ved en N-tilførsel på 120 kg/ha fås en N-optagelse på 95 kg/ha, svarende til en N-udnyttelse på $95/120 = 0,79$ eller 79 %. N-udnyttelsen svarer til hældningen på en ret linie trukket gennem nulpunktet og punktet på kurven.

Kvælstofoptagelseskoefficienten angiver, hvor stor en andel der optages ved tilførsel af yderligere en enhed kvælstof. Optagelseskoefficienten er hældningen dY/dN på optagelseskurven og findes ved differentiation af denne. Ved partiel differentiation af model (3) fås følgende udtryk:

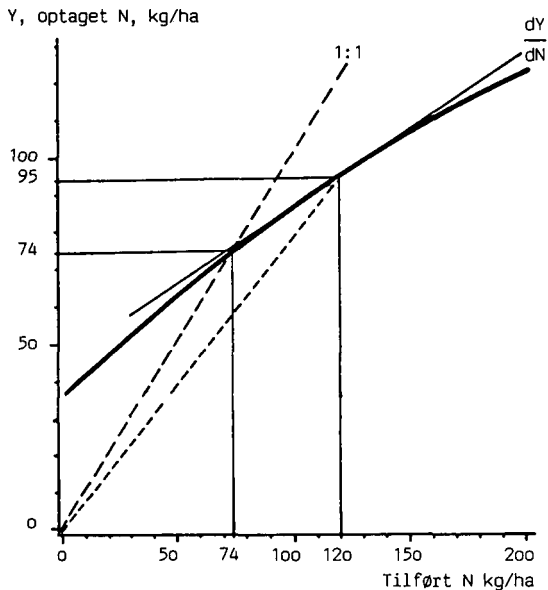
$$\text{N-optagelseskoefficient} = \frac{\partial Y}{\partial N} = b + 2cN + eE + fE^2 \quad (5)$$

hvor variable og konstanter er de samme som i model (3).

I eksemplet (fig. 3) fås en optagelseskoefficient på 0,41 ved en N-tilførsel på 120 kg/ha.

Sættes optagelseskoefficienten $\frac{\partial Y}{\partial N} = 0$, kan ved hjælp af konstanterne beregnes den N-tilførsel, der ved en given værdi af E medfører den maksimale N-optagelse.

I fig. 3 er desuden indlagt en ret linie med hældningen 1. Hvor denne skærer N-optagelseskurven, vil der være ligevægt mellem N-optagelse og N-tilførsel, hvilket svarer til en N-udnyttelse på 1 eller 100 %. Punktet kan beregnes ud fra model (3) ved at substituere Y med N og løse ligningen med hensyn til N . I eksemplet (fig. 3) er der ligevægt mellem N-tilførsel og N-optagelse ved 74 kg N/ha.



Ved N-tilførsel = 120 kg/ha:

Optaget N = 95 kg/ha

N-udnyttelse = $\frac{95}{120} = 0,79 \sim 79\%$

Optagelseskoefficient = $\frac{dY}{dN} = 0,41$

Fig. 3.

N-optagelseskurve for vårbyg ved $E_a/E_p = 1$.

Både N-udnyttelsen og N-optagelseskoefficienten vil normalt aftage med stigende N-tilførsel, men i forskellig takt.

Til praktiske formål er N-udnyttelsen at foretrække til karakterisering af N-optagelsen, idet denne kan beregnes, blot man kender N-tilførsel og N-optagelse i et punkt. De øvrige udtryk forudsætter, at man kender optagelseskurvens forløb, men giver også en bedre information om årsag og virkning.

Diskussion af modellerne

Formålet med opstillingen af ovenstående statistiske modeller er at foretage en gennemsnitlig udjævning af N-optagelsen og udbyttet som funktion af N-tilførselen og relativ fordampning. Udover vand- og N-tilførsel er N-optagelse og udbytte påvirket af en lang række andre faktorer - bl.a. forskelle i jordbundsforhold, forfrugt, årsvariation og angreb af sygdomme og skadedyr. Dette giver sig udslag i en større eller mindre restvariation ved modelberegningen. De i det følgende beregnede værdier af udbytte og N-optagelse for hver afgrøde må således betragtes som det gennemsnit, der kan forventes med de aktuelle sorter over en længere årrække på de pågældende jordtyper.

Det må derfor understreges, at de kurver og tabeller, der er beregnet ved hjælp af modellerne, er gennemsnitsbetragtninger og som sådanne ikke er velegnede til at fastlægge N-gødsningen for den enkelte mark og det enkelte år.

4.5. Tørstofudbytte og kvælstofoptagelse i forskellige afgrøder

For hver afgrøde er der med modellerne ved anvendelse af multipel regression beregnet tørstofudbytte og N-optagelse som funktion af N-tilførsel.

Resultaterne af beregningerne er præsenteret i appendiks B og C (s. 88 og 90). I tabel B1 og B2 (s. 88 og 89) er de estimerede konstanter til modellerne vist. I figurerne C1 - C23 (s. 91-113) er vist de beregnede udbytte- og N-optagelseskurver.

I de præsenterede figurer er såvel udbytte som N-optagelse beregnet for tre niveauer af relativ fordampning - hhv. 0,5, 0,75 og 1,0. I figurerne er anført kvadratet på korrelationskoefficienten (r^2), der angiver, hvor stor en andel af den totale variation i Y-værdierne (udbyttet eller N-optagelsen) der forklares med modellen. Desuden er restvariationen anført - dels i absolutte værdier (S), dels som variationskoefficient (C.V. %).

Som følge af forskelligt datagrundlag og forskellig N-virkning fra afgrøde til afgrøde har samme model ikke kunnet anvendes til alle afgrøder.

Model (3) (s. 20) er anvendt til udjævning af udbytter og N-optagelse i vinterrug, vinterbyg, vårbyg, græs, kartofler og majs.

I havre og roer har variationen i den relative fordampning i det indsamlede materiale været for lille til at beskrive vekselvirkningen mellem vand og kvælstof. For disse afgrøder er model (1) (s. 19) anvendt.

I hvede og helsæd kunne sammenhængen mellem N-optagelse og N-gødsning beskrives ved en ret linie - for hvede dog kun, når den relative fordampning var større end 0,88.

I ærter, hvor der ikke var gødet med kvælstof, blev model (2) (s. 19) anvendt til at beskrive N-optagelsen som funktion af relativ fordampning. I raps var variationen for stor til, at der kunne findes nogen sammenhæng mellem hhv. frøudbytte og N-gødsning samt N-optagelse i frø og N-gødsning.

I kløvergræs har sammenhængen mellem N-optagelsen og N-gødsningen et sådant forløb, at ingen af modellerne har kunnet anvendes.

I det følgende gennemgås for hver afgrøde - ved hjælp af tabeller - resultatet af modelberegningerne.

4.5.1. Kornarter

Halm

I tabel 7 (s. 17) er anført, i hvor mange forsøg der er foretaget bestemmelse af både halm og kerne. Kun for vårbyg er antallet af forsøg tilstrækkelig stort til at foretage modelberegning på kerne og halm sammenlagt.

For de forsøg, hvor halmudbyttet er målt, er sammenhængen mellem N-optagelsen i halm og kerne for hver art beregnet ved lineær regression. Beregningerne viste, at N-optagelsen i halmen - undtagen for vinterhvede - med tilnærmelse kan udtrykkes som en fast procentandel af N-mængden optaget i kernen (tab. 8). I hvedehalm var N-optagelsen i gennemsnit af et enkelt forsøg, hvor der var målt halm, 35 kg/ha.

Usikkerheden ved at beregne N-optagelsen i halmen ud fra N-optagelsen i kernen er 7-9 kg N/ha, som vist i tabel 8.

Tabel 8. N-optagelse i halm som gennemsnit og som % af N-optagelse i kerne for ===== forsøg, hvor halmudbyttet er målt. S angiver restvariationen efter beregning af N-optagelse i halm ud fra optagelsen i kernen.			
Afgrøde	N-optagelse i halm, gns. kg/ha	% af N-optagelse i kerne, gns.	S kg/ha
Vinterhvede	35	-	8*
Vinterrug	22	48	7
Vinterbyg	19	30	9
Vårbyg	18	30	8
Havre	17	36	9
* For hvede fås den mindste variation ved at regne med konstant N-optagelse i halm.			

Vinterhvede

For vinterhvede er der resultater fra 4 forsøg med i alt 54 forsøgssteder, -år og -led med forskellig N-gødskning eller vanding (enkeltresultater). For disse har N-gødskningen været 60-220 kg N/ha. Der foreligger kun resultater fra et enkelt egentligt vandingsforsøg i vinterhvede.

Tørke har påvirket såvel udbyttet som N-optagelsen kraftigt, men påvirkningen har været meget forskellig og afhænger antagelig af vækstfasen. På grund af den ret varierende afhængighed af relativ fordampning har det ikke været muligt at foretage modelberegninger for vinterhvede. Forudsætningen for at dyrke hvede med godt resultat på sandjord er, at der er mulighed for vanding. Som en konsekvens heraf er der kun medtaget resultater fra forsøgsled, hvor den relative fordampning har været større end 0,88. Disse er vist i figurerne C1 og C2 (s. 91 og 92).

Den bedste udjævning af de foreliggende resultater af såvel udbytte som N-optagelse ved stigende N-gødskning og ved Ea/Ep nær 1 fås med en ret linie, som vist i figurerne. I tabel 9 er beregnet nogle værdier for udbytte og N-optagelse i kernen fra de udjævnede kurver. Kurven for N-optagelse som funktion af N-gødskning har en hældning svarende til en optagelseskoefficient på 0,62. Sættes N-optagelsen i halmen - som anført i tabel 8 (s. 24) - til 35 kg/ha, fås ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel ved en N-tilførsel på 144 kg/ha. Med samme N-indhold i halmen fås ved en N-tilførsel på 160 kg/ha en N-udnyttelse på 96 % af tilført kvælstof.

Selv om de rette linier i yderpunkterne må tages med et vist forbehold, viser tallene, at en velvandet og sund hvedeafgrøde kan udnytte endog store N-mængder.

Tabel 9. Gennemsnitligt kerneudbytte og N-optagelse i kerne i vinterhvede ved
===== stigende N-gødskning og Ea/Ep > 0,88.

N-tilførsel kg/ha	Kerneudbytte 85 % tørstof hkg/ha	N-optagelse i kerne kg/ha
80	52	69
120	61	94
160	69	119
200	77	143

Vinterrug

Vinterrug omfatter resultater fra 8 forsøg med i alt 128 enkeltresultater. N-tilførselen til forsøgene har været 0-225 kg/ha, og den beregnede Ea/Ep var 0,49-1.

Udbytte og N-optagelse i kerne som funktion af N-tilførsel er vist i figurerne C3 og C4 (s. 93 og 94). Resultaterne er beregnet med model (3) (s. 20).

I tabel 10 er for tre niveauer af Ea/Ep vist nogle beregnede værdier af kerneudbytte og N-optagelse i kernen. Tallene viser, at de højeste udbytter i gennemsnit er opnået ved en N-gødsning på ca. 120 kg/ha, mens N-optagelsen har maksimum ved ca. 160 kg N/ha.

Tabel 10. Gennemsnitligt kerneudbytte og N-optagelse i kerne i rug ved stigende ===== N-gødsning og tre niveauer af relativ fordampning.							
N-tilførsel kg/ha	Ea/Ep:	Kerneudbytte 85 % tørstof hkg/ha			N-optagelse i kerne kg/ha		
		0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0		7	15	24	11	20	28
40		22	30	38	30	39	47
80		31	39	47	44	53	62
120		35	43	51	54	63	72
160		34	41	49	58	68	77
200		27	34	42	58	68	77

Antages, som vist i tabel 8 (s. 24), at indholdet i halmen udgør 48 % af N-indholdet i kernen, fås, at N-bortførselen er lig med N-tilførselen ved hhv. 52, 78 og 100 kg N/ha for de tre niveauer af Ea/Ep. Under samme antagelse for N-indhold i halmen fås ved en N-tilførsel på 120 kg/ha en N-udnyttelse på hhv. 65, 78 og 89 % af tilført kvælstof.

Vinterbyg

Der indgår resultater fra 8 forsøg med vinterbyg med i alt 131 enkeltresultater. Forsøgene er udført i årene 1977-84 på Jydevad, Lundgård og Tylstrup forsøgsstationer. N-gødskningen til forsøgene har været 0-200 kg/ha, og Ea/Ep var 0,62-1.

Kerneudbytte og N-optagelse i kerne som funktion af N-tilførsel er vist i fig. C5 og C6 (s. 95 og 96). Beregnede gennemsnitsværdier for kerneudbytte og N-optagelse i kerne ved stigende N-tilførsel er vist i tabel 11. Kerneudbytte ved Ea/Ep = 0,5 er ikke medtaget, idet modellen ikke kunne beskrive disse med tilstrækkelig sikkerhed for vinterbyg.

Tabel 11. Gennemsnitligt kerneudbytte og N-optagelse i kerne i vinterbyg ved
===== stigende N-gødskning og tre niveauer af relativ fordampning.

N-tilførsel kg/ha	Ea/Ep:	Kerneudbytte 85 % tørstof hkg/ha		N-optagelse i kerne kg/ha		
		0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0		8	15	8	9	10
40		21	30	16	31	36
80		31	42	22	50	59
120		37	51	25	66	80
160		41	56	25	80	99
200		41	59	23	91	114

Det fremgår af såvel figurerne som af tabellen, at der i vinterbyg er stor vekselvirkning mellem vand og kvælstof. Ved lav relativ fordampning er der næsten ingen virkning af stigende N-tilførsel - hverken på udbyttet eller N-optagelsen, mens der ved potentiel fordampning er virkning af N-tilførsel helt op til 200 kg/ha.

Antages, som vist i tabel 8, at N-indholdet i halmen udgør 30 % af N-indholdet i kernen, kan det beregnes, at der er ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel ved 15, 40 og 70 kg N/ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1. Dette er noget lavere end for vinterrug og meget lavere end for vinterhvede. En årsag til det lave ligevægtsniveau kan være, at vinterbyggs vækstperiode ligger så tidligt på sæsonen, at den ikke får udnyttet den N-mængde, jorden stiller til rådighed ved mineralisering. Dette kunne også forklare den lave optagelse, der har været ved 0 N.

Antages som ovenfor, at N-indholdet i halmen udgør 30 % af N-indholdet i kernen, fås ved en N-tilførsel på 160 kg/ha ved de 3 niveauer af Ea/Ep en N-udnyttelse på hhv. 20, 65 og 80 % af tilført kvælstof.

Vårbyg

Vårbyg er med 29 forsøg og i alt 598 enkeltresultater den afgrøde, hvor der foreligger flest forsøgsresultater fra. I ca. halvdelen af forsøgene er der tillige målt halm. Dette giver mulighed for at foretage modelberegning på N-optagelsen i såvel kerne som kerne + halm. N-tilførselen til forsøgene har været 0-240 kg/ha, og Ea/Ep 0,47-1.

Udbytte og N-optagelse i kerne og i kerne + halm som funktion af N-tilførsel ved tre niveauer af Ea/Ep er vist i figurerne C7-C9 (s. 97-99). I fig. C10 (s. 100) er vist N-optagelseskoefficienter som funktion af N-tilførsel. I tabellerne 12 og 13 er der ved forskellig N-tilførsel og samme 3 niveauer af Ea/Ep beregnet nogle gennemsnitlige værdier for udbytte og N-optagelse i kerne og i kerne + halm samt N-udnyttelse.

Det fremgår af figurer og tabeller, at der er vekselvirkning mellem vand og kvælstof. Det maksimale kerneudbytte - beregnet ud fra modellen - fås ved ca. 150 kg N pr. ha med gennemsnitlig 27, 36 og 46 hkg kerne pr. ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1. N-udnyttelsen falder med stigende N-tilførsel og stiger med relativ fordampning. Ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel med afgrøden er i gennemsnit opnået ved 22, 48 og 74 kg N pr. ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1.

Tabel 12. Gennemsnitligt kerneudbytte og N-optagelse i kerne i vårbyg ved stigende N-gødsning og tre niveauer af relativ fordampning

N-tilførsel kg/ha	Ea/Ep:	Kerneudbytte 85 % tørstof hkg/ha			N-optagelse i kerne kg/ha		
		0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0		2	14	25	14	22	30
40		13	24	35	27	37	46
80		21	31	42	36	50	59
120		25	35	46	43	59	69
160		27	36	47	47	66	77

Tabel 13. Gennemsnitlig N-optagelse i kerne og halm samt N-udnyttelse i vårbyg ved stigende N-gødsning og tre niveauer af relativ fordampning. Ea/Ep.

N-tilførsel kg/ha	Ea/Ep:	N-optagelse i kerne og halm kg/ha			N-udnyttelse % af tilført		
		0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0		13	24	35			
40		28	44	57	70	110	143
80		40	62	77	50	78	96
120		50	78	94	42	65	78
160		58	91	110	36	57	69
tilført = høstet		22	48	74	100	100	100

Havre

I havre foreligger der resultater fra 3 forsøg med i alt 26 enkeltresultater. Heriblandt er et forsøg, hvor der kun har været én parcel pr. forsøgslod. Dette forsøg er medtaget på grund af det lille antal forsøg med havre. N-tilførselen til forsøgene har været 0-200 kg/ha, og Ea/Ep 0,81-1. Da variationen i Ea/Ep var lille, har det ikke været muligt at analysere vekselvirkningen mellem vand og kvælstof i havre.

Kerneudbytte og N-optagelse i kerne som funktion af N-tilførsel beregnet med model (1) (s. 19) er vist i fig. C11 og C12 (s. 101 og 102). I tabel 14 er vist nogle beregnede gennemsnitlige værdier for udbytte og N-optagelse i kerne. Antages det, at N-indholdet i halmen udgør 36 % af N-indholdet i kernen (tab. 8), kan det ud fra modellen beregnes, at der er ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel med afgrøden ved 89 kg N pr. ha - svarende til et kerneudbytte på 39 hkg pr. ha. Ved en N-tilførsel på 120 kg/ha fås - med samme antagelse for N-indholdet i halmen - en N-udnyttelse på 82 % af tilført kvælstof.

Tabel 14. Gennemsnitligt kerneudbytte og N-optagelse i havre ved stigende N-tilførsel. Ea/Ep = 0,81-1.

N-tilførsel kg/ha	Kerneudbytte 85 % tørstof hkg/ha	N-optagelse kg/ha
0	15	22
40	28	45
80	38	62
120	43	72
160	43	75

Diskussion og sammenligning af kornarter

Ved den statistiske behandling af resultaterne er der ikke taget hensyn til forskellig forfrugtsvirkning. Dette skyldes, at oplysningerne om forfrugt i det indsamlede materiale ikke er fuldstændige. De fleste af forsøgene er udført i kornrige sædskifter, hvor forfrugten i ca. halvdelen af tilfældene har været korn, og i resten en anden afgrøde: kartofler, roer, raps etc. Samme kornafgrøde flere år i træk forekommer i nogle forsøg i vårbyg.

I tabel 15 er kerneudbytter, N-optagelse i kerne og i kerne + halm sammenlignet for fem kornarter ved stigende N-gødsning ved Ea/Ep = 1. Ved sammenligningen af kornarterne skal det bemærkes, at forsøgsresultaterne i vinterbyg og vinterhvede gennemsnitlig er af nyere dato end for de øvrige tre kornarter.

Ved en N-tilførsel på 80 kg/ha er der kun små forskelle mellem kornarterne i såvel kerneudbytte som N-optagelse. Det lidt højere udbytte og N-optagelsen i vinterhvede må tages med et vist forbehold, idet udjævningen er sket med en ret linie.

Ved N-tilførsler på 120-160 kg/ha er der stadig kun små forskelle i kvælstofoptagelsen mellem havre, vårbyg og vinterrug, mens der i gennemsnit tydeligt har været en større N-optagelse i vinterbyg og især i vinterhvede og dermed også en bedre N-udnyttelse.

Tabel 15. Sammenligning af kerneudbytter, N-optagelse i kerne og i kerne plus halm for 5 kornarter ved stigende N-gødskning ved Ea/Ep = 1.

N-tilførsel kg/ha	Afgøde				
	Havre	Vårbyg	Rug	Vinterbyg	Hvede
Kerneudbytte (85 % ts), hkg/ha					
0	15	25	24	15	
40	28	35	38	30	
80	38	42	47	42	52
120	43	46	51	51	61
160	43	47	49	56	69
200	39	44	42	59	77
Optaget N i kerne, kg/ha					
0	22	30	28	10	
40	45	46	47	36	
80	62	59	62	59	69
120	72	69	72	80	94
160	75	77	77	99	119
200	71	81	77	114	143
Optaget N i kerne plus halm, kg/ha*					
0	30	35	41	13	
40	61	57	70	47	
80	84	77	92	77	104
120	98	94	107	104	129
160	102	110	114	129	154
200	97	122	114	148	178

* N-optagelse i halm er for havre, rug, vinterbyg og hvede beregnet ud fra tabel 8 (s. 24)

I tabel 16 er kerneudbytte og N-optagelse i kerne sammenlignet for tre kornarter ved tre niveauer af Ea/Ep ved 120 kg N/ha. Det fremgår af tabellen, at vinterrug gennemsnitlig er mindst følsom og vinterbyg mest følsom overfor tørke. For alle tre arter er der gennemsnitlig en betydelig stigning i såvel udbytte som N-optagelse ved stigende Ea/Ep.

For kornarterne samlet kan konkluderes, at ved små N-tilførsler er udbytte og N-optagelse nær ens for alle arter. Ved store N-tilførsler har de arter, der har det højeste udbyttepotentiel, også den bedste N-udnyttelse. Vanding forøger såvel udbytte som N-optagelse. Inden for den enkelte art må det som følge heraf antages, at såfremt udbyttelniveauet hæves gennem forædling eller dyrkningsforanstaltninger, da hæves også den N-mængde, arten kan udnytte. Den store spredning (se figurerne) i udbytter og N-optagelse ved samme N-tilførsel antyder, at N-udnyttelsen kunne forøges betragteligt, såfremt øvrige vækstfaktorer kunne styres bedre.

Tabel 16. Sammenligning af kerneudbytte og N-optagelse i kerne og halm for tre kornarter ved 3 niveauer af relativ fordampning ved 120 kg N/ha. For vinterbyg og vinterrug er der antaget et N-indhold i halmen som vist i tabel 8 (s. 24).

Afgøde	Ea/Ep:	Kerneudbytte 85 % tørstof hkg/ha			N-optagelse i kerne og halm kg/ha			N-udnyttelse % af tilført		
		0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
Vårbyg		25	35	46	50	78	94	42	65	78
Vinterbyg		10	37	51	33	86	104	28	72	87
Vinterrug		35	43	51	80	93	107	67	78	89

4.5.2. Raps og ærter

Raps

Raps omfatter et forsøg med vinterraps og et forsøg med vårraps samt resultater fra sortsforsøg med vårraps ved Borris i årene 1972-82. Vinterraps og vårraps behandles her under ét. Sortsforsøgene er kun udført med én N-mængde, der vari-

erede lidt fra år til år. De to øvrige forsøg er vandingsforsøg med samme N-tilførsel til vandet og uvandet, men ligeledes lidt forskellig fra år til år. Som følge heraf har det ikke været muligt at foretage modelberegninger for raps.

N-optagelse i frø ved de faktiske N-tilførsler er vist i fig. C13 (s. 103). Frøudbyttet og N-optagelsen i frø har i gennemsnit været hhv. 25 hkg/ha og 87 kg/ha.

Ærter

Ærter omfatter alene resultater fra sortsforsøg ved Borris. Der er ikke tilført kvælstof til ærterne. I fig. C14 (s. 104) er N-optagelsen i frø vist som funktion af Ea/Ep. Beregnet efter model 2 (s. 19) har N-optagelsen i frø gennemsnitlig været 0, 107 og 148 kg/ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1.

4.5.3. Græs, kløvergræs og helsød

Græs

I græs indgår resultater fra 15 forsøg med i alt 241 enkeltresultater. Disse omfatter såvel forskellig antal brugsår, som forskellig antal slæt. N-tilførselen til forsøgene har været 0-650 kg N pr. ha, og Ea/Ep 0,47-1.

Resultaterne er præsenteret i fig. C15 og C16 (s. 105 og 106). I tabel 17 er tørstofudbytte, N-optagelse og N-udnyttelse beregnet ud fra model (3) (s. 20) ved forskellig N-tilførsel og tre niveauer af Ea/Ep.

Der er vekselvirkning mellem vand og kvælstof; men ved faldende Ea/Ep er der stadig en forholdsvis stor effekt af stigende N-tilførsel. Årsagen kan måske være, at den lange vækstsæson for græs i nogen grad udligner et dårligt resultat ved et slæt i de følgende slæt. Ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel beregnet ud fra modellen er i gennemsnit opnået ved 97, 157 og 203 kg N/ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1. Dette svarer til udbytter på hhv. 49, 80 og 106 hkg tørstof pr. ha.

Forsøgsresultaterne viser, at græs kan udnytte store N-mængder.

Tabel 17. Græs. Gennemsnitligt tørstofudbytte, N-optagelse og N-udnyttelse ved
===== stigende N-tilførsel og tre niveauer af relativ fordampning, Ea/Ep.

N-tilførsel	Tørstofudbytte			N-optagelse			N-udnyttelse		
kg/ha	hkg/ha			kg/ha			% af tilført		
Ea/Ep:	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0	19	33	46	37	44	52			
100	50	64	78	99	117	128	99	117	128
200	75	91	105	157	186	201	79	93	101
300	95	112	126	212	252	270	71	84	90
400	109	127	142	263	314	336	66	79	84
500	118	137	152	310	373	399	62	75	80
600	122	141	157	355	428	458	59	71	76
tilført = høstet				97	157	203	100	100	100

Kløvergræs

I materialet indgår tre forsøg med kløvergræs. Heraf er det ene forsøg sorts-afprøvning ved Borris, hvor der ikke er tilført kvælstof. I de to øvrige forsøg varierer N-tilførselen fra 0 til 536 kg/ha.

På grund af kløverens N-fiksering og det forhold, at der er vekselvirkning mellem kløverbestand og N-gødskning, har det ikke været muligt at beskrive tørstofudbytte og N-optagelse med de her anvendte modeller.

Tabel 18. Udbytte og N-optagelse i 1. års kløvergræs. Gennemsnit af hvid- og
===== rødkløvergræs 1982-83. Vandede forsøg er udført ved Jyndevad, og
uvandede forsøg er udført ved Borris (efter Hostrup, 22)

N-tilførsel kg/ha	Udbytte		N-optagelse	
	100 FE/ha		kg/ha	
	vandet	uvandet	vandet	uvandet
0	106	69	380	228
203-225	111	82	372	248
406-450	112	96	392	332

Nylig offentliggjorte resultater (22) fra det ene af de forsøg, der indgår i nærværende materiale, tyder på, at en velvandet 1. års kløvergræsmark kan fikserende endog store N-mængder (tab. 18). Resultaterne tyder på, at udbytte og N-optagelse i kløvergræs mere afhænger af de faktorer, der påvirker N-fikseringen, end af N-tilførselen op til ca. 450 kg N/ha.

Helsød

I materialet indgår resultater fra 8 forsøg med i alt 98 enkeltresultater. Disse omfatter forsøg med helsød af vårbyg, havre og vinterrug samt et enkelt forsøg med grønrug. N-tilførselen til forsøgene har været 180-600 kg/ha (bortset fra et enkelt forsøgsled og -år med 0 N), og Ea/Ep 0,72-1. I nogle af forsøgene indgår høsttidspunkt af dæksød - varierende fra før skridning til tidlig modenhed - samt antallet af efterfølgende slæt. Da dette har medført noget varierende udbytter regnet i tørstof, er udbyttet ikke medtaget her.

N-optagelse som funktion af N-tilførsel er vist i fig. C17 (s. 107). Af symbolerne på figuren ses, at Ea/Ep har betydning for N-optagelsen, men variationen i Ea/Ep er for lille til at beregne vekselvirkning mellem vand og kvælstof. En god udjævning fås - som vist på figuren - med en ret linie. Denne har en hældning svarende til en optagelseskoefficient på 0,55.

I tabel 19 er beregnet nogle gennemsnitlige værdier for N-optagelse ved forskellig N-tilførsel. Ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel fås i gennemsnit ved 106 kg N/ha.

Tabel 19. Gennemsnitlig N-optagelse og N-udnyttelse ved stigende N-tilførsel
===== til helsød. Ea/Ep = 0,72-1.

N-tilførsel kg/ha	N-optagelse kg/ha	N-udnyttelse % af tilført
0	(47)	
100	103	103
200	158	79
300	213	71
400	268	67
500	323	65
tilført = høstet	106	100

4.5.4. Kartofler, roer og majs

Kartofler

Data for kartofler omfatter resultater fra 6 forsøg, der indbefatter både spisekartofler og industrikartofler. N-tilførselen til forsøgene har været 0-300 kg/ha, og Ea/Ep 0,42-1. Resultaterne omfatter tørstof- og N-indhold i knolde. Der foreligger ingen forsøg, hvor der er målt kartoffeltop.

Tørstofudbytte og N-optagelse i knolde som funktion af N-tilførsel ved tre niveauer af Ea/Ep er vist i fig. C18 og C19 (s. 108 og 109). I tabel 20 er ved de samme niveauer af Ea/Ep beregnet nogle gennemsnitlige værdier for tørstofudbytte, N-optagelse og N-udnyttelse i knolde. Det ses af tabellen, at der kun er svag vekselvirkning mellem vand og kvælstof. Der er god virkning af stigende Ea/Ep på både tørstofudbytte og N-optagelse, men virkningen er kun svagt stigende med stigende N-tilførsel. Ligevægt mellem tilført og høstet N opnås ved 73, 103 og 129 kg N/ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1. Dette svarer til et tørstofudbytte i knolde på hhv. 64, 90 og 113 hkg/ha.

Tabel 20. Kartofler. Gennemsnitligt tørstofudbytte af knolde, N-optagelse i knolde samt N-udnyttelse ved stigende N-gødskning og tre niveauer af relativ fordampning, Ea/Ep.

N-tilførsel kg/ha	Tørstof i knolde			N optaget i knolde			N-udnyttelse		
		hkg/ha		kg/ha			% af tilført		
Ea/Ep:	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0	44	62	80	36	49	63			
50	58	78	96	62	78	92	124	156	184
100	69	89	108	84	102	116	84	102	116
150	75	97	116	102	122	137	68	81	91
200	77	100	119	116	138	154	58	69	77
tilført = høstet				73	103	129	100	100	100

Roer

Datamaterialet for roer omfatter resultater fra 1 forsøg med kålroer og 8 forsøg med foderroer med tilsammen 95 enkeltresultater. Disse er her behandlet under ét med betegnelsen roer. N-tilførselen til forsøgene har været 0-300 kg/ha, og Ea/Ep 0,45-1.

I fig. C20 og C21 (s. 110 og 111) er vist tørstofudbytte og N-optagelse i rod + top som funktion af N-tilførsel. Det ses af figurerne, at der ved samme N-tilførsel er stor variation i både tørstofudbytte og N-optagelse, der ikke kan beskrives ved forskelle i Ea/Ep, men må tilskrives andre vækstfaktorer. Som følge af den store variation har det ikke været muligt med tilstrækkelig sikkerhed at beregne indflydelsen af varierende Ea/Ep på N-optagelsen. For tørstofudbyttet er dette gjort, men beregningen er på grund af den store variation behæftet med stor usikkerhed.

I tabel 21 er der med ovennævnte forbehold beregnet nogle gennemsnitlige værdier for tørstofudbytte, N-optagelse og N-udnyttelse. Tørstofudbyttet er beregnet ved 3 niveauer af Ea/Ep, mens N-optagelsen er en udjævning af de målte værdier uden korrektion for forskellig Ea/Ep. Ligevægt mellem tilført og høstet N er i gennemsnit opnået ved 163 kg N/ha, hvilket svarer til et beregnet tørstofudbytte på 101, 125 og 132 hkg/ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1.

**Tabel 21. Foderroer. Gennemsnitligt tørstofudbytte af rod og top, N-optagelse
===== og N-udnyttelse ved stigende N-gødsning**

N-tilførsel kg/ha	Ea/Ep:	Tørstof i rod og top hkg/ha			N-optagelse kg/ha gns.	N-udnyttelse % af tilført gns.
		0,5	0,75	1,0		
0		55	54	54	67	
50		81	88	89	98	196
100		97	111	115	128	128
150		102	123	130	156	104
200		96	125	134	183	92
tilført = optaget					163	100

Majs

Majs omfatter resultater fra 6 forsøg med i alt 58 enkeltresultater. N-tilførselen til forsøgene har været 0-240 kg/ha, og Ea/Ep 0,45-1. Resultater fra 2 forsøg på Lundgård i 1980 er udeladt på grund af stærkt afvigende resultater - antagelig som følge af nitratudvaskning i maj-juni. Som for roer kan kun en del af variationen i tørstofudbytte og N-optagelse ved samme N-tilførsel tilskrives forskelle i Ea/Ep.

Tørstofudbytte og N-optagelse i kolbe + stængel som funktion af N-tilførsel er vist i fig. C22 og C23 (s. 112 og 113). I tabel 22 er vist beregnet tørstofudbytte, N-optagelse og N-udnyttelse ved forskellig N-tilførsel og tre niveauer af Ea/Ep. Virkningen af stigende N-tilførsel på såvel tørstofudbytte som N-optagelse er moderat. En medvirkende årsag hertil er - som det ses af tabellen - at N-optagelsen i de grundgødede forsøgsled er høj. Der er stor vekselvirkning mellem vand og kvælstof. Ved Ea/Ep = 0,5 er der kun lille merudbytte ved stigende N-tilførsel. Ligevægt mellem N-tilførsel og N-bortførsel opnås i gennemsnit ved 89, 125 og 148 kg N/ha ved Ea/Ep lig med hhv. 0,5, 0,75 og 1. Dette svarer til tørstofudbytter på hhv. 67, 104 og 131 hkg/ha.

Tabel 22. Majs. Gennemsnitligt tørstofudbytte af kolbe og stængel, N-optagelse
===== og N-udnyttelse ved stigende N-gødsning og tre niveauer af relativ
fordampning, Ea/Ep.

N-tilførsel kg/ha	Tørstof hkg/ha			N-optagelse kg/ha			N-udnyttelse % af tilført			
	Ea/Ep:	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
0		53	68	83	67	71	75			
50		62	85	103	80	94	101	160	188	202
100		68	99	119	91	115	126	91	115	126
150		70	109	132	102	135	149	68	90	99
200		68	115	140	111	154	171	55	77	85
tilført = høstet					89	125	148	100	100	100

4.5.5. Diskussion og sammenligning af afgrøder

I tabel 15 (s. 31) er N-optagelsen i kernen sammenlignet for forskellige kornafgrøder. I tabel 23 på næste side er N-optagelsen i kerne og halm i vårbyg sammenlignet med forskellige grovfoderafgrøder. Ved sammenligningen må det tages i betragtning, at den andel af planterne, der efterlades på marken, er lidt forskellig fra afgrøde til afgrøde. I græs som flerårig afgrøde efterlades en betragtelig N-reserve i grønsvaren. Det andet yderpunkt er roer, hvor kun en ganske lille del af rødderne efterlades. I kartofler er her kun medregnet N-indholdet i knolde. For korn og majs efterlades stub og rod.

Med disse forskelle taget i betragtning ses det af tabel 23, at ved stigende N-gødskning opnås i gennemsnit den bedste N-udnyttelse i vegetative afgrøder, og den dårligste i kornafgrøder til modenhed. Helsød har ved lave N-tilførsler en N-udnyttelse, der ligger midt mellem græs og vårbyg, men har som græs også en høj N-udnyttelse ved store N-tilførsler. I roer og majs er N-udnyttelsen nær ens. I kartofler er den lidt lavere, men det kan - som ovenfor nævnt - skyldes, at N-indholdet i toppen ikke er medregnet.

I tabel 23 er vist N-optagelse ved N-tilførsler op til 200 kg/ha for vårbyg og op til 300 kg/ha for kartofler, roer og majs. Dette er langt mere end normalt for disse afgrøder og har gennemsnitlig også medført udbyttenedgang. Det maksimale udbytte ved $Ea/Ep = 1$ opnås i gennemsnit for vårbyg ved 150 kg N/ha og for kartofler, roer og majs ved hhv. 210, 200 og 300 kg N/ha. Det ses af tabel 23, at selv om de højeste N-tilførsler har medført aftagende udbytter, fortsætter N-optagelsen med at stige. For græs og helsød stiger såvel tørstofudbytte som N-optagelsen stadig ved 600 kg N/ha.

I tabel 24 (s. 41) er vist gennemsnitlige N-optagelser, når der ikke tilføres kvælstof for forskellige afgrøder ved tre niveauer af Ea/Ep . Det ses af tabellen, at der er en tendens til, at des senere på sæsonen afgrøden afslutter væksten, des højere er N-optagelsen. Dette kan skyldes - som omtalt under vinterbyg - at sene afgrøder får en bedre udnyttelse af det mineraliserede kvælstof. Disse afgrøder vil antagelig også have den bedste udnyttelse af husdyrgødning.

På grundlag af tallene i tabel 24 og afsnit 3.1. (s. 10) er der som vist i tabel 25 (s. 41) anslået nogle værdier for N-bidrag fra mineralisering på sandjord for tre afgrødetyper. Mineraliseringsbidraget varierer - afhængigt af forfrugt, jordbundsforhold og klima - fra mark til mark og fra år til år.

Tabel 23. N-optagelse, -optagelseskoefficienter og -udnyttelse ved stigende N-tilførsel til forskellige afgrøder. Ea/Ep = 1.

N-tilførsel kg/ha	Afgrøde					
	Vårbyg*	Helsød**	Græs	Kartofler***	Roer**	Majs
N-optagelse, kg/ha						
0	35	47	52	63	67	75
50	62	75	90	92	98	101
100	86	103	128	116	128	126
150	106	130	165	137	156	149
200	122	158	201	154	183	171
300		213	270	176	231	211
400		268	336			
500		323	399			
600		378	458			
Optagelseskoefficienter						
0	0,59	0,55	0,78	0,61	0,64	0,53
50	0,51	0,55	0,76	0,53	0,61	0,51
100	0,44	0,55	0,75	0,45	0,58	0,48
150	0,36	0,55	0,73	0,37	0,55	0,45
200	0,28	0,55	0,71	0,30	0,51	0,43
300		0,55	0,68	0,14	0,45	0,37
400		0,55	0,64			
500		0,55	0,61			
600		0,55	0,57			
N-udnyttelse, % af tilført						
50	124	150	180	184	196	202
100	86	103	128	116	128	126
150	71	87	110	91	104	99
200	61	79	101	77	92	85
300		71	90	59	77	70
400		67	84			
500		65	80			
600		63	76			

* kerne + halm

** ved aktuel fordampning

*** knolde, uden top

Tabel 24. Gennemsnitlig N-optagelse uden N-tilførsel

=====

Afgroede	Afgroededel	Ea/Ep:	N-optagelse ved 0 N		
			kg/ha		
			0,5	0,75	1,0
Vinterbyg	kerne	8	9		10
Vinterhvede	kerne	-	-		20*
Vinterrug	kerne	11	20		28
Vårbyg	kerne	14	22		30
Vårbyg	kerne + halm	13	24		35
Havre	kerne		22**		22**
Græs	top	37	44		52
Helsød	top	-	47**		47**
Kartofler	knolde	36	49		63
Roer	rod + top		67**		67**
Majs	kolbe + stængel	67	71		75

* Der er ikke udført forsøg ved 0 N; tallet er fremkommet ved ekstrapolation.

** Gennemsnit af aktuelle niveauer af Ea/Ep (0,8-0,9)

Tabel 25. Anslåede kvælstofbidrag fra mine-

=====

ralisering på sandjord. Anslået
ud fra N-optagelse ved 0 N.

Afgroedetype	Mineraliseringsbidrag, kg N/ha	
	vandmangel	god vandforsyning
Vintersød	10-20	15-30
Vårsød	15-25	25-35
Grovfoder	35-50	50-75

Bælgranteafgrøder er ikke medtaget i sammenligningen, hvilket skyldes, at de få forsøg, der foreligger resultater fra, har været vanskelige at indpasse. For ærter varierer N-optagelsen uden N-tilførsel fra nær nul ved Ea/Ep = 0,5 til over 150 kg/ha ved god vandforsyning. I nyere forsøg med kløvergræs er der

i gennemsnit uden N-tilførsel målt en N-optagelse på 228 kg/ha i uvandede forsøg og 380 kg/ha i vandede forsøg.

Som anført under diskussionen af modellerne er der en stor variation i materialet. Den andel (r^2) af variationen i N-optagelsen, der har kunnet beskrives ud fra N-tilførsel og relativ fordampning, varierer fra 83 % i græs til 50 % i roer. Variationskoefficienterne for de med modellen beregnede N-optagelser varierer fra 14 % i græs til 33 % i roer og vinterrug. For udbytter er variationen endnu større (se appendiks B, s. 88).

Den store variation viser, at der er andre faktorer end vand og N-tilførsel, der påvirker såvel udbytte som N-optagelse i varierende grad. Den store variation i materialet antyder ligeledes, at N-udnyttelsen kan forbedres betydeligt for mange afgrøder, såfremt N-gødskningen kunne styres bedre.

4.6. Tørstofudbytte og kvælstofoptagelse i korn ved delt kvælstofgødskning

Vinterhvede

Der er næppe tvivl om, at jordtype og nedbørsforhold har en væsentlig indflydelse på, om merudbyttet af delt kvælstofgødskning bliver positivt eller negativt set i forhold til engangstilførsel.

En beregning på 40 forsøg i de landøkonomiske foreninger viste, at merudbyttet for deling af kvælstof er negativt korreleret med jordtype (JB-nr.), se afsnit 2, side 7. Det vil sige, at merudbyttet for deling af kvælstof falder med stigende JB-nr. - jf. fig. 4, der viser et merudbytte på 5 hkg kerne ved JB1, men negativt resultat ved JB8.

Ved deling af kvælstofmængden til vinterhvede på en let sandjord (JB1) fandt Olsen & Larsen (35) et merudbytte på 2,7-7,3 hkg kerne pr. ha. Optagelsen af kvælstof var ligeledes størst gennem hele vækstperioden, når kvælstofmængden blev delt. Men det er væsentligt at bemærke, at samme forfattere skriver: "Bliver tidsintervallet mellem en tidlig og en sen udbringning for stort, betyder det ofte, at vinterhveden bliver underforsynet med kvælstof i produktionsaktive perioder. Dette medfører ofte udbyttetab."

Ved Jyndevad og Borris viste forsøg med delt kvælstof til vandet hvede større udbytte i kerne ved 3- og 4-delt end ved 2-delt kvælstofgødskning. Ved Jyndevad fandtes et merudbytte på 8,0-8,4 hkg kerne pr. ha ved 3-delt og 9,7 hkg

kerne pr. ha ved 4-delt gødskning. Ved Borris var merudbyttet for 3-delt gødskning 3,1-4,2 hkg kerne pr. ha og ved 4-delt gødskning 8,4 hkg kerne pr. ha. Derimod var udbyttet mindre i halm, når gødningen blev fordelt på mere end to gange. I disse forsøg (15) blev alle led gødet med 40 kg N pr. ha i marts, og den resterende gødning blev udbragt midt i april eller fordelt ad 2-3 gange.

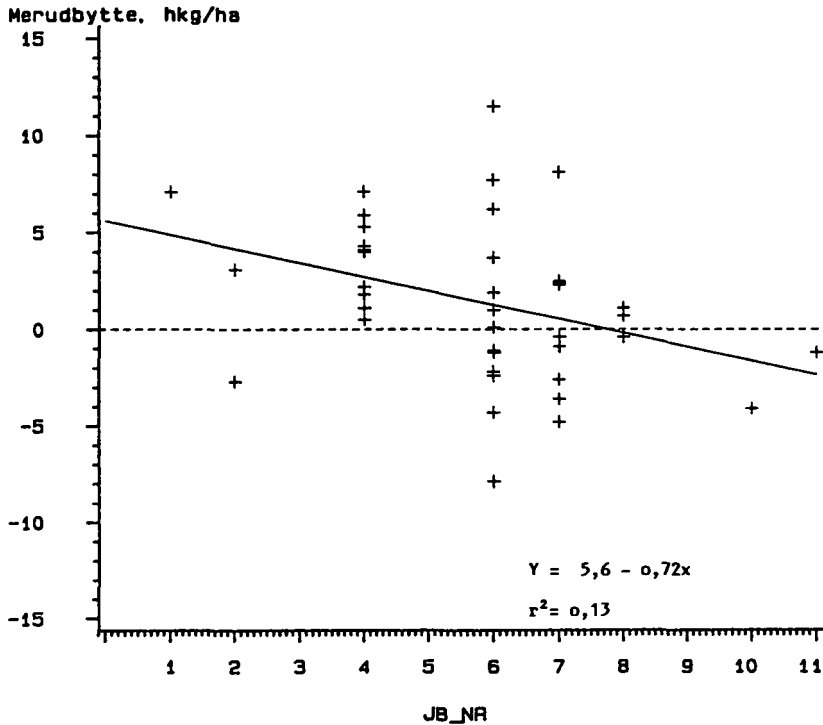


Fig. 4

Merudbytte for delt kvælstoftilførsel til vinterhvede som funktion af JB-nr.

Vinterrug

Forsøg gennemført 1949-57 (29) viste, at kerneantallet pr. aks falder, når rugen må vente for længe på kvælstofgødning i foråret. Det største antal kerner blev opnået ved gødskning 5. april fremfor 14 dage tidligere eller 14 dage senere.

Forsøg i de landøkonomiske foreninger 1979-84 (49) viste et gennemsnitligt merudbytte på 1,5 hkg kerne for deling af kvælstof med 80 kg N ca. 1. april og

80 kg N ca. 1. maj fremfor tilførsel af 160 kg på én gang. På grovsandet jord er det måske en fordel kun at risikere en mindre mængde gødning i marts og tilføje resten tidligt i april og omkring 1. maj på grund af risiko for nedvaskning af kvælstof og for at modvirke lejesæd. En regressionsanalyse på forsøg i de landøkonomiske foreninger antyder, at merudbytter for delt gødskning falder med stigende JB-nr., fig. 5.

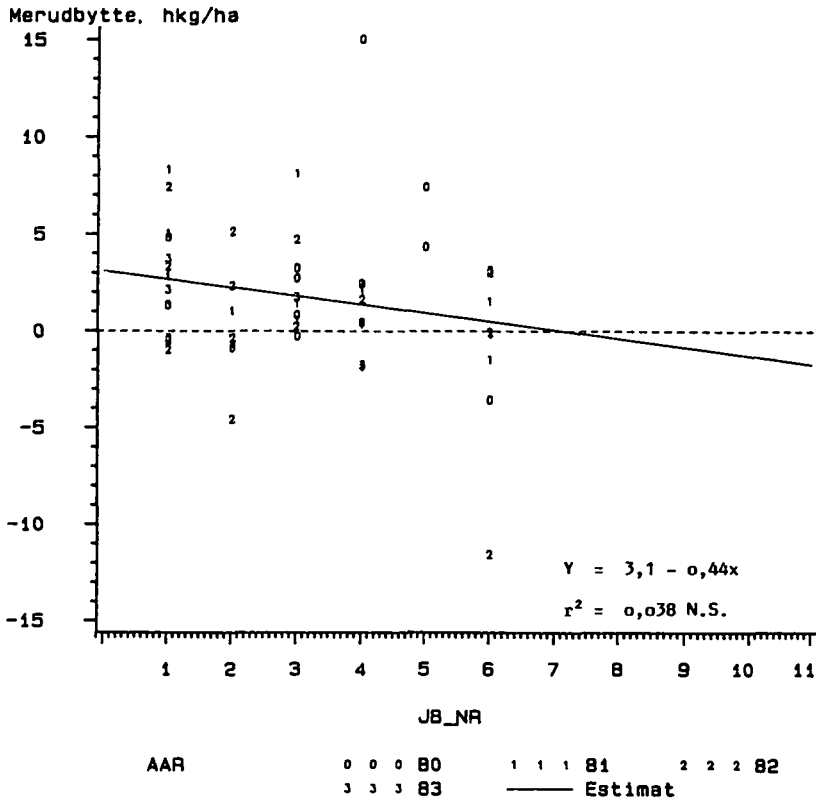


Fig. 5

Merudbytte for delt kvælstoftilførsel til vinterrug som funktion af JB-nr.

Vinterbyg

På sandjord vil der være behov for tilførsel af let tilgængeligt kvælstof for at sætte væksten i gang i foråret. Igangværende forsøg ved Jyndevad (20) viser, at udbringning den 10. marts giver større udbytte end udbringning ca. 1. april.

I 1983 var udbyttet dog størst ved en senere udbringning, men da var der også et stort nedbørsoverskud fra den 10. marts til den 1. april. Til gengæld viste forsøg 1984, at tilførsel af 2. rate den 17. april var for sent eller burde være fulgt op med vanding, da det på grund af tørke varede for længe, før gødningen virkede.

År	Nedbør, mm, i tiden:		
	10.03.-31.03.	01.04.-20.04.	21.04.-30.04.
1982	31	22	10
1983	75	38	39
1984	22	26	0

I vinterbyg er kvælstofudnyttelsen god. Ses der på den samlede optagelse i kerne + halm (fig. 6), er der optaget mere kvælstof i planterne, end der er tilført med gødning. Optagelsen er størst ved engangstilførsel, men forskellen er lille, og optagelsen i kerne er størst ved delt gødsning.

Optaget kg N i kerne + halm

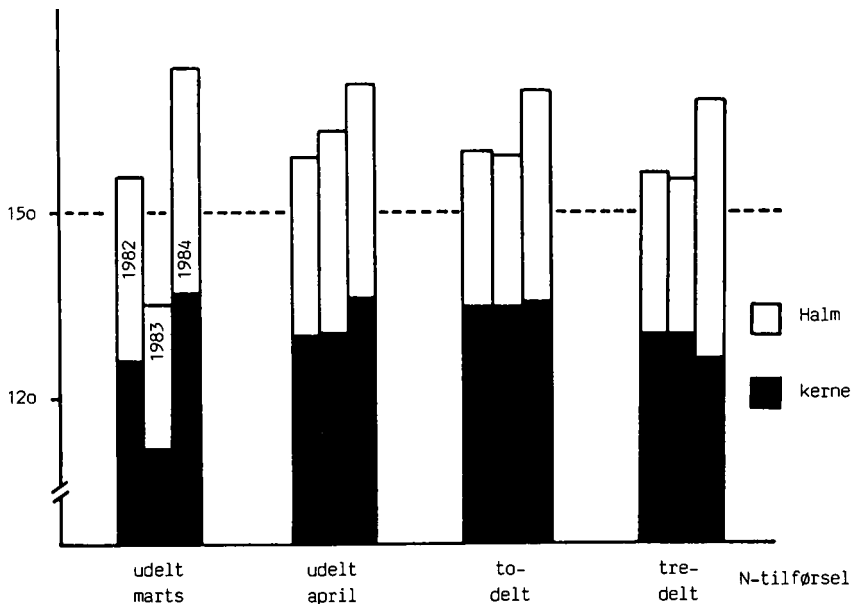


Fig. 6.

Kvælstofoptagelse i vinterbyg, kerne plus halm, ved tilførsel af 150 kg N pr. ha ad én, to eller tre gange.

Vårbyg

Forsøg ved Jyndeved og Borris (14) viste, at en væsentlig del af kvælstofgødningen bør tilføres i april, hvis der ikke eftergødes før omkring 1. juni. Merudbyttet for deling af kvælstofmængden var 2-3 hkg kerne pr. ha.

Ikke publicerede data viser også, at lille forårsgødsning og stor eftergødsning kan give forsinket skududvikling, sen høst og relativt små kerner.

Igangværende forsøg tyder dog på, at man kan nøjes med en lille kvælstofmængde ved såning eller fremspiring (30-40 kg N/ha), når blot der eftergødes igen så tidlig, at planterne ikke mangler kvælstof ved skuddannelsen, der hovedsagelig foregår i første halvdel af maj.

Ligesom for hvede og rug afhænger merudbyttet for kvælstofdeling af jordtypen. Forsøg på forskellige jordtyper (49) viste intet merudbytte for deling af kvælstof på jordtyper med JB-nr. større end 3. På jordtype JB1, hvor udbytte-niveauet var over 45 hkg kerne pr. ha, var der i gennemsnit fra 3,8-5,8 hkg kerne i merudbytte for delt N. I tilsvarende forsøg ved et lavere udbytte-niveau var der ikke merudbytte for N-delning. Størst merudbytte blev opnået med fordelingen 30-30-60 - heraf 30 kg N/ha ved såning, 30 kg ca. 2. maj og 60 kg ca. 25. maj. Næsten samme resultat blev opnået med fordeling 60-30-30. En fordeling med 30-30-30-30, hvor de sidste 30 kg blev udbragt midt i juni, reducerede merudbyttet for deling af N med 2 hkg kerne pr. ha.

I forsøg ved Jyndeved og Borris (14) med delt kvælstof er der analyseret for kvælstofindhold i kerne. Deling af 110 kg N med tilførsel af 70 kg N pr. ha 15. april og resten 1. juni øgede N% i kerne fra 1,50 til 1,68 - en stigning på 12 %. Men den høstede kvælstofmængde i kerne er steget mere - 19 %, idet der er høstet 84 kg N ved éngangs- og 100 kg ved delt gødsning.

Miljømæssige hensyn

Der kan nævnes både fordele og ulemper ved delt gødsning, men reelt er der nok flest ulemper. Virkningen af delt gødsning er stærkt afhængig af nedbørsfordelingen; derfor egner delt gødsning sig bedst for arealer, hvor der kan vandes.

Delt gødsning må mere betragtes som en forsikring mod kvælstoftab - et hensyn til miljøet - end som et middel til at frembringe et større økonomisk udbytte.

Ulemper og omkostninger består hovedsagelig i arbejds- og transportomkostninger ved ekstra kørsel i marken. Dertil kommer køreskade på afgrøderne, som dog i nogen grad reduceres, hvor der i forvejen er anlagt kørespor af hensyn til marksprøjtning.

Fordelene vil være, at eftergødsning er planlagt, og ikke noget der enkelte år lægges ovenpå en gennemført færdiggødsning, som har svigtet pga. rigelig nedbør om foråret. Desuden giver delt gødsning større mulighed for at tilpasse den totale kvælstofmængde og regulere mod lejesæd. Begge dele kan give mulighed for kvælstofbesparelse eller for en bedre kvælstofudnyttelse.

Delt gødsning betyder ofte en større kvælstofoptagelse i kernen (0-10 kg N/ha) i forhold til udelt gødsning; derimod er der kun lidt forskel på kvælstofoptagelsen, når der ses på den samlede kvælstofmængde i kerne plus halm.

5. Kvælstoftab fra rodzonen

5.1. Denitrifikation

Denitrifikation er betegnelsen for en proces, hvor bakterier i jorden under iltfattige forhold reducerer nitratkvælstof til luftformige kvælstofforbindelser, lattergas, N_2O , og frit kvælstof, N_2 .

Foruden af iltfattige forhold er denitrifikationen afhængig af jordens indhold af letomsættelige organiske kulstofforbindelser (33) - dels fordi de nitrificerende bakterier anvender kulstofforbindelser i forbindelse med denitrifikationsprocessen, og dels fordi den løbende nedbrydning af kulstofforbindelser i jorden kræver ilt og dermed er med til at skabe iltfattige forhold, som er en forudsætning for denitrifikation.

I undersøgelser, hvor denitrifikationen er målt gennem vækstperioden (11, 26, 34), er det fundet, at denitrifikationen er størst om foråret, men falder hurtigt for derefter at stige igen om efteråret.

Da både jordens nitrat- og vandindhold har betydning for denitrifikationshastigheden - sidstnævnte, fordi et højt vandindhold kan forårsage et lavt iltindhold - hænger ovennævnte forløb af denitrifikationen antagelig sammen med, at såvel nitrat- som vandindholdet i jorden er størst om foråret og efteråret. I overensstemmelse hermed fandt Kemner (26) og Aulakh (6, 7), at store mængder nedbør - samtidig med at nitratinholdet i jorden var højt - kunne forårsage en kortvarig, stærkt forøget denitrifikation.

I en undersøgelse (43) fandtes, at over 50 % af det samlede tab fandt sted i en forholdsvis kort periode - 8 uger - efter kvælstoftilførselen.

Temperaturen i jorden påvirker også denitrifikationen, der stiger stærkt i temperaturintervallet $10-25^{\circ}C$ (33). Processen har optimum omkring $35^{\circ}C$ og går næsten i stå omkring frysepunktet ($5^{\circ}C$).

Normalt er denitrifikationen større på lerjorde end på sandjorde. Årsagen er, at gode betingelser for denitrifikation - som tilstedeværelse af letomsættelige kulstofforbindelser, højt indhold af nitrat og iltfattige forhold i jorden - oftere er til stede samtidig i en lerjord end i en sandjord.

Ved laboratoriemålinger af denitrifikation i jordprøver fra sandjorde (JB1 og JB2) fandt Andersen et al. (2) et tab på 5-10 kg N pr. ha pr. år.

Som gennemsnit over en årrække anslår *Hansen & Aslyng* (19), at der ved den anvendte gødskningspraksis og de klimatiske forhold her i landet sker en årlig denitrifikation svarende til 5 % af den tilførte kvælstofmængde for grovsandede jorde af typen JB1 og 10 % af den tilførte kvælstofmængde for sandjorde af typen JB2-4.

5.2. Kvælstofudvaskning

To forudsætninger skal være opfyldt, for at udvaskning af kvælstof fra rodzonen kan finde sted.

Der skal være nitrat i jorden, som kan transporteres med jordvandet ud af rodzonen og ned i undergrunden. Endvidere skal der samtidig foregå en transport af vand fra rodzonen ned til undergrunden.

Transporten af vand fra rodzonen til undergrunden begynder, efter at jorden er vandmættet. Overskudsnedbør medfører, at jordvandet med opløste næringsstoffer forskydes nedad og ud af rodzonen og dermed er tabt for planteproduktionen. Processen fortsætter gennem vinteren og foråret, indtil vandforbruget - fordampningen - er lige så stor som nedbøren eller overstiger denne.

Omfanget af transport af vand fra rodzonen ned til undergrunden for en given jordtype er hovedsagelig bestemt af klimatiske forhold - nedbør og fordampning - og kan derfor ikke ændres.

Mulighederne for at reducere udvaskningen af kvælstof fra rodzonen ligger således i at begrænse tilstedeværelsen af NO_3^- -N i jorden mest muligt i de perioder, hvor der foregår en vandbevægelse fra rodzonen til undergrunden.

En løsning på problemet ligger i mulighederne for at fastholde kvælstof ved at binde det i organisk stof - herunder efterafgrøder og overvintrende afgrøder - indtil næste vækstperiode, eller hindre, at det ved mineraliseringen dannede ammonium omdannes videre til nitrat, som er let bevægeligt i jorden i modsætning til ammonium, der fastholdes i jorden.

I undersøgelser på fire forskellige jordtyper fandt *Simmelsgaard* (48) de i tabel 26 viste resultater for kvælstofudvaskningen fra en grovsandet jord (JB1) dyrket med græs eller vårbyg med og uden vanding af afgrøderne.

Tabel 26. Kvælstofudvaskning i vandet og uvandet græs og vårbyg på grovsandet
 ===== jord (JB1) (efter Simmelsgaard, 48)

Afgroede	Antal år	Årlig udvasket kg N/ha		
		mindste	største	gennemsnit
Uvandet græs	3	26	76	47
Vandet græs	5	18	80	44
Uvandet vårbyg	6	35	100	59
Vandet vårbyg	6	58	93	75

I samme undersøgelser fandtes på en fin lerblandet sandjord ved Agervig (JB4) i gennemsnit for normalt gødet græs og korn en årlig kvælstofudvaskning på 53 kg N/ha.

På baggrund af en samlet vurdering af en række danske undersøgelser vedrørende udvaskning af kvælstof fra dyrkede jorde skønner *Hansen & Aslyng* (19), at der fra grovsandede jorde af typen JB1 i gennemsnit over en lang årrække udvaskes 65 kg N pr. ha pr. år og fra fine lerblandede sandjorde af typen JB4 45 kg N pr. ha pr. år under forudsætning af, at halvdelen af arealet dyrkes med afgrøder, som høstes sent, eller med overvintrende afgrøder og den anden halvdel med vårsæd.

Resultaterne er i god overensstemmelse med den af *Hansen* (18) anslåede udvaskning af kvælstof fra sandjorde på 50-65 kg N pr. ha og med resultater i Sverige af *Brink & Gustavsson* (8), der over en periode på 10 år i gennemsnit fandt en udvaskning af kvælstof på 55-62 kg N pr. ha fra sandjorde.

Samme størrelsesorden er fundet ved beregning af kvælstofudvaskningen ved hjælp af en simuleringsmodel over kvælstofbalancen i planteproduktionen udviklet af *Hansen & Aslyng* (19). I gennemsnit af årene 1968-77 fandt *Hansen & Aslyng* en beregnet udvaskning på 69 kg N pr. ha for bygdyrkning på en sandjord (JB1) ved Karup tilført 140 kg N pr. ha.

Af fig. 7, der viser resultaterne for de enkelte år, ses, at gennemsnittet dækker over en betydelig årsvariation, som hovedsagelig må tilskrives forskelle i de klimatiske forhold - især nedbørsmængden og dennes fordeling de enkelte år.

At der kan være en betydelig årsvariation i kvælstofudvaskningen, fremgår ligeledes af de på side 50 viste resultater fra undersøgelsen foretaget af *Simmelsgaard* (48).

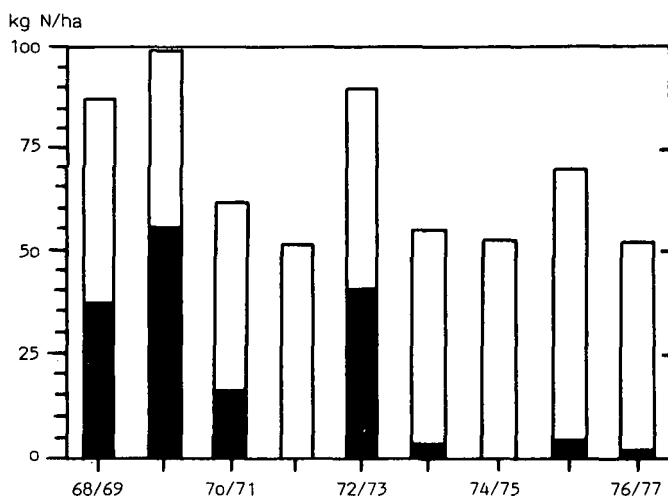


Fig. 7.

Beregnet årlig udvaskning efter vårbyg på sandjord (JB1) ved Karup 1968-77.

Sort: 1. april - 31. juli, total: 1. april - 31. marts.

Der er tilført 140 kg N/ha i handelsgødning. (efter Hansen & Aslyng, 19)

I samme undersøgelse fandt *Simmelsgaard* også, at udvaskningsforløbet gennem året varierede betydeligt fra år til år, hvilket fremgår af figur 8 på næste side.

Af figuren ses, at udvaskningen måned for måned varierer betydeligt fra år til år både for vandet og u vandet byg. Tilsvarende fandtes for vandet og u vandet græs.

Figuren viser ligeledes i overensstemmelse med fig. 7, at der på grovsandet jord undertiden også kan forekomme udvaskning af kvælstof i selve vækstperioden.

Hvor stor en del af den fra rodzonen udvaskede mængde nitrat der når frem til grundvandet afhænger af jordbundsforholdene. Under nedsivningen reagerer nitraten med reducerende stoffer, som findes i jordvandet eller i de jordlag, som vandet passerer, samt eventuelt i selve grundvandet (52). Af reducerende stoffer i undergrunden kan nævnes ferrojern, som reducerer nitrat til frit kvælstof og derved selv iltes til ferrijern, der fastlægges som okker.

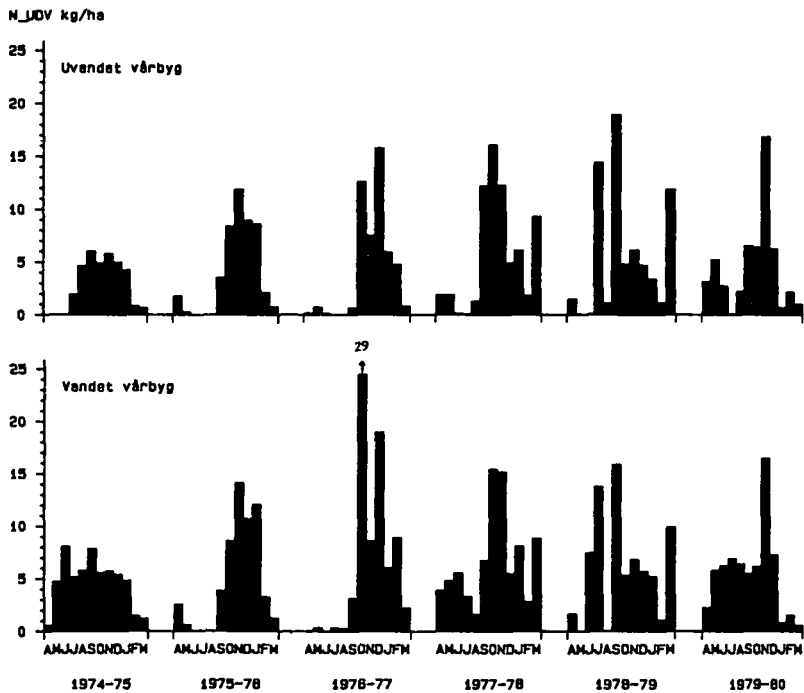


Fig. 8.

Månedssummer for kvælstofudvaskning under 80 cm dybde i vandet og uvandet vårbyg på grovsandet jord ved Jydeved (JB1). (efter Simmelsgaard, 48)

Indholdet af reducerende stoffer - f.eks. ferrojern - er betydeligt mindre i sandjorde end i lerjorde, ligesom afstrømningen til grundvandet foregår hurtigere i sandjorde end i lerjorde. Faren for, at nitrat udvaskes fra rodzonen og når frem til grundvandet, er derfor størst i sandjorde.

Som et eksempel på, hvorledes nitrat udvasket fra rodzonen påvirker nitratindholdet i grundvandet under en grovsandet jord, er der i fig. 9 vist nitratkoncentrationen i grundvandet i forskellig dybde under en grovsandet jord (hedeslettesand) ved Over Jerstal.

Af figuren ses, at nitratkoncentrationen varierer betydeligt fra år til år og aftager med dybden. Endvidere ses, at variationen mindskes med dybden, ligesom der sker en tidsmæssig forskydning af variationsforløbet.

Variationen fra år til år kan både skyldes klimatiske og/eller dyrkningsmæssige forhold (37). Årsagen til, at koncentrationen aftager med dybden, skal formodentlig både tillægges en reduktion af nitrattet til luftformige kvælstof-forbindelse og en opblanding af det nedsivende vand med det dybereliggende grundvand, der som regel har et lavere indhold af nitrat.

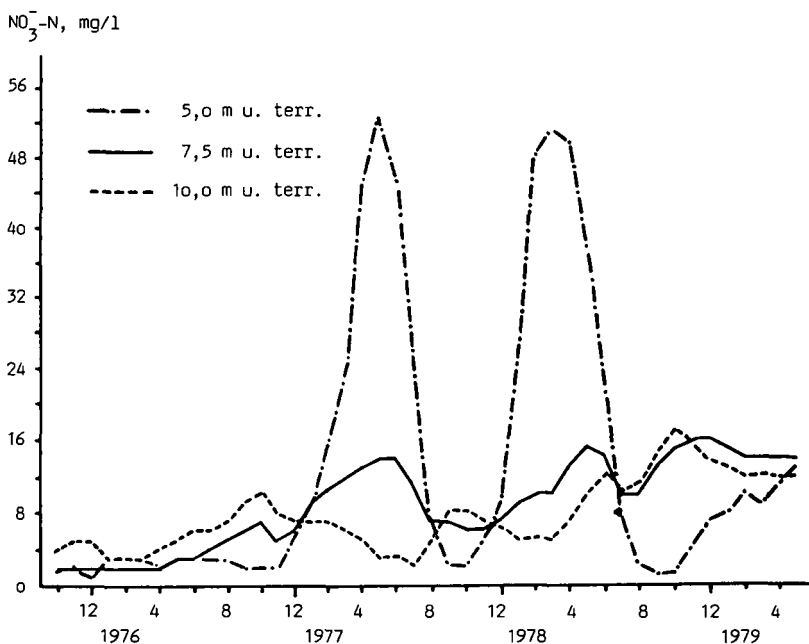


Fig. 9.

Koncentration af nitrat i grundvand i forskellig dybde. Over Jerstal. (Pedersen, 37)

I de følgende afsnit er omtalt nogle af de faktorer og dyrkningsmæssige foranstaltninger, der har betydning for udvaskningen af kvælstof fra rodzonen.

5.2.1. Jordtype og afstrømning

I afsnit 3.1. (s. 10) er det nævnt, at kvælstofmængden, der frigøres ved mineralisering, er større fra lerjorde end fra sandjorde på grund af lerjordenes større indhold af organisk bundet kvælstof.

Dette kan synes i modstrid med, at tabet af kvælstof fra rodzonen er mindst lige så stort for sandjorde som for lerjorde (17, 21, 48). Forklaringen på dette skal søges i afstrømningen, som har stor betydning for udvaskningen (38). Afstrømningen er afhængig af nedbøren, jordens kapacitet for tilgængeligt vand i rodzonen og rodzonedybden.

På sandjorde er roddebden ofte kun 50 cm, mens den i lermuldet jord kan være mere end 100 cm. Dette svarer til en tilgængelig vandmængde på hhv. 50-60 mm for sandjorde og 140-160 mm for lerjorde (4).

Denne forskel i indholdet af tilgængeligt vand i sandjorde og lerjorde er i god overensstemmelse med resultater fra nyere undersøgelser med fire forskellige jordtyper: JB1, JB4, JB7 og JB8 (46). I disse undersøgelser er roddebden anslået til 60 cm for de to førstnævnte og til 100 cm for de to sidstnævnte jorde. Dette svarer til et indhold af tilgængeligt vand for jordtypen JB1 på 60 mm, JB4 110 mm, JB7 160 mm og JB8 200 mm.

Da jorden normalt tømmes for tilgængeligt vand i vækstperioden, kan der således i løbet af efteråret falde en nedbørsmængde af størrelsesordenen 100 mm mere på lerjorde end på sandjorde, før der sker en udvaskning af kvælstof fra rodzonen.

I denne forbindelse skal det også nævnes, at for udskiftning af vandindholdet i de øverste 100 cm på de ovenfor omtalte fire jordtyper (46) krævedes en nedbørsmængde på 130 mm for JB1, 225 mm for JB4, 315 mm for JB7 og 410 mm for JB8. Dette viser, at nedsivningshastigheden er ca. tre gange større på grovsandede jorde end på lerjorde og bekræfter dermed også, at risikoen for udvaskning af kvælstof med overskudsnedbøren er større for sandjorde end for lerjorde.

Et andet forhold, som i høj grad bidrager til at øge forskellen i afstrømningen og dermed udvaskningen af kvælstof fra landets sandjorde og lerjorde, er forskellen i nedbøren i de forskellige egne af landet.

Nedbøren er størst i Syd- og Vestjylland med udprægede sandjorde, 700-800 mm pr. år, hvorimod der i Østjylland og på Øerne med overvejende lerjorde falder en nedbørsmængde på 500-700 mm pr. år. Dertil kommer, at forskellen især beror på en stor nedbør i efterårs- og vintermånederne.

De nævnte forhold giver sig da også udslag i afstrømningen, der for Jylland angives at være af størrelsesordenen 340 mm og for Sjælland og Lolland hhv. 170 og 160 mm (4).

5.2.2. Sædskifte og afgrøder

Ved den tidligere anvendte alsidige driftsform med husdyr blev sædskiftet indrettet med henblik på produktionen af foder til den til hver tid værende besætning.

På sandjorde udgjorde kvægbesætningen som regel hovedparten af husdyrholdet. Dette betød, at sædskiftet blev anlagt med henblik på en stor grovfoderproduktion. Groft skitseret var en trediedel af bedriftens areal udlagt med græs, en trediedel anvendtes til dyrkning af roer, og i den sidste trediedel var der korn.

I et sådant sædskifte er risikoen for udvaskning af kvælstof som helhed mindre end i et sædskifte med ensidig korndyrkning.

Dette skyldes, at der for et areal udlagt med græs altid er en afgrøde til stede til at optage kvælstof, der enten frigøres ved mineralisering eller tilføres som gødning. Ligeledes optager roer, der først afslutter væksten hen på efteråret, en hel del af det kvælstof, som frigøres ved mineralisering sidst på sommeren og om efteråret.

Efter en kornafgrøde ligger jorden imidlertid ofte ubevokset hen fra august, hvilket indebærer en risiko for udvaskning af den kvælstofmængde, der frigøres ved mineralisering efter dette tidspunkt.

Afgrødens betydning for kvælstofudvaskningen fremgår af resultater fra lysimeterforsøg udført ved Askov forsøgsstation, se fig. 10 på næste side. Af figuren fremgår, at udvaskningen - som omtalt ovenfor - er størst for byg, som afslutter væksten først, mindre for roer, som først afslutter væksten hen på efteråret, og mindst for græs, hvor jorden er bevokset hele året.

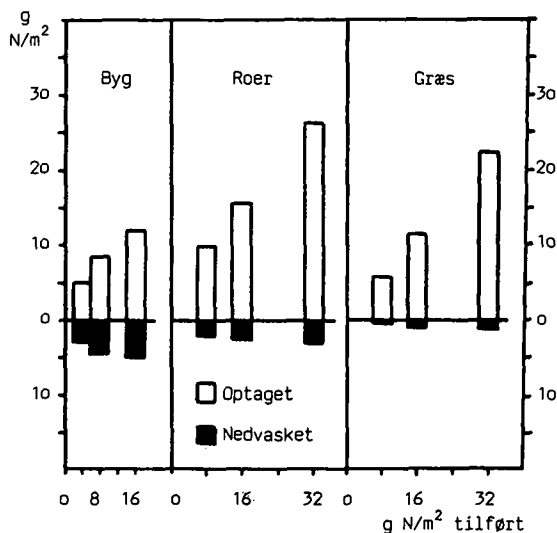


Fig. 10.

Kvælstofoptagelse og -udvaskning efter tilførsel af stigende mængder kalkammonsalpeter til grovsandet jord (JB1), lysimeterforsøg. (Delvis efter Kjellerup, 27)

Ud fra afgrødens betydning for udvaskningen af kvælstof må det formodes, at specialiseringen i landbruget og den deraf følgende ændring i sædskiftet med en kraftig udvidelse af arealet med vårsæd på bekostning af arealet med græs og roer har medført risiko for et større tab af kvælstof fra rodzonen, end det var tilfældet med den alsidige driftsform.

Omvendt må det forventes, at de senere års kraftige udvidelser af arealerne med overvintrende afgrøder i stedet for vårsæd har bedret forholdet. Vinterhvede f.eks. kan således påregnes at optage en kvælstofmængde om efteråret af en størrelsesorden på 10-20 kg N pr. ha, og i forsøg med vinterraps (45), som er særdeles effektiv, er der fundet en kvælstofoptagelse om efteråret af størrelsesordenen 80 kg N pr. ha.

Overvintrende afgrøder som græs og vintersæd begynder ligeledes tidligere om foråret at forbruge vand og optage kvælstof fra jorden, end det er tilfældet for vårsæd. Først fra midten af maj har disse afgrøder et vandforbrug og en kvælstofoptagelse af betydning (51).

Da gødningen oftest tilføres i forbindelse med eller forud for såningen, er der således en periode på ca. 6 uger, hvor der er risiko for udvaskning af tilført kvælstof, hvis der i perioden falder store mængder nedbør.

5.2.3. Kvælstoftilførsel og gødningstype

Kvælstofudvaskning som en direkte følge af tilført kvælstofgødning kan undertiden forekomme i forbindelse med unormale vækstbetingelser. Oftest er det nedbørsmængden og fordelingen af denne i vækstperioden, der er årsagen.

I tabel 27 er vist resultater fra orienterende undersøgelser med byg på en grovsandet jord (JB1), hvor der blev foretaget målinger af nitratkoncentrationen i forskellig dybde. Der blev udbragt 120 kg N pr. ha som NPK-gødning den 21. marts. Undersøgelsen blev udført i 1983, hvor der som nævnt faldt store mængder nedbør om foråret.

Resultaterne er behæftet med nogen usikkerhed og må derfor tages med et vist forbehold. Ifølge resultaterne er der dog næppe tvivl om, at der i løbet af april og maj måned er sket en nedvaskning af kvælstof fra de øverste til de nederste jordlag.

Kvælstof, der er vasket ned i 100 cm dybde på den pågældende jord, må anses for tabt for bygafgrøden. Det er ikke muligt at beregne mængden af nedvasket kvælstof, da jordens vandstatus ikke er kendt.

At udvaskning af kvælstof forår og sommer i enkelte år kan udgøre en væsentlig del af den totale kvælstofudvaskning på sandjorde, fremgår også af fig. 7 og 8 (side 51 og 52).

Som omtalt af Søegaard (51) kan risikoen for udvaskning af kvælstof om foråret fra tilført gødning mindskes ved delt kvælstofgødskning med tildeling af en forholdsvis lille mængde ved såning eller fremspiring og resten lige før strækningsvæksten (sidst i maj), hvor kvælstofoptagelsen er stor.

Ligesom overskud af nedbør om foråret kan mangel på nedbør i vækstperioden bevirke, at afgrøden ikke er i stand til at udnytte den tilførte kvælstofmængde (17), hvilket betyder, at den resterende mængde nitratkvælstof i jorden udvaskes ved efterfølgende overskudsnedbør.

Omvendt har undersøgelser (13) vist, at vanding ofte medfører en bedre udnyttelse af kvælstof, som må antages at formindske risikoen for udvaskning.

Tabel 27. Nitratkoncentration i jordvand
===== i forskellige dybder på forskellige tidspunkter i vækstperioden i 1983
(Rasmussen, K. J., pers. medd.)

Dybde cm	NO ₃ ⁻ -N, mg/liter			
	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

Tilførsel af normale kvælstofmængder, dvs. kvælstofmængder, som de forskellige afgrøder er i stand til at udnytte under de givne vækstbetingelser, er almindeligvis ikke en direkte årsag til udvaskning af kvælstof, hvilket fremgår af tabel 28.

**Tabel 28. Afstrømning og kvælstofudvaskning - dræn plus undergrund - gennem 4
===== år fra en fin lerblandet sandjord (JB4) ved Agervig tilført stigende
mængder kvælstof (efter Simmelsgaard, 47+48)**

År	Afgrøde	Tilført kg N/ha ved 1 N	Afstrøm- ning mm	Kvælstofudvaskning NO ₃ ⁻ -N, kg/ha		
				0 N	1 N	1,5 N
1978-79	Byg/udl.	104	310	25	43	56
1979-80	Kløvergræs	240	657	40	60	98
1980-81	Kløvergræs	300	766	23	44	119
1981-82	Byg	70	582	72	66	113
Gns.		179	579	40	53	96

Af tabellen ses, at kvælstofudvaskningen stiger ved tilførsel af kvælstof, men at en væsentlig stigning i udvaskningen først finder sted, når der tilføres kvælstofmængder større end 1 N (1 N = normal kvælstoftilførsel til den pågældende afgrøde). Endvidere bemærkes, at udvaskningen i 1981-82 er forholdsvis stor og af samme størrelsesorden for 0 N og 1 N. Dette skyldes den forudgående ompløjning af kløvergræsmarken, som har medført en stærk forøget mineralisering og dermed stor udvaskning af kvælstof. Den store udvaskning dette år viser, at andre faktorer end kvælstofgødskningen har stor betydning for udvaskningen.

Under nedbørsforhold, som forårsager udvaskning af kvælstof om foråret, har den anvendte gødningstype betydning for udvaskningen.

Selv om ammoniumkvælstof, der fastholdes i jorden, i løbet af forholdsvis kort tid omdannes til nitratkvælstof, kan nedvaskningen af kvælstof fra tilført gødning i nogen grad imødegås ved anvendelse af gødninger, hvor kvælstoffet er til stede som ammonium, fremfor gødninger, hvor kvælstoffet forekommer som nitrat.

I omfattende undersøgelser af kvælstofnedvaskningen fra forskellige kvælstofgødninger fandt *Kofoed & Kjellerup* (31), at risikoen for nedvaskning af kvælstof på sandjorde (JB1) var større ved anvendelse af kalksalpeter end ved anvendelse af kalkammonsalpeter og ammoniak. I kalksalpeter er kvælstof til stede som nitratkvælstof, i kalkammonsalpeter findes halvdelen som nitratkvælstof og halvdelen som ammoniumkvælstof, og flydende ammoniak er udelukkende en ammoniumgødning.

Kvælstofgødningens betydning for nedvaskning af kvælstof fremgår også af resultater fra undersøgelser af *Højmark & Fogh* (24), der undersøgte virkningen af eftergødskning af byg på sandjord (JB1) tilført enten kalkammonsalpeter eller flydende ammoniak ved såningen samt 60 mm vand om foråret for at undersøge betydningen af overskudsnedbør for nedvaskning af kvælstof fra de to gødningstyper. Resultaterne er vist i tabel 29.

Tabel 29. Udbytte efter tilførsel af stigende mængder flydende ammoniak eller kalkammonsalpeter ved såning og 60 mm vand om foråret samt merudbytte for eftergødskning med 40 kg N/ha i kalkammonsalpeter den 18. maj. Naturlig nedbør 140 mm. (efter Højmark & Fogh, 24)

N-tilførsel kg/ha	Eftergødskning:	Udbytte og merudbytte, hkg kerne/ha			
		Flydende ammoniak		Kalkammonsalpeter	
		-	+	-	+
		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

Af tabellen ses, at udbyttet er størst, hvor der ved såningen er gødet med flydende ammoniak, og at merudbyttet for eftergødskning med 40 kg N pr. ha i kalkammonsalpeter er størst, hvor der ved såning er gødet med kalkammonsalpeter.

Årsagen er formentlig, at kvælstofnedvaskningen har været større efter gødskning med kalkammonsalpeter, hvor halvdelen af kvælstoffet findes som nitrat, end efter gødskning med flydende ammoniak, der alene virker som ammoniumgødning.

Betydningen af gødningsformen for nedvaskningen om foråret på sandjorde bekræftes også af resultater fra undersøgelser udført i de landøkonomiske for-
eninger (49).

Ved sammenligning af udbytteresultater fra forskellige forsøgsserier med vårbyg på sandjorde tilført samme mængde kvælstof i hhv. kalkammonsalpeter og flydende ammoniak fandtes således en betydelig bedre virkning af flydende ammo-
niak end af kalkammonsalpeter i 1983, hvor der som tidligere omtalt faldt store
mængder nedbør i det tidlige forår.

Ved deling af kvælstofmængden med tilførsel af 40 kg N/ha i kalkammonsalpe-
ter sidst i maj og en tilsvarende reduktion i kvælstofmængden tilført ved så-
ningen fandtes i serien, hvor der ved såningen var gødet med flydende ammoniak,
et merudbytte på -0,7 til 0,2 hkg kerne/ha. I serien, hvor der ved såningen var
gødet med kalkammonsalpeter, var merudbyttet derimod 8,2-9,3 hkg kerne/ha.

Forskellen i virkningen af de to gødningsformer skyldes uden tvivl, at der
i det våde forår 1983 er sket et betydeligt større tab af kvælstof fra rodzo-
nen, hvor der ved såningen blev gødet med kalkammonsalpeter, end hvor der blev
gødet med flydende ammoniak.

5.2.4. Halmnedmuldning

Med et C/N-forhold i halm på 60-80 vil der fastlægges kvælstof i forbindelse
med omsætning af halm i jorden, se afsnit 3.1. (s. 10).

Nedmuldning af halm efter høst må derfor formodes at kunne medvirke til at
nedsætte kvælstofudvaskningen ved binding af kvælstof, der frigøres ved mine-
ralisering i løbet af efteråret.

Efterhånden som C/N-forholdet mindskes, frigøres kvælstoffet igen, se afsnit
3.1. Sker dette i den følgende vækstperiode, vil der således være opnået en
forbedring af kvælstofudnyttelsen.

Ifølge undersøgelser af *Christensen* (9, 10) kan halmen efter en kornafgrøde,
ca. 5 t pr. ha, fastlægge en kvælstofmængde af størrelsesordenen 5-7 kg N pr.
ha i sandjorde.

Resultater fra lysimeterforsøg (28) gennem ni år, fig. 11 (s. 62), viste, at
ved nedmuldning af 4 t halm pr. ha ved ensidig vårbygdyrkning på sandjord (JB1)
reduceredes udvaskningen af nitrat med 11-24 %.

I tabel 3o er vist resultater fra undersøgelser af halmnedmuldningens virkning på nedvaskningen af kvælstof i en sandjord (JB4) ved Borris i perioden efterår-vinter i årene 1981-84 (12). Undersøgelserne blev foretaget i forsøg med ensidig dyrkning af byg tilført optimale gødningsmængder.

Af tabellen ses, at nedmuldning af halm har reduceret nedvaskningen af kvælstof i alle tre perioder. Reduktionen i nedvaskningen for årene 1981-82 og 1982-83 på hhv. 7 og 11 kg N pr. ha er i god overensstemmelse med resultaterne fra de ovenfor omtalte undersøgelser.

For perioden 1983-84 ses, at udvaskningen har været forholdsvis stor både med og uden nedmuldning af halm. Ligeledes har effekten af halmnedmuldningen været forholdsvis stor: en reduktion på 25 kg N pr. ha. Denne afvigelse fra resultaterne i de to øvrige perioder skal uden tvivl henføres til de ekstreme nedbørsforhold i vækstperioden 1983. Et meget vådt forår blev efterfulgt af en meget tør sommer, hvilket medførte, at kvælstofudnyttelsen blev meget dårlig især for vårsædsafgrøder på sandjorde. Kvælstofudvaskningen det følgende efterår og den følgende vinter, perioden 1983-84, kan derfor ikke betragtes som typisk, men må tages med forbehold.

Ifølge de omtalte resultater kan det forventes, at nedmuldning af halmen fra en kornafgrøde reducerer kvælstofudvaskningen med en kvælstofmængde af størrelsesordenen 7-9 kg N pr. ha.

Tabel 3o. Afstrømning og nedvaskning af kvælstof til under 8o cm dybde i perioden efterår-vinter i en sandjord (JB4) hhv. uden og med nedmuldning af halm (efter Djurhuus, 12)

Periode	Afstrømning mm	Udvasket kg N/ha	
		uden halmnedmuldning	med halmnedmuldning
21.09.81-22.03.82	392	56	49
13.09.82-06.04.83	499	65	54
13.09.83-08.04.84	523	102	77

I undersøgelser af halmnedmuldningens effekt på udbyttet fandt *Olsen* (36) i gennemsnit for 18 år et merudbytte på 1,1 hkg kerne pr. ha i forhold til fjernelse af halmen; og i en oversigt over virkningen af nedmuldning og afbrænding af halm, som også indbefatter ovennævnte undersøgelser, anslår *Schjøning* (44), at der ved nedmuldning af halm på sandjorde opnås et merudbytte på ca. 1,3 hkg kerne pr. ha.

I de ovenfor nævnte undersøgelser fandtes også, at tilførsel af kvælstof samtidig med nedmuldning af halm om efteråret er overflødig. I lysimeterforsøg (28) fandtes, at tilførsel af kvælstof samtidig med halmnedmuldningen øgede kvælstofudvaskningen, fig. 11.

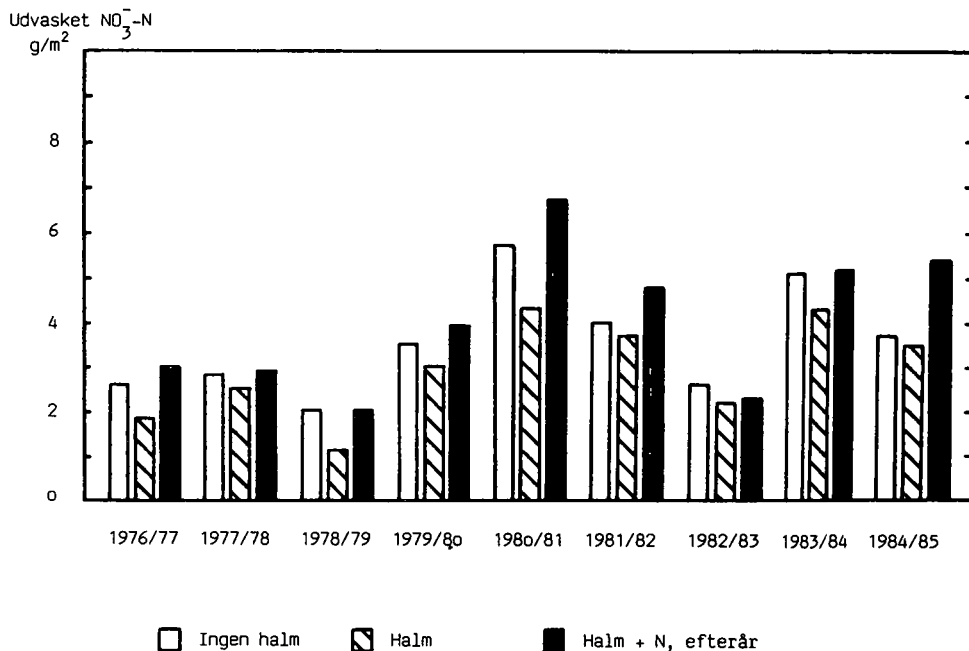


Fig. 11.

Halmtilførsels indflydelse på N-udvaskning. Lysimeterforsøg ved Askov 1976-1985. (efter Kjellerup, 28)

5.2.5. Efterafgrøder

Et af formålene med anvendelse af efterafgrøder er - som for halmnedmuldning - at opsamle det kvælstof, som frigøres ved mineralisering om efteråret, og derved hindre udvaskning.

Den mest anvendte efterafgrøde sået efter høst af hovedafgrøden er gul sennep.

Problemet ved anvendelse af efterafgrøder udlagt efter høst er, at det kan være vanskeligt hurtigt at få etableret en afgrøde, der er i stand til at optage det frigjorte kvælstof (1).

For at fremme etableringen af afgrøden tilføres ofte kvælstof ved såningen. Mislykkes efterafgrøden alligevel, kan dette medføre, at kvælstofudvaskningen øges i stedet for at blive reduceret.

I tabel 31 er vist resultaterne fra undersøgelserne af effekten af en efterafgrøde (gul sennep) udlagt efter en bygafgrøde på tre forskellige sandjorde ved hhv. Borris (JB4), Drengsted (JB1) og Jyndevad (JB1) (12).

Tabel 31. Afstrømning og nedvaskning af kvælstof til 60-80 cm dybde i perioden
----- efterår-vinter i tre forskellige sandjorde uden og med en efterafgrøde af gul sennep (efter Djurhuus, 12)

Jordtype/periode	Afstrømning mm	Udvasket kg N/ha	
		uden efterafgrøde	med efterafgrøde
Drengsted (JB1)			
10.10.78-04.12.78	115	23	25
10.10.79-31.12.79	409	76	62
11.10.80-30.03.81	643	62	75
08.10.81-22.03.82	475	45	65
Jyndevad (JB1)			
12.10.79-27.12.79	291	48	35
11.10.80-23.03.81	572	33	44
07.10.81-01.12.81	215	24	24
Borris (JB4)			
13.09.82-06.04.83	499	65	29
13.09.83-08.04.84	523	102	70

Bygafgrøderne var tilført optimale kvælstofmængder. Efterafgrøden blev ved Drengsted tilført 45 kg N/ha og ved Jydevad 30-40 kg N/ha. Ved Borris blev der ikke tilført kvælstof. Efterafgrøden blev enten fræsset eller pløjet ned.

Af tabellen ses, at ved Drengsted og Jydevad har efterafgrøden kun i et enkelt år hvert sted nedsat kvælstofudvaskningen, hvorimod der i flere af årene har været en stigning i udvaskningen. Dette skyldes antagelig, at afgrøden i de fleste år ikke har været i stand til at optage det tilførte kvælstof. Ved Borris har efterafgrøden begge år reduceret nedvaskningen betydeligt.

Ud fra resultater af omfattende undersøgelser på en lerjord med gul sennep som efterafgrøde konkluderer *Hvelplund & Østergaard* (23), at gul sennep på lerjord under gode vækstbetingelser er i stand til at optage det kvælstof, som mineraliseres om efteråret, uafhængig af, om sennepen gødes eller ej, samt at der på sandjord vil være en risiko for, at en stor del af det tilførte kvælstof mistes - især, hvis sennepen er sået sent og der er et stort nedbørsoverskud i september måned.

I overensstemmelse med det sidste må det ud fra de foreliggende undersøgelser udført på sandjorde konkluderes, at det på sandjorde om efteråret ofte er vanskeligt at etablere en efterafgrøde af gul sennep, som er tilstrækkeligt veludviklet til at optage det kvælstof, som frigøres ved mineralisering. Tilføres efterafgrøden kvælstof, kan der endvidere være risiko for, at kvælstofudvaskningen øges, hvis det ikke lykkes at etablere en afgrøde, som i det mindste er i stand til at optage den tilførte mængde kvælstof.

Ud fra et groft gennemsnit af de omtalte resultater må det skønnes, at en vellykket efterafgrøde af gul sennep sået efter høst af hovedafgrøden kan reducere kvælstofudvaskningen med 15-30 kg N pr. ha.

En anden form for efterafgrøde er italiensk rajgræs udlagt om foråret. Der ved undgås problemerne med at få afgrøden etableret om efteråret.

Hvor meget en efterafgrøde af italiensk rajgræs kan reducere kvælstoftabet fra rodzonen, er ikke forsøgsmæssigt belyst. Det må dog formodes, at en afgrøde af italiensk rajgræs kan optage en hel del kvælstof om efteråret efter høst af dæksæden. I forskellige undersøgelser er der således målt udbytter på 11-32 hkg tørstof/ha i kvælstofgødet italiensk rajgræs (41).

Spørgsmålet om, hvor meget en efterafgrøde påvirker udbyttet i den følgende vækstperiode, er ligeledes belyst i forskellige undersøgelser (41). På sandjorde er der opnået merudbytter på 2-3 hkg kerne/ha. På lerjorde er merudbytterne mindre eller negative.

5.2.6. Jordbearbejdning

Ved jordbearbejdning indblandes efterladte afgrøderester i jorden, ligesom luftskiftet i jorden øges.

En forbedring af luftskiftet i jorden bevirker, at betingelserne for mineralisering af planterester og andet organisk bundet kvælstof i jorden forbedres.

Jordbearbejdningens betydning for mineraliseringen vil formentlig være mindre på sandjorde end på lerjorde, da luftskiftet almindeligvis i forvejen er bedst på sandjorde.

Foretages jordbearbejdningen umiddelbart før såning af afgrøden, kan det frigjorte kvælstof optages af denne. Foretages jordbearbejdningen derimod efter høst, kan bearbejdningen medføre, at udvaskningen øges, idet det "ekstra" frigjorte kvælstof udvaskes med overskudsnedbøren.

I undersøgelser med forskellige pløjetidspunkter og stigende tilførsel af kvælstof til byg på en grov sandjord og to lerjorde fandt *Rasmussen* (40), at kvælstofvirkningen var stort set ens ved alle pløjetidspunkter. Dette antyder ifølge *Rasmussen* (42), at det må være små kvælstofmængder, der blev mineraliseret og derefter udvasket som følge af pløjning ved de tidligste pløjetidspunkter, som var omkring 1. oktober.

I tabel 32 på næste side er vist resultater fra undersøgelser af virkningen af direkte såning på kvælstofudvaskningen set i forhold til traditionel jordbearbejdning (12).

Undersøgelsen er foretaget på to forskellige grovsandede jorde (JB1) med korndyrkning.

Af tabellen ses, at resultaterne fra Drengsted varierer lige fra en reduktion i nedvaskningen på 42 kg N/ha til en stigning på 12 kg N/ha ved direkte såning. Resultaterne må dog tages med forbehold, da de er baseret på relativt få målinger.

Resultaterne fra Korntved ses at variere fra en stigning i nedvaskningen på 6 kg N/ha til en nedgang på 9 kg N/ha ved direkte såning. Resultaterne fra 1983-84 er dog uden tvivl påvirket af de ekstreme nedbørsforhold i vækstperioden 1983.

Ud fra de få og varierende resultater, der foreligger, er det vanskeligt at vurdere, hvor stor betydning jordbearbejdningen har for udvaskning af kvælstof fra sandjord. Som helhed peger resultaterne dog i retning af en reduktion i udvaskningen af en størrelsesorden på ca. 5-10 kg N/ha ved reduceret jordbearbejdning.

Tabel 32. Afstrømning og nedvaskning af kvælstof til 60-80 cm dybde i perioden
 =====
 efterår-vinter i to sandjorde ved traditionel jordbearbejdning og di-
 rekte såning (efter Djurhuus, 12)

Jordtype/periode	Afstrømning	Udvasket kg N/ha	
		traditionel jordbearbejdning	direkte såning
Drengsted (JB1)			
10.10.78-04.12.78	115	23	17
10.10.79-31.12.79	409	76	34
11.10.80.-30.03.81	643	62	74
08.10.81-22.03.82	475	45	29
Korntved (JB1)			
12.09.83-01.05.84	534	72	78
10.09.84-19.12.84	282	45	36

6. Kvælstofbalancer

Princippet for opstilling af kvælstofbalancer er, at tilgang minus bortgang af kvælstof fra det betragtede system skal være lig med ændring i lager.

For kvælstofkredsløbet i dyrkede jorde kan kvælstofbalancen i sin enkleste form udtrykkes ved følgende ligning:

$$N_t - N_h - N_{ta} - \Delta N = 0, \quad (6)$$

hvor N_t = tilført N

N_h = høstet N

N_{ta} = tabt N

ΔN = ændring i jordens N-indhold

Tilført N omfatter både kvælstof tilført med gødning og med nedbøren samt kvælstof tilført ved symbiotisk (bælgplanter) / ikke symbiotisk kvælstofbinding. Høstet N omfatter den kvælstofmængde, der bortføres fra marken med afgrøden. Tabt N omfatter både tab ved udvaskning, denitrifikation og evt. ammoniakfordampning. Ved ændringer i jordens N-indhold kan der både være tale om ændringer i det uorganiske lager (nitrat og ammonium) og i det organiske lager (humus, planterester m.v.).

Forskellige afgrøders kvælstofbalance

Ved omskrivning af ligning (6) fås følgende udtryk:

$$N_t - N_h = N_{ta} + \Delta N \quad (7)$$

hvor $N_t - N_h$ udtrykker afgrødens N-balance. Denne er kendt fra talrige forsøg (se afsnit 4, side 15).

I tabel 33 på næste side er vist gennemsnitlige kvælstofbalancer ($N_t - N_h$) for de i afsnit 4 omtalte afgrøder ved tre niveauer af kvælstofgødskning og vandforsyning. I tabellen svarer 1 N til, hvad der i praksis anbefales tilført til de enkelte afgrøder, når der ikke tilføres husdyrgødning, og der ikke er nogen speciel forfrugtsvirkning (3). Høstet N (N_h) for de respektive afgrøder er beregnet ved hjælp af de i afsnit 4.4. (s. 19) omtalte modeller.

Tabel 33. Kvælstofbalancer $N_t - N_h$ i forskellige afgrøder på sandjord ved tre
===== niveauer af N-tilførsel og vandforsyning.

N_t = tilført N, N_h = høstet N, Ea/Ep = relativ fordampning

Afgrøde	Tilført kg N/ha ved 1 N	$N_t - N_h$, kg/ha			$N_t - N_h$, kg/ha			
		Ea/Ep:	0,5 N	1 N	1,5 N	1 N	1 N	1 N
			1,0	1,0	1,0	0,5	0,75	1,0
Havre	120		-14	22	80			22
Vårbyg	120		- 7	26	64	70	42	26
Vinterrug	140		-17	29	97	56	42	29
Vinterbyg	160		3	32	113	-	56	32
Vinterhvede	180		-20	14	-	-		14
Helsød	250		9	65	121	-	65	65
Græs	350		- 8	46	111	112	66	46
Kartofler	150		-30	13	64	48	28	13
Roer	180		-32	8	53	-	(8)	8
Majs	160		-36	7	52	56	21	7

Af tabellen ses, at ved halvdelen af normal N-tilførsel fjerner afgrøden i de fleste tilfælde mere kvælstof fra jorden end der tilføres. Ved normal N-tilførsel er der et overskud af kvælstof efter alle afgrøder, og ved 1,5 gange normal N-tilførsel et noget større overskud. Ligeledes ses af tabellen, at kvælstofoverskuddet falder med stigende vandforsyning (stigende Ea/Ep).

Kornafgrøderne efterlader mere kvælstof i marken end grovfoderafgrøderne kartofler, roer og majs. På trods af en høj N-udnyttelse i græs og helsød (se afsnit 4.5.3., s. 33) er der efter disse afgrøder ved normal gødskning et stort kvælstofoverskud. Dette kvælstofoverskud kan, som nævnt i afsnit 4.5.5. (s. 39), være bundet i den relativt store mængde organisk materiale, græs efterlader i marken i form af rod- og stubrester.

Jordens kvælstofbalance

Jordens kvælstofbalance (ΔN) fremkommer, som det fremgår af ligning (7), når der fra afgrødens kvælstofbalance fratrækkes tabene til omgivelserne, det vil især sige kvælstofudvaskning og denitrifikation. Disse kendes kun fra specielle undersøgelser (se afsnit 5, s. 48).

I tabel 34 er der som eksempel vist kvælstofbalancer fra en grovsandet jord, hvor der er målt kvælstofudvaskning (48). Denitrifikation er ikke målt i disse forsøg. ΔN i tabellen er således summen af jordens balance og en evt. denitrifikation.

Det ses af tabellen, at når kvælstofudvaskningen indregnes i balancen, er der i de pågældende forsøg på grovsandet jord nær balance for uvandet græs og vårbyg, mens der er et underskud på i gennemsnit 25-35 kg N/år i vandet græs og vårbyg.

Tabel 34. Kvælstofbalance i kg pr. ha pr. år, 1. april - 31. marts 1974-1980, ===== på grovsandet jord ved Jyndevad.

$N_t - N_h - N_{udv} = \Delta N$, hvor N_t = tilført, N_h = høstet og N_{udv} = udvasket (efter Simmelsgaard, 48)

Afgroede	År	Uvandet				Vandet			
		N_t	N_h	N_{udv}	ΔN	N_t	N_h	N_{udv}	ΔN
Rug m. udlæg	1974-75	90	81	26	-17	100	103	21	-24
Græs	1975-76	324	169	151	4	341	361	18	-38
Græs	1976-77	177	129	76	-28	403	352	62	-11
Græs	1977-78	328	236	39	53	387	354	80	-47
Græs	1978-79					383	381	39	-37
Græs	1979-80					407	353	108	-54
Gennemsnit	1974-78	230	154	73	3	308	293	45	-30
Gennemsnit	1974-80					337	318	54	-35
Rug	1974-75	90	70	35	-15	100	76	58	-34
Vårbyg	1975-76	122	33	53	36	131	89	70	-28
Vårbyg	1976-77	122	66	45	11	139	107	71	-39
Vårbyg	1977-78	122	52	100	-30	132	54	93	-15
Vårbyg	1978-79	122	77	66	-21	130	72	84	-26
Vårbyg	1979-80	133	77	57	-1	150	85	73	-8
Gennemsnit	1974-80	119	63	59	-3	131	81	75	-25

I fig. 12 er kvælstofudvaskningen vist som funktion af afgrødernes N-balance ($N_t - N_h$). Til sammenligning er medtaget resultater fra et forsøg på lerjord, hvor N-udvaskning blev målt ved tre N-niveauer: 0 N, 1 N og 1,5 N. Det ses af figuren, at udvaskningen stiger med kvælstofoverskuddet efter en afgrøde ($N_t - N_h$), men samtidig ses, at sammenhængen er stærkt afhængig af jordtypen. En del af forskellen mellem jordtyperne kan forklares ud fra hydrologiske og jordfysiske forskelle som omtalt i afsnit 2, side 7.

Antagelig afhænger den i figur 12 viste sammenhæng mellem kvælstofudvaskning og tilført minus høstet kvælstof desuden af flere andre faktorer, således at den viste sammenhæng ikke alene varierer fra jordtype til jordtype, men også fra mark til mark.

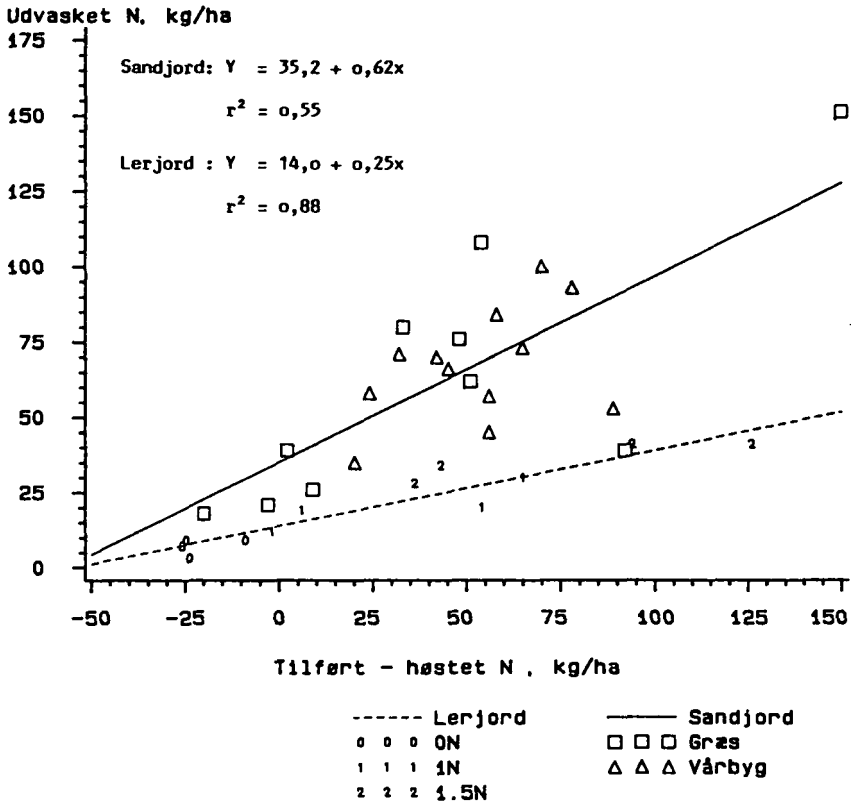


Fig. 12

Kvælstofudvaskning som funktion af tilført minus høstet kvælstof ($N_t - N_h$) på grovsandet jord ved Jydevad (JB1) og lerjord ved Sdr. Stenderup (JB7).

For at kunne afstemme kvælstofbalancen, som vist i ligning (6) på side 67, er det - udover at holde regnskab med tilgang og bortgang af kvælstof fra jorden - nødvendigt at kontrollere, om differencen ΔN svarer til ændringen i jordens indhold af kvælstof. Dette kan kun lade sig gøre i meget langvarige forsøg. F.eks. vil en ændring i jordens lager på 50 kg N være en betydelig post i et års kvælstofregnskab, mens det - som det fremgår af tabel 2, s. 7 - udgør mindre end 1 % af jordens kvælstofindhold. En årlig ændring af denne størrelsesorden skal forekomme ensidigt i 8-10 år, for at den kan registreres på jordens indhold af total-N.

I fig. 13 er som eksempel vist, hvorledes forskellig gødskning har påvirket jordens kvælstofindhold på sandjord ved Askov.

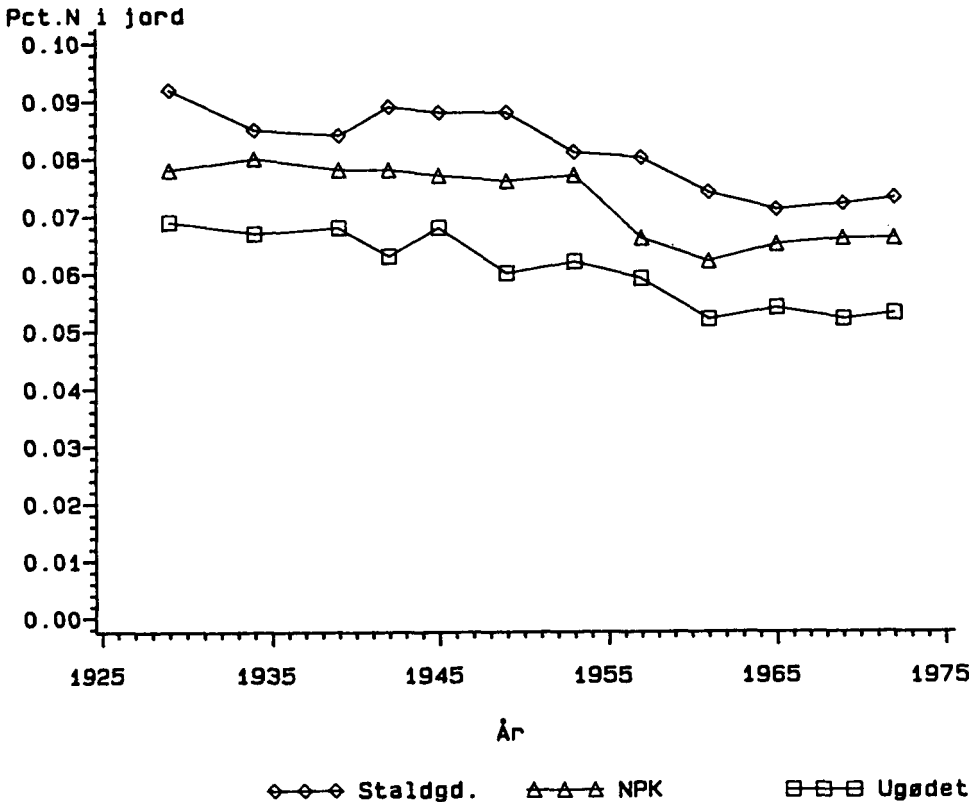


Fig. 13

Staldgødningens og handelsgødningens indflydelse på jordens kvælstofindhold i langvarige gødningsforsøg på grovsandet jord (JB1) ved Askov (Efter Koføed, 30)

Sammenfattende kan det konkluderes, at des bedre en afgrøde udnytter det tilførte kvælstof, des mindre bliver kvælstofudvaskningen. Men ved samme kvælstofudnyttelse varierer udvaskningens størrelse fra jordtype til jordtype og antagelig fra mark til mark.

En høj N-udnyttelse er ikke under alle forhold en sikring imod, at der ikke samtidig kan være sket store kvælstoftab, ligesom en dårlig kvælstofudnyttelse ikke nødvendigvis altid medfører store tab. Det afhænger af, om der samtidig sker ændringer i jordens indhold af organisk bundet kvælstof.

Der er behov for en større viden om, hvorledes gødskning, sædskifte og dyrkningsmetoder påvirker jordens indhold af organisk bundet kvælstof.

7. Muligheder for at forbedre udnyttelsen og mindske tabet af kvælstof fra rod-zonen

Forsøg med stigende mængder kvælstof udført ved Statens Planteavlsvforsøg (afsnit 4, s. 15) og i de landøkonomiske foreninger gennem en årrække viser, at virkningen og dermed udnyttelsen af tilført kvælstof varierer betydeligt fra år til år.

En dårlig udnyttelse af kvælstof kan betyde, at der ved høst efterlades en rest af nitratkvælstof i jorden, som afgrøden ikke har været i stand til at udnytte under de givne vækstbetingelser. Dette vil især for sandjorde medføre en tilsvarende stigning i kvælstofudvaskningen det følgende efterår og den følgende vinter.

Hovedårsagen til variationen i kvælstofudnyttelsen er, at vækstbetingelserne - herunder især de klimatiske forhold, angreb af skadevoldere m.v. - varierer fra år til år.

Dertil kommer, at jordens indhold af plantetilgængeligt kvælstof om foråret og mineraliseringen af kvælstof i vækstperioden varierer fra år til år, se afsnit 3, side 10.

Endvidere kan en dårlig udnyttelse af kvælstof i enkelte år være forårsaget af, at der om foråret, efter gødningen er bragt ud, falder nedbørsmængder af en størrelse, som medfører, at der udvaskes kvælstof fra rodzonen.

Anvendelse af kvælstofprognoser (afsnit 3.2., s. 11) i gødningsplanlægningen kan bidrage til at mindske risikoen for tilførsel af større kvælstofmængder, end afgrøden kan udnytte. Ligeledes kan risikoen for udvaskning af kvælstof fra tilført gødning om foråret mindskes ved delt kvælstofgødskning og ved at anvende gødninger, hvor kvælstoffet er til stede som ammoniumkvælstof, se hhv. afsnit 4.6 (s. 42) og 5.2.3. (s. 57).

Ved delt gødskning kan der opstå problemer med afgrødens kvælstofforsyning, hvis der ikke falder regn inden for en forholdsvis kort tid efter gødskningen. Delt kvælstofgødskning kan derfor bedst praktiseres og med fordel anvendes, såfremt der er mulighed for vanding.

Af stor betydning for god udnyttelse af kvælstof er også, at afgrøden sikres gode vækstbetingelser såsom tilstrækkelig forsyning med de øvrige nødvendige næringsstoffer, bekæmpelse af skadevoldere og ikke mindst en tilstrækkelig vandforsyning gennem hele vækstperioden.

Vandforsyningens betydning for udbyttets størrelse og kvælstofoptagelsen og dermed kvælstofudnyttelsen fremgår tydeligt af de omtalte resultater i afsnit 4

(s. 15), hvor der ved den statistiske bearbejdning er vist, at der er en stor og positiv vekselvirkning mellem afgrødernes vandforsyning og kvælstoftilførselen. Resultaterne viser også, at der ved optimal vandforsyning kan opnås store udbytter og dermed også en stor kvælstofoptagelse. Ligeledes viser resultaterne, at der på grund af tørke undertiden kun opnås udbytter af en størrelse, der nærmer sig misvækst.

Dette viser, at styring af vandfaktoren på de pågældende sandjorde ved hjælp af vanding er en forudsætning for en stor og stabil planteproduktion og dermed en god udnyttelse af kvælstof.

Resultaterne i afsnit 4.5.5. (s. 39) viser, at der er en tendens til, at kvælstofoptagelsen uden kvælstoftilførsel er større i afgrøder, der afslutter væksten sent i vækstsæsonen, end i afgrøder, der afslutter væksten tidlig. Årsagen er, at afgrøder, der afslutter væksten sent, optager en større del af det kvælstof, der mineraliseres sent på sommeren og om efteråret, end afgrøder, der afslutter væksten tidlig. Dette er i overensstemmelse med, at kvælstofudvaskningen (se afsnit 5.2.2., s. 55) er mindre efter afgrøder som roer og græs, der afslutter væksten senere på året, end efter kornafgrøder, som afslutter væksten tidlig.

Overvintrende afgrøder som vintersæd, især vinterraps, der kan optage forholdsvis meget kvælstof om efteråret, kan også reducere kvælstofudvaskningen. I denne forbindelse skal det også nævnes, at dyrkning af dobbeltafgrøder - som f.eks. kombinationen rug sået om efteråret og roer, der høstes sent i vækstperioden - formentlig også vil mindske kvælstofudvaskningen set i forhold til dyrkning af vårsæd.

Selv om arealet med vintersæd er øget gennem de senere år, vil der stadig være store arealer beregnet for vårsæd, der ligger ubevokset hen fra høst til næste år.

På disse arealer vil eventuelt udnyttet nitratkvælstof sammen med det i løbet af efteråret mineraliserede kvælstof være udsat for udvaskning fra rodzonen. For de udprægede sandjorde beliggende i egne med stor overskudsnedbør vil hovedparten udvaskes - ifølge afsnit 5.2. (s. 49) en kvælstofmængde af størrelsen 50-60 kg N pr. ha og undertiden mere.

Bevarelse af denne kvælstofmængde i rodzonen til næste vækstperiode vil selvsagt øge kvælstofudnyttelsen væsentligt.

Med den nuværende viden er der to i praksis anvendelige muligheder, som direkte tager sigte på at reducere udvaskningen i løbet af efteråret og vinteren.

Begge muligheder bygger på binding af kvælstoffet i organisk stof - den ene ved nedmuldning af halm, og den anden ved dyrkning af efterafgrøder.

Omfattende undersøgelser med nedmuldning af halm har vist, at der ved halm-nedmuldning på sandjorde opnås et lille merudbytte, kvælstofudvaskningen reduceres, og på længere sigt har halmnedmuldning også en gunstig virkning på jordens fysiske egenskaber. Nedmuldning af halm på sandjorde må derfor anbefales.

Med hensyn til efterafgrøder viser de foreliggende undersøgelser, at det på sandjorde ofte er vanskeligt at etablere en efterafgrøde (gul sennep) om efteråret, som er kraftig nok til at optage det frigjorte kvælstof og dermed til at reducere udvaskningen.

Opmærksomheden bør derfor rettes mod mulighederne for isåning af efterafgrøder om foråret i hovedafgrøden, hvorved etableringsvanskelighederne undgås. Til dette formål synes en afgrøde af italiensk rajgræs af være velegnet, idet denne ifølge forsøg kan udvikle sig kraftigt i løbet af sensommeren og efteråret. Dens evne til at reducere kvælstofudvaskningen er dog ikke direkte forsøgsmæssigt belyst.

Ved anvendelse af efterafgrøder til reduktion af kvælstofudvaskningen må det erindres, at i modsætning til halm, der har et C/N-forhold på 60-80, har en efterafgrøde af rajgræs eller gul sennep et C/N-forhold, som er omkring 20 eller derunder. Dette betyder, at der umiddelbart efter nedpløjningen vil ske en omfattende mineralisering af afgrødens indhold af letomsættelige organiske stoffer, forudsat at temperaturen er tilstrækkelig høj. Dette er ofte tilfældet om efteråret, hvor nedpløjning finder sted, ligesom jordtemperaturen i marts undertiden er tilstrækkelig høj til, at en mineralisering kan finde sted.

Resultatet kan blive, at effekten på udvaskningen af kvælstof delvis går tabt, fordi det mineraliserede kvælstof udvaskes, inden den efterfølgende afgrøde kan udnytte det. Faren for dette er igen størst på sandjorde, på grund af at disse jorde har en mindre vandholdende evne end lerjorde.

En løsning af problemet er udsættelse af nedpløjningen til foråret. En forårspløjning af sandjorde kan antagelig i mange tilfælde foretages, uden at der opstår problemer med såbedet.

Problemet vedrørende omsætning af efterafgrøder efter nedpløjningen og betydningen heraf for effekten på kvælstofudvaskningen er ikke undersøgt ved forsøg, hvorfor sådanne kunne ønskes.

Et andet problem, som kunne ønskes belyst, er, hvor meget en konsekvent nedmuldning af halm og anvendelse af efterafgrøder på længere sigt vil øge jordens

indhold af organisk bundet kvælstof og derved også skabe grundlag for en større mineralisering om efteråret.

Med hensyn til jordbearbejdningens indflydelse på omsætningen af organisk stof i jorden vil det være af værdi at få nærmere undersøgt, i hvilket omfang jordbearbejdningen kan indgå som led i bestræbelserne på at fremme mineraliseringen i vækstperioden og holde denne på et lavt niveau efter vækstperiodens afslutning - herunder tilførsel af nitrificeringshæmmende stoffer til jorden forud for perioder, hvor denne er ubevokset.

Med en udbredt anvendelse af efterafgrøder kan der opstå problemer med en tilstrækkelig effektiv mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Det er derfor også nødvendigt at overveje, hvorledes jordbearbejdningen bedst kan bidrage til løsning af dette problem.

En afprøvning af simuleringsmodeller og en videreudvikling af disse til også at omfatte delmodeller, som beskriver effekten af de dyrkningsmæssige foranstaltninger, som tager sigte på at reducere kvælstofudvaskningen, er i høj grad ønskelig.

Udvikling af modellerne til også at omfatte disse aspekter vil således åbne muligheder for ved beregning at vurdere, hvilke dyrkningsmæssige foranstaltninger, og hvilke kombinationer af disse, der set i sammenhæng vil give den største reduktion i kvælstofudvaskning under de givne jordbunds- og klimatiske forhold.

I forbindelse med plantedyrkning er det ikke muligt helt at undgå et tab af kvælstof fra rodzonen.

Med en rigtig anvendelse og kombination af de foreliggende muligheder samt en tilpasning af disse til forholdene i den enkelte bedrift kan kvælstofudvaskningen antagelig reduceres.

Bestræbelserne på at finde nye metoder og forbedre de eksisterende bør dog fortsætte - ikke alene med henblik på at øge kvælstofudnyttelsen og dermed reducere kvælstofudvaskningen mest muligt, men også med henblik på at gøre det mere økonomisk fordelagtigt at anvende foranstaltninger, der reducerer kvælstofudvaskningen til et minimum.

8. Sammendrag

På basis af en statistisk bearbejdning af resultater fra forsøg udført på sandjorde (JB1-4) ved Statens Planteavlfsforsøg i årene 1970-84 er der i beretningen foretaget en vurdering af kvælstofudnyttelsen for forskellige landbrugsafgrøder tilført kvælstof i form af handelsgødning.

I tilknytning hertil er der givet en omtale af sandjorde som dyrkningsmedium samt kvælstofomsætningen i og kvælstoftabet fra rodzonen. Endvidere er der opstillet kvælstofbalancer ved dyrkning af forskellige afgrøder samt foretaget en vurdering af muligheder for ved hjælp af dyrkningsmæssige foranstaltninger at påvirke kvælstofkredsløbet og derigennem mindske tabet af kvælstof fra rodzonen og øge udnyttelsen.

Sandjorde udgør ca. 60 % af Danmarks dyrkede areal. Dette svarer til et areal på ca. 1,7 mio. ha.

Planteproduktionen på sandjorde er navnlig bestemt af vandforsyningen. Sandjorde har et stort antal grovporer, hvilket medfører, at jordenes vandholdende evne er ringe. Dertil kommer, at rodtybden - især på grovsandede jorde - ofte er lille.

En stor planteproduktion på de mest grovsandede jorde af typen JB1 er derfor kun mulig i år med stor og rigtig fordelt nedbør eller ved vanding.

Grovsandede jorde af typen JB1 har et kvælstofindhold i pløjelaget (0-20 cm) på 2,0-2,5 t pr. ha, og lerblandede sandjorde af typen JB4 et indhold på 2,5-3,5 t pr. ha.

Hovedparten af jordens kvælstofindhold er til stede som organisk bundet kvælstof. Det organisk bundne kvælstof skal først nedbrydes til uorganisk kvælstof (mineraliseres), før det kan udnyttes af planterne. Mineraliseringen foretages af jordens mikroflora. Først dannes ammoniumkvælstof, der videre omdannes til nitrat. Omvendt kan mikrofloraen også indbygge uorganisk kvælstof i organisk stof. Denne proces betegnes som kvælstofimmobilisering.

Kvælstofmineralisering/-immobilisering er af stor interesse, da disse processer har betydning for planternes udnyttelse af kvælstof og dermed også for tabet af kvælstof fra rodzonen.

Afhængig af kvælstofmineraliseringen i efterårsmånederne og kvælstofudvaskningen i samme periode samt i den følgende vinter findes en større eller mindre mængde plantetilgængeligt kvælstof i rodzonen om foråret ved vækstperiodens begyndelse. For sandjorde af typen JB1 og JB2 vil den tilgængelige kvælstofmængde være af størrelsen 10-20 kg N pr. ha og for jordtyperne JB3 og JB4 15-40 kg N

pr. ha. Tilsyneladende er planterne ikke i stand til at udnytte hele denne kvælstofmængde, og i praksis regnes ikke med, at indholdet i de mest grovsandede jorde har nogen nævneværdig betydning for afgrødernes kvælstofforsyning.

For de bedre sandjorde og lerjorde anvendes indholdet af tilgængeligt kvælstof ved udarbejdelse af de såkaldte kvælstofprognoser for optimal gødskning.

I løbet af vækstsæsonen sker der også en mineralisering af organisk bundet kvælstof. En afgrøde som vårbyg, der har en forholdsvis kort vækstperiode, kan ikke udnytte så stor en del af dette kvælstof som roer og græs, der fortsætter væksten til hen på efteråret. For kornafgrøder dyrket på sandjorde under gode vandforsyningsforhold bidrager mineraliseringen med en kvælstofmængde af størrelsesordenen 30 kg N pr. ha. For grovfoderafgrøder, der har en længere vækstperiode, er bidraget af størrelsesordenen 70 kg N pr. ha. Ved vandmangel falder bidraget til omkring det halve.

En statistisk bearbejdning af resultater fra forsøg med stigende kvælstoftilførsel til forskellige afgrøder viste, at der er en stor og positiv vekselvirkning mellem kvælstoftilførsel og afgrødernes vandforsyning gennem vækstperioden.

For samme kvælstoftilførsel i forskellige forsøg fandtes store forskelle i udbyttet og kvælstofoptagelsen. Dette betyder, at udnyttelsen af tilført kvælstof også varierer betydeligt.

En del af denne variation kan henføres til forskelle i vandforsyningen i de forskellige forsøg, men selv efter eliminering af denne del af variationen fandtes en restvariation svarende til en relativ variationskoefficient (CV) for kornafgrøderne på 20-30 % for både udbyttet og kvælstofoptagelsen. For grovfoderafgrøderne fandtes tilsvarende en relativ variationskoefficient på 15-20 %. Dog var variationskoefficienten 41 % for udbyttet af rod + top i roer.

Dette viser, at de beregnede gennemsnitsværdier for udbyttet og kvælstofoptagelsen og dermed også den beregnede kvælstofudnyttelse er forbundet med en del usikkerhed.

For kornarterne er udbyttet og kvælstofoptagelsen næsten ens for alle arter ved forholdsvis lave kvælstoftilførsler. Ved store kvælstoftilførsler har de arter, der har det højeste udbyttepotentiel - vinterbyg og især vinterhvede - også den bedste udnyttelse af tilført kvælstof. Vanding øger såvel udbyttet som kvælstofoptagelsen, og for dyrkning af hvede på grovsandede jorde med godt resultat må det anses for nødvendigt, at der kan vandes.

Ved stigende kvælstoftilførsel opnås i gennemsnit en bedre kvælstofudnyttel-

se i de vegetative afgrøder end i kornafgrøderne. Hølsæd har ved lave kvælstoftilførsler en kvælstofudnyttelse, der ligger mellem græs og vårbyg, men kan som græs udnytte store kvælstofmængder. Roer og majs har næsten ens kvælstofudnyttelse og kartofler lidt dårligere.

Ved god vandforsyning og optimal gødskning fandtes for kornarterne en udnyttelse af tilført kvælstof på 70-90 % og ved tørke en udnyttelse på 30-50 %, hvilket understreger betydningen af at kunne styre vandforsyningen på de lette sandjorde.

For grovfoderafgrøderne fandtes tilsvarende ved optimal gødskning og god vandforsyning en udnyttelse på 70-90 %. Som helhed synes kvælstofudnyttelsen i grovfoderafgrøderne at være mindre påvirket af vandforsyningen end kornafgrøderne.

Fordelen ved deling af kvælstoftilførselen til kornafgrøder er størst på de lette sandjorde. Ved deling af kvælstoftilførselen til vinterhvede er der på disse jordtyper opnået merudbytter på 8-9 hkg kerne/ha og for vinterrug merudbytter på 1-2 hkg kerne/ha. I vinterbyg er der ikke opnået nogen nævneværdig effekt ved deling af kvælstoftilførselen.

Ved et udbyttensiveau på 45 hkg kerne/ha i vårbyg er der ved deling af kvælstoftilførselen opnået merudbytter på 4-6 hkg kerne/ha, men intet merudbytte ved lavere udbyttensivauer. I forhold til udelte gødskning medfører delt gødskning ofte en større kvælstofoptagelse i kernen. Derimod er der kun fundet små forskelle i den samlede kvælstofoptagelse i kerne og halm.

Den største virkning af delt kvælstofgødskning opnås i år, hvor der falder store nedbørsmængder i det tidlige forår, hvilket kan medføre, at eventuel tilført kvælstofgødning udvaskes af rodzonen.

Delt gødskning kan bedst praktiseres, hvor der er mulighed for vanding, da gødningen derved kan bringes ned i jorden, hvis der ikke falder regn forholdsvis kort tid efter gødskningen.

En dårlig udnyttelse af kvælstof kan betyde, at der ved høst efterlades en rest af nitratkvælstof i jorden, som afgrøden ikke har været i stand til at udnytte under de givne vækstbetingelser. Dette kvælstof sammen med det kvælstof, der frigøres ved mineralisering om efteråret, kan udvaskes fra rodzonen med overskudsnedbøren i løbet af efteråret og den følgende vinter. Som gennemsnit for en grov sandjord er der fundet kvælstoftab på 60-75 kg N pr. ha efter vårbyg og omkring 45 kg N pr. ha i græsmark, men variationen fra år til år kan være stor.

En tilsyneladende god udnyttelse af tilført kvælstof er ikke nødvendigvis en sikkerhed for, at tabet af kvælstof er lille, og modsat behøver en mindre god udnyttelse ikke at betyde, at kvælstoftabet er tilsvarende stort. Dette er i høj grad afhængigt af, om der samtidig sker ændringer i jordens indhold af organisk bundet kvælstof.

Anvendelse af kvælstofprognoser i gødningsplanlægningen kan bidrage til at mindske risikoen for tilførsel af større kvælstofmængder, end afgrøden kan udnytte. Ligeledes kan risikoen for udvaskning af kvælstof fra tilført gødning om foråret mindskes ved delt kvælstofgødkning og ved at anvende gødninger, hvor kvælstoffet er til stede som ammoniumkvælstof, der kan fastholdes i jorden, indtil det omdannes til nitrat.

Store nedbørsmængder om foråret vil kunne medføre, at der høstes op til 8-9 hkg kerne/ha mere, hvor der er tilført flydende ammoniak, end hvor der er tilført kalkammonsalpeter.

Af stor betydning for en god udnyttelse af kvælstof er også, at afgrøden sikres gode vækstbetingelser - især tilstrækkelig vandforsyning gennem hele vækstperioden.

Dyrkning af afgrøder som græs og roer, der afslutter væksten sent på året, fremfor korn nedsætter kvælstofudvaskningen, og dyrkning af vintersæd fremfor vårsæd medvirker også til at reducere kvælstofudvaskningen. Vinterhvede f.eks. kan således påregnes at optage en kvælstofmængde om efteråret på 10-20 kg N pr. ha, og vinterraps, som er særdeles effektiv, helt op til ca. 80 kg N pr. ha.

Ved nedmuldning af halm på sandjorde opnås et lille merudbytte, kvælstofudvaskningen reduceres med 7-9 kg N pr. ha, og på længere sigt har halmnedmuldning også en gunstig indflydelse på jordens fysiske egenskaber.

Den bedste måde at nedsætte kvælstofudvaskningen fra arealer, der først tilsås om foråret, er dyrkning af en efterafgrøde. På sandjorde er det imidlertid ofte vanskeligt om foråret at etablere en efterafgrøde - f.eks. gul sennep - der er kraftig nok til at optage det frigjorte kvælstof. Opmærksomheden bør derfor rettes mod mulighederne for isåning af efterafgrøder i hovedafgrøderne om foråret, hvorved etableringsvanskelighederne undgås. En vellykket efterafgrøde kan mindske kvælstoftabet fra rodzonen med 15-30 kg N pr. ha.

9. Litteratur

1. Andersen, A. & Jensen, M. B. 1983. Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. 2. Bygplanternes morfologiske udvikling i relation til kvælstof. Tidsskr. Planteavl 87, 217-236.
2. 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.
3. Anonym 1985. Håndbog for plantedyrkning. Redigeret af Landskontoret f. Planteavl. Landbrugets Informationskontor, 192 pp.
4. Aslyng, H. C. 1968. Klima, jord og vandbalance i jordbruget. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, København, 303 pp.
5. Aslyng, H. C. 1984. Kvælstofbalance og planteproduktion. Ugeskr. f. Jordbrug 129, 693-696.
6. Aulakh, M. S., Rennie, D. A. & Paul, E. A. 1982. Gaseous nitrogen losses from cropped and summerfallowed soils. Can. J. Soil Sci. 62, 187-195.
7. Aulakh, M. S., Rennie, D. A. & Paul, E. A. 1984. The influence of Plant Residues on Denitrification Rates in Conventional and Zero Tilled Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 790-794.
8. Brink, N. & Gustavsson, A. 1984. Forlusten av växnäring från sandjord. Ekohydrologi 17, 15-19.
9. Christensen, B. T. 1984. Nedbrydning af halm. III. Jordtype og plantedækkes indflydelse på nedmuldet havre- og hvedehalms væggtab og indhold af næringsalte. Tidsskr. Planteavl 88, 431-442.
10. Christensen, B. T. 1985. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: Effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. Soil Biol. Biochem. 17, 692-697.
11. Christensen, S. 1985. Denitrification in a sandy loam soil as influenced by climatic and soil conditions. Tidsskr. Planteavl 89, 351-365.
12. Djurhuus, J. 1985. Intern rapport, Statens Forsøgsstation, Højer.
13. Gregersen, A. 1983. Vanding. J. Hansen & A. Kyllindsbæk (red.): Kvælstof og planteproduktion, 89-96. Tidsskr. Planteavl 87, 427-428. Beretning nr. S 1669, 141 pp.
14. Gregersen, A. K. & Hejlesen, E. 1983. Kvælstof i vandingsvandet til byg. Tidsskr. Planteavl 87, 141-151.
15. Gregersen, A. K. & Hejlesen, E. 1985. Vand og kvælstof til vinterhvede på sandjord. Tidsskr. Planteavl 89, 231-240.

16. Gregersen, A. K. & Olesen, J. E. 1983. Sandsynlige værdier for merudbytte ved vanding i vårbyg, græs og kartofler. Tidsskr. Planteavl 87, 426. Beretning nr. S 1668, 32 pp.
17. Hansen, J. 1983. Kvælstofudvaskning fra rodzonen. J. Hansen & A. Kyllingsbæk (red.): Kvælstof og planteproduktion, 100-106. Tidsskr. Planteavl 87, 427-428. Beretning nr. S. 1669, 141 pp.
18. Hansen, L. 1983. Kvælstoftab til dræn og grundvand. Statens Planteavlsmøde 1983, 18-22.
19. Hansen, S. & Aslyng, H. C. 1984. Nitrogen Balance in Crop Production. Simulation Model NITCROS. Hydroteknisk Laboratorium, KVL, 113 pp.
20. Hejlesen, E. & Gregersen, A. 1985. Vanding og kvælstofgødkning af vinterbyg på grovsandet jord. Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1855.
21. Henriksen, Aa. 1983. Jordens kvælstofindhold og -omsætning. J. Hansen & A. Kyllingsbæk (red.): Kvælstof og planteproduktion, 8-10. Tidsskr. Planteavl 87, 427-428. Beretning nr. S. 1669, 141 pp.
22. Hostrup, S. B. 1985. Rajgræs og kløvergræs til slæt. 1. brugsår. I. N-gødkning på uvandet jord, og II. N-gødkning på vandet sandjord. Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1847 og 1848.
23. Hvelplund, E. & Østergaard, H. 1980. Efterafgrøders kvælstofoptagelse i relation til gødkningsøkonomi og miljø. Landskontoret f. Planteavl, 88 pp.
24. Højmark, J. V. & Fogh, H. T. 1977. Nedvaskning af kvælstof og eftergødkning af byg på sandjord 1977. Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1382.
25. Jansson, S. L. 1958. Tracer studies on nitrogen formations in soil with special attention to mineralisation - immobilization relationships. Kung. Lantbrukshogskolans Annaler 24, 101-361.
26. Kemner, M. B. 1985. Denitrifikation i dyrket jord. Licentiatafhandling. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, København, 188 pp
27. Kjellerup, V. 1985. N-tab ved nedsivning. Husdyrgødning og dens anvendelse, 52-55. Tidsskr. Planteavl 89, 409-410. Beretning nr. S 1809, 135 pp.
28. Kjellerup, V. 1986. Halmnedmuldningens indflydelse på kvælstofudvaskning på sandjord. Statens Planteavlsforsøg medd. (under trykning).
29. Kofoed, A. Dam 1960. Forskellig udbringningstid for kalksalpeter til vintersæd. Tidsskr. Planteavl 64, 51-76.
30. 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. Balke-ma, Rotterdam.

31. Kofoed, A. *Dam & Kjellerup, V.* 1970. Nedvaskning af kvælstofforbindelser i jord. Tidsskr. Planteavl 73, 659-686.
32. Kofoed, A. *Dam & Nemming, O.* 1976. Fertilizers and manure on sandy and loamy soils. Annales agronomiques 27, 583-610.
33. Lind, A.-M. 1980. Denitrification in the root zone. Tidsskr. Planteavl 84, 101-110.
34. Lind, A.-M. 1985. Soil air concentration of N_2O over 3 years of field experiments with animal manure and organic N-fertilizer. Tidsskr. Planteavl 89, 331-340.
35. Olsen, C. C. & Larsen, K. E. 1984. Kvælstof til vinterhvede, éngangs- eller delt udbringning. Tidsskr. Planteavl 88, 243-255.
36. Olsen, C. C. 1985. Halmhåndteringens indflydelse på kerneudbytte og goldfodsyge ved ensidig vårbygdyrkning. Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1845.
37. Pedersen, E. F. 1982. Grundvandsundersøgelser på sandjord 1975-1979. Tidsskr. Planteavl 86, 543-565.
38. Pedersen, E. F. 1983. Drænvandsundersøgelser 1971-81. Tidsskr. Planteavl 87, 425. Beretning nr. S 1667, 53 pp.
39. Poulsen, E. & Hansen, P. 1961. Undersøgelser over jorders nitratindhold. Tidsskr. Planteavl 65, 206-234.
40. Rasmussen, K. J. 1974. Forskellige pløjetidspunkter og furejævning til byg. Tidsskr. Planteavl 78, 682-696.
41. Rasmussen, K. J. 1983. Efterafgrøder. J. Hansen & A. Kyllingsbæk (red.): Kvælstof og planteproduktion, 76-81. Tidsskr. Planteavl 87, 427-428. Beretning nr. S 1669, 141 pp.
42. Rasmussen, K. J. 1983. Jordbearbejdning. J. Hansen & A. Kyllingsbæk (red.): Kvælstof og planteproduktion, 82-85. Tidsskr. Planteavl 87, 427-428. Beretning nr. S 1669, 141 pp.
43. 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.
44. Schjønning, P. 1985. Nedmuldning og afbrænding af halm. Tolvmandsbladet 57, 381-386.
45. Schultz, J. E. R. 1972. Undersøgelser af vinterrapsens (*Brassica napus* L.) tørstofproduktion og næringsstofoptagelse gennem vækstperioden. Tidsskr. Planteavl 76, 415-435.

46. *Simmelsgaard, S. E.* 1985. Vandbalance og kvælstofudvaskning på 4 jordtyper. Jordfysisk og -kemisk beskrivelse af forsøgsarealer. Tidsskr. Planteavl 89, 101-116.
47. *Simmelsgaard, S. E.* 1985. Vandbalance og kvælstofudvaskning på 4 jordtyper. II. Vandbalance, aktuel fordampning og afstrømning til dræn og undergrund. Tidsskr. Planteavl 89, 117-131.
48. *Simmelsgaard, S. E.* 1985. Vandbalance og kvælstofudvaskning på 4 jordtyper. III. Kvælstofkoncentration, -udvaskning og -balance. Tidsskr. Planteavl 89, 133-154.
49. *Skriver, K.* 1984. Gødkning og kalkning. F. Bennetzen (red.): Oversigt over landsforsøgene 1984, 88-90.
50. *Stanford, G., Dzienia, S. & van der Pol, R. A.* 1975. Effect of temperature on denitrification rate in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39, 867-870.
51. *Søgaard, K.* 1985. Styling af kvælstoftilførsel på sandjord under vandede forhold. Agrologisk Tidsskr., Marken nr. 3, 26-27.
52. *Willumsen, A.* 1984. Nitrat i dansk grundvand. Status og udviklingstendenser. 23 pp. Rapport for Miljøstyrelsen. Institut for teknisk geologi. Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby.
53. *Østergaard, H. S., Hvelplund, E. K. & Rasmussen, D.* 1983. Kvælstofprognoser. Bestemmelse af optimalt kvælstofbehov på grundlag af planteanalyser og klimamålinger før vækstsæsonen. Landskontoret f. Planteavl, 200 pp.

Model til beregning af aktuel fordampning

Til opgørelse af aktuel fordampning (E_a) er der anvendt en simpel model. Input til modellen er daglige målinger af nedbør (P), vanding (I) og potentiel fordampning (E_p). Endvidere forudsættes det, at rodzonekapaciteten (RC) kendes.

I modellen antages det, at E_a er lig med E_p , når der ikke er vandmangel. Det forudsættes, at jorden i det tidsrum, opgørelsen foretages i, er dækket af grønne planter i vækst. Endvidere antages det, at en del af rodzonens vandindhold kan bruges, uden at E_a reduceres. Hvornår det sker, afhænger af rodtæthed, jordtype og fordampningshastighed. I nærværende opgørelse antages det at være tilstrækkeligt nøjagtig at sætte $E_a = E_p$, indtil halvdelen af rodzonekapaciteten er brugt. E_a antages derefter at aftage i takt med, at den sidste halvdel bruges.

Når der falder nedbør, eller der vandes, antages det, at der som gennemsnit interceperes 2 mm i afgrøden (W_{int}). Den resterende del af nedbøren eller vandingsvandet antages at mætte jorden til markkapacitet successivt fra jordoverfladen. Er nedbørsmængden så stor, at hele rodzonen mættes til over markkapacitet, regnes der med, at halvdelen af den overskydende del minus E_a afstrømmer i løbet af det første døgn og halvdelen af resten minus E_a i det følgende døgn og så fremdeles.

Opgørelsen for et døgn foregår på følgende måde: E_a fordeles mellem E_{int} fra interceperet vand (W_{int}), E_1 fra lettilgængeligt vand (W_1) og E_2 fra svært tilgængeligt vand (W_2).

$$E_{int} = \begin{cases} E_p & , W_{int} \geq E_p \\ W_{int} & , W_{int} < E_p \end{cases} \quad (A.1)$$

$$E_1 = \begin{cases} E_p - E_{int} & , W_1 \geq E_p - E_{int} \\ W_1 & , W_1 < E_p - E_{int} \end{cases} \quad (A.2)$$

$$E_2 = (E_p - E_{\text{int}} - E_1) \frac{2W_2}{RC} \quad (\text{A.3})$$

$$E_a = E_{\text{int}} + E_1 + E_2 \quad (\text{A.4})$$

hvor RC er rodzonekapaciteten, og W_1 og W_2 's begyndelsesværdier svarer til $\frac{1}{2}RC$. I ligning (A.4) vil normalt mindst ét af leddene være nul.

Efter beregningen af E_a reduceres vandindholdet i de enkelte fraktioner med de respektive fordampninger.

W_1 reguleres derefter for evt. afstrømning, der beregnes som

$$R = \begin{cases} 0,5 (W_1 - 0,5RC), & W_1 > 0,5RC \\ 0, & W_1 \leq 0,5RC \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

Inden beregningen af E_a det følgende døgn reguleres jordens vandindhold med nedbør faldet i løbet af døgnet. Først fyldes W_{int} op til max. 2 mm. Den resterende nedbørsmængde fordeles forholdsmæssigt med $(0,5RC - W_2) / (RC - W_1 - W_2)$ til W_2 og resten til W_1 . Er nedbørsmængden større end underskuddet $(RC - W_1 - W_2)$, sættes $W_2 = 0,5RC$, og den overskydende del henregnes til W_1 .

Den relative fordampning (E_a/E_p) over en sæson beregnes som summen af daglig beregnede E_a divideret med summen af daglig målt E_p .

Variabelliste

R = afstrømning

Ea = aktuel fordampning

Ep = potentiel fordampning

E_{int} = fordampning af interceperet vand

E₁ = fordampning af let tilgængeligt jordvand

E₂ = fordampning af svært tilgængeligt jordvand

P = nedbør

I = vanding

RC = rodzonekapacitet (vandindhold ved markkapacitet minus utilgængeligt vand i rodzonen)

W_{int} = interceperet vand, ≤ 2 mm

W₁ = rodzonens aktuelle indhold af let tilgængeligt vand

W₂ = rodzonens aktuelle indhold af svært tilgængeligt vand

W₂ $\leq$ 0,5RC

Ea/Ep = relativ fordampning

Tabel B1. Udbyttekonstanter. Beregnede konstanter til modellen $Y = a + bN + cN^2 + dE + eNE + fNE^2$, hvor Y er udbyttet
 ===== i hkg/ha med 85 % tørstof i korn og 100 % tørstof i grovfoder, N er tilført N, og E er relativ fordampning Ea/Ep.

Afgrøde	Afgrødedel	a	b	c	d	e	f	R ²	S hkg/ha	CV %
Vinterhvede	kerne	35,09	0,21	0	0	0	0	0,34	14,1	21
Vinterrug	kerne	-10,10	0,462	-0,001668	34,03	-0,072	0,036	0,41	9,4	23
Vinterbyg	kerne	-12,69	-0,470	-0,000982	27,29	1,776	-0,888	0,55	13,7	34
Vårbyg	kerne	-21,05	0,375	-0,001007	46,06	-0,158	0,079	0,42	10,8	29
Havre	kerne	14,67	0,398	-0,001375	0	0	0	0,66	8,3	25
Græs	top	- 8,58	0,299	-0,000276	54,84	0,100	-0,050	0,75	16,5	13
Kartofler	knolde	7,55	0,238	-0,000845	72,45	0,256	-0,128	0,50	19,5	20
Roer	rod + top	57,05	0,023	-0,002101	- 3,58	1,600	-0,800	0,33	42,2	41
Majs	kolbe + stængel	22,69	-0,412	-0,000758	59,83	1,706	-0,853	0,64	22,4	22

Tabel B2. N-optagelseskonstanter. Beregnede konstanter til modellen $Y = a + bN + cN^2 + dE + eNE + fNE^2$, hvor Y er N-optagelsen i kg/ha, N er tilført N, og E er relativ fordampning Ea/Ep.

Afgrøde	Afgrødedel	a	b	c	d	e	f	R ²	S kg/ha	CV %
Vinterhvede	kerne	19,81	0,618	0	0	0	0	0,63	22,4	20
Vinterrug	kerne	- 5,10	0,498	-0,001504	32,86	0,096	-0,048	0,51	12,9	21
Vinterbyg	kerne	6,30	-1,105	-0,000817	3,53	3,580	-1,790	0,60	22,7	33
Vårbyg	kerne	- 1,14	0,078	-0,000889	30,79	0,720	-0,360	0,45	16,1	28
Vårbyg	kerne + halm	- 8,07	-0,178	-0,000744	42,91	1,527	-0,764	0,63	20,2	28
Havre	kerne	21,51	0,673	-0,002132	0	0	0	0,67	15,2	28
Græs	top	22,76	0,191	-0,000174	28,92	1,180	-0,590	0,83	47,5	14
Helsød	top	47,48	0,551	0	0	0	0	0,77	34,4	15
Kartofler	knolde	9,55	0,397	-0,000788	53,64	0,428	-0,214	0,65	25,3	22
Roer	rod + top	67,00	0,642	-0,000321	0	0	0	0,50	48,3	33
Majs	kolbe + stængel	58,30	-0,500	-0,000265	16,92	2,064	-1,032	0,62	26,9	22

Figurerne 3-9, 11-13 og 15-23 viser udbytte eller kvælstofoptagelse for forskellige afgrøder som funktion af kvælstoftilførsel. Punkterne viser de målte udbytter eller kvælstofoptagelser med signatur efter tre intervaller for relativ fordampning, E_a/E_p :

Firkant □ □ □ □ $E_a/E_p < 0,63$

Trekant Δ Δ Δ Δ $E_a/E_p = 0,64 - 0,87$

Plus + + + + $E_a/E_p = 0,88 - 1$

Kurverne er beregnet ud fra modellerne (appendiks B) ved tre niveauer af relativ fordampning:

———— $E_a/E_p = 0,5$

- - - $E_a/E_p = 0,75$

----- $E_a/E_p = 1$

Figur 10 viser optagelseskoefficienter for kvælstof i kerne og halm i vårbyg som funktion af kvælstoftilførsel ved tre niveauer af relativ fordampning, og figur 14 viser kvælstofoptagelse i ærter som funktion af relativ fordampning.

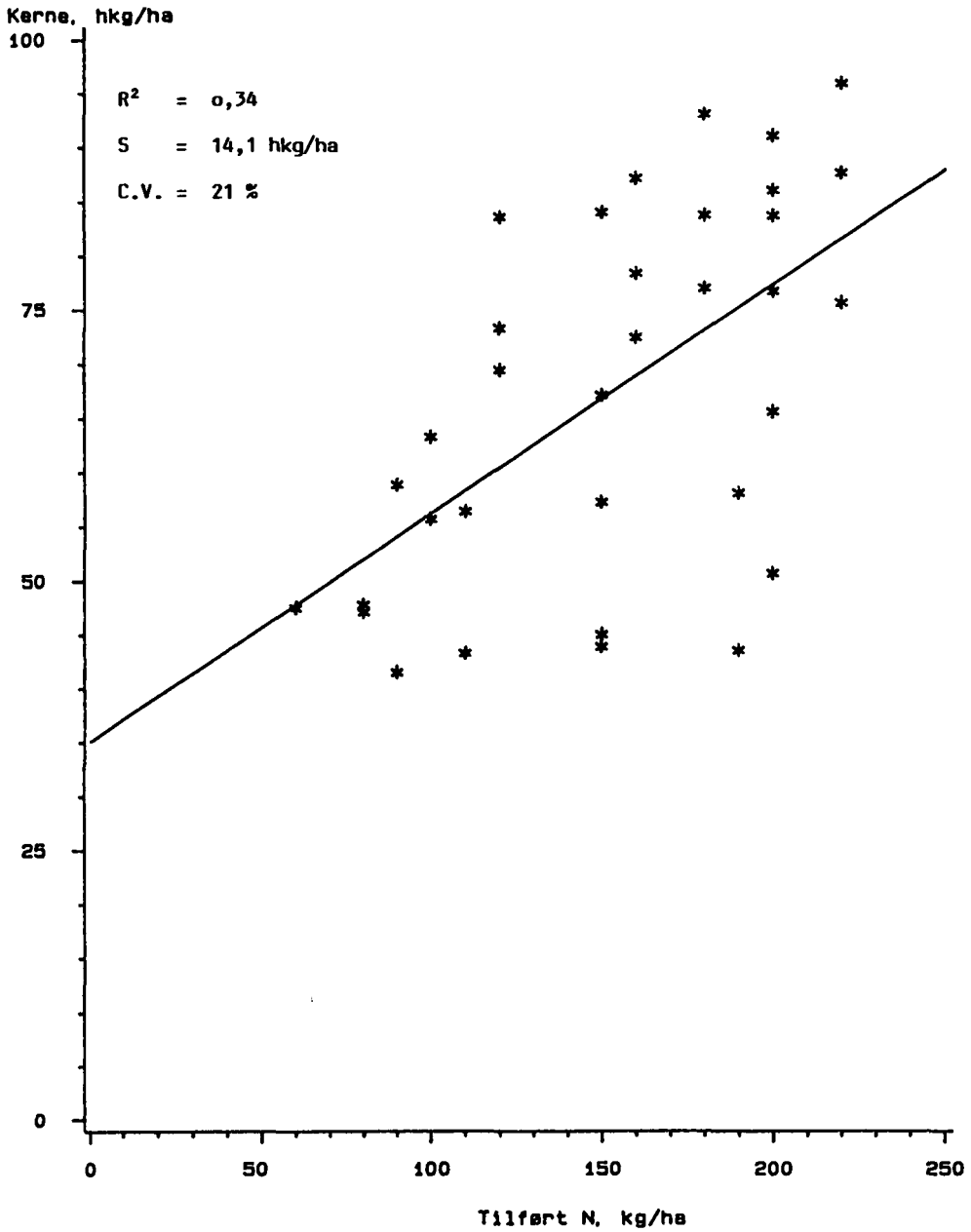


Fig. C.1. Kerneudbytte i vinterhvede. $Ea/Ep > 0,87$.

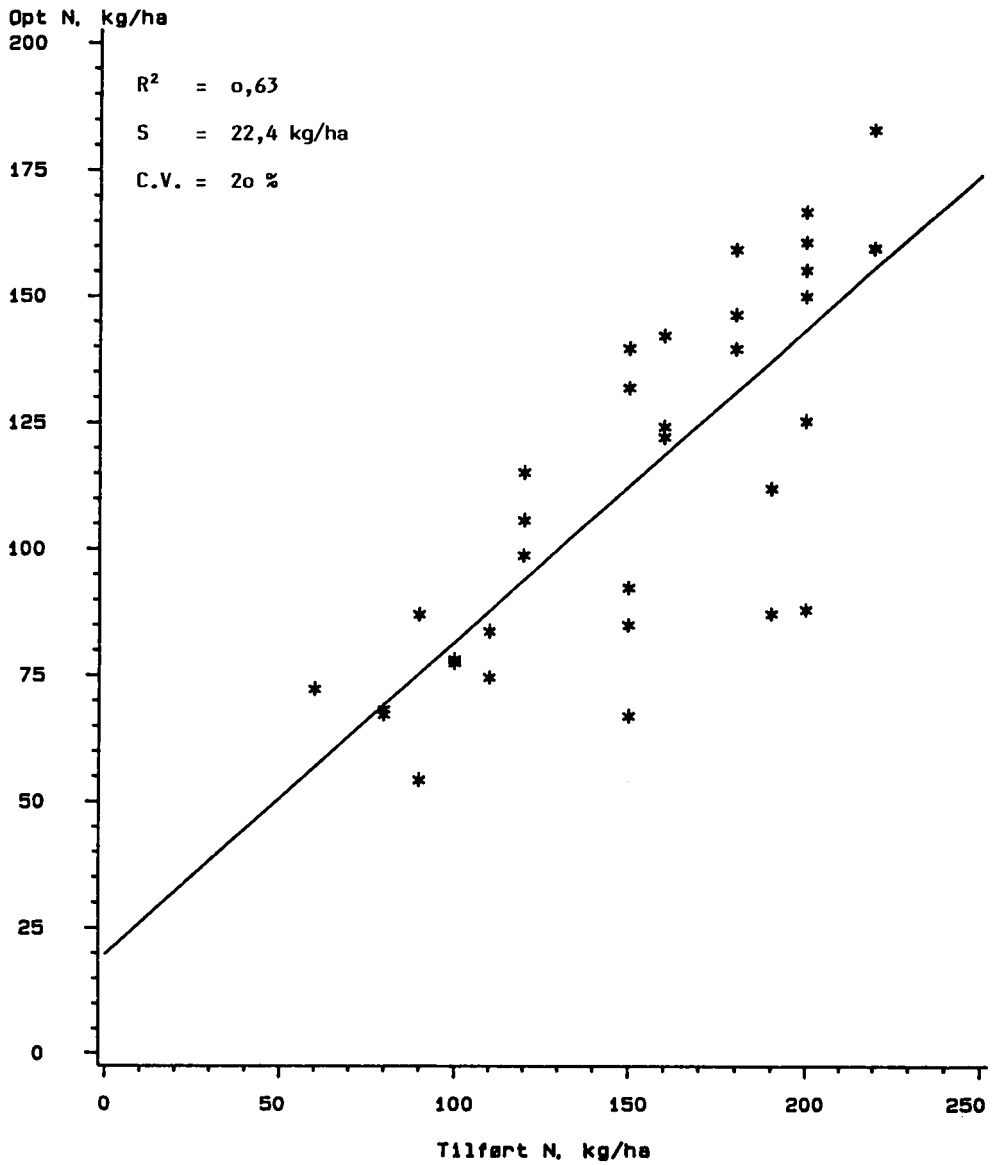


Fig. C.2. Kvælstofoptagelse i kerne i vinterhvede. $Ea/Ep > 0,87$.

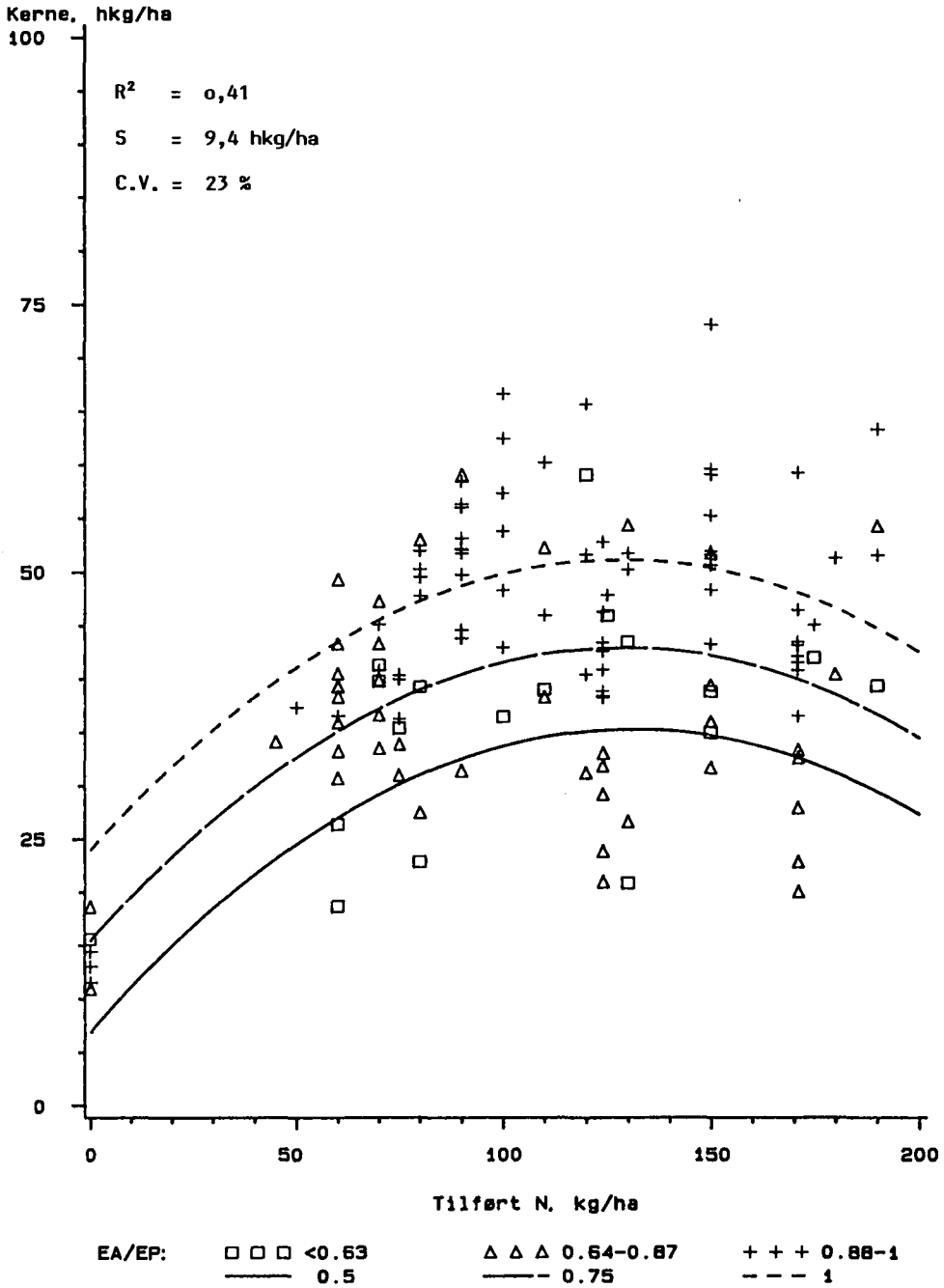


Fig. C.3. Kerneudbytte i vinterrug.

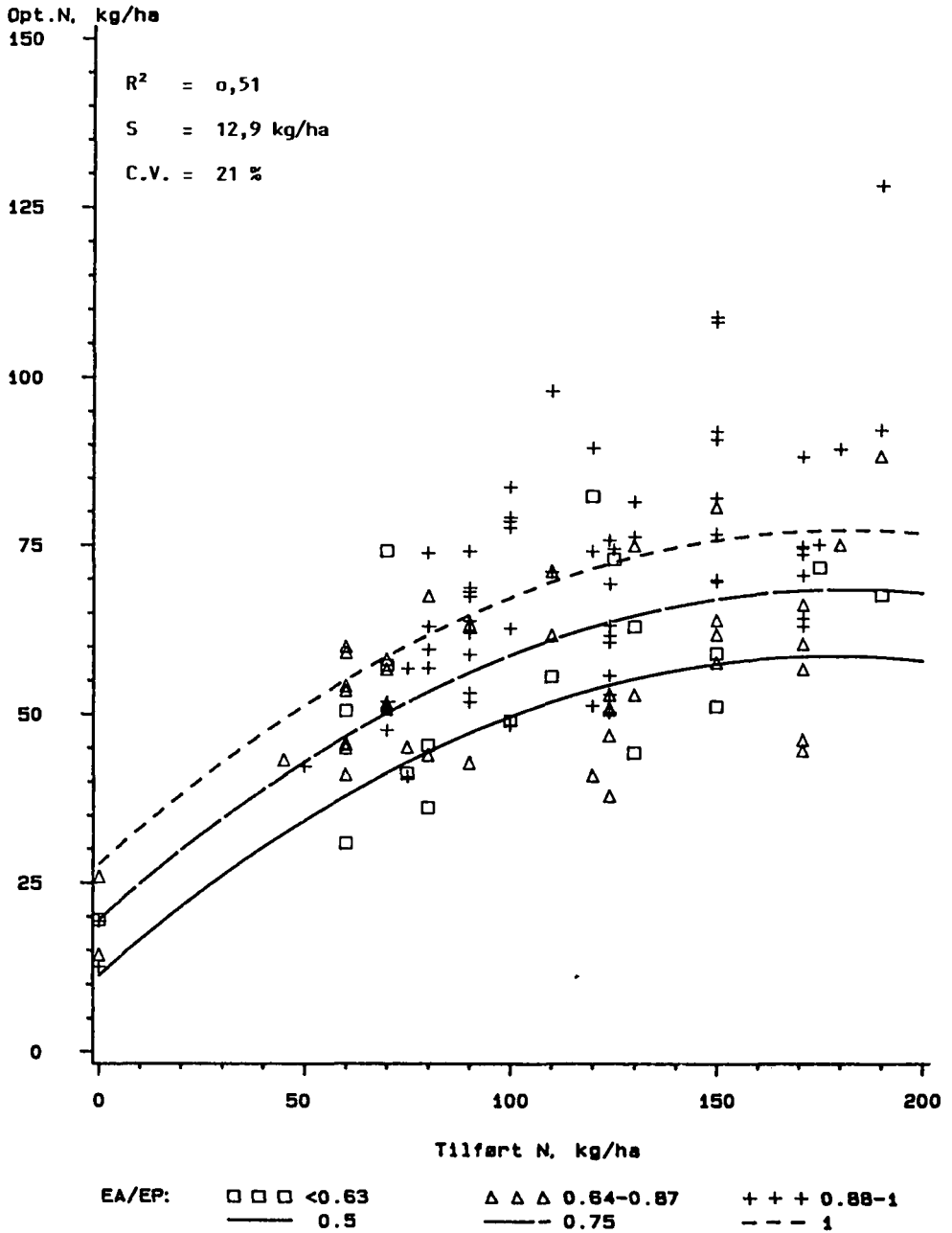


Fig. C.4. Kvælstofoptagelse i kerne i vinterrug.

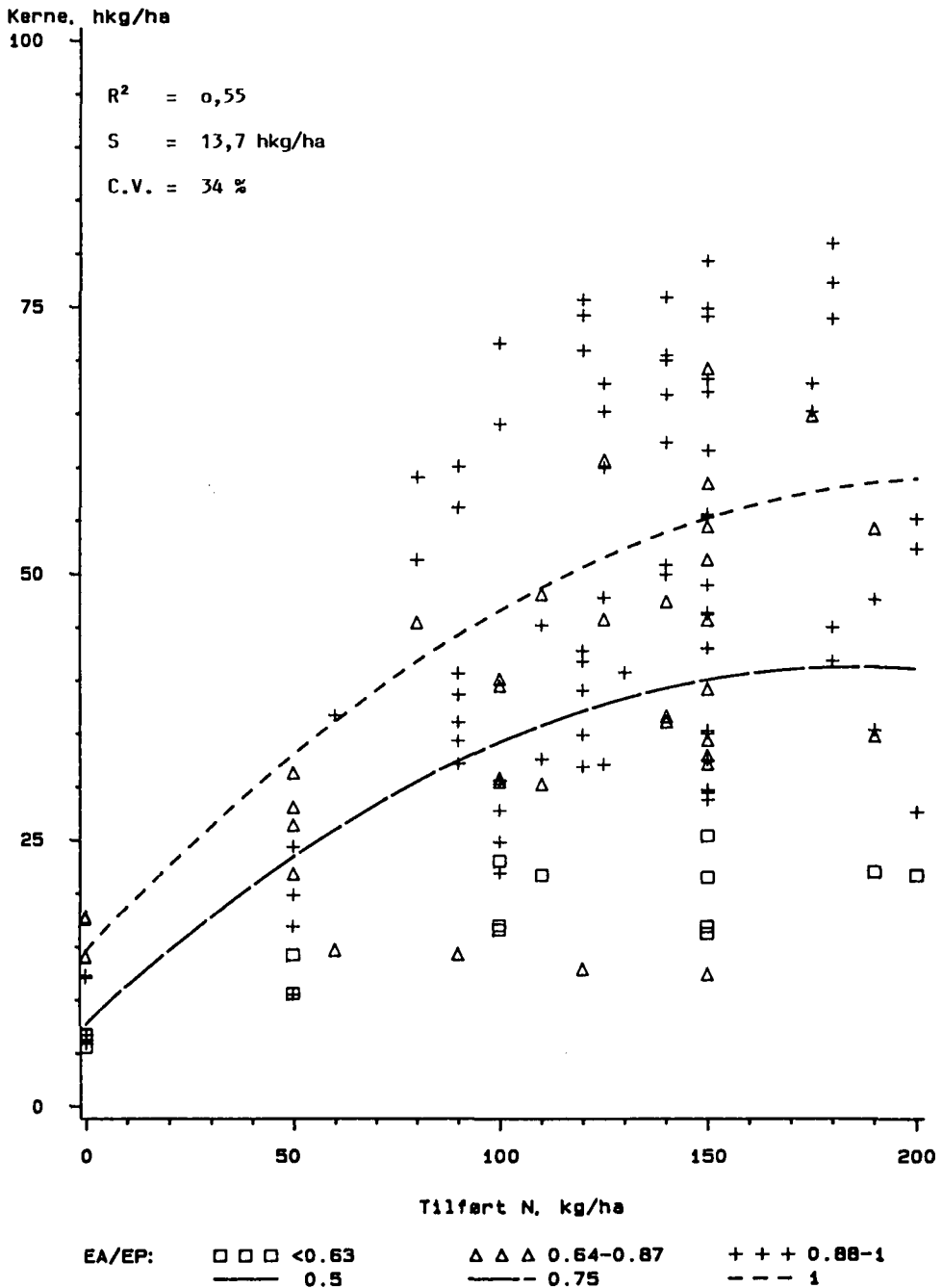


Fig. C.5. Kerneudbytte i vinterbyg.

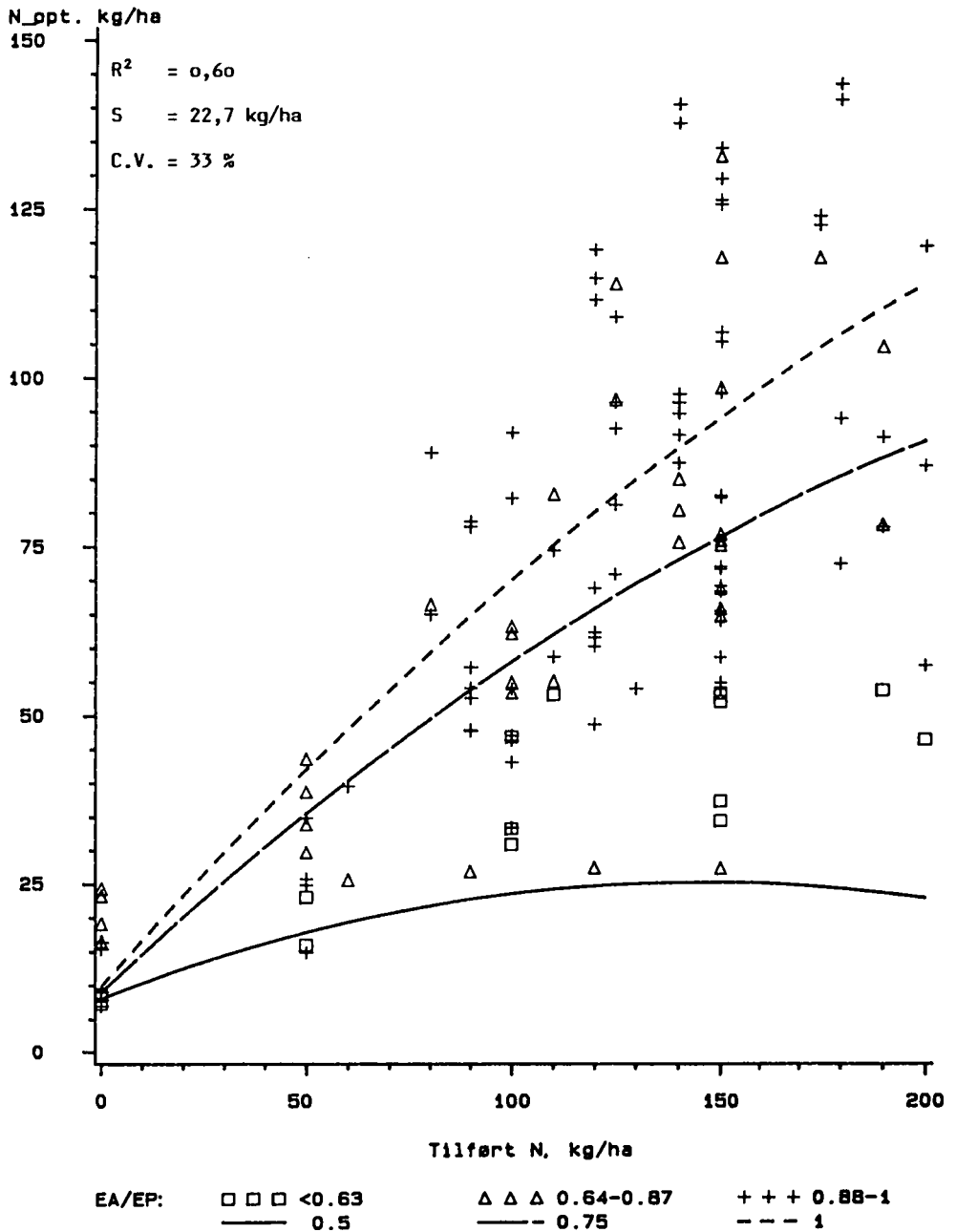


Fig. C.6. Kvälstofoptagelse i kerne i vinterbyg.

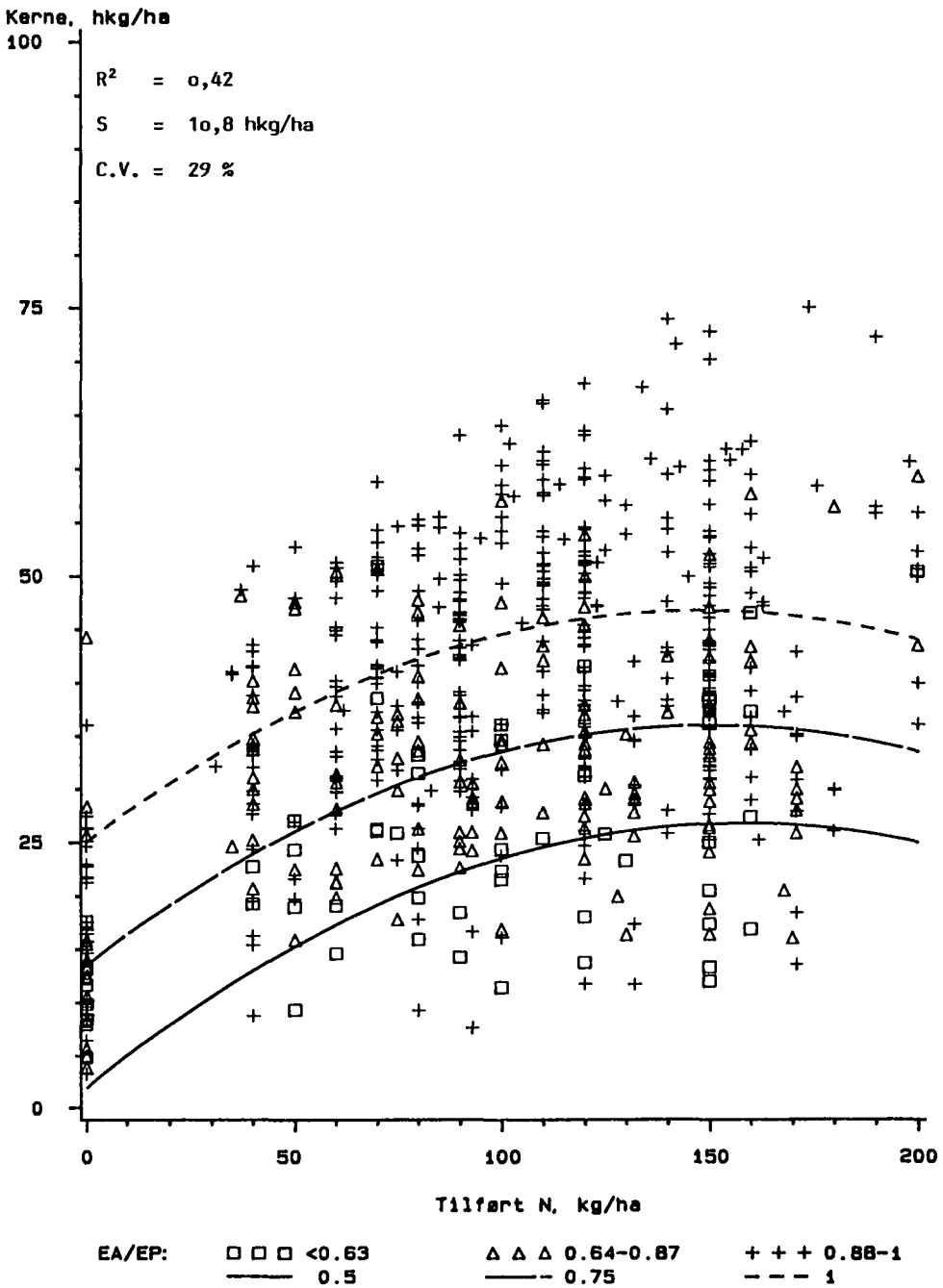


Fig. C.7. Kerneudbytte i vårbyg.

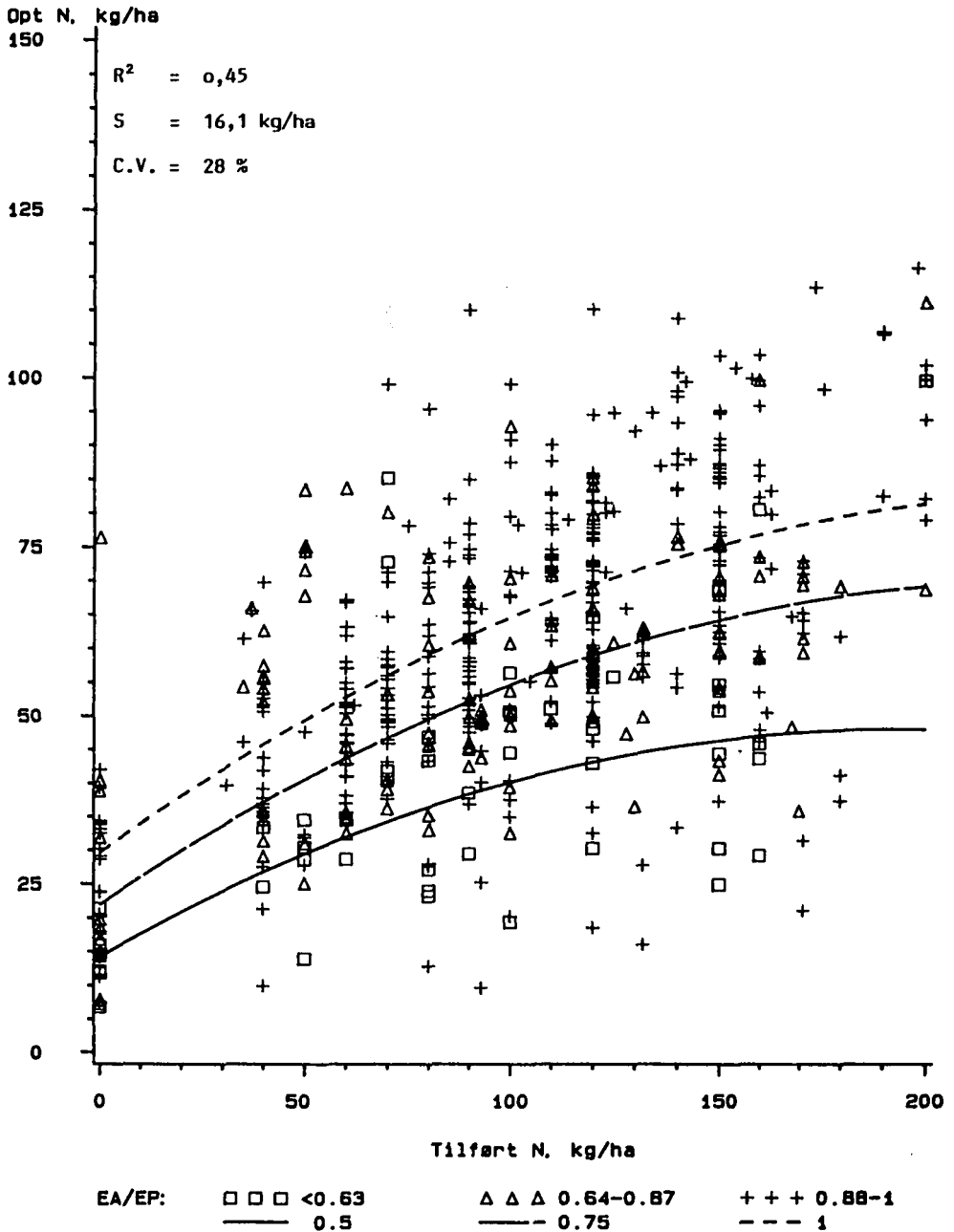


Fig. C.8. Kvalstofoptagelse i kerne i vårbyg.

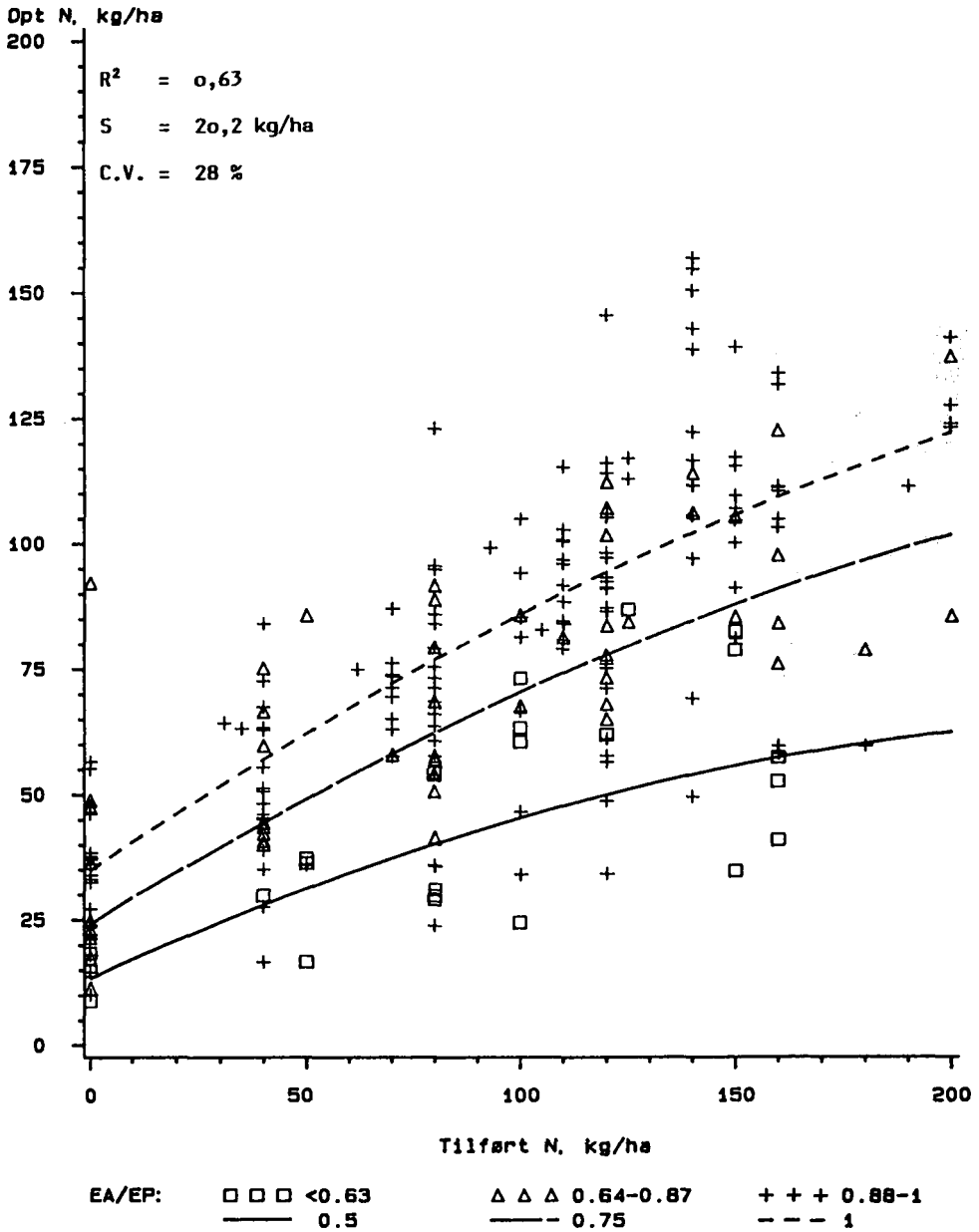


Fig. C.9. Kvælstofoptagelse i kerne og halm i vårbyg.

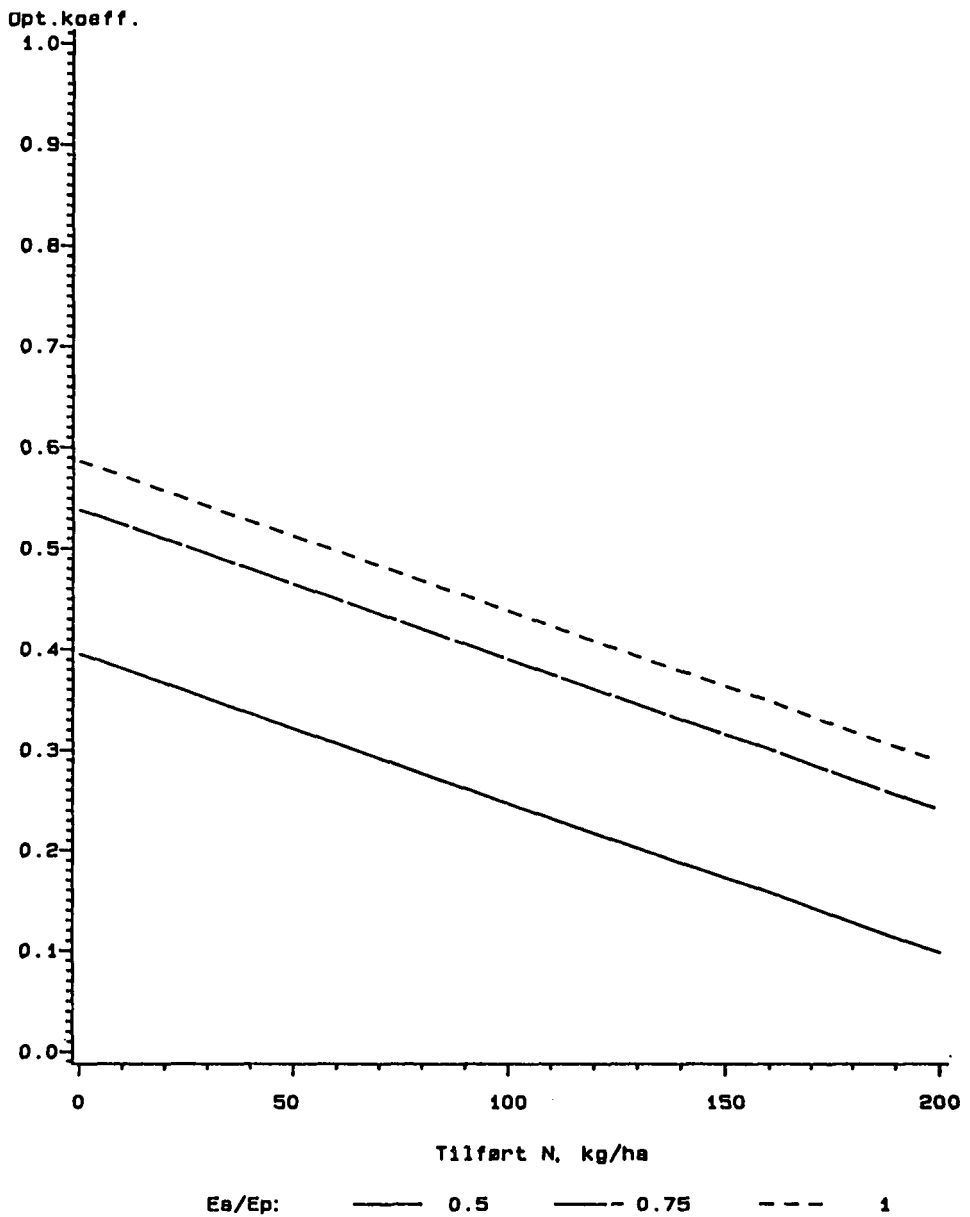


Fig. C.10. Optagelseskoefficienter for N-optagelse i kerne og halm i vårbyg som funktion af N-tilførsel.

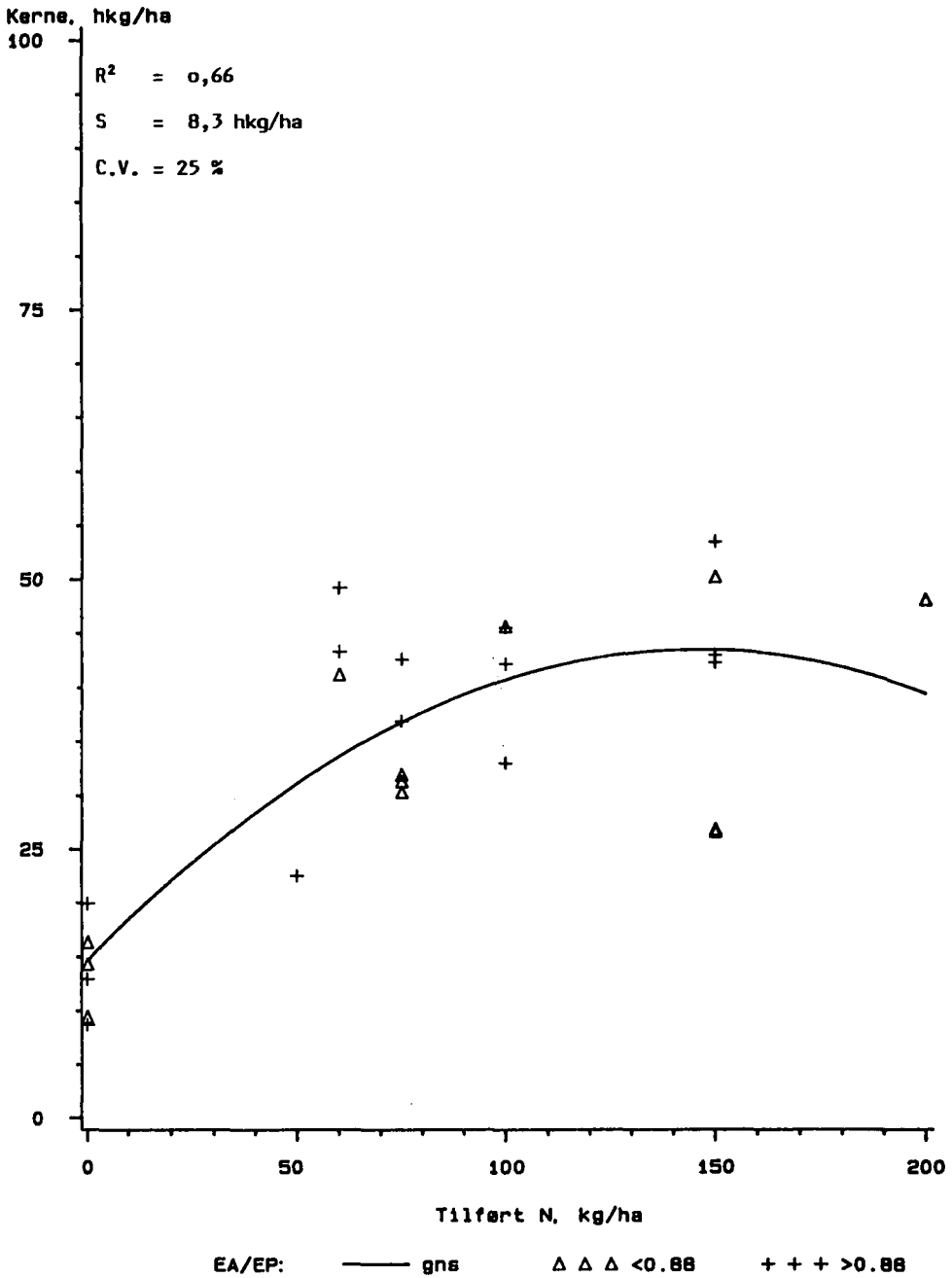


Fig. C.11. Kerneudbytte i havre

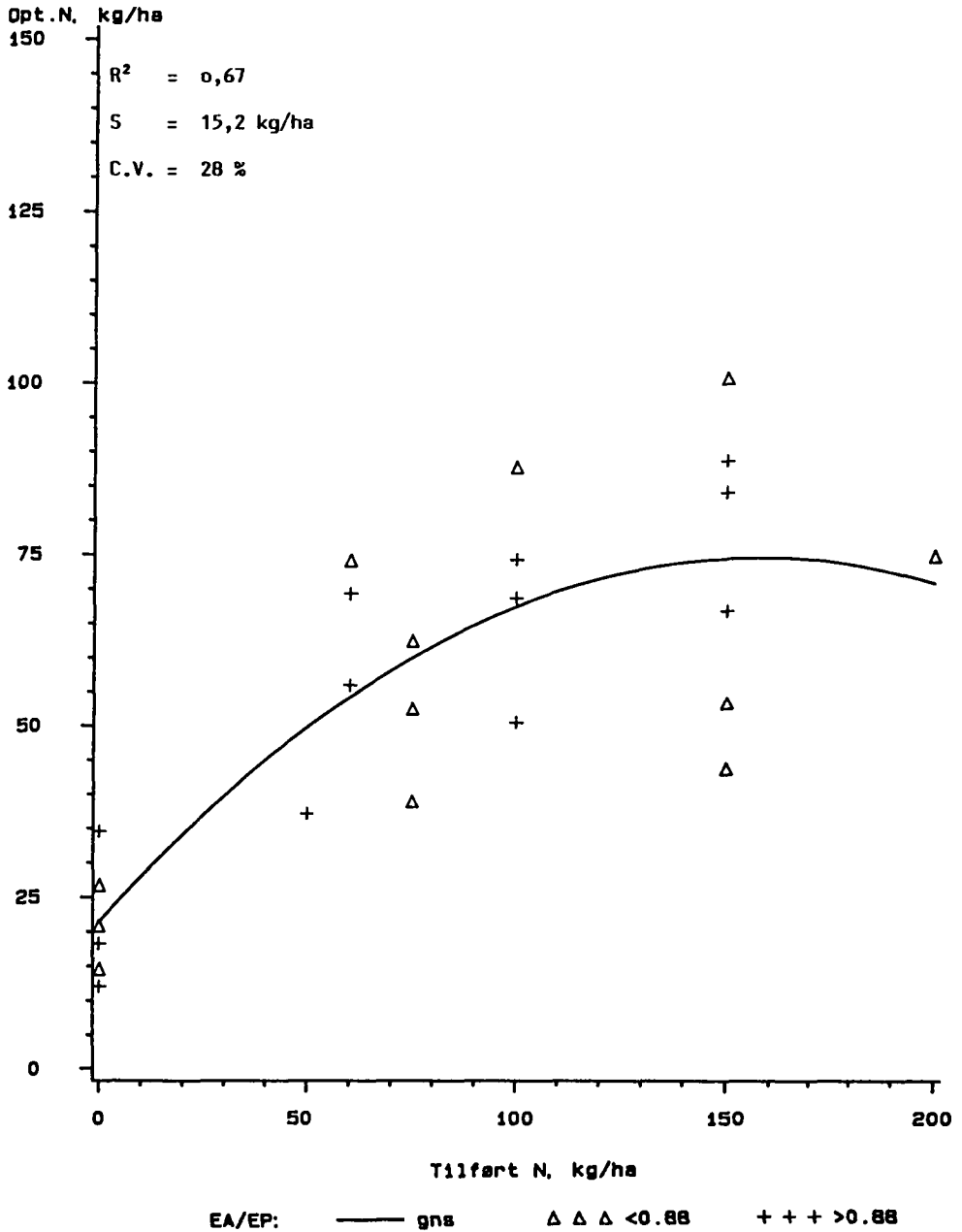


Fig. C.12. Kvælstofoptagelse i kerne i havre.

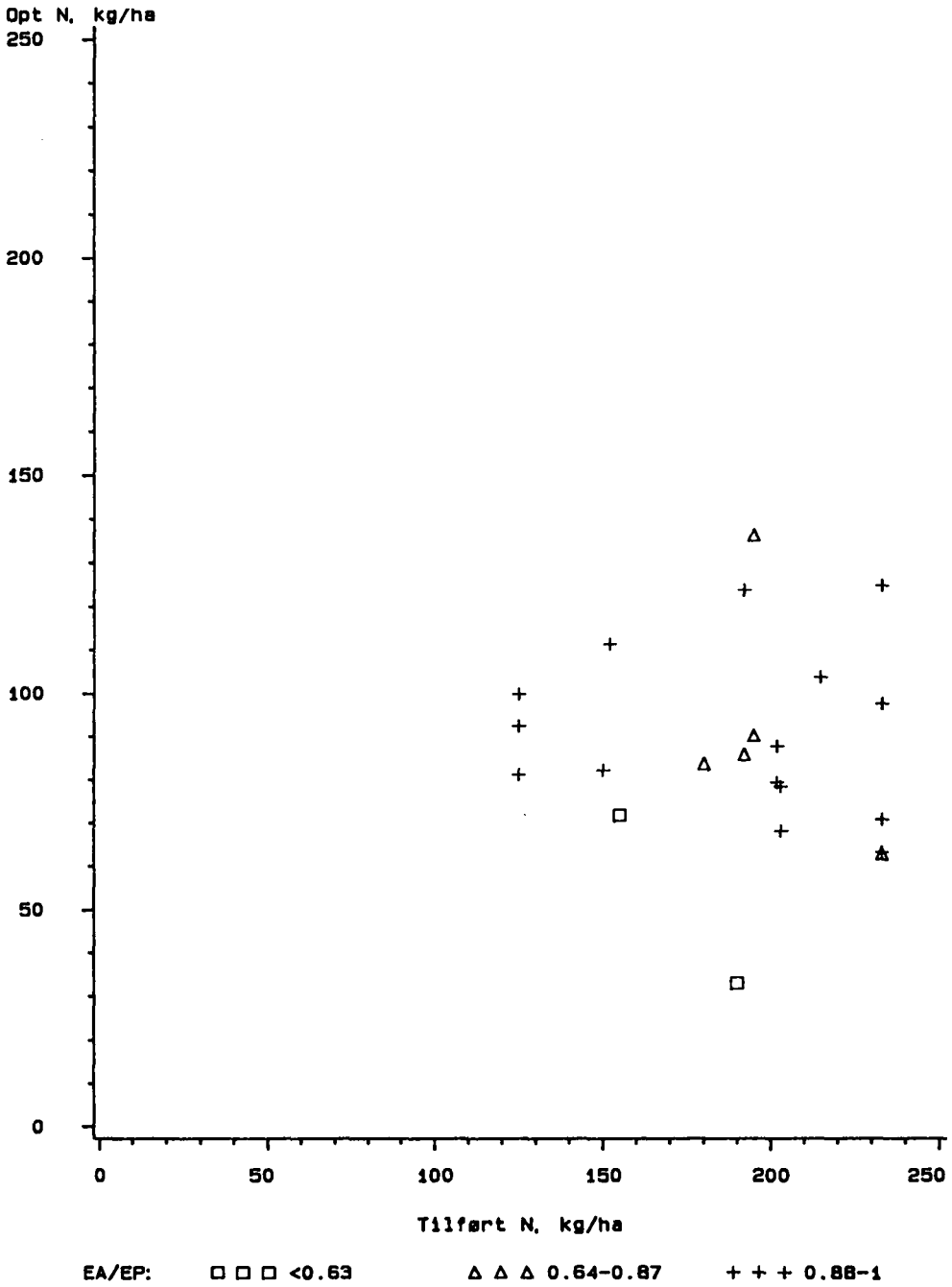


Fig. C.13. Kvælstofoptagelse i rapsfrø.

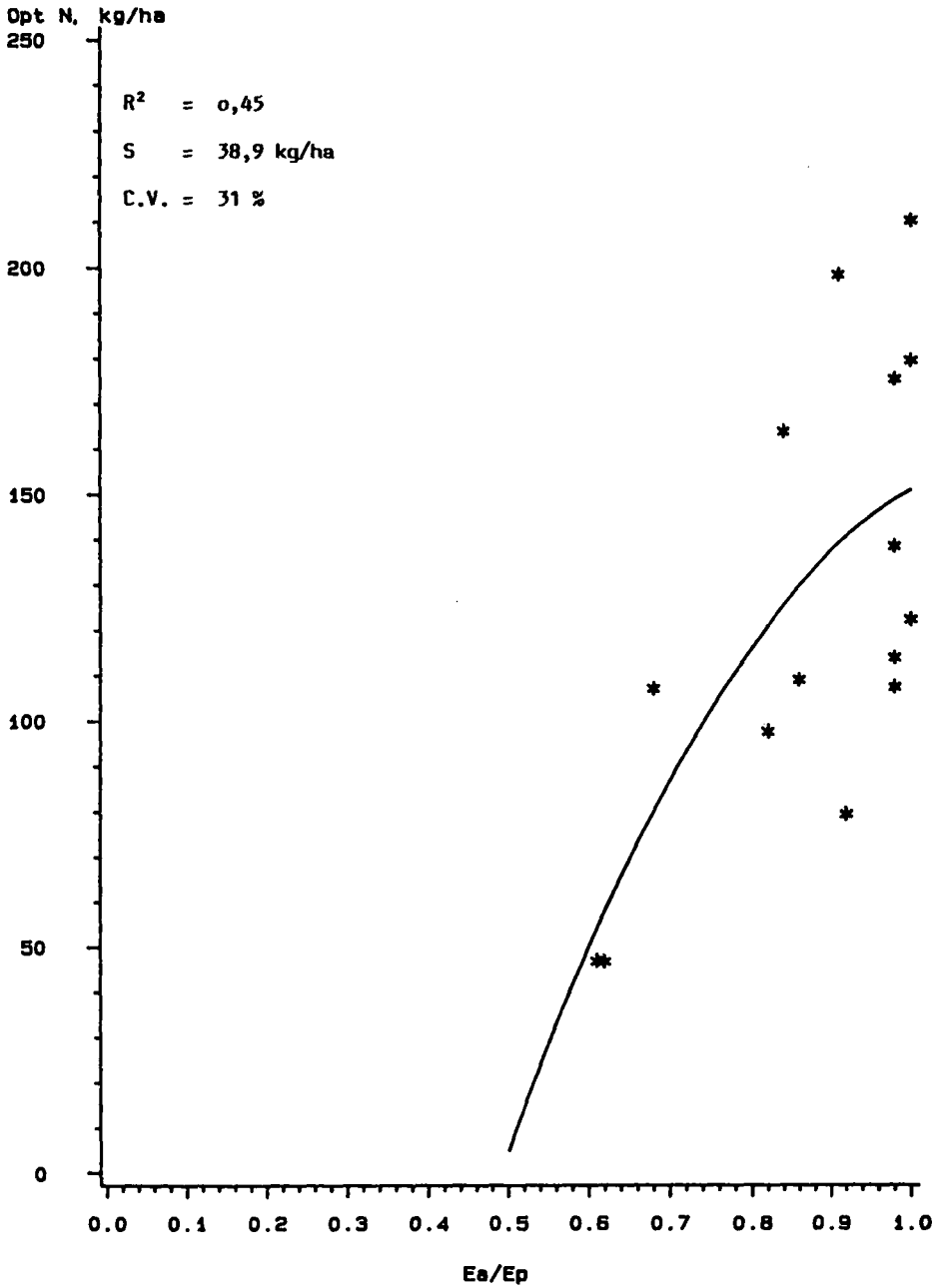


Fig. C.14. Kvælstofoptagelse i ærter som funktion af relativ fordampning.

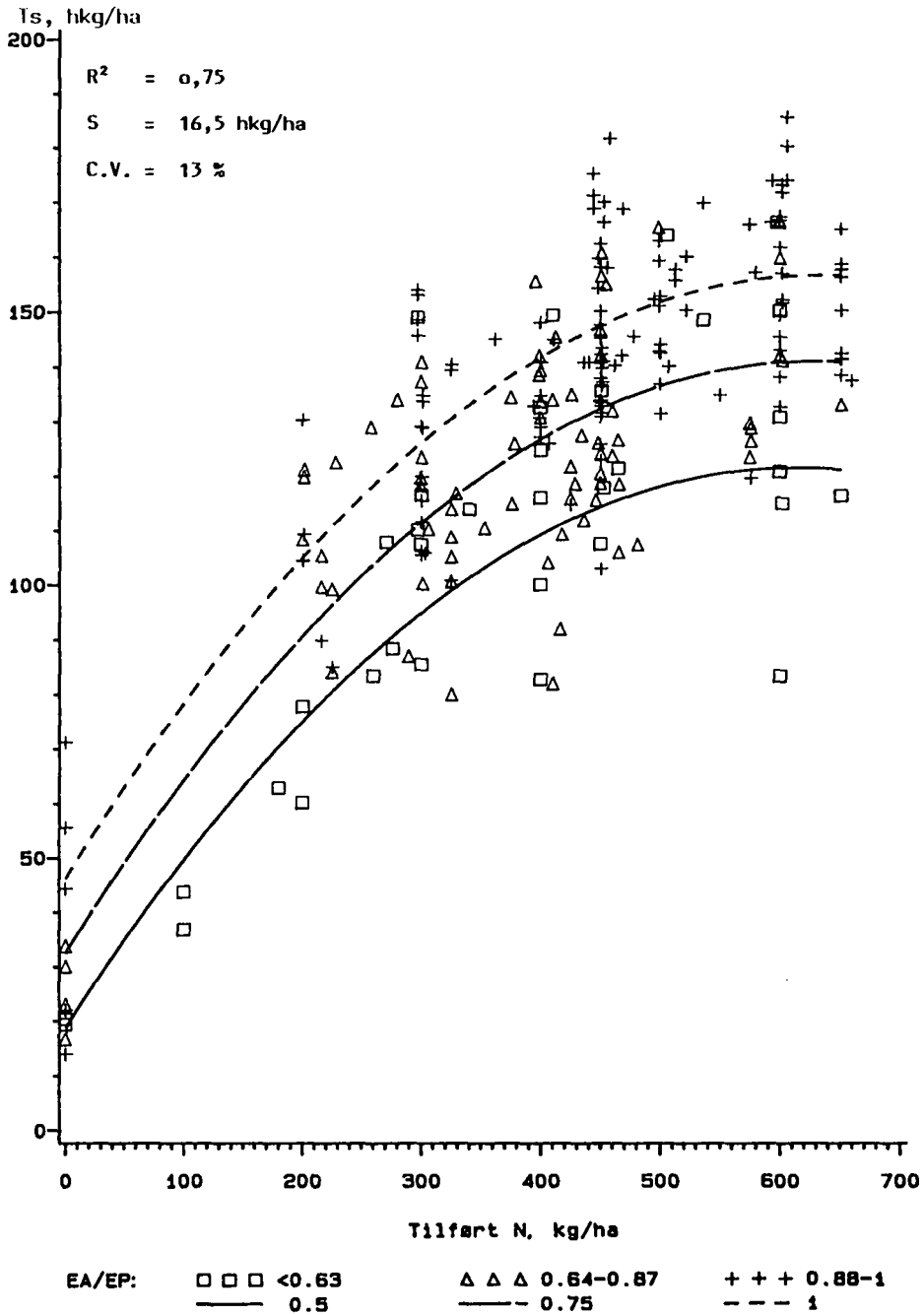


Fig. C.15. Tørstofudbytte i græs.

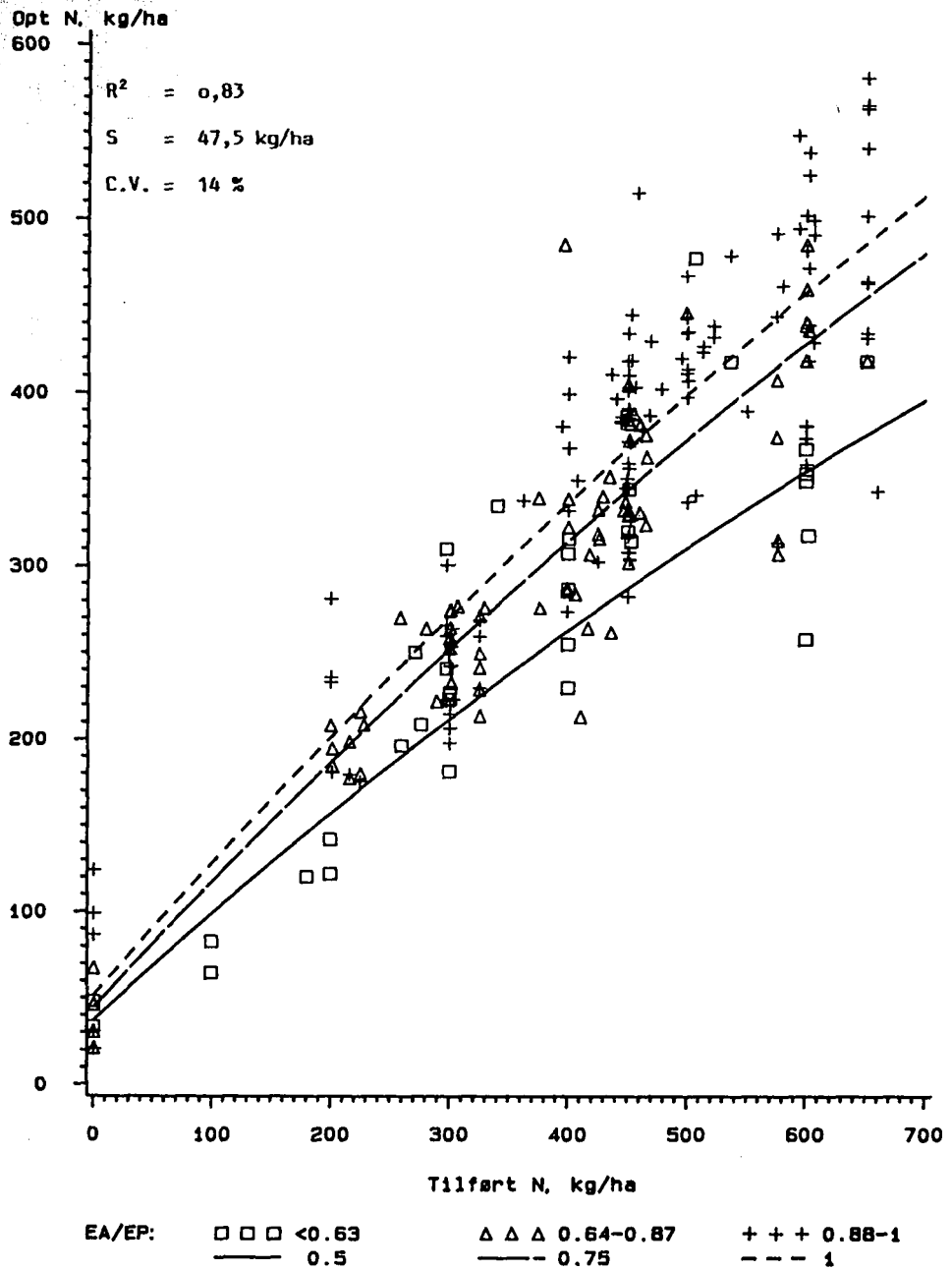


Fig. C.16. Kvælstofoptagelse i græs.

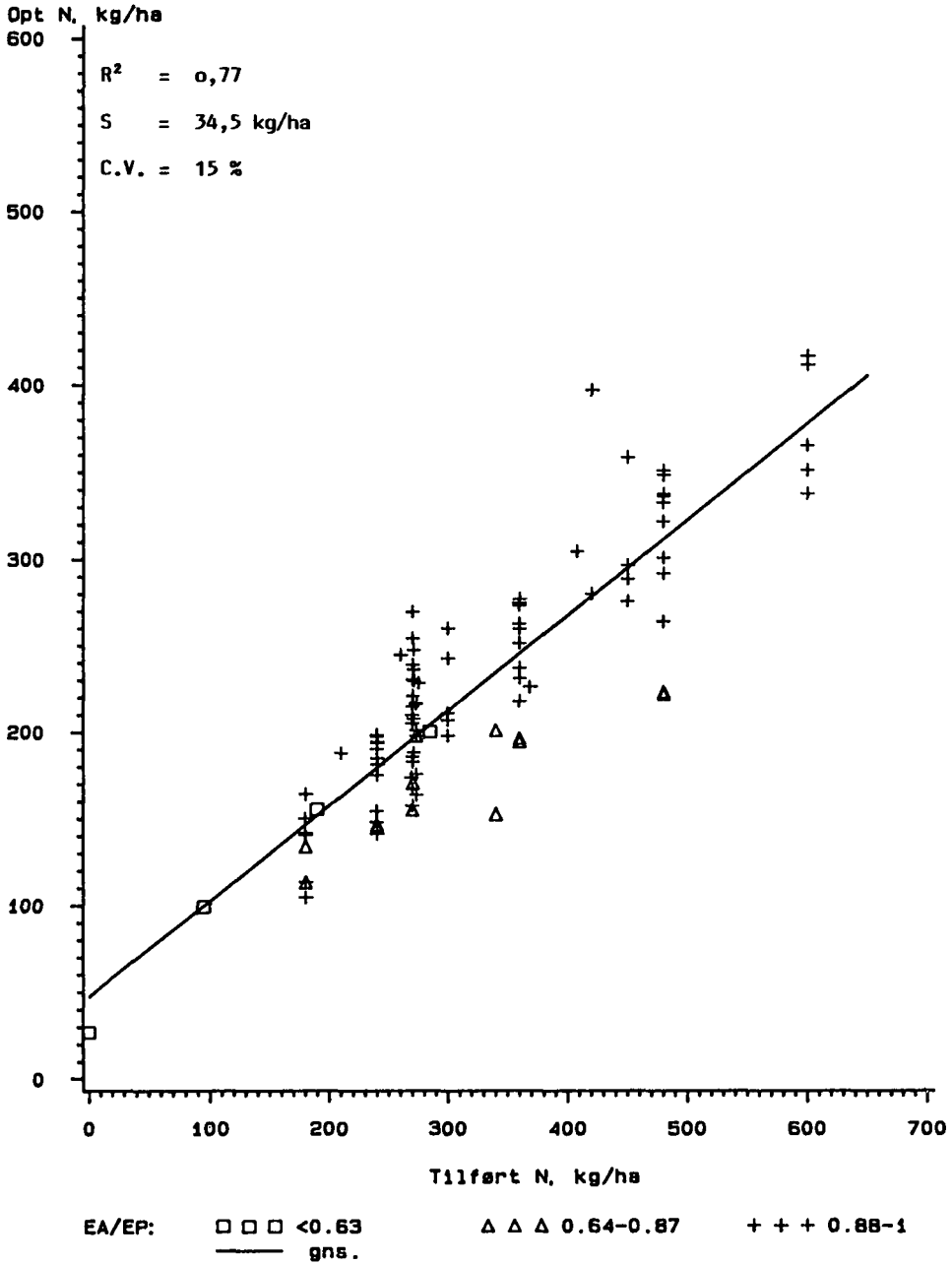


Fig. C.17. Kvalstofoptagelse i helsæd.

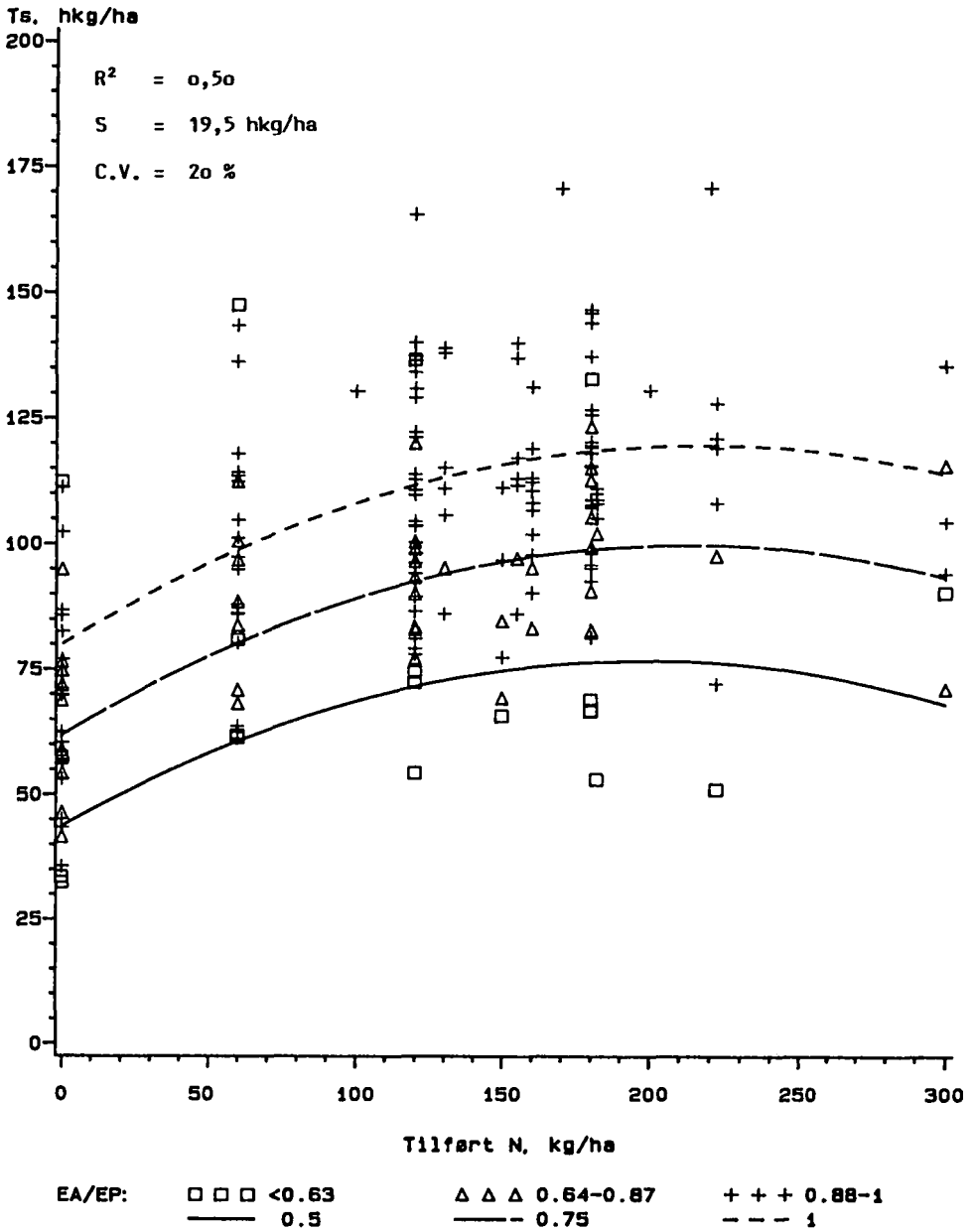


Fig. C.18. Tørstofudbytte i kartoffelknolde.

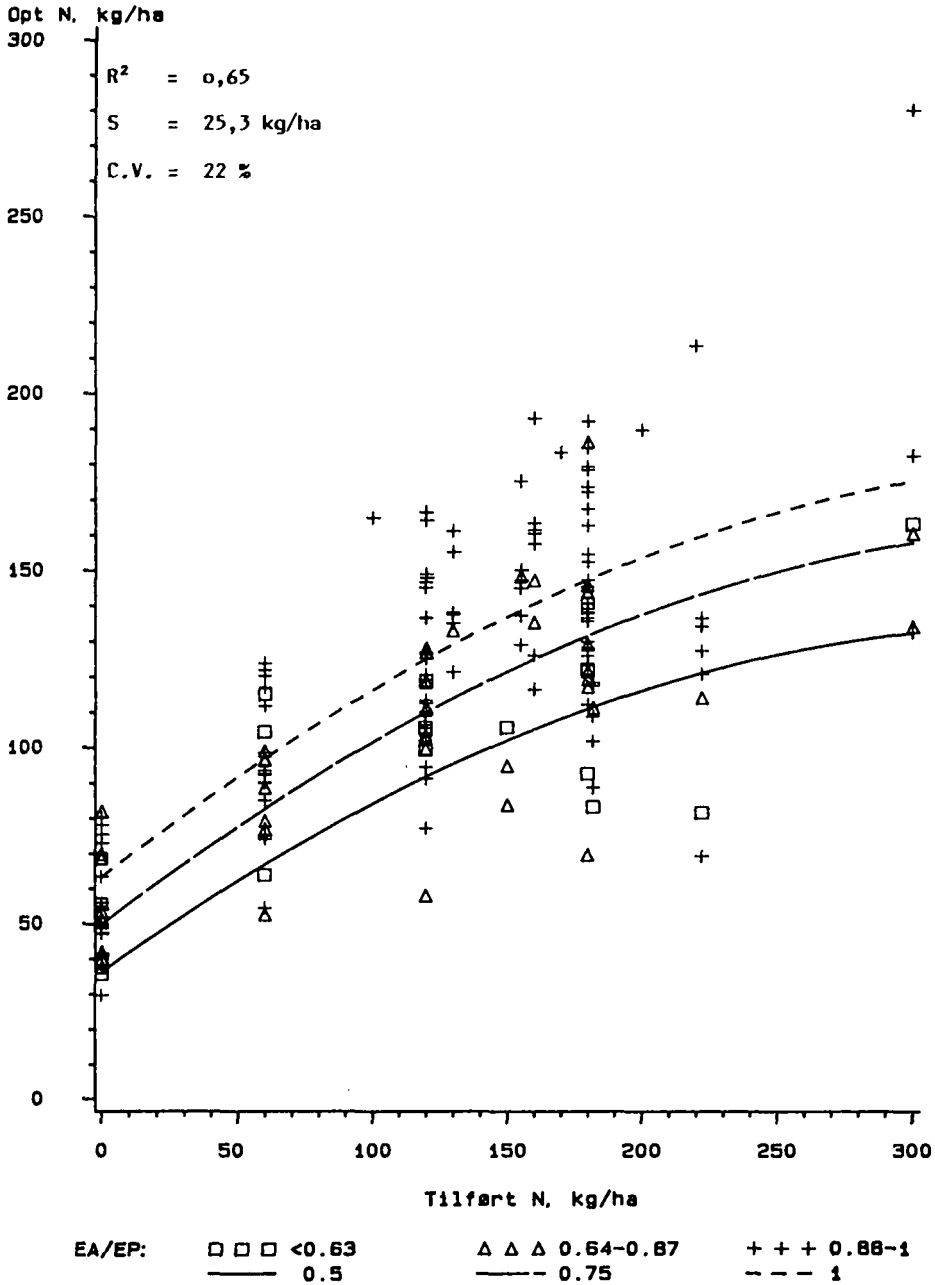


Fig. C.19. Kvalstofoptagelse i kartoffelknolde.

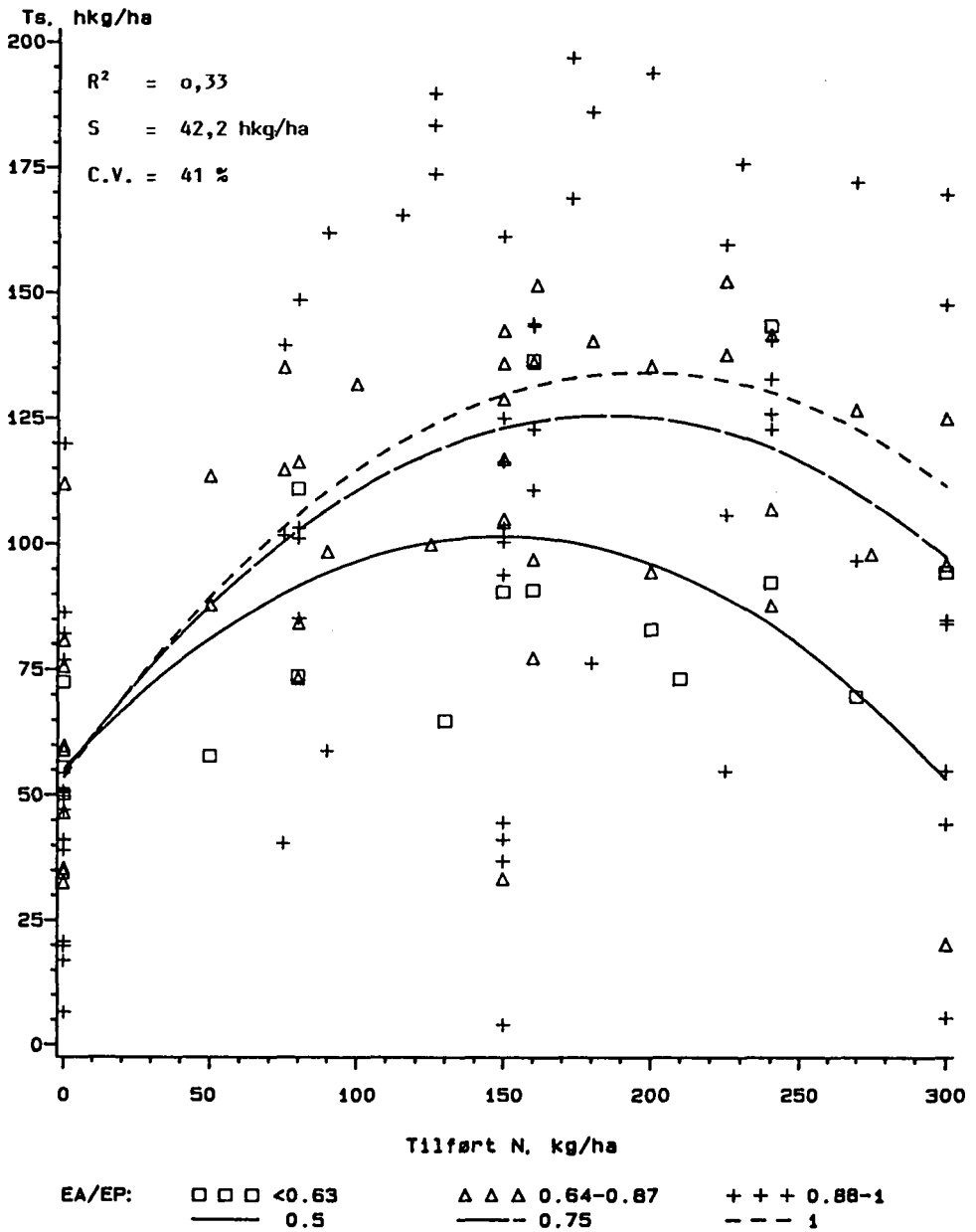


Fig. C.20. Tørstofudbytte i roer.

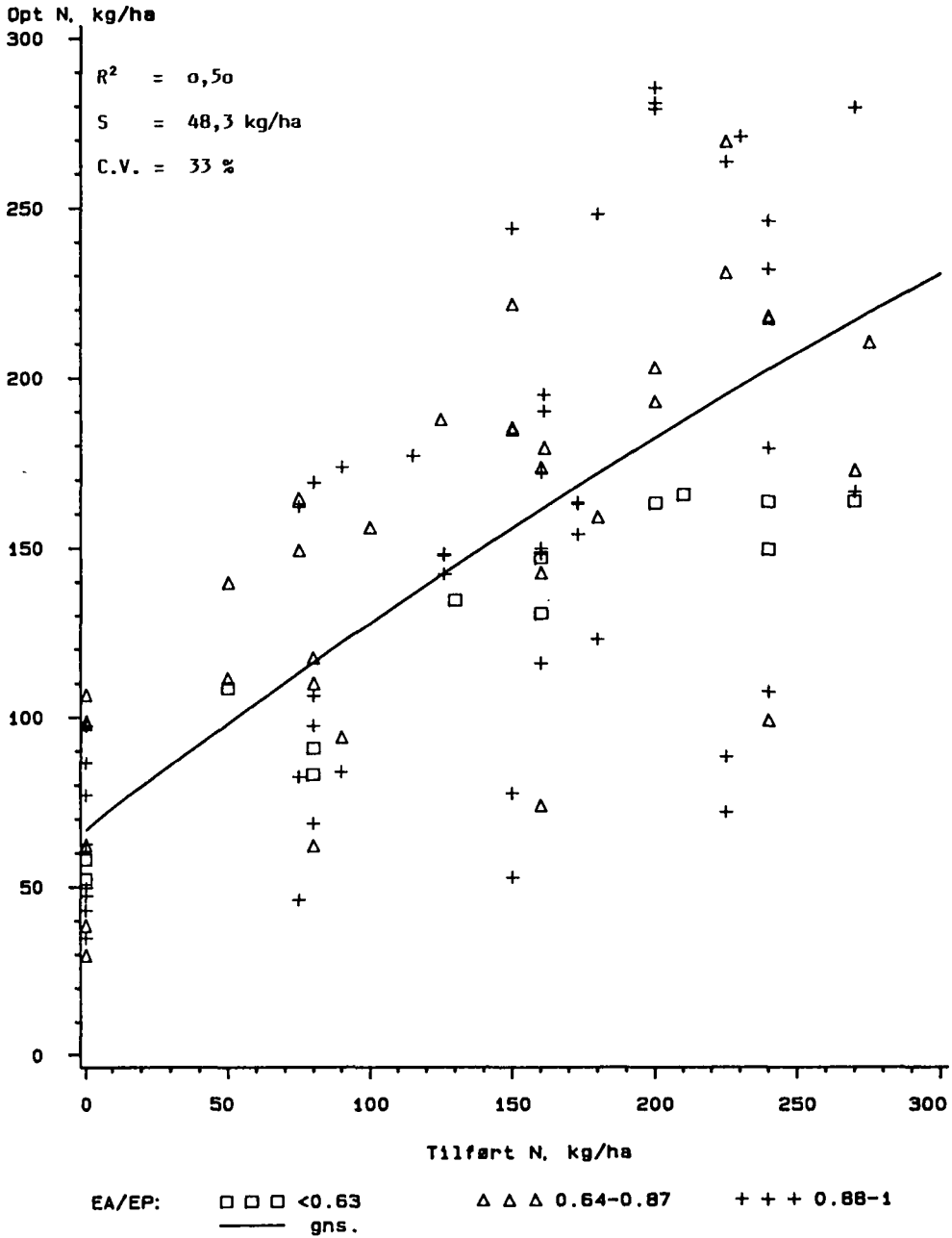


Fig. C.21. Kvalstofoptagelse i roer.

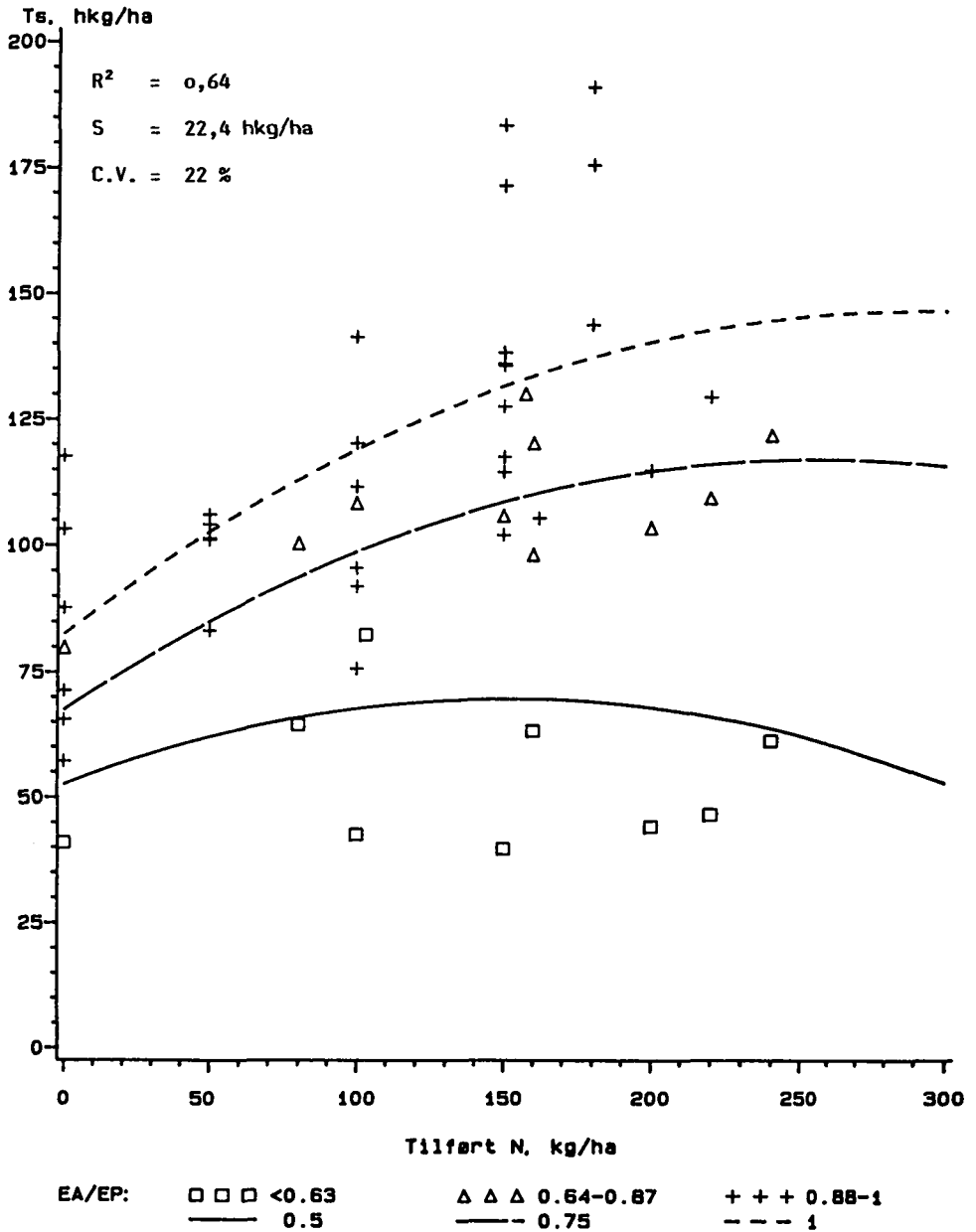


Fig. C.22. Tørstofudbytte i majs.

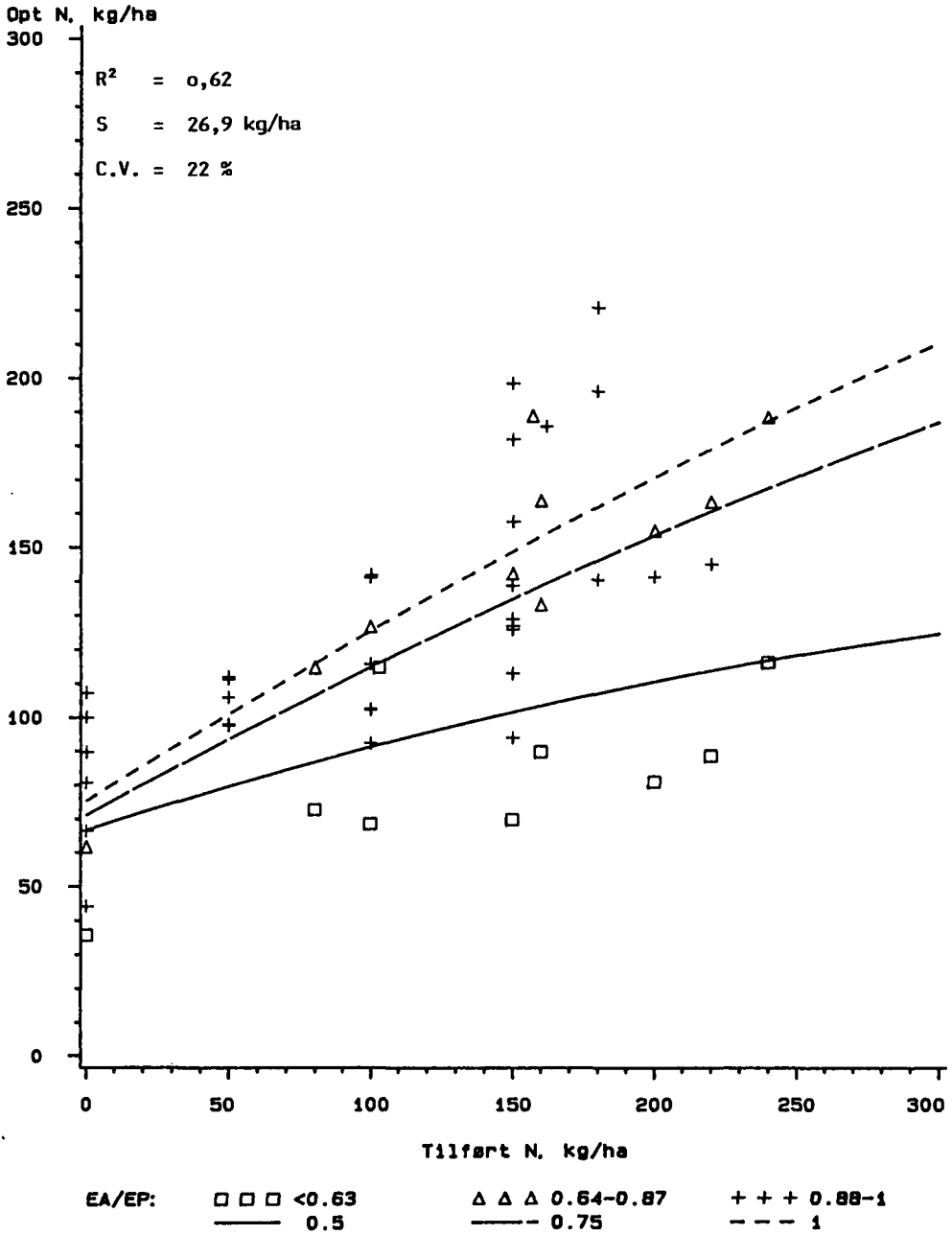


Fig. C.23. Kvalstofoptagelse i majs.

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
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	06 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	02 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	03 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	02 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	04 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	08 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	03 59 61 41
Afdeling for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . . .	06 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	07 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	07 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	05 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	05 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	04 74 21 04
Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	04 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	02 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	06 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	09 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	09 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	09 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	08 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	02 87 25 10
Institut for 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