Danmarks JordbrugsForskning
Biblioteket
Forskningscenter Flakkebjerg
4200 Slagelse

DJF
rapport

Maj 1999

Nr. 11 • Markbrug

Jens Petersen

Placering af gødning i kornafgrøder

Placement of fertilizer in cereal crops

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Danmarks JordbrugsForskning

Placering af gødning i kornafgrøder

Placement of fertilizer in cereal crops

Danmarks JordbrugsForskning
Biblioteket
Forskningscenter Flakkebjerg
4200 Slagelse

Jens Petersen
Afdeling for Plantevækst og Jord
Forskningscenter Foulum
Postboks 50
DK-8830 Tjele

DJF rapport Markbrug nr. 11 • maj 1999 • 2. årgang

Udgivelse:	Danmarks JordbrugsForskning Forskningscenter Foulum Postboks 50 8830 Tjele	Tlf. 89 99 19 00 Fax 89 99 19 19
Løssalg: (incl. moms)	t.o.m. 50 sider t.o.m. 100 sider over 100 sider	50,- kr. 75,- kr. 100,- kr.
Abonnement:	Afhænger af antallet af tilsendte rapporter, men svarer til 75% af løssalgsprisen.	
Forsidefoto:	Karforsøg med gødningsplacering (Foto: Jens Petersen)	

Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af en litteraturgennemgang med det formål, at give et overblik over udførte forsøg med gødningsplacering, herunder belyse de parametre, der er af betydning for placeringseffekten, samt beskrive perspektivet ved gødningsplacering. Arbejdet er udført som første fase i et delprojekt under projektet 'Rækkedyrkningssystem - Planteetablering og plantepleje', der er et samarbejdsprojekt mellem de tre afdelinger i Danmarks JordbrugsForskning: Afd. for Jordbrugsteknik, Afd. for Plantebeskyttelse, samt Afd. for Plantevækst og Jord. Projektet løber i perioden 1998-2001 og er finansieret af Strukturdirektoratet under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Det fælles projektmål er at opnå en forbedret planteudnyttelse af tilførte næringsstoffer samt reducere behovet for herbicider og energi. Projektet består af tre dele, hvor undersøgelse af mulighederne for placering af gødning indgår i første del 'Udvikling af et rækkedyrkningssystem', og konceptet er her, at tilførsel af hjælpestoffer og jordbearbejdning skal ske i en forudbestemt afstand til afgrøderækken. Hele projektet fokuserer på implementering af dette koncept i etablerede kornafgrøder. Ud over den biologiske viden, der tilvejebringes i første del, kræver dette koncept redskabsstyring efter afgrøderækkerne samt tilpasning af udstyr til planteetablering og plantepleje, og derfor er de to øvrige delprojekter primært teknisk orienterede.

I denne fremstilling er der lagt vægt på at behandle problemstillinger, som vil være relevante under danske forhold, specielt med henblik på at relatere gødningsplaceringen til rækkedyrkningkonceptet. Der fokuseres på effekten af handelsgødning, primært kvælstof, men også placeringeffekten af fosfor og kalium vil blive berørt.

Denne rapport danner tillige grundlag for det videre forsøgsarbejde med fastlæggelse af placeringsgeometriens betydning for planteproduktionen og kvælstofudnyttelsen ved gødningsplacering i etablerede kornafgrøder. Til dette formål gennemføres dyrkningsforsøg som kar- og rammeforsøg på Forskningscenter Foulum med anvendelse af isotopmærket kvælstof.

Jørgen V. Mortensen og Peter Sørensen, Afd. for Plantevækst og Jord, samt Torkild Birkmose, Landskontoret for Planteavl, takkes for kritisk gennemlæsning og kommentarer til det faglige indhold. Margit Schacht, Afd. for Plantevækst og Jord, takkes for grundig korrektur, samt for konstruktive kommentarer til det engelske summary.

Jens Petersen
Forskningscenter Foulum
April 1999

Indholdsfortegnelse

Sammendrag 7

Summary 9

1. Definitioner 11

2. Generel beskrivelse af litteratur og forsøgsomstændigheder 13
2.1 Storbritannien og Holland 13
2.2 Skandinavien 14
2.3 Nordamerika, specielt Canada 15
2.4 Målte parametre i forsøg med gødningsplacering 16
2.4.1 Optaget næringsstof hidrørende fra tilført gødning 17
2.4.2 Genfindelse 17
2.5 Opdeling af faktorer, der har indflydelse på placeringseffekten 17

3. Naturlige faktorers indflydelse på effekten af gødningsplacering 19
3.1 Jordens næringsstofstatus 19
3.1.1 Kvælstof 19
3.1.2 Fosfor og kalium 21
3.2 Klima i vækstsæsonen, specielt om forsommertørke 23

4. Effekten af artificielle faktorer i forbindelse med gødningsplacering 26
4.1 Gødningstyper 26
4.1.1 Skadevirkning af forskellige gødningstyper ved samsåning 26
4.1.2 Dyrkningsforsøg med kvælstofgødninger 29
4.1.3 Ammoniumgødningers nitrifikation og effekt på rodvæksten 29
4.1.4 Kornstørrelse 31
4.1.5 Dyrkningssystem 31
4.1.6 Vekselvirkning mellem kvælstof og fosfor 32
4.2 Placeringsgeometri 33
4.2.1 Dyrkningsforsøg 34
4.2.2 Flydende ammoniak til korn 36
4.2.3 Gødningsudnyttelse bestemt ved anvendelse af ^{15}N 38
4.2.4 Effekt på rodvækst 39
4.2.5 Vækst i de tidlige vækstfaser 41
4.2.6 Fosfor 43
4.3 Gødningsmængde 44
4.4 Udbringningstidspunkt 45
4.4.1 Efterår contra forår 45
4.4.2 Gødskningstidspunkt i vækstsæsonen 46

5. Afledte effekter og perspektiver ved gødningsplacering 47
5.1 Gødningsudnyttelse 47
5.2 Vækst og udvikling i kornets strækningsfase 48
5.3 Konkurrenceevne og mekanisk ukrudtsregulering 48

6. Sammenfattende diskusion og konklusion 51
6.1 Model for planters næringsstofoptagelse 51
6.2 Litteraturen i relation til modellen 53
6.2.1 Naturlige faktorer 53
6.2.2 Gødningsmængde og type 54
6.2.3 Placeringsgeometri 55
6.3 Model for næringsstofoptagelse fra placeret gødning 56
6.4 Valg af parametre til evaluering af placeringseffekt 57
6.5 Afsluttende konklusion og nye spørgsmål 57

7. Referencer 60

Sammendrag

Gødningsplacering kendes fra såning af vårsæd, hvor anvendelse af en kombinationssåmaskine gør det muligt at placere gødningen i en zone i midten af hvert andet rækkemellemrum og 3-4 cm dybere end udsæden. Denne gødskningsmetode har fundet udbredelse i det nordlige Skandinavien, der domineres af dyrkning af vårsæd. Metoden var også udbredt i Danmark i 1970'erne, men i dag udgør dyrkning af vintersæd omkring halvdelen af kornarealet, hvilket har gjort gødningsplacering med kombinationssåmaskiner uaktuel. Imidlertid er der interesse for at øge kornrækkeafstanden bl.a. med henblik på gennemførelse af mekanisk ukrudtsregulering mellem kornrækkerne. Denne forøgelse i rækkeafstanden, samt muligheden for styring af redskaberne i forhold til afgrøderækken, udvider samtidig perspektivet for gødningsplacering til også at omfatte etablerede afgrøder.

I afsnit 1 foretages en definition af forskellige gødskningsmetoder, mens der i afsnit 2 gives en oversigt over den gennemgåede litteratur, der koncentrerer sig om placering af kvælstof. En stor del af litteraturen, der stammer fra Nordvesteuropa og Nordamerika, omhandler placeringseffekten på udbyttet og kvælstofoptagelsen, mens der kun er fundet enkelte referencer, der omtaler placeringseffekten på afgrødens vækst og udvikling i busknings- og strækningsfasen.

Forsøgene fra 1950-60'erne er overvejende udført på grund af ressourceknaphed af både gødning og fødevarer. Den opnåede viden vedrørende gødningsplacering har imidlertid været overset gennem 1980'erne, hvor det uden væsentlige restriktioner har været muligt at anvende en lang række hjælpestoffer. Under forhold hvor ressourcerne er begrænsede og/eller underlagt restriktioner, har det større betydning om de til rådighed stående ressourcer udnyttes.

Blandt de naturgivne faktorer er der to, som har afgørende betydning for effekten af gødningsplacering (afsnit 3). Effekten af det tilførte kvælstof afhænger af de klimatiske betingelser i vækstsæsonen, især nedbør og vanding, idet manglende nedbør (forsommertørke) efter overfladeudbringning af gødning vil forsinke gødningsvirkningen og derved øge fordelen ved gødningsplacering. Derudover er de jordbundsmæssige forhold af betydning. På jorde med en generel lav næringstofstatus eller højt immobiliseringspotentiale, f.eks. forårsaget af et højt indhold af organisk stof, kan afgrøden ved gødningsplacering optage en større andel af den tilførte gødning.

I forbindelse med gødskningen skal der foretages valg af gødningstype, placeringsgeometri, gødningsmængde samt udbringningstidspunkt. Hovedvirkningen og vekselvirkningerne mellem disse artificielle faktorer er beskrevet i afsnit 4. I området omkring 5×3 til 7×5 cm (horisontal×vertikal afstand fra sårækken) kan gødningen placeres betingelsesløst, og der vil kunne forventes en positiv effekt på kornafgrødens næringsstofoptagelse og vækst. Foretages gødningsplaceringen i kornafgrøder med dobbelt rækkeafstand forsat midt imellem to afgrøderækker, vil afstanden fra gødningszonen til afgrøderækken blive 10 cm eller mere. Denne afstand må anses for at være for stor, og ønskes den forøgede rækkeafstand bibeholdt, bør gødningsplaceringen derfor ske til hver enkelt række.

Placeres gødningen uden for det sikre område, specielt tættere på afgrøderækken, må der, for at sikre en positiv effekt, opstilles en række betingelser bl.a. mht. gødningstype og mængde, idet gødningstypen vekselvirker med placeringsgeometrien. I forbindelse med anvendelse af

flydende ammoniak, urea og husdyrgødning kan nedfældning begrænse den potentielle risiko for ammoniakfordampning. Imidlertid er placering af disse gødningstyper ikke problemfri, idet både selve gødningen og omsætningsprocesser omkring gødningszonen kan hæmme rodvæksten. Fosforgødninger kan uden at skade afgrøden derimod placeres tættere på afgrøderækken end kvælstof- og kaliumholdige gødninger. Ved samplacering af flere hovednæringsstoffer forøges effekten af gødningsplacering iøvrigt.

Ved gødningsplacering begrænses flere af de tabsposter, der kan forekomme i forbindelse med gødskning (afsnit 5). Tabet ved udbringning ud over markskel reduceres, og samtidig øges afgrødens optagelse af de i gødningszonen tilførte næringsstoffer. En sekundær effekt kan være øget rodvækst, hvorved udnyttelsen af jordens ressourcer i form af andre næringsstoffer og vand uden for gødningszonen kan øges. Både den primære og sekundære effekt af gødningsplacering medfører en forøget vækst af de overjordiske plantedele, hvilket tillige fremmer mulighederne for ikke-kemisk ukrudtsregulering.

I afsnit 6 diskuteres de i litteraturen fundne resultater i forhold til en model for planters næringsstof-optagelse, der beskrives ved transportprocesserne diffusion og massestrømning. Betydningen af disse to transportprocesser afhænger af næringsstofform (f.eks. nitrat eller ammonium), jordens vand- og næringsstofstatus, samt afgrødens vandoptagelse. Modellen kan kvalitativt forklare de i forsøgene opnåede effekter af gødningsplacering, men modellen bygger imidlertid på en antagelse om homogen fordeling af plantenæringsstofferne i de enkelte jordlag. Ved gødningsplacering må denne antagelse naturligvis forkastes, og til erstatning fremføres behovet for udvikling af en model med høj opløselighed af pløjelaget, både horisontalt og vertikalt.

Med politisk begrænsning i mulighederne for anvendelsen af gødning og pesticider bliver effekten af gødningsplacering ikke udelukkende et spørgsmål om et merudbytte, men også et spørgsmål om hvilke dyrkningstekniske alternativer, der kan gennemføres. Effekten af gødningsplacering bør derfor også evalueres i afgrødens busknings- og strækningsfase. Der er indledt nye forsøg, men der udestår fortsat en række uafklarede spørgsmål i forbindelse med gødningsplacering, både til vårsæd og i etablerede afgrøder.

Summary

The placement of mineral fertilizers is well known from the sowing of spring cereals. The fertilizer placement is achieved by using a combined sowing machine, where the fertilizer is placed between every second seed row of the crop and 3-4 cm deeper than the seed. This fertilization method is widespread in the northern part of Scandinavia, where grain-growing is dominated by spring varieties. The method has also been used in Denmark during the 1970s, but today winter cereals account for about half of the area under grain, and therefore fertilizer placement during sowing has become of less interest. There is, however, an interest in increasing the interrow distance to enable and improve mechanical weed control between the rows of cereal crops. This increase of the interrow distance, and the ability to exert a more precise control of the inter-row weeding equipment in relation to the crop row, open up the possibility for fertilizer placement in established crops as winter cereals.

The methods of fertilizer application (broadspreading, surface application, incorporation, direct injection, placement, banding, combine-drilling and nesting) are defined in section 1. The reviewed literature, originating from North-West Europe and North America, concentrates on the placement of nitrogen, and the effect on yield and nitrogen uptake (Section 2). Only a few of the references mention the placement effect on crop growth and development during the tillering and elongation phase.

The reason for the experiments carried out during the 1950s and 1960s was a shortage of both fertilizer and food. However, the knowledge obtained on fertilizer placement was largely disregarded during the 1980s, when there were very few restrictions on the use of fertilizers and pesticides. Conditions of limited resources or legislative restrictions increases the importance of utilization of available resources.

Two natural factors are important for an effect of fertilizer placement (Section 3). Firstly, the effect of surface applied fertilizer depends on subsequent precipitation. A dry spell after fertilizer application will delay the uptake of surface applied nitrogen increasing the advantage of fertilizer placement. Furthermore, the soil conditions are of importance. Cereal crops grown on soils with a generally low nutrient status or high immobilization potential, e.g. caused by a high level of organic matter, are able to recover a larger part of the supplied nitrogen applied by placement.

The options of fertilizer type, placement geometry (horizontal and vertical distance of the fertilizer band in relation to the seed row), and application rate and time have to be selected by the farmer before fertilization. The effect and interactions of these artificial factors are described in section 4. Fertilizer bands at a horizontal×vertical distance of 5×3 to 7×5 cm from the seed row may be safe and placed without conditions, and the nutrient uptake and growth of a cereal crop may be positively influenced. Placing the fertilizer band in the middle of every second row space in crops with double interrow distance (equal to 2×12 cm) increase the horizontal distance between the fertilizer band and seed row to 10 cm or more. This horizontal distance is considered to be too wide. There may be other reasons for the double interrow distance, but retaining it will mean that a fertilizer band has to be placed next to each row.

Placement of the fertilizer outside the safe zone, i.e. closer to the seed row, will require certain conditions for fertilizer type and application rate to be met in order to ensure a positive effect. This is due to the interaction between the fertilizer type and the geometry of placement. The potential of ammonia volatilization may be reduced significantly by careful injection of anhydrous ammonia, urea and liquid animal manure. However, placement of these fertilizers is problematic, due to the fertilizer itself and the nitrogen turnover around the fertilizer band that in both cases may affect the roots. Phosphorus fertilizers may be placed closer to the seed row than nitrogen and potassium fertilizers without injury to the crop. Simultaneous placement of several nutrients (NPK) increases the effect on the crop.

By fertilizer placement more of the potential losses linked to the fertilization through either spreading across the field boundary, wind and water erosion of surface applied fertilizer or ammonia volatilization may be reduced (section 5). This increases the net application rate and the uptake by the crop of the applied nutrients. A secondary effect is that root growth may be increased, which means that the resources (nutrients and water) in the soil outside the fertilizer band can be better utilized. Both effects of fertilizer placement increase the above ground growth, which in addition has the perspective of increasing the possibilities for non-chemical weed control.

In section 6 the results from the literature are related to a model for the nutrient uptake by the plants. This model is based on the transport processes: diffusion and mass flow. The influence of these two processes depends on nutrient form (e.g. nitrate versus ammonium), the water and nutrient status of the soil, and the water uptake by the crop. The model is able qualitatively to explain the effects of fertilizer placement obtained in the experiments, but quantitatively the model is based on the assumption of uniform distribution of the nutrients in each soil compartment. This assumption is not valid in case of fertilizer placement and has to be rejected. Instead the requirement for the development of a model with high resolution of the plough layer, both horizontally and vertically is stated.

The effect of fertilizer placement is very often evaluated on the basis of grain yield or nutrient uptake at harvest. Under political restrictions of the use of fertilizer and pesticides, which is the situation today in Denmark, grain yield is not the only parameter of interest. Also in focus is the practicability of alternative cultivation systems. Therefore the effect of fertilizer placement has to be evaluated during the tillering and elongation phase too. New experiments have been started at the Department of Crop Physiology and Soil Science, but several questions are still outstanding, both in relation to fertilizer placement in spring cereals and in established crops.

1. Definitioner

Grundlaget for tilførsel af gødning til landbrugsafgrøder er, at gødning - i kraft af dens indhold af plantenæringsstoffer - kan fremme afgrødens vækst, udbytte og kvalitet. Det følger heraf, at det er planterne og ikke jorden, der skal gødes. De med gødningsanvendelse forbundne arbejder betegnes gødskning, som kan opdeles i tre handlinger: transport fra lager til mark (udkørsel), fordeling på marken (udbringning) samt eventuel efterfølgende nedbringning. Det kan imidlertid være vanskeligt at adskille disse handlinger i moderne landbrug.

Derfor kan udbringning opfattes i både en bred og en snæver betydning. I den brede betydning er udbringning et generelt begreb, der omfatter flere af de handlinger, der indgår i begrebet gødskning. I den snævre betydning omfatter udbringning udelukkende fordeling på marken uden yderligere foranstaltninger. Den snævre betydning dækker over handlingerne udstrøning og bredspredning, som knytter sig til de fysiske egenskaber af den udbragte gødningsform, henholdsvis pillerede gødninger og husdyrgødning. I denne gennemgang af gødningsplacering vil begrebet udbringning blive anvendt i den brede betydning, idet placering per definition også omfatter nedbringning.

Udbringning på jordoverfladen (bredspredning; spredning; overfladeudbringning; *broadspreading; surface application*) svarer til den snævre betydning af begrebet udbringning, og denne kan foretages med forholdvis simpelt udstyr med høj kapacitet. Ved udbringning af pillerede gødninger anvendes i dag ofte centrifugalspredere og mere sjældent gødningssåmaskine. Udbringning af flydende husdyrgødning (gylle og ajle) foretages overvejende med slæbeslangebomme men også ved anvendelse af spredeplader til bredspredning (Petersen, 1997; J.J. Høy, pers. komm.). Virkningen af udbragt gødning afhænger af efterfølgende nedadgående transport. I etablerede afgrøder kan transporten af vandopløselige næringsstoffer ske som følge af nedbørshændelser eller specielt for flydende husdyrgødning ved nedsivning. Ved udbringning forud for såning af vårsæd kan næringsstoffernes tilstedeværelse i rodzonen sikres mekanisk, jvnf. nedenstående beskrivelse af nedbringning.

Nedbringning (nedharvning, nedpløjning; *incorporation*) er en efterfølgende mekanisk nedbringning og indarbejdning (opblanding) af overfladeudbragt gødning i de øverste 8-10 cm jord. Denne metode kan anvendes til alle gødningsformer. Pillerede handelsgødninger og flydende husdyrgødning nedbringes ofte med såbedsharve, mens andre organiske gødninger som fast husdyrgødning og slam sædvanligvis nedbringes med plov.

Direkte nedfældning (*direct injection*) er udbringning og nedfældning i en og samme arbejdsgang. Metoden anvendes primært til flydende vandfri ammoniak, men også flydende (husdyr-) gødning kan nedfældes direkte forud for såning af vårsæd og til græs. Metoden reducerer risikoen for kvælstoftab i form af ammoniakfordampning og øger muligheden for en øget gødningsvirkning. Direkte nedfældning stiller større krav til kørslen på marken, idet overlap og mister træder tydeligere frem end ved bredspredning med f.eks. centrifugalspreder. Kapaciteten afhænger dels af den tilførte mængde og dels af koncentrationen af næringsstoffer i den anvendte gødning. Ved direkte nedfældning er gødningsstrengens horisontale og vertikale afstand til kornrækken tilfældig, og der er således ikke tale om en målrettet gødningsplacering.

Placering (strengplacering; *placement; banding*) af gødningen kan foretages i forbindelse med såning af vårsæd, hvor gødningen placeres i en afgrænset zone (bånd; streng) i en forudbestemt horisontal og vertikal afstand fra sårækken (Cooke, 1949; Højmark, 1972). Dette er i dag den almindelige forståelse af gødningsplacering. Direkte nedfældning af f.eks. gylle forud for såning omfattes således ikke af den traditionelle opfattelse af gødningsplacering, idet afstanden fra gødningszonen til sårækken vil blive tilfældig ved de to uafhængige handlinger. Hvor der i det følgende ikke er nævnt andet forstås der ved placering af gødning en horisontal afstand på 5-6 cm fra sårækken og 3-4 cm under sådybden. Denne placeringsgeometri blev udbredt i løbet af 1960'erne, og i svensk og norsk litteratur anvendes begreberne *radmyllning* henholdsvis *radgjødsling*. Metoden anvendes fortsat til placering af primært pillerede gødninger, men også flydende handelsgødninger kan placeres. Maskinsættet er specielt og kapaciteten er reduceret bl.a. pga. den samtidige anvendelse af to forbrugsvarer (såsæd og gødning). Placering i etablerede afgrøder er ikke forsøgt.

Samplacering er placering af flere næringsstoffer samtidig, hvor placering af yderligere et næringsstof kan forstærke placeringseffekten af et andet næringsstof. Fra forsøg med bredspredning af forskellige kombinationer af makronæringsstoffer er en sådan synergieffekt almindelig kendt (e.g Klausen & Hansen, 1988; Christensen *et al.*, 1994).

Samsåning (kontaktgødskning; *combine-drill*) er et specialtilfælde af placering, hvor udsæden og gødningen udsås sammen.

Punktplacering (*nest; nested placement*) er ligeledes et specialtilfælde, hvor gødningen placeres koncentreret i punkter i modsætning til den kontinuerte strengplacering (Malhi & Nyborg, 1985). Der anvendes enten en portion af konventionel pilleret gødning eller ekstra store gødningskorn.

I modsætning til udbringning på jordoverfladen er intentionen med gødningsplacering således at anbringe næringsstofferne i en ønsket position i forhold til afgrøden. Det formodes, at der på denne måde kan opnås den samme gødningsvirkning med en mindre mængde næringsstoffer.

2. Generel beskrivelse af litteratur og forsøgsomstændigheder

Korn, der både på verdensplan og nationalt er den mest udbredte afgrøde, dyrkes sædvanligvis som en bredsået afgrøde, dvs. omkring 12 cm rækkeafstand. Ved denne afstand er det ikke umiddelbart muligt at foretage gødningsplacering i etablerede afgrøder uden at gøre skade. Derfor omhandler det meste af litteraturen gødningsplacering i kombination med såning af vårsæd. Kan rækkeafstanden øges vil det give mulighed for at betragte etablerede kornafgrøder som en rækkeafgrøde. Den her refererede litteratur koncentrerer sig om kornafgrøder, mens litteratur om de traditionelle rækkeafgrøder (kartofler, majs og roer) kun inddrages, hvor der ikke foreligger 'kornlitteratur', der belyser emnet. De udførte litteratursøgninger gav desuden det indtryk, at litteraturen vedrørende de traditionelle rækkeafgrøder er mindre systematisk med hensyn til undersøgelse af horisontal og vertikal afstand fra planterækken samt, at principielle undersøgelser vedrørende gødningsplacering i vidt omfang er foretaget i kornafgrøder, specielt ved anvendelse af isotopteknik. Undersøgelser af gødningsplacering med anvendelse af ^{32}P ses relativt ofte i litteratur fra 1950-60'erne, særlig på jordtyper med lav fosforstatus. Studier vedrørende placeringseffekten af kvælstofholdige gødninger med anvendelse af ^{15}N er derimod blevet mere udbredt i 1980-90'erne.

Ved gennemgangen af litteraturen har forsknings- og forsøgsarbejde vedrørende placering af gødning til kornafgrøder været koncentreret til tre geografiske områder:

- England i 1950-60'erne
- Skandinavien i 1960-70'erne
- Nordamerika, især Canada, fra 1950'erne og frem til i dag

Baggrunden for og omfanget af forsøgsarbejdet har varieret, og i afsnit 2.1-2.3 gives en generel beskrivelse af forsøgsomstændighederne og de bagvedliggende synspunkter i forbindelse med gødningsplacering. I afsnit 2.4 diskuteres parametre til evaluering af gødningsplaceringens effekt, herunder definition af de to begreber, der anvendes i forbindelse med isotopteknik. Afsnit 2.5 grupperer de faktorer, der kan påvirke effekten af gødningsplacering og på denne baggrund foretages disponering af de følgende afsnit.

2.1 Storbritannien og Holland

Dyrkningsforsøg i England har primært fokuseret på placering af gødningen sammen med udsæden ved forårssåning, herunder effekten af forskellige former for kvælstofgødning, men også betydningen af fosforplacering er blevet belyst. Fordelen med samsåning er, at et selvstændigt såskær til gødningen kan undværes og herved nedsættes trækkraftbehovet.

Indtil 1930'erne havde gødningsproduktionen stort set kun udstrakt sig til mekanisk bearbejdning af råprodukterne. I løbet af 1930-50'erne udvikledes tekniske fremstillingsmetoder, og der skete en industrialisering af de kemiske processer. Herved blev det muligt at producere koncentrerede gødninger med et eller flere næringsstoffer, der ydermere var mere plantetilgængelige.

Hvor samsåning af udsæd og gødning havde været praktiseret, blev denne gødskningsmetode fortsat med de nye gødningstyper. Dette gav mulighed for at øge den tilførte gødningsmængde, men denne kombination af koncentrerede gødninger, øget næringsstoftilførsel og samså-

ning medførte skade på kimplanterne. Herved påbegyndtes undersøgelser af hvilke forhold, der kunne sikre god fremspiring ved anvendelse af de nye gødninger (Olson & Dreier, 1956a), herunder den horisontale og vertikale afstand mellem udsæd og gødning.

Interessen for gødningsplacering skal også ses på baggrund af situationen efter 2. verdenskrig, hvor der i stort set hele Europa var vareknaphed på både gødning og fødevarer. Gødningsplaceringen var en mulighed for at øge produktionen med et mindre forbrug af gødning (de Wit, 1953; Prummel, 1957).

Selvom de refererede forsøg er fra 1950-60'erne, belyser de nogle principielle aspekter vedrørende gødningsplaceringen. De anvendte gødninger var dog ikke af samme kvalitet som dagens granulerede varer, f.eks. diskuterer Cooke (1949) problemer med håndtering af datidens gødninger, hvor specielt kornstørrelse og hygroskopiske egenskaber er vigtige parametre for gødningshåndteringen.

de Wit (1953) udviklede en teori, hvorefter gødningsværdien ved placering kunne beregnes udfra kendskab til effekten af bredspredt gødning. Teorien blev udviklet under en antagelse af, at placeringen skete i brede bånd, hvor 25-50% af arealet blev tilført gødning. Prummel (1957) afviser med rette teorien bl.a. på baggrund af eksperimentelle resultater. Prummel (1957) anvendte udstyr, der placerede gødningen i et smalt bånd, og denne metode blev anvendt både i senere forsøg og i praksis. de Wits (1953) teori er ikke gyldig under disse betingelser, og teorien er således ikke relevant og omtaltes ikke yderligere.

2.2 Skandinavien

De skandinaviske forsøg er udført som dyrkningsforsøg med fokus på kerneudbyttet, og der er ikke foretaget grundliggende og målrettede undersøgelser af gødningsplaceringens indflydelse på afgrødens vækst og udvikling.

Huhtapalos forsøg i 1968-70 er de mest systematiske, og de er nærmest blevet klassiske (Huhtapalo, 1981, 1982). Resultaterne, der er gengivet i Tabel 13 og Tabel 14, refereres ofte som en sikker effekt af gødningsplaceringen, men Huhtapalo (1971, 1981, 1982) angiver imidlertid ingen usikkerhed på de opnåede resultater. Derimod angiver Heinonen & Huhtapalo (1978) gennemsnitsresultaterne fra hvert af de bagvedliggende forsøg samt de tilhørende spredninger. Der forekommer en del variation, og Heinonen & Huhtapalo (1978) diskuterer resultaterne i relation til nedbøren i hver af de tre vækstsæsoner. Der henvises til afsnit 3.2, hvor udbytteresultaterne diskuteres kritisk.

På trods af disse usikkerhedsmomenter drager Heinonen & Huhtapalo (1978) følgende konklusioner vedr. placeringsgeometrien:

- Placering bør i korn foretages i hvert andet rækkemellemrum centreret mellem to sårækker (12 cm afstand) og som udgangspunkt 3-4 cm under sådybden.
- Placering i hvert andet rækkemellemrum forenkler konstruktionen af såmaskinen, idet antallet af gødningssåtragte kan halveres. Dette fremhæver forfatterne som væsentligt, set ud fra deres praktiske og maskintekniske indgangsvinkel.
- Der blev udelukkende udført forsøg med 12 cm rækkeafstand, men der forventes en effekt af gødningsplacering i hvert andet rækkemellemrum helt op til 18 cm rækkeafstand.

Huhtapalo's (1971) resultater blev i 1971-73 fulgt op af en forsøgsserie i hvert af de fire forsøgsdistrikter i Sverige, ialt blev der gennemført 107 forsøg (Jónsson, 1972, 1973; Mattsson, 1974). Også andre har udført dyrkningsforsøg med gødningsplacering (Fogh, 1974, 1979; Ekeberg, 1997; Lyngstad, 1977; Lyngstad & Stabbetorp, 1980; Skriver, 1978, 1980, 1983, 1985; Esala & Larpes, 1986; Kjærsgaard, 1991; Rasmussen *et al.*, 1996). På baggrund af Heinonen & Huhtapalo's (1978) konklusioner blev gødningen ofte placeret 4-5 cm under kornrækken og midt mellem to kornrækker, der blev sået på 12 cm rækkeafstand. Alle forsøg er udført i forbindelse med såning af vårsæd. De fleste referencer fokuserer på placeringen af kvælstof eller granulerede NPK gødninger, men også placeringen af fosfor er undersøgt (Lyngstad & Stabbetorp, 1981; Skriver, 1982, 1983, Pedersen & Østergaard, 1991; Kjærsgaard, 1991). Resultaterne fra de skandinaviske forsøg er i langt overvejende grad publiceret nationalt.

Den ovenfor nævnte placeringsgeometri fandtes på kommercielt såudstyr, der i 1970'erne blev forhandlet i Danmark, men princippet kan genfindes på moderne svensk og finsk såudstyr. Placering af gødning i forbindelse med såning af vårsæd er fortsat udbredt i Sverige, Norge og Finland, mens metoden ikke anvendes meget i Danmark.

Den anvendte kvælstofmængde har været afpasset efter den gældende norm både for den pågældende kornafgrøde og som funktion af tid og geografi. I de nordskandinaviske forsøg i 1970'erne blev der ofte anvendt 50-100 kg N/ha, mens der i nyere danske forsøg har været anvendt op mod 150 kg N/ha.

2.3 Nordamerika, specielt Canada

I forbindelse med samsåning foreligger der flere undersøgelser fra både USA og Canada af forskellige gødningstypers skadevirkning på kimplanterne. Den mest omfattende litteratur vedrørende placering foreligger imidlertid fra Canada. Klimatisk er der nogle ligheder, men på flere punkter adskiller de canadiske forhold sig fra skandinaviske forhold, hvilket vanskeliggør en direkte adaptering af resultaterne, men en række principielle forhold vil blive fremdraget.

De nordamerikanske prærier ligger på samme breddegrad som Skandinavien, og har en årlig middeltemperatur på omkring 2°C og 4-500 mm nedbør, svarende til midt-svenske forhold (Uppsala området) (Heinonen & Huhtapalo, 1978). Klimaet er kontinentalt og jorden er sædvanligvis frossen og snedækket fra november til marts eller begyndelsen af april (Malhi & Nyborg, 1992). Dette betyder, at der ikke forekommer nogen væsentlig udvaskning eller risiko herfor. Overgangen fra vinter til sommer sker hurtigt, hvilket giver kort tid til forårsarbejde i marken.

Ofte foretages udbringning af gødning om efteråret, både til vinter- og forårssåede afgrøder (Singh *et al.*, 1994), til trods for en ringere gødningsvirkning sammenlignet med forårsudbringning. Årsagerne til denne fremgangsmåde begrundes med fordele for både landmand og gødningsindustri, idet der opnåes en bedre tidsmæssig fordeling af arbejdet mht. personale og maskiner, samt lavere gødningspriser for landmanden (Malhi & Nyborg, 1992). Pga. risikoen for nitratudvaskning er efterårsudbringning imidlertid ikke relevant for danske forhold.

I Nordamerika anvendes primært ammoniumholdige gødninger, og især den højt koncentrerede og billige urea. I Danmark anvendes derimod i langt overvejende grad ammoniumnitrat og nitrat, mens forbruget af rene ammoniumgødninger (ammoniumsulfat, urea, flydende ammoniak) i dag udgør mindre end 8% af det samlede kvælstofforbrug (Knudsen, 1998). Ved hydrolyse omdannes urea hurtigt til ammoniak og kuldioxid. Tab af kvælstof fra ammoniumholdige gødninger kan primært ske ved ammoniakfordamping, men også ved denitrifikation efter en forudgående nitrifikation. Ved nedbringning af gødningen hindres ammoniaktabet, men samtidig øges risikoen for nitrifikation/denitrifikation. De lave vintertemperaturer på prærierne hæmmer imidlertid nitrifikationsprocessen betydeligt, hvorved størstedelen af det udbragte kvælstof er i behold i foråret. Ved anvendelse af nitratholdige gødninger vil størstedelen af det samlede kvælstoftab ske ved denitrifikation.

I 1960'erne blev de canadiske forsøg udført primært som dyrkningsforsøg, mens der fra 1980'erne i stor udstrækning er anvendt ^{15}N i ramme-, potte- og laboratorieforsøg. I Canada er der således undersøgt en række principielle forhold vedrørende gødningsplacering. Selv om disse undersøgelser i stor udstrækning er udført med efterårsudbragt urea, kan de have interesse for danske forhold. I de refererede forsøg anvendtes ofte 50-80 kg N/ha. Endvidere er de canadiske forsøg ofte et-årige, hvorved klimavariation mellem vækstsæsonerne kun i ringe grad kommer til udtryk.

I USA er gødningsplaceringen primært undersøgt i dyrkningsforsøg under pløjefri dyrkning (*no-till*), og ofte har vandforsyningen været begrænsende for planteproduktionen, og af denne grund har effekten af gødningsplaceringen ofte været insignifikant, hvilket gør det vanskeligt at tolke resultaterne. Også her er anvendelse af efterårsudbragt urea udbredt, og der fokuseres ofte på udbyttet som eneste parameter. Dog findes enkelte referencer, der belyser effekten af gødningsplacering på forholdet mellem afgrøde og ukrudt, der ofte er et stort problem ved pløjefri dyrkning.

2.4 Målte parametre i forsøg med gødningsplacering

Hovedparten af den gennemgåede litteratur beskæftiger sig primært med effekten af placering af kvælstofholdige handelsgødninger, og ofte er responsen målt på parametre ved modenhed (kerneudbytte, kvælstofoptagelse og optagelse af ^{15}N mærket kvælstof). I mindre omfang refereres undersøgelser af placeringen af fosfor, hvor der i flere tilfælde har været anvendt ^{32}P. Kun ganske få har beskæftiget sig med placering af kalium, som i forhold til kvælstof både er mindre mobilt i jord og mindre udsat for tab som følge af omsætningsprocesser i jorden. Tilsvarende er der kun fundet enkelte referencer vedrørende placering af flydende husdyrgødning.

Ved gennemgangen af litteraturen er der indtaget en kritisk holdning til de opnåede udbytter, idet disse kan være påvirket af mange andre faktorer end netop gødskningen. Kerneudbyttet er ikke en velegnet parameter, da den let påvirkes af vandmangel, angreb af sygdomme og skadedyr, samt er påvirket af produktionspotentialet udtrykt ved intercepteret fotosynteseaktivt lys. Dette medfører, at kerneudbytte og kvælstofoptagelse i kernen kun er velegnede udtryk for effekten af gødningsplacering, såfremt andre produktionsfaktorer ikke har været begrænsende. Kun i nogle enkelte forsøg er placeringseffekten målt i strækningsfasen og på rødderne, og der er da ofte tale om få måletidspunkter.

I stedet er der i de følgende afsnit fremdraget undersøgelser, hvor der er anvendt isotopteknik. Disse resultater er ikke i samme grad afhængig af de generelle produktionsforhold og giver derfor en langt bedre forståelse af, hvorledes gødningsplaceringen kan påvirke optagelsen af det tilførte næringsstof. Parametre målt med isotopteknik er, i forbindelse med gødningsplacering, udelukkende sket på den totale afgrødemasse. Der er således ikke foretaget en differentiering i kerne og halm.

I forbindelse med isotopteknik foretages korrektion for den naturlige berigelse og henfaldstiden for den pågældende isotop. Herefter anvendes den absolutte optagelse af det tilførte næringsstof til beregning af N_{dff} og genfindelse, der begge er relative begreber.

2.4.1 Optaget næringsstof hidrørende fra tilført gødning

Andelen af optaget næringsstof (N eller P), *der hidrører fra den tilførte gødning* udtrykkes med henholdsvis N_{dff} og P_{dff} (*derived from fertilizer*).

$$N_{dff} = {}^{15}N \text{ optaget / total N-optagelse} \quad (1)$$

Der anvendes sædvanligvis ^{15}N og ^{32}P, mens der ikke findes en egnet isotop for kalium. Udtrykket er et mål for gødningens bidrag til totaloptagelsen af det pågældende næringsstof og således et forholdstal, der kun er gyldigt inden for det enkelte forsøg, og derfor ikke kan anvendes til sammenligning mellem forsøg.

2.4.2 Genfindelse

Andelen af den tilførte gødning, der kan genfindes i afgrøden (*recovery*), hvilket også kan opfattes som et udtryk for *planternes reelle udnyttelse* af den tilførte gødning.

$$\text{Genfindelse (reel udnyttelse)} = {}^{15}N \text{ optaget / } {}^{15}N \text{ tilført} \quad (2)$$

$$\text{Tilsyneladende udnyttelse} = \text{Total-N optaget / N tilført} \quad (3)$$

Denne reelle udnyttelse (2) må ikke forveksles med den tilsyneladende udnyttelse (3), idet det optagne kvælstof kan hidrøre fra ikke-tilført kvælstof, f.eks. mineralisering af jordens organiske pulje. For en diskussion af forskellige udtryk for udnyttelse henvises til Petersen (1996). Planternes reelle udnyttelse (2) bestemt ved anvendelse af isotopteknik kan i modsætning til N_{dff} og P_{dff} (1) sammenlignes mellem forskellige forsøg.

2.5 Opdeling af faktorer, der har indflydelse på placeringseffekten

De faktorer, der påvirker effekten af gødningsplacering, kan opdeles i to hovedgrupper: naturlige og artificielle. De naturlige relaterer sig til de klimatiske og jordbundsmæssige forhold, mens de artificielle faktorer kan påvirkes ved den aktuelle udbringning og således vælges (strategisk, taktisk eller operationelt) af den enkelte landmand. De naturlige faktorer kan således også være en effekt af andre artificielle faktorer som f.eks. forudgående tilførsel af hus-

dyrgødning evt. gennem flere år, nedmuldning af afgrøderester (halm) eller vanding i vækstsæsonen. De artificielle faktorer relaterer sig derimod til selve gødskningen.

Både de naturlige og artificielle faktorer kan være af fysisk, kemisk eller biologisk karakter, og nogle af faktorerne kan have flere af disse karaktertræk. Dette betyder, at mulighederne for vekselvirkninger er oplagte, men samtidig vanskeliggøres en stringent fremstilling. Det har således været nødvendigt at anvende mange krydshenvisninger både til tabeller og afsnit.

På baggrund af litteraturgennemgangen belyses betydningen af jordens næringsstofstatus og klima, især nedbør, for placeringseffekten i afsnit 3, mens de artificielle faktorer omtales i afsnit 4, hvor gødningstype og placeringsgeometri er centrale emner. I disse afsnit refereres flere af kilderne relativt grundigt, hvilket er anset for nødvendigt for at kunne relatere de præsenterede resultater til mulighederne for gødningsplacering i etablerede kornafgrøder under danske forhold. I afsnit 5 og 6 foretages en perspektivering og syntese af gødningsplaceringens anvendelse i planteproduktionen.

3. Naturlige faktorers indflydelse på effekten af gødningsplacering

Den væsentligste klimatiske faktor for gødningsvirkning er nedbøren i kraft af dens betydning for vandindholdet og vandbevægelser i jorden. Dette omtales i afsnit 3.2, mens den væsentligste jordbundsmæssige faktor er dyrkningsmediets næringsstofstatus (afsnit 3.1).

3.1 Jordens næringsstofstatus

Ændringer i jordens næringsstofstatus påvirkes både af jordens evne til at frigive næringsstoffer i løbet af vækstsæsonen og jordens evne til at binde tilført næringsstof. For kvælstof, hvor den biologiske omsætning knytter sig til organisk stof, benævnes processerne henholdsvis mineralisering og immobilisering, mens der for fosfor og kalium i højere grad er tale om forskydning af fysiske og kemiske ligevægte. Det vil føre for vidt at foretage en gennemgang af bruttoprocessernes effekt, så derfor foretages der her en begrænsning til nettoeffekten af jordens generelle næringsstofstatus.

3.1.1 Kvælstof

I dyrkningsforsøg på lette jorde og i dårlige såbed fandt Widdowson *et al.* (1959) den største skade ved samsåning med gødningen. I Nordskandinavien har Lyngstad (1977) og Esala & Larpes (1986) diskuteret betydningen af jordens tekstur, og deres resultater indikerer, at den største effekt af gødningsplacering vil kunne opnås på lettere jordtyper. På sandblandet lerjord fandt Rasmussen *et al.* (1996) i vårbyg en gennemsnitlig udbytteforøgelse på 3 hkg/ha ved placering, mens der på grovsandet jord blev opnået et merudbytte på gennemsnitlig 7 hkg/ha.

I Norge fandtes effekten af kvælstofplacering størst på sure jorde (Lyngstad & Stabbetorp, 1980) og i dårlige sædskifter (Lyngstad, 1977), og det konkluderes, at effekten af gødningsplacering må forventes at være større på jorde med en dårlig 'frugtbarhed' (dyrkningstilstand) end på jorde med en god 'frugtbarhed'. Ekeberg (1997) og Alston (1980) konkluderede ligeledes, at effekten af gødningsplacering vil være insignifikant på næringsrige jorde.

Det er imidlertid vanskeligt at karakterisere jordens kvælstofstatus pga. den tætte relation til omsætningen af organisk stof. Dette betyder, at det i de ovennævte dyrkningsforsøg er vanskeligt at kvantificere betydningen af jordens kvælstofstatus for effekten af gødningsplacering. Derfor belyses problemstillingen nedenfor gennem en række forsøg med anvendelse af ^{15}N beriget kvælstofgødning.

Indeholder pløjelaget organisk stof med et højt immobiliseringspotentiale vil placering af kvælstofgødning øge udbyttet, kvælstofoptagelsen og kvælstofudnyttelsen (Tomar & Soper, 1981). I rammeforsøg udført i marken med tilførsel af urea til vårbyg belyste Tomar & Soper (1981) potentialet for immobilisering ved tilførsel af 5 t/ha formalet havrehalm (0,45% N). Halmen blev udbragt på jordoverfladen eller indarbejdet i de øverste 10 cm. Derforuden var der et led uden tilførsel af halm (Tabel 1). Disse tre behandlinger blev kombineret med 100 kg N/ha i urea enten udbragt på overfladen eller placeret i 10 cm dybde i forbindelse med såningen. Kerne- og halmudbyttet samt optagelsen af kvælstof blev reduceret ved indarbejdning af halmen i de øverste 10 cm, mens gødningsplaceringen havde en positiv effekt på de nævte

parametre. På baggrund af dette, samt genfindelse af tilført kvælstof i jord og afgrøde (Tabel 1), konkluderer Tomar & Soper (1981), at biologisk immobilisering kan være en afgørende faktor for udnyttelsen af tilført kvælstofgødning. Tilsvarende forhold er også fundet i nye danske forsøg (Sørensen, P., pers. komm.). Ved tilførsel af organisk materiale, eventuelt med indarbejdning i et større jordvolumen, forøges effekten af placeret kvælstofgødning (Tabel 1).

Tabel 1. Tilførselsmetoder for organisk stof (halm) og deres indflydelse på genfindelsen [%] af ^{15}N i afgrøde og jord ved to udbringningsmetoder for urea. (Tomar & Soper, 1981)

Halm-tilførsel	Genfindelse [%] af ^{15}N ved to udbringningsmetoder			
	Bredspredt		Placeret	
	Afgrøde	Jord	Afgrøde	Jord
Ingen halm	43	40	53	34
Overflade	29	53	49	34
Indarbejdet	23	72	42	42

Af det genfundne gødningskvælstof i jorden (Tabel 1) blev knap halvdelen genfundet i den zone, hvori gødningen var blevet udbragt. Hovedparten af den resterende del havde fordelt sig i de øverste 60 cm, mens <2% blev genfundet i 60-100 cm dybde (Tomar & Soper, 1981).

I et potteforsøg med vårhvede simulerede Carter & Rennie (1984) fire niveauer af jordens kvælstofstatus og kombinerede dette med placering af urea i to tilførselsrater, svarende til 80 og 160 kg N/ha. De fire næringsstofniveauer var (Tabel 2):

1) 40 kg mineralsk N/ha og placering af tilført gødning,
2) 200 kg mineralsk N/ha og placering af tilført gødning,
3) 200 kg mineralsk N/ha, 20 t snittet halm/ha samt placering af tilført gødning, eller
4) 200 kg mineralsk N/ha og indarbejdning af tilført gødning.

Tabel 2. Niveauer af mineralsk kvælstof i jord og udbringningsmetode kombineret med to tilførselsrater af urea (25 og 50 µg N/g jord). 25 µg N/g jord svarede til 80 kg N/ha. (Carter & Rennie, 1984)

N-min. [µgN/g jord]	Udbringnings-metode for tilført gødning	N_{dff} [%]		Genfindelse i skud [%]		Kvælstofoptagelse i skud [mg N/pot] Fra gødning		Fra jorden	
		25	50	25	50	25	50	25	50
12	Placeret	32	47	37a	41a	11c	25a	21c	27c
62	Placeret	21	36	42a	40a	13c	24a	46b	43b
62	Placeret + halm*	30	49	34ab	41a	10c	24a	20c	25c
62	Indarbejdet	14	25	30b	32b	9c	19b	50a	55a

* Indarbejdning af 20 t/ha snittet halm.

Ved et højt indhold af mineralsk kvælstof i jorden reduceres andelen af det optagne kvælstof som hidrører fra den tilførte gødning (N_{dff}, Tabel 2). Dette skyldtes ikke en mindre optagelse fra gødningen (genfindelse, Tabel 2), men et meroptag af mineralsk kvælstof fra jorden. Tilførsel af halm vil immobilisere det mineralske kvælstof i jorden, men halmtilførslen påvirker ikke planternes optagelse af den placerede gødning, hvilket øgede N_{dff} (Tabel 2). I forhold til placering bevirkede indarbejdning af den tilførte gødning i hele jordvolumenet, at både optagelsen af kvælstof fra gødningen (genfindelse) og N_{dff} blev reduceret (Tabel 2).

Jordens næringsstofstatus og den tilførte gødningsmængde er af betydning for andelen af kvælstof i afgrøden, der hidrører fra den tilførte gødning (N_{dff}). Derimod er gødningsplacering af væsentlig betydning for genfindelsen af det tilførte kvælstof i afgrøden. Andelen af kvælstof hidrørende fra den tilførte gødning (N_{dff}) øges iøvrigt også ved placering (Carter & Rennie, 1984).

I et potteforsøg (raps) med tilførsel af sakkarose eller formalet halm fra byg eller hestebønne i en mængde svarende til 32 t/ha, og tilførsel af urea svarende til 300 kg N/ha, fandt Tomar & Soper (1987) en forøget genfindelse af ^{15}N i afgrøden ved placering af gødningen (Tabel 3). Effekten af placering var mest udtalt ved tilførsel af en ren kulstofkilde (sakkarose, 42% C), og der fandtes ingen væsentlige forskelle mellem de to typer af afgrøderester, der da også havde omtrent samme indhold af total kulstof og kvælstof (2% N og 42% C) (Tabel 3). Ved indarbejdening af gødningen i hele jordvolumenet øges immobiliseringen. Lignende, men mindre effekt, fandt Malhi *et al.* (1989) ved tilførsel af 3,4 t halm/ha i rammeforsøg (Tabel 16 og Tabel 17). Årsagen kan dels være den større kontakt mellem gødning og det tilførte organiske materiale, og dels forbedrede betingelser for mikrobiel vækst, hvilket sandsynligvis har forøget konkurrencen mellem mikroorganismer og afgrøde om det tilførte kvælstof (Tomar & Soper, 1987).

Tabel 3. Indflydelse af forskellige typer organisk stof på genfindelsen [%] af ^{15}N i top og rod af raps samt i jord ved to udbringningsmetoder for urea. (Tomar & Soper, 1987)

Tilførsel af organisk materiale	Genfindelse af ^{15}N [%] ved to udbringningsmetoder					
	Indarbejdet i jorden			Placeret		
	Top	Rod	Jord	Top	Rod	Jord
Ingen	51	15	28	52	18	20
Byghalm	28	10	55	48	15	32
Hestebønnehalm	25	10	55	46	15	36
Sakkarose	12	6	79	34	16	49

I de refererede undersøgelser er der fundet varierende værdier for genfindelsen af tilført kvælstof. Dette skyldes forskellige forsøgsomstændigheder (jordtype, klima og forsøgsdesign), men det er tydeligt, at der er en vekselvirkning mellem udbringningsmetoden og jordens næringsstofstatus således, at udnyttelsen af det tilførte kvælstof er størst ved placering under ugunstige forhold, og især ved et højt immobiliseringspotentiale. Dette kan f.eks. være sandede jorde, samt marker hvortil der er tilført organisk stof med et højt C/N-forhold.

3.1.2 Fosfor og kalium

For fosfor og kalium forekommer der ikke helt samme problem vedrørende karakterisering af jordens næringsstofstatus, men derimod kan det være vanskeligt at opnå overensstemmelse mellem de kemiske ekstraktionsmetoder og afgrødens optagelse.

I majs fandtes effekten af fosforplacering på sandjord at være størst ved lavt indhold af citratopløseligt fosfor (Prummel, 1957). Ved et fosforindhold på 60 mg/kg jord fandtes ingen udbytteeffekt af placeringsmetode og gødningsmængde, men i intervallet 20-60 mg P/kg jord svarede placering af 13 kg P/ha til bredspredning af 66 kg P/ha.

I potteforsøg fandt Bole (1986) i gennemsnit af to gødningstyper, at genfindelsen af fosfor var lavest på sur jord, og på denne jordtype havde gødningsplacering den største effekt (Tabel 4). Dette skyldes, at det let tilgængelige fosfor i den tilførte gødning på sådanne jorde bindes i tungtopløselige jern- og aluminiumforbindelser. I en jord med neutral pH var genfindelsen højest (Tabel 4), men også her blev der opnået en betydelig forøgelse i genfindelsen ved gødningsplacering. Bole (1986) anvendte fosforgødninger med urea eller ammonium. Forsuringen ved nitrificeringen har på den kalkholdige jord opløst kalken, hvorved fosfor kan bindes til calcium, og placering har derfor ikke givet en forøgelse i genfindelsen (Tabel 4).

Tabel 4. Indflydelse af jordens pH på genfindelsen [%] af ^{32}P i afgrøden ved to udbringningsmetoder. Potteforsøg. (Bole, 1986)

Jordens pH	Placeret	Indarbejdet
6.1	26	13
7.2	43	26
8.1	21	24

De opnåede genfindelsesprocenter i Tabel 4 er langt højere end normalt i dyrkningsforsøg, hvilket sandsynligvis skyldes forsøgsdesignet, hvor der anvendtes jorde med lav fosforstatus, høj tilførselsrate og potteforsøg (Bole, 1986).

Malhi *et al.* (1993a, 1993b) sammenlignede i vårbyg sået på 22,5 cm rækkeafstand tre udbringningsmetoder for fosfor og kalium:

1) bredspredning efterfulgt af nedharvning til 5-7 cm dybde forud for såning af vårbyg,
2) placering i en streng i 3×3 cm horisontal og vertikal afstand fra sårækken, samt
3) placering sammen med udsæden.

Der blev tilført op til 15 kg P/ha (triple superfosfat) eller 28 kg K/ha (kaliumchlorid). Effekten afhang for begge næringsstoffer af jordens gødningstilstand. På jorde med lav næringsstofstatus blev der opnået en udbytteforøgelse på op til 13 hkg/ha ved tilførsel af fosfor eller kalium, mens jorde med god næringsstofstatus gav et insignifikant merudbytte på 3-4 hkg/ha. I forsøgene med sikker udbytteforøgelse, gav placering et større merudbytte i forhold til bredspredning efterfulgt af nedharvning. For fosfor var samsåning i forhold til placering i 3×3 cm (horisontal×vertikal) afstand fra sårækken uden udbytteeffekt, men for kalium blev udbyttet øget yderligere med omkring 3 hkg/ha ved samsåning (Malhi *et al.*, 1993a, 1993b).

I 24 forsøg under pløjefri dyrkning med vårbyg, vårhvede eller vinterhvede fandt Jackson *et al.* (1993) kun i et enkelt forsøg en effekt af placering af fosfor. De konkluderer, at med et indhold af $NaHCO_3$-ekstraherbart fosfor på mere end 12 mg/kg jord, vil der ikke kunne forventes udbytteeffekt af fosfortilførsel, hverken mht. udbringningsmetoder eller mængde. Fosfor bør derfor tilføres efter balanceprincippet.

Til danske agerjorde er der i flere årtier sket en nettotilførsel af fosfor, hvilket har resulteret i et gennemsnitlig fosforindhold på 40-50 mg/kg jord ($NaHCO_3$-ekstraherbart) (Munkholm & Sibbesen, 1997). På denne baggrund kan der i Danmark generelt ikke forventes en effekt af placering af fosfor. Det er derfor ikke overraskende, at der i forsøg udført i de landøkonomiske foreninger ofte fandtes en lille og insignifikant effekt af fosforplacering i korn (Skriver, 1982, 1983, Pedersen & Østergaard, 1991, Kjærsgaard, 1991). Lignende resultater er fundet i Nordskandinavien (Lyngstad & Stabbetorp, 1981).

Tilsvarende forventning om ringe effekt af fosforplacering fremføres af Randall & Hoeft (1988), som samtidig anfører undtagelsesbetingelser, hvor placering af fosfor kan have betydning, som f.eks. afgrøder dyrket på meget kolde jorde, hvor rodudviklingen er langsom eller grøntsagsafgrøder med en kort vækstsæson. F.eks. har majs en langsom rodudvikling, og anvendelse af startgødskning er derfor udbredt.

3.2 Klima i vækstsæsonen, specielt om forsommertørke

I afsnit 2.2 er der indledningsvis refereret til Huhtapalo (1981, 1982) og Heinonen & Huhtapalo (1978), hvor der fandtes en betydelig årsvariation, som skal diskuteres nøjere her. Forsøgsdesignet er omtalt i afsnit 4.2.1 og gennemsnitsresultaterne er vist i Tabel 13 og Tabel 14. Forsøgene blev gennemført i årene 1968-70, hvor der forekom vidt forskellige nedbørsforhold.

I vækstsæsonen 1968 faldt der megen nedbør (87 mm i maj) og der forekom ikke vandmangel. De opnåede udslag i årets fire forsøg var beskedne, og det var på denne baggrund ikke muligt, at konkludere hvorledes gødningen bør placeres mht. horisontal og vertikal afstand fra kornrækken. Vækståret 1969 var forholdvis tørt, især juni med kun 3 mm nedbør. Ved samplacering af udsæd og gødning skete der skade på de fremspirende planter, hvilket reducerede udbyttet. Placering 6 cm under udsæden syntes imidlertid at give sikre merudbytter. Der er også en tendens til, at afstanden fra sårækken betyder mindre jo dybere gødningen blev placeret. I 1970 faldt der megen nedbør i april (60 mm), mens maj var meget tør (4 mm). Dette gav dårlige såbed og skadevirkningen ved samplacering var udtalt. Variationen på dette års resultater var 1,5-2 gange højere end i de to foregående års forsøg, og den forøgede forsøgsusikkerhed gjorde det vanskeligt at opnå sikre udslag for forsøgsbehandlingerne.

Det skal bemærkes, at i både 1969 og 1970 var udbytteniveauet under det normale for hver af de to kornafgrøder. Disse forsøgsomstændigheder og de tilknyttede usikkerheder medfører, at resultaterne i Tabel 13 og Tabel 14 ikke må opfattes som entydige. På grundlag af de enkelte års resultater, kan det derimod konstateres, at der forekommer betydelig vekselvirkning mellem vækstsæson (klima) og placeringsgeometrien.

Kaila & Elonen (1970) gennemførte i 1969 et dyrkningsforsøg med vårhvede i det sydlige Finland. Vækstsæsonen var meget tør og i juni faldt der kun 22 mm nedbør. Under uvandede forhold blev kerneudbyttet øget fra 27 hkg/ha ved bredspredning til 31 hkg/ha ved placering, men forskellen var ikke signifikant. Tilsvarende, men sikkert, blev kvælstofoptagelsen i kernen øget fra 82 til 95 kg N/ha. Ved vanding med 2×30 mm i sidste halvdel af juni, svarende til afsluttende strækning, blev både kerneudbyttet og kvælstofoptagelsen øget, og samtidig reduceredes fordelen ved gødningsplacering især mht. kvælstofoptagelsen. Kvælstofkoncentrationen i kernerne blev kun påvirket af vandingsintensiteten og ikke af udbringningsmetoden.

Ved prøvetagning i strækningsfasen fandtes derimod, at kvælstofkoncentrationen i afgrøden var afhængig af både udbringningsmetode og vandingsintensitet (Kaila & Elonen, 1970). Placeringseffekten var størst i de tidlige vækstsstadier, og effekten var størst under uvandede forhold. Umiddelbart før skridning var forskellene mellem udbringningsmetoderne små, mens vandingsintensiteten havde stor betydning. Tilsvarende tendenser kunne ses i den samlede

kvælstofoptagelse, men her var der nogen usikkerhed pga. de små prøveflader til tørstofbestemmelsen.

Esala & Larpes (1986) gennemførte igennem 12 år dyrkningsforsøg med vårhvede og vårbyg tilført 50, 100, 150 og 200 kg N/ha i NPK 20-4-8 på de samme to lokaliteter i Finland. Den placerede gødning blev nedbragt til 8 cm dybde med 15,5 cm mellem gødningsstrengene, hvorefter såningen blev foretaget parallelt med og midt imellem gødningsstrengene. Det blev estimeret, at den udbyttemæssige største effekt af gødningsplaceringen ville kunne forventes ved tilførsel af 90 kg N/ha. Esala & Larpes (1986) satte derfor udbytteforøgelsen i forsøgsled tilført 100 kg N/ha i relation til det summerede nedbørsdeficit i maj og juni, og fandt, at effekten af gødningsplacering var proportional med nedbørsdeficitet (Tabel 5).

Tabel 5. Merudbyttet ved placering af gødning relateret til summeret nedbørsdeficit i maj og juni. (Esala & Larpes, 1986)

	Merudbytte for gødningsplacering ved nedbørsdeficit >60 mm [kg kerne/ha pr. mm nedbørsdeficit]
Vårhvede	11
Vårbyg	15

Også Lyngstad (1977) og Skriver (1978) opnåede under tørre forhold en sikker udbytteforøgelse ved placering af gødningen, og Alston (1980) fandt en reduceret effekt af gødningsplaceringen, såfremt pløjelaget var fugtigt i den første del af vækstsæsonen. Samstemmende hermed fandt Widdowson *et al.* (1959) ligeledes, at placeringseffekten var forbundet med en betydelig årsvariation.

I dyrkningsforsøg under både konventionel og pløjefri dyrkning blev genfindelsen i afgrøden ved skridning ligeledes øget ved placering af urea (Carter & Rennie, 1984). Under forhold med tilstrækkelig nedbør blev genfindelsen af det tilførte kvælstof forøget fra 27 til 34%. En langt mere udtalt placeringseffekt blev fundet under forhold med lille nedbørsmængde i vækstsæsonen (43 mm), hvor genfindelsen blev øget fra 2 til 27% ved placering af urea, mens bredspredning af det lettere plantetilgængelige kaliumnitrat kun gav en genfindelse på 17%.

Nedbørshændelser efter gødningsudbringning har således betydning for effekten af placeringen. Hartman & Nyborg (1989) undersøgte dette systematisk i de tidlige vækstfaser af vårbyg under anvendelse af 50 kg N/ha i urea. Gødningen blev dels placeret 6 cm vertikalt under udsæden, der blev sået i 4 cm dybde, og dels indarbejdet i de øverste 2 cm efter såning. Parcellerne blev overdækket for at forhindre naturlig nedbør, og i stedet blev der fra såning til blomstring simuleret nedbør ved vanding med 0, 10, 15, 20 eller 25 mm vand/uge. Genfindelsen af det tilførte kvælstof blev målt ved høst af planteprøver på fem tidspunkter fra 2-3 bladsstadiet til blomstring, samt ved modenhed. Forfatterne peger på en forsøgsfejl, idet den totale genfindelse i afgrøde og jord ved modenhed summerer til mere end 100%, og derfor kan de i Tabel 6 angivne genfindelsesprocenter ikke sammenlignes med andre forsøg, men udelukkende tjene til en sammenligning i dette forsøg. En årsag til denne forsøgsfejl kan være anvendelse af ^{15}N med utilstrækkelig berigelse, utilstrækkeligt antal gentagelser og et ikke-afgrænset jordvolumen (Hartman & Nyborg, 1989). De opnåede resultater er derfor behæftet med betydelig mere usikkerhed end normalt i denne type undersøgelser, men de viser nogle klare tendenser.

Ved fravær af nedbør kan planterne ikke optage overfladeudbragt gødning. Ved modenhed blev der kun genfundet 12% mineralsk gødning i jorden, hvilket viser, at gødningen er 'strandet' på overfladen. Efter fjernelse af overdækningen har naturlig nedbør resulteret i en - omend lav - optagelse af den tilførte gødning, mens langt det meste blev genfundet som immobiliseret i jorden.

Under uvandede forhold medførte gødningsplacering dels en fordobling af genfindelsen ved modenhed, og dels optagelse af det tilførte kvælstof i løbet af strækningsfasen (Tabel 6). Ved modenhed gav placering af gødningen samme genfindelse for de tre vandingsstrategier i Tabel 6, men ved vanding blev niveauet for den endelige genfindelse opnået på et langt tidligere tidspunkt i vækstsæsonen. Ved vanding med 25 mm/uge skete det således allerede før skridning.

Tabel 6. Vandingsintensitetens og udbringningsmetodens indflydelse på genfindelsen [%] af ^{15}N i afgrøden i løbet af vækstperioden for to udbringningsmetoder af 50 kg N/ha i urea (Hartman & Nyborg, 1989)

Vanding	Metode for	Afgrødens udviklingsstadie					
[mm/uge]	udbringning	2-3 blade	4-5 blade	6-7 blade	Skridning	Blomstring	Modenhed
0	Bredspredt	<1	<1	1	3	1	36
	Placeret	4	19	46	54	59	70
10	Bredspredt	1	5	12	41	36	47
	Placeret	4	24	41	66	64	68
25	Bredspredt	6	24	40	50	41	46
	Placeret	10	27	63	78	73	69

Både nedbørsmængden og nedbørsfordelingen har således en stor indflydelse på raten og perioden for optagelse af den tilførte gødning. Disse resultater underbygger erfaringerne fra dyrkningsforsøgene (Lyngstad, 1977; Heinoinen & Huhtapalo, 1978; Skriver, 1978; Esala & Larpes, 1986), hvor den udbyttemæssige største effekt af placering blev opnået i år med forsommertørke.

Ved placering af hele gødningsmængden til kartofler fandt Højmark (1972), at merudbyttet for placering varierede fra betydelige positive udslag (55 hkg knolde/ha svarende til en udbytteforøgelse på 15%) til mindre negative udslag (-10 hkg knolde/ha). I 2/3 af de ialt 15 udførte forsøg fandtes en signifikant positiv effekt af placeringen, mens bredspredning i ingen af forsøgene var signifikant bedre end placering. Dette fortolkes således, at placering i nogle år vil være bedre end bredsåning og i andre år jævnbyrdig med bredsåning, mens der kun er lille sandsynlighed for, at bredsåning er bedre end placering. Også Petersen & Meincke (1992) fandt en positiv effekt af gødningsplacering, men store nedbørsmængder i de første 5 uger efter lægning reducerede generelt knoldudbyttet, og placering af gødning kunne ikke modvirke denne reduktion, der primært skyldtes reduktion i antallet af knolde større end 50 mm.

Sammenfattende viser de refererede undersøgelser tydeligt, at placeringseffekten vekselvirker med nedbøren i ugerne efter gødningstildeling.

4. Effekten af artificielle faktorer i forbindelse med gødningsplacering

Gødningstyper (afsnit 4.1) og placeringsgeometri (afsnit 4.2) er centrale emner for opnåelse af både kvalitativ og kvantitativ forståelse af gødningsplaceringens effekt på afgrøden, mens gødningsmængde (afsnit 4.3) og udbringningstidspunkt (afsnit 4.4) er vigtige for en kvantitativ forståelse. Litteraturen er imidlertid sparsom vedrørende de to sidstnævnte emner i forbindelse med gødningsplacering.

4.1 Gødningstyper

Gødningerne reagerer ikke på samme måde hverken i jorden eller ved afgrødens optagelse. Eksempelvis er nitrifikationen en betydningsfuld proces i relation til ammoniumholdige gødninger, mens massestrømning giver bedre betingelser for optagelse af nitratholdige gødninger. Desuden kan der forekomme vekselvirkninger mellem de tilførte næringsstoffer.

4.1.1 Skadevirkning af forskellige gødningstyper ved samsåning

I forbindelse med samsåning, der blev anvendt i 1950'erne, påkaldte gødningstypernes skadevirkning på kimplanterne sig interesse. Denne interesse skyldtes nye produktionsmetoder, hvor det var muligt at fremstille og transportere koncentrerede gødninger med en høj opløselighed af de enkelte næringsstoffer, både i enkeltgødningen og i NPK-gødninger (Olson & Dreier, 1956a). Samsåning af udsæd og gødning er ikke udbredt nu om dage, men resultaterne illustrerer gødningernes potentielle og indbyrdes skadevirkning og er af denne grund medtaget her.

Indledningsvis gennemgås tidlige dyrkningsforsøg, der imidlertid er udført ved lavere gødningsniveauer end de i dag anvendte. Derefter gennemgåes resultaterne fra en række laboratorieundersøgelser.

Ved anvendelse af en lille mængde monoammoniumfosfat fandt Lewis & Strickland (1954) i gennemsnit af 16 forsøg med havre og byg en udbytteforøgelse på 4,5 hkg/ha ved samsåning i forhold til bredspredning (Tabel 7).

Tabel 7. Udbringningsmetodens betydning for kerne og halmudbyttet i havre og byg. (Lewis & Strickland, 1954)

Antal forsøg	Afgrøde	Gødningstilførsel [kg/ha]			Kerneudbytte [hkg/ha]			Halmudbytte [hkg/ha]		
		N	P	K	Ugødet	Bredspredt	Samsået	Ugødet	Bredspredt	Samsået
9	Havre	29	14	18	15.2	20.4	26.3	34.2	41.1	54.0
7	Byg	31	22	21	14.1	17.7	20.2	29.0	36.2	40.8
Gennemsnit					14.7	19.2	23.6	31.9	39.0	48.3

I dyrkningsforsøg udført efter forskellige planer fandt Widdowson & Cooke (1958), at samsåning af vårbyg med 28 og 56 kg N/ha gav en udbytteforøgelse på 1-3 hkg/ha. En tilsvarende udbytteforøgelse kunne imidlertid ikke genfindes i forsøg med vårhvede.

Widdowson *et al.* (1959) undersøgte samsåning og bredspredning af 34 og 67 kg N/ha i calciumammoniumnitrat (KAS) og ammoniumsulfat, og fandt en vekselvirkning mellem udbringningsmetode, gødningsmængde og gødningstype. Bl.a. hindrede den høje mængde KAS fremspiringen ved samsåning, mens den lave mængde forøgede udbyttet. Byg responderede bedre på samsåning end vårhvede. Widdowson *et al.* (1959) advarer imidlertid mod at udbringe al kvælstofgødning ved samsåning, da der ved høje tilførselsrater er betydelig risiko for skade under fremspiring og den tidlige vækst.

Ved samsåning af vårbyg og urea fandt Widdowson & Penny (1960) en reduceret fremspiring og en reduktion i den tidlige vækst allerede ved 56 kg N/ha, mens skaden var betydelig ved 84 kg N/ha. Derimod reducerede ammoniumsulfat kun væksten en smule ved 84 kg N/ha. Reduktionen i den tidlige vækst påvirkede i nogen grad kerneudbyttet, idet forskellene mellem de to gødningstyper var størst ved tilførsel af den høje gødningsmængde (Tabel 8).

Tabel 8. Effekt af to kvælstofgødninger på kerneudbytte og merudbytte [hkg/ha] af vårbyg ved samsåning (Widdowson & Penny, 1960)

Tilførsel [kg N/ha]	Ugødet	Urea	Ammoniumsulfat	Differens
0	35.2			
28		6.9	8.4	1.5
56		10.4	12.7	2.3
84		12.4	15.5	3.1

Tilsvarende fandt Ekeberg (1977) en betydelig reduktion i fremspiringen af vårbyg ved samsåning med urea og kalksalpeter. For NPK 19-5-9 og kalkammonsalpeter var reduktionen mindre, men for alle fire gødningstyper blev reduktionen i fremspiringshastigheden forstærket med den tilførte mængde. På trods af denne nedsatte fremspiring gav NPK 19-5-9 og kalkammonsalpeter en udbytteforøgelse på 12-40% i forhold til bredspredning. Kalksalpeter gav derimod en udbyttereduktion på 5%, mens urea reducerede udbyttet med 33% i forhold til bredspredning.

På baggrund af dyrkningsforsøgene kan det konstateres, at gødningsmængden har stor betydning for effekten på afgrøden, men der er også artsforskelle. I dyrkningsforsøgene er der ikke i større omfang foretaget sammenligning af gødningstyper, men dette belyses nedenfor ved laboratorieforsøg.

Nyborg (1961) fandt aftagende tolerance i rækkefølgen: havre > byg > hvede >> raps > hør. For kornarterne er dette forhold i overensstemmelse med resultaterne i de ovenfor nævnte dyrkningsforsøg (Lewis & Strickland, 1954; Widdowson & Cooke, 1958; Widdowson *et al.*, 1959). Skaden på kimplantene består både i en forsinket og reduceret fremspiring. For kornarterne var forsinkelseseffekten den mest udtalte, idet samtidig samsåning med både 45 kg N/ha i ammoniumnitrat og 20 kg P/ha i triplesuperfosfat udsatte fremspiringen med omkring 10 dage, mens den endelige fremspiring var acceptabel 70-100%. For raps og hør bevirkede samsåningen med både kvælstof og fosfor derimod en total manglende fremspiring.

Nyborg (1961) undersøgte ligeledes effekten af enkeltgødninger, samt deres vekselvirkning med jordtemperaturen i intervallet 7-18°C. Ved samsåning med enten 45 kg N/ha i ammoniumnitrat eller 39 kg P/ha i triplesuperfosfat var forsinkelsen i fremspiringen 5-7 dage, men for

begge gødningstyper fandtes der en tendens til, at lavere temperatur forøgede forsinkelsen (Nyborg, 1961).

Dubetz *et al.* (1959) undersøgte fremspiringen af majs, bønner og roer, og fandt en vekselvirkning mellem typen og mængden af den placerede gødning samt jordens vandindhold. Placering af 22 kg P/ha (superfosfat) reducerede ikke fremspiringen signifikant ved 75% plantetilgængeligt vand i jorden, men ved kun 25% plantetilgængeligt vand blev fremspiringen halveret. Ved samtidig placering af fosfor og ammoniumnitrat (både 25 og 50 kg N/ha) blev fremspiringen reduceret betydeligt, og ved 50 kg N/ha og lavt vandindhold var fremspiringen skadet 100%. Olson & Dreier (1956a) fandt i hvede og havre en forsinkelse i fremspiringen ved blot 11 kg N/ha ved lavt indhold af plantetilgængeligt vand i jorden, for ved 180 kg N/ha at give 100% skade. Dubetz *et al.* (1959) konkluderede, at det af gødningssaltet dannede osmotiske potentiale er af betydning for reduktionen i fremspiringen.

Cummins & Parks (1961) undersøgte skadevirkningen af forskellige gødningstyper på kimplanter af majs og hvede, og fandt, at hvede generelt er en smule mere følsom end majs. Referencen er uklar mht. hvilke absolutte koncentrationer, der giver skade, men rækkefølgen for aftagende skadevirknng kan angives for de to plantearter (Tabel 9). Olson & Dreier (1956a) udførte tilsvarende undersøgelser for henholdsvis kvælstof- og fosforgødninger til hvede og havre.

Tabel 9. Rækkefølge for aftagende skadevirkning af gødninger. Olson & Dreier (1956a) gennemførte deres undersøgelser i to serier, en for henholdsvis kvælstof og fosfor, og resultaterne fra de to serier kan ikke umiddelbart sammenlignes kvantitativt.

Cummins & Parks (1961)		Olson & Dreier (1956a)
Majs	Hvede	Hvede/havre
Vandfri flydende ammoniak	Vandfri flydende ammoniak	Calciumcyanid
		Ammoniumhydroxyd
Urea	Urea	Urea
Natriumnitrat	Kaliumchlorid	Natriumnitrat
Kaliumchlorid	Natriumnitrat	Kaliumnitrat
Ammoniumnitrat	Ammoniumnitrat	Ammoniumsulfat
Ammoniumsulfat	Ammoniumsulfat	Ammoniumnitrat
NPK 6-12-12	Kaliumsulfat	Mono- og
Kaliumsulfat	NPK 6-12-12	diammoniumfosfat
Triplesuperfosfat	Triplesuperfosfat	Triplesuperfosfat
Superfosfat	Superfosfat	Superfosfat

Både Cooke (1954), Olson & Dreier (1956a) samt Cummins & Parks (1961) fandt, at ved samsåning af udsæd og gødning blev de største skader opnået ved anvendelse af kvælstof og tildels kalium/natrium gødninger, men effekten kan variere. Anvendelse af fosforgødninger giver som regel ikke skade, men en øget plantevækst (Cooke, 1954; Olson & Dreier, 1956a; Cummins & Parks, 1961). Ved samsåning anvendes ofte ammoniumfosfat, men fosfortilførslen bør afpasses således, at der ikke tilføres mere end 10-15 kg N/ha (Olson & Dreier, 1956a).

Toews & Soper (1978) fandt i vårbyg, at skadevirkningen, udtrykt ved fremspiringsprocenten, blev reduceret 11 gange mere ved samsåning med urea i forhold til samme mængde ammoniumnitrat. Der blev anvendt gødningsmængder op til 67 kg N/ha, og skadevirkningen var pro-

portional med den tilførte mængde. Derimod var skadevirkningen omvendt proportional med jordens kationbytningskapacitet.

Urea kan indeholde biuret (NH2-CO-NH-CO-NH2), der ved samsåning i mængder på blot 1,5 kg/ha kan virke toksisk på vårhvede (Low & Piper, 1961). I moderne gødninger er indholdet af biuret sædvanligvis lavt og uden betydning.

Det må konstateres, at samsåning af udsæd og gødning kun er en dyrkningssikker metode for gødningstilførsel ved anvendelse af meget små gødningsmængder. Samsåning kan således kun være berettiget i et dyrkningskoncept, hvor startgødskning kombineres med en efterfølgende supplerende gødskning.

4.1.2 Dyrkningsforsøg med kvælstofgødninger

Den nødvendige fysiske afstand mellem udsæd og den placerede gødning belyses nærmere i afsnit 4.2, men selv om gødningsplacering foretages i en sikker afstand fra planterækken har gødningstypen tilsyneladende betydning for gødningsvirkningen (Widdowson *et al.*, 1964). Under uheldige omstændigheder kan alene ammoniakfordampningstabet fra overfladeudbragt urea udgøre 20-25% (Sommer, 1993; Malhi *et al.*, 1996). Enhver form for indarbejdning af gødningen i jorden vil imidlertid reducere dette tab. I overensstemmelse med dette fandt Lyngstad (1977) og Lyngstad & Stabbetorp (1980) en større udbytteforøgelse ved placering af urea i forhold til placering af ammoniumnitrat.

Da der allerede inden gødningen trænger ned i jorden kan ske tab, er det vanskeligt at udføre markforsøg, der belyser virkningen af forskellige kvælstofgødninger. Det er således klart, at gødningstypen vil vekselvirke med udbringningsmetoden. Derudover kan der forekomme vekselvirkninger med klima og jordtypen, hvilket i denne sammenhæng gør dyrkningsforsøgene i marken mindre egnet som metode til sammenligning af gødningstyper. Der findes da heller ikke mange referencer der belyser dette emne ved dyrkningsforsøg, og i stedet henvises til de øvrige afsnit, hvor gødningstypen har været inddraget som faktor. Det drejer sig specielt om ^{15}N-forsøg, f.eks. Tabel 22 og Tabel 10.

4.1.3 Ammoniumgødningers nitrifikation og effekt på rodvæksten

Koncentrationen af næringssalt i jorden vil afhænge af både den tilførte mængde og det jordvolumen, hvori gødningen er indarbejdet. Placering af gødningen i en zone kan give høje saltkoncentrationer. Wetselaar *et al.* (1972) og Passioura & Wetselaar (1972) tilførte i laboratorieforsøg en kvælstofmængde svarende til 750 kg N/ha ved en rækkeafstand på 1 m. For urea, flydende ammoniak og andre ammoniumgødninger vil ammoniumkoncentrationer >3000 ppm hindre nitrifikationsprocessen (Wetselaar *et al.*, 1972). Yderligere vil tilførsel af flydende ammoniak og urea give en pH stigning (Wetselaar *et al.*, 1972; McIntosh & Frederick, 1958), og ved pH>8 vil nitrifikationen ligeledes hæmmes (Wetselaar *et al.*, 1972).

Umiddelbart efter injektion af 134 kg N/ha i flydende ammoniak fandt McIntosh & Frederick (1958) en koncentration på 1200 ppm ammoniumkvælstof i gødningsstrengen, som havde en udbredelse på 3-4 cm i alle retninger med aftagende koncentration. Efter en måned med en

jordtemperatur på omkring 20°C var koncentrationen pga. nitrificering faldet til 200-300 ppm ammoniumkvælstof. Ved tilførsel senere på året, efterfulgt af 4 måneder med en jordtemperatur omkring frysepunktet, var der ikke sket nitrificering. Derimod var udbredelsen af gødningszonen øget til omkring 5 cm i alle retniger med en deraf tilsvarende reduktion i koncentrationen (McIntosh & Frederick, 1958). Umiddelbart efter tilførsel var pH 9,5 i gødningszonens center, men aftog med afstanden og tiden.

Nitrifikationen forløber i to trin, der begge har en pH-sænkende virkning og optimum omkring pH 7. I første trin dannes nitrit, som under ugunstige betingelser kan ophobes, men normalt løber processen til ende. Nitrificering af ammoniumholdige gødninger med pH-forøgende effekt (flydende ammoniak og urea) vil således kun ske i overgangen mellem gødningszonen (højt pH) og den omgivende jord (normal pH).

Ingen (Wetselaar *et al.*, 1972) eller kun ubetydelige (Passioura & Wetselaar, 1972) mængder af nitrit blev observeret ved placering af ammoniumsulfat, men ved placering af urea fandtes op til 100 ppm nitritkvælstof 4-8 uger efter placering. Dette er en konsekvens af pH-forøgelsen ved anvendelse af urea, hvorved nitrifikationen hæmmes. Undersøgelse af hvederødders fordeling omkring gødningszonen viste, at rødderne i de to første uger efter placeringen ikke penetrerede gødningszonen, hverken ved placering af urea eller ammoniumsulfat (Passioura & Wetselaar, 1972). For ammoniumsulfat var rødderne efter fire uger trængt ind i gødningszonen og efter otte uger var denne gennemvævet af rødder. For urea trængte rødderne ikke ind i gødningszonen, men efter otte uger fandtes der kraftig rodvækst på overfladen af gødningszonen (Passioura & Wetselaar, 1972), hvilket svarer til det område, hvor nitrifikationen kan løbe til ende.

Tilsvarende parametre blev målt af Sawyer & Hoeft (1990a) omkring en streng af kvæggylle. I gødningsstrengen fandtes en reduceret rodvækst som følge af lav iltkoncentration, lav redoxpotentiale, højt vandindhold, høj pH koblet med høj ammoniumkoncentration, der indikerer store mængder fri ammoniak, samt akkumulering af nitrit. Toksisk effekt af disse parametre blev kun fundet i og under gødningsstrengen, mens der i en horisontal afstand på 3-5 cm kun var begrænset effekt på de målte parametre. Hverken over gødningsstrengen eller i 6-9 cm horisontal afstand var parametrene påvirket af gødningsstrengen. Sawyer & Hoeft (1990a) konkluderer således, at der kun er begrænset transport af næringsstoffer ud af gødningsstrengen.

Den af Sawyer & Hoeft (1990a) anvendte gødningsstreng havde en diameter på 6 cm, svarende til direkte nedfældning af 28 t/ha med en skærafstand på 75 cm, som er en almindelig rækkeafstand i majs. På nyere danske nedfældere er skærafstanden 25-30 cm, hvilket giver en gødningsstreng med kun ca. 3 cm i diameter (Petersen, 1996). Det større overflade/volumen forhold forventes at reducere zonen hvori røddernes vækst hæmmes. Dette understøttes af Sawyer & Hoeft (1990b) og Sawyer *et al.* (1990), der fandt langt mindre risiko for toksisk effekt ved anvendelse af vingeskær (*sweep injection; horisontal injection*) til direkte nedfældning af samme gyllemængde.

Såning af majs vertikalt over en gyllestreng (30 t/ha nedfældet med 75 cm skærafstand) skader ofte afgrøden (Sawyer & Hoeft, 1990a, 1990b; Sawyer *et al.*, 1990), men såning parallelt med gyllestrengen i en afstand på 10 cm havde ingen skadelig virkning (Schröder *et al.*, 1997).

Ovenstående undersøgelser er udført med gødningstyper med et højt skadepotentiale, jvnf. afsnit 4.1.1, og desuden har den tilførte gødningsmængde givet høje koncentrationer i jorden. Resultaterne viser imidlertid, at nitrificeringen kan hæmmes og skadelig nitrit kan dannes. Flydende ammoniak, urea og gylle må derfor placeres på en sådan måde, at nitrifikationen ikke hæmmes væsentligt. Anvendelse af flydende ammoniak i dyrkningsforsøg med henblik på at belyse placeringsgeometriens indflydelse på afgrødens vækst og produktion omtales senere i afsnit 4.2.2.

4.1.4 Kornstørrelse

Ved anvendelse af pillerede gødninger frem for pulverformige gødninger fandt Olson & Dreier (1956a) mindre skadevirkning ved samplacering af udsæd og gødning. Ud over, at samplacering er ualmindelig, så anvendes der i Danmark i dag overvejende pillerede gødninger med en ensartet kornstørrelse og god kornstabilitet. Effekten af varierende kornstørrelse har været undersøgt i bl.a. Canada.

For at modvirke denitrifikationstab fra efterårsudbragt urea (56 kg N/ha) i løbet af vinteren undersøgte Nyborg & Malhi (1992) effekten af kornstørrelse og placeringsdybde i vårbyg. Både udbyttet og kvælstofoptagelsen havde tendens til at øges ved anvendelse af gødningskorn på 2,5 g frem for de kommercielle korn på 0,01 g, og placering i 15 cm dybde havde også tendens til at øge effekten i forhold til 4 cm. Ved forårsudbringning havde store korn derimod en ringere effekt.

Singh *et al.* (1994) giver en litteraturoversigt over problemstillingen vedrørende den udbredte efterårsudbringning af urea i Nordamerika. Anvendelse af punktplacering eller store gødningskorn (1-3 g) vil reducere overfladen mellem gødning og jord. I første omgang reduceres nitrificeringsraten, hvorved både efterfølgende denitrificeringstab gennem vinteren og immobilisering begge reduceres.

Singh *et al.* (1994) efterlyser undersøgelser af faktorer (jordfysiske/kemiske, afgrøde, klimatiske), der kan have betydning for optimeringen af anvendelsen af store gødningskorn. Et svar på dette kan være den af Wang *et al.* (1998) opstillede model for nitrifikation, diffusion og afgivelse af kvælstof fra store ammoniumholdige gødningskorn. På baggrund af modelberegninger findes, at en forøgelse i kornstørrelsen vil reducere både nitrifikationsraten og diffusionen af ammonium ud af kornet. Dette betyder, at der kan opstå risiko for, at afgrøden ikke kan forsynes tilstrækkelig hurtigt, hvilket kan forklare den af Nyborg & Malhi (1992) opnåede ringere effekt af forårsudbringning.

4.1.5 Dyrkningssystem

Ved anvendelse af ^{15}N beriget kvælstof foretog Malhi *et al.* (1996) sammenligning af gødningstyper i to dyrkningssystemer, dels et pløjefrit dyrkningsystem, hvor der ikke blev foretaget indarbejdning af gødningen, og dels et konventionelt, hvor gødningen blev indarbejdet til 10 cm dybde. Der blev forårsudbragt 50 kg N/ha i en vårbygafgrøde. Den totale genfindelse i planter og jord aftog i rækkefølgen: kaliumnitrat > ammoniumnitrat > ammoniumsulfat > urea. Ved anvendelse af de nitratholdige gødninger blev der opnået en genfindelse på omkring

100%. Der er således ikke sket et tab ved denitrifikation, men derimod er der ved pløjefri dyrkning en stærk formodning om ammoniakfordampning ved anvendelse af urea og ammoniumsulfat, og tabet udgjorde 20-25% af den tilførte gødning (Malhi *et al.*, 1996).

En anden proces, der kan påvirke genfindelsen i afgrøden, er immobilisering i jorden. I det konventionelle dyrkningssystem blev der opnået en 100% genfindelse i planter og jord, hvilket betyder, at det ikke-optagne gødningskvælstof er immobiliseret (Malhi *et al.*, 1996). Potentialet for immobilisering, der kan regnes for omvendt proportional med genfindelsen i afgrøden, er således større ved anvendelse af ammoniumholdige gødninger (urea og ammoniumsulfat) sammenlignet med nitratholdige gødninger (ammoniumnitrat og kaliumnitrat) (Tabel 10). Dette er i overensstemmelse med den generelle opfattelse, at mikroorganismer har præference for ammonium.

Tabel 10. Dyrkningssystemets og gødningstypens indflydelse på genfindelsen [%] af ^{15}N i afgrøden. Gennemsnit af to forsøgslokaliteter. (Malhi *et al.*, 1996)

Dyrkningsform	Urea	Ammoniumsulfat	Ammoniumnitrat	Kaliumnitrat
Pløjefri	36	42	51	66
Konventionel	50	50	58	63

Både i dette forsøg (Tabel 10) og i et parallelt forsøg (Tabel 18) (Malhi *et al.*, 1996), samt i et tidligere forsøg (Tabel 16 og Tabel 17) (Malhi & Nyborg, 1991), fandtes iøvrigt en generel tendens til, at det konventionelle dyrkningssystem medførte en højere genfindelse af ^{15}N i afgrøden. Ved gødningsplacering under pløjefri dyrkning opnåedes en betydelig forøgelse i genfindelsen i forhold til bredspredning alene, men også i det konventionelle dyrkningssystem opnåedes en forøgelse ved placering i forhold til indarbejdning af den bredspredte gødning (Malhi & Nyborg, 1991) (Tabel 16 og Tabel 17).

4.1.6 Vekselvirkning mellem kvælstof og fosfor

Ved forskellige kombinationer af udbringningsmetoder (placering, samsåning og bredspredning) og næringsstoffer (kvælstof, fosfor og kalium) fandt MacLeod *et al.* (1975), at koncentrationen af fosfor i vårbyg tre uger efter såning var lavest ved bredspredning. Den totale fosforoptagelse var gennem hele vækstsæsonen ligeledes lavest ved bredspredning. Ved samplacering af (og samsåning med) NP eller NPK forøgedes fosforkoncentrationen i afgrøden. Udslagene for samplacering af kalium med kvælstof og fosfor var mindre men tendensen var ligeledes en forøgelse af kaliumkoncentrationen i afgrøden ved både placering og samsåning.

Ved samplacering af kvælstof og fosfor opnås den største optagelse af tilført fosfor ved anvendelse af ammonium frem for nitrat, og denne effekt fremtræder særlig i de tidlige vækststadier, svarende til 2-4 uger efter gødningstilførsel i forårssåede afgrøder (Olson & Dreier, 1956b; Rennie & Soper, 1958). Effekten af nitrat kan tilskrives en morfologisk funktion, idet rodtætheden og dermed fosforoptagelsen øges. For ammonium drejer det sig også om en fysiologisk funktion, idet samtidig optagelse af ammonium og fosfor vil være neutral i forhold til ionbalancen.

Ved samplacering af ammoniumnitrat og ^{32}P genfandt Olson & Dreier (1956b) 14,5% af det tilførte fosfor i afgrøden, men kun 11% ved placering af fosfor og bredspredning af kvælstof,

og ved fosforplacering uden kvælstoftilførsel var genfindelsen reduceret til 7,5%. I majs fandt Miller & Ohlrogge (1958) ligeledes en fordobling af genfindelsen ved samplacering af fosfor og ammoniumsulfat i forhold til placering af fosfor alene, og dette gjorde sig gældende uanset jordens naturlige indhold af fosfor. I forhold til både placering af fosfor alene og fosforplacering i kombination med separat placering af kvælstof forøgede samplacering af kvælstof og fosfor andelen af optaget fosfor, der hidrørte fra den tilførte gødning (P_{dff}), og også denne effekt var stort set uafhængig af jordens naturlige fosforindhold (Miller & Ohlrogge, 1958). De opnåede genfindelser af fosfor er i overensstemmelse med Mattingly & Widdowson (1958).

Shriniwas *et al.* (1990) fandt, at samtidig placering af monoammoniumfosfat og ammoniumnitrat øgede optagelsen af det tilførte fosfor målt i bygplanter høstet ved skridning. Gødningerne blev placeret 3-5 cm under sårækken (Tabel 11). Tilførsel af 80 kg N/ha kan forøge andelen af optaget fosfor hidrørende fra den tilførte gødning (P_{dff}) på omtrent samme måde som en fordobling af den tilførte mængde fosfor (Tabel 11). Der er således tale om en positiv vekselvirkning.

Tabel 11. Indflydelse af kvælstof- og fosfortilførsel på P_{dff} og genfindelse af ^{32}P i bygplanter ved skridning. (Shriniwas *et al.*, 1990)

Kvælstof-tilførsel [kg N/ha]	Fosfortilførsel [kg P/ha]					
	6,5	13	26	6,5	13	26
	P_{dff} [%]			Genfindelse [%] af ^{32}P		
0	14	22	31	9	8	6
20	18	26	38	13	10	8
40	20	32	46	17	14	10
80	22	35	58	20	16	14

Mht. til genfindelsen (optagelse af tilført gødning i forhold til den tilførte mængde) havde en halvering i den tilførte mængde fosfor samme effekt som en fordobling i den tilførte mængde kvælstof (Tabel 11), hvilket er en negativ vekselvirkning. En høj genfindelse af det tilførte fosfor opnås derfor ved en kombination af et lavt fosforniveau og højt kvælstofniveau, og ved et givent fosforniveau vil P_{dff} samtidig øges med stigende kvælstoftilførsel (Tabel 11).

Kvælstof, især ammonium i forhold til nitrat, stimulerer gennem røddernes udbredelse og funktion således optagelsen af det tilførte fosfor. Effekten af gødningsplacering på rodvæksten behandles nærmere i afsnit 4.2.4.

4.2 Placeringsgeometri

Da plantenæringsstofferne kun optages fra fugtig jord, er det vigtigt, at gødningen bringes ned i jorden. Når betingelserne for den vertikale fordeling er opfyldt, da kan der fokuseres på den horisontale fordeling, dvs. afstanden til planterækken (Prummel, 1957). I denne gennemgang udtrykkes placeringsgeometrien ved den horisontale×vertikale afstand fra udsæden.

Indledningsvis gennemgås der i afsnit 4.2.1 dyrkningsforsøg, hvor der er fokuseret på gødningsplaceringens indflydelse på udbyttet. Placeringsgeometrien for flydende ammoniak, der har et højt potentiale for skade på afgrøden, er beskrevet i afsnit 4.2.2, mens placeringsgeomtrien for andre kvælstofkilder belyses med anvendelse af ^{15}N i afsnit 4.2.3. Gødningsplace-

ringens effekt på rodvækst og den overjordiske vækst behandles i henholdsvis afsnit 4.2.4 og 4.2.5. Afslutningsvis nævnes i afsnit 4.2.6 enkelte forsøg med placering af fosfor til korn.

4.2.1 Dyrkningsforsøg

Allerede Cooke (1954) indså, at den i afsnit 4.1.1 omtalte skadevirkning kunne hindres ved at placere gødningen i 5 cm horisontal afstand og 2-3 cm i vertikal afstand fra sårækken. En tilsvarende placeringsgeometri har med variationer siden hen været anvendt i flere forsøg.

Prummel (1957) har sammenfattet mere end 100 forsøg udført i Holland 1948-55 efter forskellige planer og i forskellige afgrøder. Næringsstofferne blev placeret enkeltvis i en horisontal afstand på 2 cm fra kornrækken og 5-7 cm fra planterækken i andre afgrøder. Prummel (1957) præsenterer ikke resultater fra de enkelte forsøg, men angiver værdien af gødningsplacering i forhold til bredspredning (Tabel 12), beregnet på grundlag af udbyttet. Ud over vekselvirkning mellem næringsstof, afgrøde og jordtype, kan der som hovedregel forventes en positiv effekt af den undersøgte placeringsgeometri. Effekten var dog betydelig større i korn end i afgrøder med lang vækstsæson som f.eks. roer og kartofler (Tabel 12) (Prummel, 1957).

Tabel 12. Relativ værdi af makronæringsstoffer ved gødningsplacering. (Prummel, 1957)

Næringsstof	Korn	Kartofler	Roer	Majs	Bælgplanter
Kvælstof *	1.25	1.15	1.20	-	-
Fosfor *	2.45	1.90	1.20	2.90	7.50
Kalium **	3.65	1.10-1.60	1.00	-	-

*) Forskellige jordtyper (sandjord, marint ler, opdyrket hede, løsjord)
**) Kaliumfikserende lerjord (lerrig fluvial aflejring)

Nøjere undersøgelse af placeringsgeometrien blev gennemført i to specielle forsøg, begge efter samme plan og med placering af fosfor til havre (Prummel, 1957). De seks undersøgte placeringer var: 4 og 8 cm horisontal afstand fra sårækken kombineret med 0, 2 og 4 cm vertikal afstand under sårækken. I det ene forsøg gav placering i 4×4 cm afstand i gennemsnit af tre gødningsniveuer (18, 36 og 87 kg P/ha) det største udbytte. I det andet forsøg fandtes en horisontal afstand på 8 cm at være for stor, idet den tidlige vækst var reduceret i forhold til placering i en horisontal afstand på 2 cm.

Vekselvirkning mellem placeringsmetode, gødningstype og gødningsmængde er blevet belyst i dyrkningsforsøg (Widdowson *et al.*, 1964). Forsøgene blev udført i vårbyg i 1960-62 og ammoniumsulfat anvendtes som referencegødning. I 15 forsøg blev effekten af urea belyst, og i seks forsøg (1960-61) blev der anvendt calciumnitrat og i seks forsøg (1962) natrium nitrat. Der blev tilført 39 og 78 kg N/ha, som blev bredspredt på såbed, samsået eller placeret i 2-3 cm horisontal afstand fra sårækken. Generelt er de fundne forskelle små, 1-2 hkg/ha, og måske ikke signifikante, men resultaterne er alligevel medtaget her, da de belyser hvorledes placeringen vekselvirker med gødningstype og gødningsmængde.

Ved det lave gødningsniveau fandtes ingen væsentlige forskelle mellem ammoniumsulfat og urea. Begge placeringsmetoder gav større udbytter end bredspredning, og der var ingen forskel mellem placering og samsåning. Derimod fandtes ved det høje gødningsniveau, at ammoniumsulfat gav det største udbytte ved samsåning, men pga. ureaens skadelige effekt på

kimplanterne i form af reduceret plantetal og deraf følgende lave udbytter ved samsåning, gav urea det største udbytte ved placering (Widdowson *et al.*, 1964). Ved et tilsvarende gødningsniveau (67 kg N/ha) fandt Toews & Soper (1978), at placering af urea i en afstand på 2,5 cm var tilstrækkelig til at undgå skade. Ved det høje gødningsniveau gav den for hver gødningstype bedste placeringsmetode større udbytte end bredspredning (Widdowson *et al.*, 1964). Bredspredt nitratgødning gav derimod større udbytter end bredspredt ammoniumsulfat ved begge gødningsniveauer, og placering af nitratgødninger gav ikke samme udbytteforøgelse som placering af ammoniumsulfat.

Systematiske undersøgelser af placeringsgeometrien blev foretaget af Huhtapalo (1981, 1982), der i 1968-1970 gennemførte ialt 12 forsøg med placering af urea og ammoniumnitrat til vårhvede og havre. Forsøgene blev udført i Uppsalaområdet på jorde med 30-50% ler og med en specialkonstrueret såmaskine ('Viktoria'), hvor gødningsskærene til placering kunne forskydes horisontalt og vertikalt i forhold til såskærene (Huhtapalo, 1978). I markforsøgene blev gødningen placeret 0, 3 og 6 cm horisontalt fra sårækken og 0, 3 og 6 cm vertikalt under sårækken, ialt ni kombinationer, der blev sammenlignet med dels bredspredning efterfulgt af indarbejdning i de øverste 3-4 cm og dels et ugødet forsøgsled (Huhtapalo, 1982).

På baggrund af diskussionen af forsøgsomstændighederne i de tre vækstår i afsnit 3.2 kan resultaterne fremlagt i Tabel 13 og Tabel 14 ikke tillægges fuld styrke, men de illustrerer, at både den horisontale og vertikale afstand til udsæden skal være ≥3 cm. Iøvrigt er de samme forsøg også beskrevet af Huhtapalo (1971; 1981), men med lidt divergerende værdier for resultaterne. Årsagen hertil er ikke klarlagt.

Tabel 13. Indflydelse af horisontal og vertikal afstand fra sårækken på kerneudbytte [hkg/ha]. Gennemsnit af 12 forsøg. (Heinonen & Huhtapalo, 1978; Huhtapalo, 1982)

Dybde i forhold til udsæden [cm]		Afstand fra sårækken [cm]		
		0	3	6
Ugødet	27.6			
Bredspredt og nedharvet	35.7			
0		32.2	36.7	38.1
3		36.4	39.5	40.4
6		38.6	39.6	40.3

Tabel 14. Indflydelse af horisontal og vertikal afstand fra sårækken på kvælstofoptagelse [kg/ha] og meroptagelse i forhold til ugødet. Gennemsnit af 12 forsøg. (Heinonen & Huhtapalo, 1978; Huhtapalo, 1982)

Dybde i forhold til udsæden [cm]		Afstand fra sårækken [cm]		
		0	3	6
Ugødet	52			
Bredspredt og nedharvet	23			
0		17	26	29
3		25	33	34
6		30	32	34

Ved såning af vårsæd er gødningsplacering omkring 5×6 cm horisontal×vertikal afstand fra sårækken udbredt i Skandinavien, men også MacLeod *et al.* (1975) anvendte en tilsvarende placeringsgeometri (5×5 cm). Esala & Larpes (1986) giver en oversigt over finsk, svensk og norsk litteratur fra 1960'erne og begyndelsen af 1970'erne, hvor der gennemgående blev op-

nået et merudbytte ved placering på 3-4 hkg/ha. På baggrund af mere end 400 forsøg i de danske landøkonomiske foreninger kan der gennemgående regnes med et merudbytte på 3 hkg/ha i vårbyg ved placering af gødningen (Skriver, 1978, 1980, 1983, 1985). Denne effekt er sammensat af dels en effekt af den direkte nedfældning (1,6 hkg/ha) og dels en placeringseffekt (1,2 hkg/ha) (Skriver, 1978).

På baggrund af 107 forsøg udført på forskellige lokaliteter i hele Sverige kan effekten af gødningsplacering opsummeres således (Mattsson, 1974):

- Placering af gødning øgede udbyttet i Østsverige med 2-3 hkg/ha og 1-2 hkg/ha i Nordsverige, men ikke Vest- og Sydsverige. Dette skyldes formentlig klimatiske forskelle, idet forsommertørke ofte forekommer i Østsverige.
- Ved tilførsel af >60 kg N/ha blev strået blødere ved gødningsplacering, hvilket sandsynligvis skyldes en større effekt af det tilførte kvælstof.
- Der var en tendens til højere kvælstofindhold i kernen ved gødningsplacering.
- Tusindkornsvægten og litervægten var stort set upåvirket af udbringningsmetoden.

Lewis and Strickland (1954) fremhæver, at gødningen skal placeres tæt på men ikke i kontakt med udsæden, og de ovenfor refererede dyrkningsforsøg viser, at en horisontal afstand på 2 cm ikke altid er tilstrækkelig for alle gødningstyper. Samstemmende hermed anbefaler Nyborg (1961) en afstand mellem udsæd og gødning på 3 cm eller mere. Af hensyn til såudstyrets konstruktion kan den horisontale afstand øges til omkring 6 cm uden negativ påvirkning af afgrøden.

4.2.2 Flydende ammoniak til korn

Flydende vandfri ammoniak er den potentielt mest skadelige gødning, jvnf. afsnit 4.1.1, og derfor skal placeringsgeometrien belyses særskilt for denne gødningstype.

Udbringning af flydende ammoniak sker normalt forud for såning af vårsæd og dermed uden mulighed for placering af gødningen i forhold til sårækken. Ofte er der 30 cm mellem nedfælderskærene. Ved utilstrækkelig nedfældningsdybde er der stor risiko for alvorlig skade på kimplanterne og afgrødens udvikling bliver uensartet (Fogh, 1974), men der vil dog ske en delvis udbyttemæssig kompensation fra den resterende plantebestand. For at undgå skade på kimplanterne anbefales nedfældning til 10-15 cm.

Udbringes flydende ammoniak i stedet i samme arbejdsgang som kornsåningen vil det være muligt at placere gødningen i forhold til kornrækken. Ved placering af flydende ammoniak midt imellem hver anden kornrække med ca. 12 cm rækkeafstand, fandt Fogh (1974) ingen skade på afgrøden og udviklingen var meget ensartet. Ved anvendelse af denne metode var nedfældning til blot 7 cm dybde også sikker (Fogh, 1974). Såfremt jorden er for tør eller den ikke falder til efter nedfældertanden kan denne dybde dog være utilstrækkelig til at hindre kvælstoftab ved ammoniakfordampning.

Johnston *et al.* (1997) undersøgte i et pløjefrit dyrkningssystem placering af flydende ammoniak og urea til vårhvede samtidig med såning. Der blev tilført 0, 56, 84 og 112 kg N/ha, og gødningen blev placeret i en horisontal og vertikal afstand fra sårækken på 3×6 cm. Der blev udført forsøg på otte lokaliteter, primært i samme vækstsæson. Kun på et par lokaliteter blev

der opnået mindre signifikante effekter af gødningstypen. Johnston *et al.* (1997) konkluderer, at placering af flydende ammoniak kan foretages i forbindelse med såning blot der sikres en tilstrækkelig afstand mellem sårækken og gødningsstrengen.

I et andet forsøg med flydende ammoniak nedfældet til 10-15 cm dybde fandt Fogh (1979) heller ingen skadevirkning men derimod, at bygplanter sået nærmest ammoniakstrengen voksede betydeligt kraftigere end de øvrige planter, især på sandjord. I 1968-69 blev flydende ammoniak først nedfældet (30 cm skærafstand), mens den efterfølgende kornsåning (15 cm rækkeafstand) blev foretaget parallelt med gødningsstrengene. Der blev nedfældet fem gødningsstrenge og sået 15 kornrækker således, at tre kornrækker blev sået uden for det gødede areal (Fogh, 1979). Ved sammenbygning af nedfælder og såmaskine blev arbejdet udført i 1970-71 i en arbejdsgang, hvor kornrækkeafstanden var 14 cm og afstanden mellem nedfælderskærene 28 cm. På den sammenbyggede maskine var det muligt at forskyde nedfælderskærene i forhold til såskærene, og der blev afprøvet to indstillinger: 7:7 cm (nedfælderskær midt imellem hver anden kornrække) og 3:10 cm (nedfælderskær forskudt mod den ene kornrække) (Fogh, 1979). I 1969-70 blev der gennemført udbyttebestemmelse i enkeltrækkerne, og i 1970-71 blev udbyttet bestemt på parcelniveau.

Tabel 15. Den horisontale afstands indflydelse på udbyttet [hkg/ha] i enkeltrækker og på parcelniveau efter placering af flydende ammoniak. (Fogh, 1979)

Forsøgsår og høstflade	Horisontal afstand [cm]	Antal gødnings-strenge pr kornrække	Askov		Lundgård	
			Kerne	Halm	Kerne	Halm
1969 enkelt-række	0	1	66	71	40	40
	15	2	35	37	15	16
	15	1	26	26	9	10
	30-45	1	19	19	7	8
1970 parcel	ca. 3	1	49	56	35	34
	ca. 10	1	34	40	21	23

Der var betydelige forskelle i enkeltrækkernes udbytte (Tabel 15), men afgrøden var i stand til at kompensere for denne ujævne gødningstildeling og parceludbytterne (udbytte pr arealenhed) var upåvirket af forskydningen mellem nedfælderskær og såskær (Fogh, 1979).

En horisontal afstand på >10 cm er tilsyneladende for stor og ved >15 cm resulterede det i en kraftig udbyttereduktion (Tabel 15), særlig ved kun en gødningsstreng pr. kornrække. På baggrund af almen viden om kvælstofs effekt på afgrødens vækst og udvikling formodes det, at denne utilsigtede differentierede gødskning vil give anledning til en uensartet kvalitet, mht. modning, kernestørrelse og kvælstofindhold i kernerne, med deraf følgende værdiforringelse af afgrøden. Det er således ikke tilstrækkeligt at foretage en direkte nedfældning af gødningen som en selvstændig operation, hvor afstanden fra gødningszonen til afgrøderækken er præget af tilfældighed. Det er nødvendigt, at gødningen placeres målrettet i forhold til sårækken. Ved anvendelse af flydende ammoniak synes en kombination af horisontal og vertikal afstand fra sårækken på 5×5 cm at være tilstrækkelig til at undgå skade.

4.2.3 Gødningsudnyttelse bestemt ved anvendelse af ^{15}N

Indledningsvis erindres om, at der ved gødningsudnyttelse forstås genfindelse af det tilførte kvælstof i afgrødens samlede overjordiske masse.

Malhi *et al.* (1989) og Malhi & Nyborg (1991) anvendte samme design for to rammeforsøg i marken og derfor er resultaterne herfra sammenstillet. I det pløjefri dyrkningssystem henlå den bredspredte gødning på jordoverfladen, mens den i det konventionelle dyrkningssystem blev indarbejdet til 10 cm dybde. Placering af gødningen skete i en dybde af 7-8 cm med en afstand på 23 eller 46 cm mellem gødningsstrengene, og der blev forårsudbragt 50 kg N/ha i urea. Vårbyg blev sået i to rækker med 23 cm afstand, hvilket gav en horisontal afstand til gødningsstrengene på henholdsvis 0 og 11,5 cm. Halmen (3,4 t/ha) blev snittet og tilført alle forsøgsled, dog undtagen referenceleddet. I det konventionelle dyrkningssystem blev halmen indarbejdet i de øverste 10 cm forud for gødningstilførslen.

Der ses betydelig forskel på de to vækstsæsoner (Tabel 16 og Tabel 17). Nedbøren var lidt under normal i maj og juni 1985 (35 og 57 mm) (Malhi & Nyborg, 1991), mens 1983 havde en nedbørsfattig maj (ca. 10 mm) (Malhi *et al.*, 1989). For Ellerslie (Tabel 17) faldt der 190 mm i juni 1983, hvilket sandsynligvis har medført et kvælstoftab ved denitrifikation.

For forsøgslokaliteten Rimbey (Tabel 16) blev genfindelsen reduceret ved tilførsel af halm, mens placering af gødning forøgede genfindelsen, endda så meget, at den negative effekt af halmtilførslen modvirkedes (Malhi *et al.*, 1989). For forsøgslokaliteten Ellerslie (Tabel 17), med 10% organisk stof i jorden, blev genfindelsen ikke påvirket af yderligere tilførsel af organisk stof i form af halm, men gødningsplacering gav også her en højere genfindelse. Effekten af forsøgslokalitet, primært et udtryk for jordens indhold af organisk stof, er imidlertid konfunderet med den ovenfor nævnte klimaeffekt.

Tabel 16. Indflydelse af udbringningsmetode, halmtilførsel og dyrkningssystem på genfindelse [%] af ^{15}N i vårbyg. Forsøgslokalitet med 3% organisk stof i jorden (Rimbey). (Malhi *et al.*, 1989; Malhi & Nyborg, 1991)

Forsøgs-år	Forsøgsbehandling	Udbringningsmetode/Horisontal afstand			
		Bredspredt	Indarbejdet	Placeret, 0 cm	Placeret, 11,5 cm
1983	- halm		60	74	
	+ halm		52	71	
1985	Pløjefri	22		40	42
	Konventionel		32	40	40

Tabel 17. Indflydelse af udbringningsmetode, halmtilførsel og dyrkningssystem på genfindelse [%] af ^{15}N i vårbyg. Forsøgslokalitet med 10% organisk stof i jorden (Ellerslie). (Malhi *et al.*, 1989; Malhi & Nyborg, 1991)

Forsøgs-år	Forsøgsbehandling	Udbringningsmetode/Horisontal afstand			
		Bredspredt	Indarbejdet	Placeret, 0 cm	Placeret, 11,5 cm
1983	- halm		12	27	
	+ halm		14	28	
1985	Pløjefri	32		47	50
	Konventionel		40	51	53

Effekter af halmtilførsel og dyrkningssystem er iøvrigt omtalt i henholdsvis afsnit 3.1.1 og 4.1.5.

Malhi *et al.* (1996) forårsudbragte i to vårbygforsøg 50 kg N/ha i urea på følgende fire måder: Bredspredt, bredspredt og vandet med 10 mm umiddelbart efter udbringning, placering i 4×4 cm horisontal×vertikal afstand fra sårækken, samt placering 4 cm vertikalt under sårækken. Da urea i det pløjefri dyrkningssystem henlå på jordoverfladen, skete der her et væsentlig tab ved ammoniakfordampning (Malhi *et al.*, 1996), men blot 10 mm nedbør umiddelbart efter udbringning reducerede dette tab, hvilket medførte en forøget genfindelse i afgrøden (Tabel 18). Alene indarbejdning til 10 cm dybde i det konventionelle dyrkningsystem hindrede ammoniakfordampning, og vandingen havde derfor ingen effekt her. Selv om genfindelsen er lavere, så er effekten af vanding og placering i overensstemmelse med Hartman & Nyborg (1989) (Tabel 6).

Tabel 18. Udbringningsmetodens og dyrkningssystemets indflydelse på genfindelsen [%] af ^{15}N i vårbyg ved tilførsel af 50 kg N/ha i urea. Gennemsnit af to forsøgslokaliteter. (Malhi *et al.*, 1996)

Dyrknings-system	Udbringningsmetode/Horisontal afstand			
	Bredspredt	Bredspredt + vanding	Placering 0 cm	Placering 4 cm
Pløjefri	30	41	51	49
Konventionelt	48	45	55	56

Effekten af den horisontale afstand til sårækken er beskeden (Tabel 16, Tabel 17 og Tabel 18). Der er i alle tilfælde opnået en højere genfindelse ved placering i forhold til bredspredning, men genfindelsen er tilsyneladende ikke så afhængig af placeringsmetoden, blot afstanden er 'sikker'. Imidlertid belyser de refererede undersøgelser kun et begrænset antal kombinationer af horisontal og vertikal afstand fra kornrækken.

4.2.4 Effekt på rodvækst

Der er betydelige vanskeligheder, både metodemæssige og arbejdsmæssige, forbundet med bestemmelse af den underjordiske tørstofproduktion og i særdeleshed den rumlige fordeling. Flere forfattere illustrerer derfor røddernes fordeling kvalitativt ved fotos (de Wit, 1953; Cooke, 1954; Olson & Dreier, 1956b; Passioura & Wetselaar, 1972; Drew, 1975).

I markforsøg er røddernes kvantitative fordeling ofte kun bestemt på et eller to tidspunkter i vækstsæsonen. Rodlængden i de øverste 10 cm jordlag ved byggens skridning var næsten fordoblet i gødningsstrengen, der bestod af 100 kg N/ha ammoniumnitrat placeret i 7 cm dybde, både i forhold til rodlængden mellem rækker uden gødningsplacering og i forhold til forsøgsled, hvor gødningen var bredspredt (Sharratt & Cochran, 1993). Ved en lignende placeringsgeometri fandtes, i et enkelt forsøg med vårbyg på grovsandet jord med placering af forskellige kombinationer af kvælstof, fosfor og kalium, få uger før skridning betydeligt mere rodtørstof i gødningszonen end uden for (Tabel 19) (B. Jensen, pers. komm.). Prøverne blev udtaget i en vækstsæson med stærk signifikant effekt af gødningsplacering, f.eks. var kerneudbyttet forøget med 12 hkg/ha ved placering. Den bredspredte gødning var kun overfladisk indarbejdet. Desuden fandtes den største mængde rodtørstof i gødningsstrenge, hvor der var foretaget samplacering af næringsstofferne (Tabel 19).

Tabel 19. Effekt af gødningsplacering på rodtørstof i og uden for gødningszonen i maj og juni 1993 (B. Jensen, pers. komm.). Der blev udtaget samme jordvolumen i alle forsøgsled og tabellen viser gram rodtørstof i det udtagne volumen.

Gødningstype	Udbringnings-metode	Maj		Juni	
		I gødnings-zone	Uden for gødningszone	I gødnings-zone	Uden for gødningszone
NPK	Placeret	0.30	0.31	0.61	0.37
NP	Placeret	0.28	0.28	0.55	0.36
N	Placeret	0.29	0.29	0.49	0.42
P	Placeret	0.29	0.30	0.46	0.49
NPK	Bredspredt		0.27		0.38
NPK som enkelt-gødninger	Bredspredt		0.29		0.40

I forsøg med placering af 90 kg P/ha blev rodlængden målt ved modenhed, og der blev fundet dobbelt så stor en rodlængde i de zoner hvor gødningen var placeret end uden for disse zoner (Alston, 1980). Effekten af placeringsgeometrien i dette forsøg er yderligere omtalt i Tabel 20.

Der kan således typisk forventes en betydelig forøgelse af rodlængden/rodmassen i gødningszonen (proliferation) (Robinson, 1994). Der bortses her fra anvendelse af flydende ammoniak og urea, som kan give rodskade (jvnf. afsnit 4.1.3). Markforsøg som ovenstående giver imidlertid ikke megen information om mekanismerne bag røddernes reaktion, men lignende observationer har givet inspiration til laboratorieforsøg. Disse udføres sædvanligvis under specielle betingelser (vandkultur, sandkultur, korttids forsøg), hvilket kan begrænse muligheden for at relatere resultaterne til markforhold. Derimod kan resultaterne bidrage til en forståelse af den endnu ikke fuldt klarlagte mekanisme bag røddernes reaktion på placering af gødning. For en litteraturoversigt over laboratorieforsøg henvises til Robinson (1994), og her skal kun gives en kort sammenfatning af hvorledes gødningsplacering kan påvirke rødderne.

Allerede de Wit (1953) og Prummel (1957) diskuterede, hvorledes rødderne fysiologisk og morfologisk reagerer på den uensartede fordeling, der følger af gødningsplacering. Den fysiologiske reaktion svarer til øget optagelse pr. rodlængdeenhed (aktivitet), mens den morfologiske reaktion svarer til øget forgrening (vækst). Gødningsplacering øger i første omgang optagelsesraten i eller omkring gødningszonen efterfulgt af øget forgrening (van Vuuren *et al.*, 1996). Den forøgede rodtæthed i gødningszonen sikrer, at denne udtømmes, idet der er grænser for hvor stor et jordvolumen den enkelte rod kan udtømme, selv ved en forøget optagelsesrate (van Vuuren *et al.*, 1996). Både den fysiologiske og i særdeleshed den morfologiske reaktion øger næringsstofoptagelsen fra gødningszonen (van Vuuren *et al.*, 1996), hvilket giver anledning til øget vækst af de overjordiske plantedele.

Det er usikkert hvorledes rodvæksten uden for gødningszonen påvirkes (Robinsson, 1994), men efter udtømning af gødningszonen må yderligere forgrening af rødderne i denne aftage og siden hen ophøre (Robinson, 1996). Det antages, at den forøgede vækst i de overjordiske plantedele også afspejler sig i rodvæksten. Når denne er ophørt i gødningszonen, må der blive flere assimilater til rådighed for rodvækst uden for gødningszonen, hvilket vil øge muligheden for udnyttelse af jordens øvrige resourcer.

4.2.5 Vækst i de tidlige vækstfaser

Indflydelse på afgrødens udvikling og vækst i strækningsperioden baserer sig dels på spredte observationer, og dels på nogle enkelte referencer, idet der kun er gennemført få systematiske undersøgelser. Der er således ikke grundlag for en systematisk litteraturgennemgang, men i stedet fremdrages ekempler med indikative resultater.

I afsnit 4.1.1 er nævnt enkelte dyrkningsforsøg med samplacering, hvor gødningstypen og mængden havde betydning for reduktionen i afgrødens vækst i de tidlige vækstfaser (Widdowson *et al.*, 1959; Widdowson & Penny, 1960).

Fogh (1979) observerede forskelle i planternes vækst som følge af placeringen, og denne forskel vedvarede i hele vækstperioden, jvnf. Tabel 15. I forsøg beskrevet af Rasmussen *et al.* (1996) observeredes ligeledes kraftigere vækst ved gødningsplacering i forhold til bredspredning.

I forsøg med placering i op til 46 cm afstand, dels mellem gødningsstrenge og dels mellem punktplaceringer, observerede Malhi & Nyborg (1990) tydelige mangelsymptomer hos planter, der voksede i stor afstand fra den placerede gødning, mens planter, der voksede tæt på eller lige over gødningen, var kraftige, mørkegrønne og høje. Lignende observationer blev foretaget af Malhi & Nyborg (1985) i dyrkningsforsøg.

Olsen *et al.* (1995) fandt inden for et vist interval omkring den optimale mængde kvælstof, at tilførselstidpunktet havde større betydning for afgrødens vækst i busknings- og strækningsfasen end den tilførte mængde. Såfremt der er gode efterfølgende betingelser for transport af kvælstof fra gødning udbragt på jordoverfladen ned i jorden, da vil tildeling af kvælstofgødning umiddelbart medføre en øget vækstrate. Ved placering af gødningen vil en eventuel forsinkelse i gødningsvirkningen minimeres, og der må derfor forventes en forøget tørstofproduktion og næringsstofoptagelse ved gødningsplacering.

Generelt øger kvælstoftilførsel fotosyntesen, hvorved der bliver flere assimilater til rådighed for både vækst (vævstilvækst) og udvikling (vævsdannelse). Effekten afhænger af kvælstoffets tilgængelighed i forhold til afgrødens udviklingsfase. Ved kvælstoftildeling opnås almindeligvis en forøgelse i antal aks pr. m^2 (Thorne, 1962; Bauer, 1980; Kratzsch, 1982; Walther, 1983; Kyllingsbæk, 1984), men også en mindre forøgelse i antal kerner pr. aks er observeret (Bauer, 1980; Walther, 1983). Den sidstnævte effekt kan være vanskelig at konstatere, idet en forøgelse i aksantallet også vil give flere mindre aks, hvorved aksstørrelsen (kerne pr. aks) ikke er uafhængig af aksantallet.

Kaila & Elonen (1970) fandt ved tre prøvetagninger i vårhvedens strækning- og skridningsfase en øget kvælstofoptagelse ved gødningsplacering, men pga. variation i tørstofudbyttet i de høstede prøveflader, kunne der kun konstateres en tendens. Derimod var der ved gødningsplacering en sikker forøgelse af kvælstofkoncentrationen i de vegetative organer indtil skridning.

Under 'normale' nedbørsforhold vil den endelige genfindelse af tilført kvælstof (=genfindelse ved modenhed) være opnået allerede ved skridning (Tabel 6). Dette betyder, at gødningsplacering har stor effekt i kornets vegetative fase.

Kun en enkelt reference omtaler afgrødens udvikling i forhold til gødningsplacering. I halvdelen af de i Tabel 7 udførte forsøg blev skudantallet optalt i slutningen af maj, og det fandtes, at bredspredning havde forøget skudantallet med 25-30% i forhold til ugødet, mens samsåning gav 55-60% flere skud (Lewis & Strickland, 1954).

Der er kun fundet to referencer af mere systematisk karakter. Den ene omtaler et væksthusforsøg med ^{32}P (Lawton & Davis, 1960) og den anden vekselvirkningen mellem kvælstof, fosfor og gødningstype (MacLeod *et al.*, 1975).

I et væksthusforsøg med hvede undersøgte Lawton & Davis (1960) følgende kombinationer af placeringsgeometri: 0×0 (samsåning), 0×4, 4×4 og 9×4 cm horzontal×vertikal afstand fra sårækken, samt et referenceled med bredspredning på jordoverfladen. Jordtypen var en svær lerjord, og forsøget blev udført under optimale vandingsforhold, hvilket betyder, at de opnåede effekter ikke er blevet forstærket af suboptimal vandstatus. Der blev anvendt både en 5-20-0 og en 5-20-20 NPK-gødning.

Ved samsåning med NPK 5-20-0 var fremspiringen 100% efter 8 dage, mens NPK 5-20-20 både forsinkede og reducerede fremspiringen, idet denne kun var 62% efter 14 dage. Ved enhver anden placering var fremspiringen 100% efter kun 6 dage (Lawton & Davis, 1960).

I løbet af de første syv uger efter såning blev der foretaget seks prøvetagninger med henblik på bestemmelse af tørstofproduktionen og optagelse af ^{32}P. Mht. de tre placeringer 4 cm dybere end sårækken fandtes ingen sikre forskelle, men der var en tendens til en lavere tørstofproduktion ved gødningsplacering i en horisontal afstand på 9 cm (Lawton & Davis, 1960). For begge gødningstyper var tørstofproduktionen ved samsåning underlegen i forhold til placering.

Der blev opnået den største genfindelse af ^{32}P ved placering tæt på rødderne, dvs. ved placeringen 0×4 cm, mens der ved placering 9×4 cm gik tre uger fra såning før der blev optaget væsentlige mængder af den placerede gødning (Lawton & Davis, 1960). Denne forsinkelse i fosforoptagelsen blev ikke indhentet senere i forsøgsperioden. Samstemmende hermed fandt Haahr *et al.* (1965), at kvantitativ betydende horisontal udbredelse af bygrødder maksimalt udstakte sig til naborækken. Disse undersøgelser blev gennemført i markforsøg med en rækkeafstand på 12 cm og under anvendelse af ^{32}P.

MacLeod *et al.* (1975) fandt i vårbyg dyrket på en podzoljord, at både samsåning og 5×5 cm placering af triplesuperfosfat sammen med ammoniumnitrat i de tidlige vækstfaser gav en betydelig større tørstofproduktion end bredspredning. Denne forskel varede ved gennem hele vækstsæsonen.

Ved tilførsel af diammoniumfosfat sammen med urea gav en placeringsgeometri på 5×5 cm fortsat den største tørstofproduktion (MacLeod *et al.*, 1975), mens samsåning medførte skade, og denne udbringningsmetode var desuden ringere end bredspredning. Efter 7-8 uger fandtes dog ingen forskel på udbringningsmetoderne. Imidlertid var tørstofproduktionen i alle urea/diammoniumfosfat kombinationerne allerede i de 3-4 første uger efter såning lavere end i ammoniumnitrat/triplefosfat kombinationerne.

Eksemplerne, der er fremdraget her, tyder alle på en betydelig effekt på plantevæksten og næringsstofoptagelsen i 2-6 uger efter gødningstilførsel samt, at det forspring afgrøden opnår ved gødningsplacering ikke kan indhentes senere i den vegetative fase.

4.2.6 Fosfor

Ved samsåning af vårbyg med 6 eller 11 kg P/ha fandt Mattingly & Widdowson (1958) både i de tidlige vækststadier og ved høst en højere genfindelse end ved bredspredning af gødningen efter såning. Der var en betydelig årsvariation, men denne variation var mindre ved samsåning (10-15% genfindelse) i forhold til bredspredning (5-12% genfindelse).

Placeringsgeometrien for fosfor har ligeledes betydning for tørstofproduktionen, selv på en jord med et indhold på 25 ppm $NaHCO_3$-ekstraherbart fosfor i de øverste 10 cm (Alston, 1980). Der blev tilført 50 kg N/ha, som ikke blev placeret sammen med fosforgødningen, men bredspredt og indarbejdet før såning. Mellem gødningsstrengene fandtes tørstofproduktionen at være på samme niveau som i det ugødede forsøgsled, mens planterne lige over gødningsstrengen (50 cm afstand) gav samme tørstofproduktion som den mere jævne placering med 12 cm dybde og 18 cm afstand mellem gødningstrengene (Tabel 20). Der var en tendens til, at forskellen mellem og over gødningsstrengene aftog med placeringsdybden (Tabel 20). Ved op til 50 cm afstand mellem gødningsstrengene var tørstofproduktionen pr. arealenhed upåvirket af den ujævne produktion (Tabel 20) (Alston, 1980).

Tabel 20. Effekt af placeringsdybde og afstand mellem gødningsstrengene på tørstofudbytte [hkg/ha] af hvede i strækningsfasen (LSD=4 hkg/ha]. Gennemsnit af 30, 60 og 90 kg P/ha (triplesuperfosfat) (Alston, 1980)

Afstand mellem gødningsstrenge [cm]	Prøvetagningsfelt	Placeringsdybde [cm]				
		0	12	18	24	30
Ugødet	Parcel	43				
18	Parcel		50			
50	Parcel		46	47	47	47
50	Over gødningsstenge		50	49	52	48
50	Mellem gødningsstrenge		42	44	43	46

Forskellene i Tabel 20 kunne genfindes i halmudbyttet ved modenhed, mens kerneudbyttet var påvirket efter samme mønster men i mindre og insignifikant grad. Den manglende effekt på kerneudbyttet er i overensstemmelse med de præsenterede resultater i afsnit 3.1.2, hvor der kun kan forventes effekt på jorde med lav fosforstatus. Placeringen af fosfor havde ingen indflydelse på kvælstofindholdet i kernen ved modenhed (Alston, 1980).

Genfindelse af fosfor er betydelig lavere end for kvælstof, og samtidig kan der ikke forventes effekt på kerneudbyttet på velgødede jorde. Derimod kan der forventes en effekt på kornafgrøders vegetative vækst, jvnf. omtalen i afsnit 4.2.5 af forsøg udført af Lawton & Davis (1960) og MacLeod *et al.* (1975).

4.3 Gødningsmængde

Der er kun gennemført et begrænset antal kornforsøg med stigende gødningsniveau, hvor gødningen samtidig er placeret. Derfor inddrages tillige enkelte forsøg med kartofler, idet der i denne afgrøde er udført flere forsøg med placering af stigende mængde kvælstofgødning.

I gennemsnit af 107 svenske forsøg (Mattsson, 1974) fandtes en svag tendens til større udbytteforøgelse ved placering af gødningsmængder omkring 60 kg N/ha, mens placeringseffekten var ubetydelig ved højre tilførselsrater. Mht. andre agronomiske parametre var tendensen, at stråstyrken blev reduceret mest ved placering af op til 180 kg N/ha, og samtidig var der en tendens til, at kvælstofindholdet i kernene blev øget mest ved denne kombination.

Virkningen af gødningsplacering er mest udtalt ved anvendelse af moderate gødningsmængder omkring 50-100 kg N/ha (Esala & Larpes, 1986). Dette støttes af Randall & Hoeft (1988), som anfører den almindelige opfattelse, at afgrødens udnyttelse af de placerede næringsstoffer aftager med stigende tilførselsrater. Ved reduceret gødningstilførsel er afgrøden mere følsom over for brister i næringsstofforsyningen og samtidig er en højere udnyttelse af de tilførte næringsstoffer nødvendig.

I kartofler undersøgte Widdowson *et al.* (1967) effekten af udbringningsmetode og gødskningsniveau for NPK-gødning (13-6-17), der blev tilført i tre mængder (560; 1120 eller 1680 kg/ha), og udbragt på tre forskellige måder: bredspredt og indarbejdet, bredspredt efter plantning samt placering 7-8 cm horisontalt fra planterække (Tabel 21). Resultaterne tyder på vekselvirkning mellem gødningsniveau og udbringningsmetode således, at den største placeringseffekt opnås ved lavt gødningsniveau. Udbyttereduktionen ved det høje gødningsniveau kan muligvis skyldes saltskade på rødderne.

Tabel 21. Udbringningsmetodens og gødningsmængdens indflydelse på knoldudbytte i kartofler [hkg/ha]. (Widdowson *et al.*, 1967)

Udbringningsmetode	Tilførsel [kg NPK 13-6-17 /ha]			
	0	560	1120	1680
Ugødet	162			
Bredspredt og indarbejdet		248	295	329
Bredspredt efter plantning		251	291	317
Placeret 7-8 cm horisontalt fra rækken		274	298	281

Tilsvarende fandt Højmark (1973, 1976) den største effekt af gødningsplacering ved tilførsel af lave til moderate mængder NPK-gødning, svarende til 50-100 kg N/ha, mens placering af 150 kg N/ha ikke påvirkede knoldudbyttet. Ved anvendelse af 120 kg N/ha kan der forventes en forøgelse i det totale knoldudbytte på 25 hkg knolde/ha ved placering af gødningen (Højmark, 1972; Petersen & Meincke, 1992). Placeringseffekten aftog ved et lavere gødningsniveau i tidlige kartofler sammenlignet med sildige kartofler, der har en længere vækstsæson. Gødningsplaceringen påvirkede iøvrigt ikke kvalitetsparametrene mht. kogefasthed og egnethed til chipsfremstilling (Højmark, 1972).

Der kan på baggrund af ovenstående konstateres en vekselvirkning mellem udbringningsmetode og gødningsmængde således, at gødningsplacering er mest fordelagtig ved anvendelse af lave gødningsmængder.

Det er i øvrigt vanskeligt at belyse effekten af den tilførte mængde for samtidig påvirkes enten koncentrationen i gødningszonen eller gødningszonens udbredelse. Duncan & Ohlrogge (1958) diskuterer disse aspekter, og finder at der både må være en øvre grænse for koncentrationen i gødningszonen og nedre grænse for gødningszonens udbredelse. Placeres gødningen i en meget lille zone er der ikke fysisk plads til tilstrækkelig kontakt mellem næringsstof og rødder, og samtidig kan en høj koncentration skade rødderne.

4.4 Udbringningstidspunkt

Udbringningstidspunktet omfatter dels problemstillingen vedrørende efterårs kontra forårsudbringning (afsnit 4.4.1), og dels udbringningstidspunktet i perioden fra vækstsæsonens begyndelse til afsluttende strækning (afsnit 4.4.2).

4.4.1 Efterår contra forår

Ved efterårsudbringning af 56 kg N/ha (bredspredning, bredspredning efterfulgt af indarbejdning eller placering i 5 cm dybde og 22,5 cm mellemrum) i urea eller ammoniumnitrat blev der i gennemsnit af 4 nordamerikanske forsøgslokaliteter opnået en genfindelse i afgrøden på 18-32% (Tabel 22) (Malhi & Nyborg, 1992). Ved forårsudbringning blev genfindelsen forøget betydeligt og mest for ammoniumnitrat (Tabel 22). Gødskning og såning blev udført som to selvstændige operationer, og selvom gødningen ikke blev placeret præcist i forhold til sårække, så gav placering en signifikant forøgelse i genfindelsen i forhold til bredspredt gødning, både ved udbringning om efteråret og om foråret. Der var dog en vekselvirkning med jordtypen, men i ingen tilfælde gav bredspredning en højere genfindelse end placering.

På baggrund af resultaterne i Tabel 22 må der ved forårsudbringning forventes en lavere genfindelse af urea i forhold til ammoniumnitrat. Effekten af gødningstype og udbringningsmetode kan iøvrigt vekselvirke med andre faktorer, f.eks. kan placeringseffekten af urea være større under forhold med risiko for ammoiakfordampning, jvnf. afsnit 4.1.5 (Tabel 10) og 4.2.3 (Tabel 16 og Tabel 17), og samtidig afhænger forskellen mellem indarbejdet og placeret gødning bl.a. af jordens næringsstofstatus, jvnf. afsnit 3.1.1 (Tabel 1, Tabel 2 og Tabel 3).

Tabel 22. Indflydelse af efterårs- og forårsudbringning og to gødningstyper kombineret med tre udbringningsmetoder på genfindelsen [%] af ^{15}N i vårbyg. (Malhi & Nyborg, 1992)

Udbringningsmetoder	Udbringningstidspunkt og gødningstype			
	Efterår		Forår	
	Ammonium-nitrat	Urea	Ammonium-nitrat	Urea
Bredspredt	18	19	37	32
Bredspredt og indarbejdet til 10 cm	25	27	43	41
Placeret i 5 cm dybde med 22,5 cm afstand	31	33	51	46

Anvendelsen af urea i Danmark har siden 1991 udgjort mindre end 3% af det samlede kvælstofforbrug (Knudsen, 1998), ligesom efterårsudbringning stort set ikke forekommer. Derfor er det i realiteten kun forårsudbringningen af ammoniumnitrat i Tabel 22, der har relevans for

danske forhold. Af Tabel 22 fremgår det, at såfremt der ikke foretages en placering af gødningen i forbindelse med såning af vårsæden, da bør gødningen nedharves før såning.

Den dårlige gødningseffekt af efterårsudbragt urea på de nordamerikanske prærier er forsøgt forbedret ved anvendelse af en langsom virkende gødning som svovlcoated urea (SCU) (Malhi & Nyborg, 1992). Imidlertid kan gødningsvirkningen også være for langsom, så afgrødens behov ikke kan dækkes, og Malhi & Nyborg (1992) opnåede ikke den forventede forøgelse i genfindelse i forhold til ordinær urea.

4.4.2 Gødskningstidspunkt i vækstsæsonen

Under danske forhold foretages i langt overvejende grad forårsudbringning. Der er imidlertid ikke fundet referencer, der belyser betydningen af tidspunktet for placeringen af gødningen. Det skyldes, at i vårsæd foretages gødningsplaceringen samtidig med kornsåning ved anvendelse af en kombinationssåmaskine, hvor placeringsgeometrien er kontrolleret af såskærenes indbyrdes afstand.

I etablerede afgrøder er der mulighed for, at gødningen kan placeres tidsmæssigt uafhængig af såtidspunktet, men der er ikke fundet referencer, der belyser dette. Forsøg med udbringningstidspunktet er overvejende udført med overfladeudbringning (e.g. Olsen & Larsen, 1984), men i sådanne forsøg vil der være en ubekendt tidsfaktor, der løber fra selve gødningsudbringningen og indtil planterne optager de tilførte næringsstoffer, hvilket svarer til den vertikale transport af næringsstofferne ned i jorden. En sådan tidsfaktor vil minimeres ved gødningsplacering.

5. Afledte effekter og perspektiver ved gødningsplacering

Den her gennemgåede litteratur er primært produktionsorienteret, udtrykt som tørstofudbytte ved modenhed eller udnyttelsen af tilført kvælstof, men enkelte referencer peger desuden på en positiv effekt af gødningsplacering i de tidlige vækststadier. Nedenfor diskuteres afledte effekter og perspektiverne ved gødningsplacering, og hvordan disse kan indgå som elementer i en helhedsorienteret planteavl.

5.1 Gødningsudnyttelse

Hovedparten af den pillerede gødning i Danmark udbringes med centrifugalspredere, hvor princippet er, at gødningen doseres på et vandret roterende spredeorgan. Gødningen kastes på denne måde ud i en vifte, hvor doseringen aftager med afstanden fra sprederen. En maksimal kasteafstand på 30 m er ikke ualmindeligt, og denne er ofte dobbelt så stor som den effektive arbejdsbredde (Anonym, 1991). En jævn fordeling opnås ved, at to træk overlapper. Ved udbringning langs skel kan op til 20-30% af den udbragte gødning spredes ud over skel, men ved anvendelse af korrekt indstillet kantspredeudstyr kan dette merforbrug på visse spredere reduceres til 1-2%, mens merforbruget fortsat er 10-20% ved udbringning med andre spredere (Anonym, 1991; K. Person, pers. komm.). Terrænhældninger, der afviger 3-4° fra vandret, kan have indflydelse på spredebilledet og dermed på den andel af gødningen, der spredes ud over skel (Anonym, 1991). Ved placering af gødningen anvendes jordsøgende udstyr, der kun kan operere på marken, hvorved risikoen for ukontrolleret udbringning ud over skel er udelukket. Alene ved ændret udbringningsmetode er der således mulighed for en forøget udnyttelse af det samlede gødningsforbrug.

Ved placering af gødningen bliver gødningsvirkningen uafhængig af nedbørshændelser efter gødningsudbringning, hvorved gødningsvirkningen bliver mere sikker, samtidig med, at virkningen vil være umiddelbar (Tabel 6). Den placerede gødning er ydermere beskyttet mod erosion forårsaget af enten vind eller kraftig nedbør, sammenlignet med gødning udbragt på jordoverfladen (Munkholm & Sibbesen, 1997). Ved anvendelse af gødninger med risiko for tab ved ammoniakfordampning medfører gødningsplacering også en væsentlig reduktion i det potentielle tab.

Ved bredspredning efterfulgt af nedharvning vil gødningen være jævnt fordelt i 8-10 cm af pløjelaget. Dette vil medføre et højt potentiale for immobilisering af kvælstof tilført i mineralsk form (f.eks. Tabel 1, Tabel 2 og Tabel 3). Ved placering af gødningen i koncentrerede strenge parallelt med afgrøderækken undgås en total opblanding i et stort jordvolumen, hvilket vil reducere potentialet for biologisk immobilisering og fysisk/kemisk fiksering og derved give afgrøden mulighed for at optage en større andel af det tilførte næringsstof, hvorved udnyttelsen kan øges (f.eks.Tabel 16, Tabel 17 og Tabel 18).

Ved øget anvendelse af organiske gødninger (husdyrgødning og grøngødning) samt ved halmnedmuldning kan dyrkningsjordens indhold af organisk stof forøges og dermed også immobiliseringspotentialet. Denne ændring i dyrkningspraksis må medføre en forventning om en øget effekt af gødningsplacering.

5.2 Vækst og udvikling i kornets strækningsfase

Ved gødningsplacering opnås en øget gødningsudnyttelse, men samtidig er det konstateret, at der kun findes ganske få referencer, der kvantitativt belyser gødningsplaceringens indflydelse på afgrødens vækst og udvikling i busknings- og strækningsfasen.

Udbringningstidspunktet for kvælstofgødning i forhold til afgrødens udvikling har været genstand for megen diskussion, og der er udført mange danske forsøg i de landøkonomiske foreningernes regi. I disse forsøg er udbringningen imidlertid udført som overfladeudbringning med efterfølgende usikkerhed i virkningstidspunktet pga. afhængigheden af nedbør. I forsøg med tidspunkt for gødningstilførsel kan resultaterne således være konfunderet med klimabetingelserne efter udbringning, hvilket kan give betydelige vanskeligheder ved tolkning af resultaterne.

Ved kombination af gødningstype og geometrisk position kan gødningen placeres, så den er umiddelbar tilgængelig for afgrøden og med omgående effekt. Under sådanne betingelser vil tilført kvælstof optages i løbet af 3-4 uger efter tilførsel (Hartman & Nyborg, 1989).

Under danske forhold, og blandt hovednæringsstofferne, anses placering af kvælstof for at kunne give den største effekt på afgrødens vækst og næringsstofoptagelse, men der kan forventes en positiv vekselvirkning ved samplacering med fosfor og kalium i NPK-gødninger. Da der hovedsagelig anvendes kvælstofgødninger med under 30% kvælstof (Knudsen, 1998), vil en lille mængde af andre næringsstoffer uden vanskeligheder kunne placeres sammen med kvælstof. Der findes gødninger på markedet som vil kunne dække afgrødens behov for fosfor og kalium uden at overforsyne, f.eks. ved anvendelse af 4-500 kg NPK 25-3-6.

En forøgelse af afgrødens overjordiske vækst vil formentlig også give en øget rodvækst. En forøget rodtæthed i gødningszonen vil give mulighed for øget udnyttelse af de tilførte næringsstoffer, mens en forøget længdevækst (roddybde) uden for gødningszonen vil give mulighed for en øget udnyttelse af ressourcer (næringsstoffer og vand) uden for gødningszonen. Gødningsplaceringens effekt på rodvæksten er imidlertid ikke fuldt afklaret.

5.3 Konkurrenceevne og mekanisk ukrudtsregulering

I langt de fleste forsøg er der ikke redegjort for effekten af en eventuel ukrudtspopulation, formodentlig fordi den har været uden betydning, enten ved en naturlig lav population eller kontrolleret ved anvendelse af herbicider. Kun nogle enkelte referencer behandler gødningsplaceringens indflydelse på forholdet mellem afgrøde og ukrudt. Det drejer sig primært om nordamerikanske undersøgelser med pløjefri dyrkning, hvilket gør det vanskeligt at overføre resultaterne til danske forhold. Det har imidlertid længe været kendt, at gødningsplacering kunne havde en positiv effekt på forholdet mellem afgrøde og ukrudt, f.eks. observerede allerede Lewis & Strickland (1954) i forsøg med havre og byg mindre vækst af ukrudt i de samsåede forsøgsled.

Reinertsen *et al.* (1984) undersøgte muligheden for at øge vårhvedes konkurrenceevne over for flyvehavre ved placering af 84 kg N/ha i ammoniumnitrat 5 cm under udsæden samtidig med såning i forhold til bredspredning forud for såning. Til alle forsøgsled var der placeret 8

kg P/ha. Samtidig undersøgtes betydningen af rækkeafstanden (20, 30 eller 40 cm) i kombination med anvendelsen af herbicid (ingen, jordmiddel eller bladmiddel). Der fandtes ingen vekselvirkning mellem de tre hovedvirkninger, hvoraf effekten af udbringningsmetode og rækkeafstand er vist i Tabel 23. Resultaterne er således gennemsnit af alle øvrige behandlinger. Forsøgene er udført i to vækstsæsoner med kraftig bestand af flyvehavre. Tørstofudbyttet og kvælstofoptagelsen blev bestemt to uger efter blomstring for at modvirke tab i form af blade og frøkastning, især fra flyvehavren (Tabel 23).

Tabel 23. Effekt af placering og rækkeafstand på tørstofproduktion og kvælstofoptagelsen i vårhvede inficeret med flyvehavre. Reinertsen *et al.* (1984)

Udbringnings-metode eller række-afstand [cm]	Ukrudtstælling [planter/m^2]		2 uger efter blomstring				Kerneud-bytte ved moden-hed [hkg/ha]
			Tørstofudbytte [hkg/ha]		Kvælstofoptagelse [kg/ha]		
	1-2 uger efter såning	Omkring skrid-ning	Hvede	Flyve-havre	Hvede	Flyve-havre	
Bredspredt	92	120	32	41	49	49	12
Placeret	67	51	40	38	64	44	17
LSD_{95}	12	19	6.4	ns	12	ns	1.9
20	68	86	48	36	70	40	17
30	74	74	33	42	52	51	14
40	95	100	28	40	48	48	12
LSD_{95}	15	23	7.8	ns	13	ns	2.3

Gødningsplaceringen reducerede antallet af ukrudtsplanter, og øgede afgrødens tørstofudbytte og kvælstofoptagelse (Tabel 23). Effekten på afgrøden er i overensstemmelse med tidligere præsenterede resultater. Forøgelse af rækkeafstanden gav flere ukrudtsplanter og reducerede afgrødens tørstofudbytte og kvælstofoptagelse (Tabel 23). Derimod var ukrudtets tørstofproduktion og kvælstofoptagelse ikke påvirket signifikant af hverken udbringningsmetode eller rækkeafstand (Tabel 23). Disse resultater viser, at den ved gødningsplacering opnåede forøgelse i afgrødens konkurrenceevne kan mistes ved en forøgelse af rækkeafstanden.

I et tre-årigt dyrkningsforsøg belyste Cochran *et al.* (1990) effekten af efterårsplaceret gødning på udbytte og kvælstofoptagelse i vinterhvede og udsået græsukrudt (Tag-hejre *Bromus tectorum* L. og *Aegilops cylindrica* Host.). Forsøgene blev udført på en relativ næringsrig jord, som normalt mineraliserer 65 kg N/ha, og der blev derudover tilført 65, 130 og 190 kg N/ha i de tre dyrkningssystemer: pløjning, pløjefri samt let rotorharvning. I forsøgsled uden ukrudt og ved tilførsel af 130 kg N/ha blev der ved gødningsplacering opnået en signifikant forøgelse af afgrødens tørstofprodutionen og kvælstofoptagelsen i alle tre dyrkningssystemer. I forsøgsled med ukrudt var effekten kun svagt signifikante, men der fandtes en tendens til, at gødningsplacering fremmer afgrøden på bekostning af græsukrudtet. Cochran *et al.* (1990) mener, at den manglende effekt af gødningsplacering skyldtes den høje tilgængelighed af kvælstof, og forventer, at gødningsplacering bedre vil kunne reducere ukrudtet på jorde med lavere kvælstofforsyning. Men også det høje ukrudtstryk kan have reduceret effekten af gødningsplacering (Cochran *et al.*, 1990).

I to et-årige forsøg under dels pløjefri og dels konventionel dyrkning fandt Rasmussen (1995) tilsvarende en forøget produktion i vinterhvede i forhold til græsukrudt (Tag-hejre *Bromus*

tectorum) ved placering af gødningen 5 cm under udsæden. I de nævnte forsøg (Cochran *et al.*, 1990; Rasmussen, 1995) er gødningen placeret i forbindelse med efterårssåning af hveden. Desuden er ukrudtet en kraftig konkurrende art. På trods af disse forhold indikerer resultaterne, at placering af gødning kan være et led i at forbedre afgrødens konkurrenceevne og produktivitet i forhold til ukrudt.

Når placering af gødning forøger afgrødens vækst er det, på trods af resultaterne i Tabel 23, ikke urimeligt modsætningsvis at antage, at ukrudtets vækst reduceres. Et forøget forhold mellem afgrødens og ukrudtets vækst i strækningsfasen kan have to positive effekter: Både afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt, og muligheden for succesfuld mekanisk ukrudtsregulering vil begge forøges. Netop den relative forskel mellem afgrøde og ukrudt er en nøgleparameter for mekanisk ukrudtsregulering ved harvning (Rasmussen, 1992). Dette giver mulighed for at reducere anvendelsen af herbicider, og dette perspektiv støttes af Rasmussen *et al.* (1996), der i nye danske forsøg fandt, at gødningsplaceringen i en bestand med overvejende to-kimbladet ukrudt reducerede ukrudtsbiomassen med 55% og ukrudtstætheden med 10%. Resultaterne er gennemsnit af seks forsøg i vårbyg sået med kombinationssåmaskine og dyrket med konventionel jordbearbejdning. Det skal dog bemærkes, at der udelukkende er gennemført mekanisk ukrudtsregulering, hvorved placeringseffekten er konfunderet hermed.

De danske resultater for reduktion i biomassen og tætheden (Rasmussen *et al.*, 1996) er ikke i overensstemmelse med Reinertsen *et al.* (1984) (Tabel 23). Dette kan både skyldes forskelle i ukrudtspopulationen, anvendte bekæmpelsesmiddel eller opgørelsesmetoden. Begge undersøgelser peger dog på muligheden for en reduktion i ukrudtsmængden (biomasse og tæthed) ved gødningsplacering, hvilket støttes af endnu upublicerede resultater fra konkurrenceforsøg i vårsæd under økologiske dyrkningbetingelser (K. Rasmussen, pers. komm.).

6. Sammenfattende diskusion og konklusion

Flere af de præsenterede effekter er ikke ukendte, idet allerede Cooke (1949; 1954) nævner følgende fordele ved gødningsplacering i forbindelse med etablering af vårafgrøder:

- I perioder uden nedbør vil jordens overflade (pløjelaget) tørre ud, og overfladeudbragt eller let nedharvet gødning vil ikke være tilgængelig for afgrøden, da næringsstofferne kun kan optages fra fugtig jord.
- Ved placering reduceres opblanding af gødningen i jorden, hvilket reducerer kontaktfladen mellem næringsstoffer og jord (organisk stof og ler), hvor næringsstofferne kan bindes (fysisk, kemisk eller biologisk).
- Effekten af gødningsplacering afhænger af afgrødens rodsystem og dets udbredelse. I afgrøder med overfladisk og begrænset rodsystem eller i afgrøder med et højt næringsstofbehov i de tidlige vækstfaser vil placering af gødning have den største effekt.
- Gødningsplacering vil være en fordel i specielt rækkeafgrøder.
- En tilstrækkelig mængde gødning tæt på plantens rødder vil fremme afgrødens vækst i de tidlige vækststadier. En sådan tidlig vækst er vigtig for, at afgrøden kan overvinde angreb af sygdomme og skadedyr, der hæmmer rodudviklingen, som f.eks. nematoder og fodsyge. Desuden kan tidlig vækst medvirke til at øge afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt, samt øge afgrødens evne til at modstå tidlig tørke.
- Placering af gødning fremmer ofte afgrødens udvikling og afmodning, hvilket kan give tidligere høst, som er en fordel under dårlige høstbetingelser.

Disse effekter af gødningsplacering kan fortsat forventes, men de har været overset gennem 1960-80'erne, hvor det har været muligt uden væsentlige restriktioner at anvende en lang række hjælpestoffer. Næringsstofforsyningen er blevet sikret ved tildeling af tilstrækkelige mængder næringsstof, og plantebeskyttelse er blevet udført kemisk. Under forhold, hvor ressourcerne er begrænsede og/eller underlagt restriktioner, må det derimod sikres, at de til rådighed stående ressourcer udnyttes samt, at dette sker under hensyntagen til helheden.

I de forløbne knap 50 år er der indvundet betydelig viden om næringsstoffer og processer i jord-plantesystemet. Det har således været muligt at opstille en model for planters næringstofoptagelse (afsnit 6.1), og i afsnit 6.2 sættes de i litteraturen fundne resultater i relation til denne model. I afsnit 6.3 fremføres behovet for modeller med en høj opløselighed, mens der i afsnit 6.4 peges på parametre, der bør anvendes til evaluering af placeringseffekten. I afsnit 6.5 foretages en afsluttende konklusion og samtidig rejses nye spørgsmål med henblik på anvendelse af fordelene ved gødningsplacering.

6.1 Model for planters næringsstofoptagelse

Afgrødens næringsstofoptagelse begrænses potentielt af den næringsstofmængde jorden kan stille til rådighed og bestemmes aktuelt af afgrødens evne til at optage det tilgængelige stof (Nielsen, 1987; Hansen *et al.*, 1990).

Mængden af et næringsstof som jorden potentielt kan stille til rådighed på et givent tidspunkt udtrykkes ved fluxen (4), hvor første led udtrykker diffusion og andet led massestrømning.

$$\Phi = 2\pi r Db\frac{dc}{dr} + q_w c_0 \quad (4)$$

hvor

Φ er fluxen (strømningshastigheden pr. rodlængdeenhed) mod roden af et givent næringsstof [kg/m/s],

r er afstanden fra rodens center [m]. Fluxen ved rodens overflade kan udtrykkes ved at indsætte rodens radius, r_0,

D er diffusionskoefficienten for det pågældende stof [m^2/s]. Denne parameter afhænger desuden af jordtypen og jordens volumetriske vandindhold, θ,

b er bufferkapaciteten, der er defineret som ændringen i kvantiteten ved ændring i intensiteten for næringsstoffet, $\Delta Q/\Delta I$ [ubenævnt]. Kvantiteten udtrykker næringsstof i mere eller mindre tilgængelige puljer, mens intensiteten er umiddelbart plantetilgængeligt næringsstof svarende til koncentrationen i jordvæsken. En jord med en høj bufferkapacitet vil i højere grad være i stand til at opretholde næringsstofkoncentrationen i jordvæsken,

dc/dr er ændring i næringsstofkoncentrationen i jordvæsken ved ændring i afstanden fra roden, dvs. en koncentrationsgradient [kg/m^3 pr. m],

q_w er fluxen (strømningshastigheden pr. rodlængdeenhed) af vand mod rodoverfladen [m^3 pr. m/s]. Denne størrelse beregnes som $2\pi r w_o$, hvor w_o er vandstrømningen ved rodens overflade [m^3/m pr. m/s], og

c_0 er næringsstofkoncentrationen i jordvæsken ved rodoverfladen [kg/m^3].

D, b og c er stofafhængige parametre, mens r og q_w er variable.

Den aktuelle optagelse af næringsstoffer bestemmes enten af rodens evne til at optage næringsstofferne eller af afgrødens evne til at indlejre næringsstofferne i nyt væv, som er afhængig af vævsmassen og næringsstofkoncentrationen i denne.

Rodlængden er væsentlig for rodens aktuelle evne til næringsstofoptagelse, men også andre parametre og variable har betydning: rodens væksthastighed, rodens radius, den gennemsnitlige maksimale nettooptagelse pr. rodlængdeenhed, Michaelis-Menten faktoren for optagelse af næringsstof, og minimumskoncentrationen, hvor den gennemsnitlige nettooptagelse er nul (Nielsen, 1987).

Det er en almindelig opfattelse, at den aktuelle fosforoptagelse under danske forhold bestemmes af faktorer, der kan lokaliseres til roden, mens evnen til indlejring af kvælstof i nyt plantevæv i størstedelen af vækstsæsonen er bestemmende for den aktuelle optagelse af dette næringsstof (Nielsen, 1987). Dette betyder, at den aktuelle optagelse af kvælstof ofte er lig den potentielle.

Samspillet mellem parametre og variable, der beskriver den potentielle flux og den aktuelle optagelse, indgår som et væsentligt element i formuleringen af afgrødens kvælstofoptagelse i f.eks. DAISY-modellen (Hansen *et al.*, 1990). Modelleringen kompliceres af, at afgrøden har præference for optagelse af ammonium, mens optagelsen af nitrat kan overstige ammoniumoptagelsen pga. massestrømning.

6.2 Litteraturen i relation til modellen

I dette afsnit kædes litteraturgennemgangen i afsnit 3 og 4 sammen med den ovenstående model for næringsstofoptagelse.

6.2.1 Naturlige faktorer

De naturlige betingelser for næringsstofoptagelse kan være ugunstige, dels kan den potentielle flux være begrænset af parametre knyttet til jorden, og dels kan den aktuelle næringsstofoptagelse være bestemt af svag rodvækst. I dyrkningsforsøg er der sjældent redegjort kvantitativt for de naturlige faktorers betydning, men der kan foretages en kvalitativ beskrivelse.

For nitratkvælstof er massestrømning af central betydning for den potentielle flux, og de nødvendige betingelser er til stede i fugtig jord og ved høj transpiration. Dette kan være en af grundene til, at gødningsplacering i forbindelse med avl af vårsæd er langt mere udbredt i det øvrige Skandinavien end i Danmark, idet der ofte forekommer forsommertørke. Ud over at der kun gives ganske få dage til at udføre jordbearbejdning og afgrødeetablering på de ofte svære lerjorde, så vil overfladeudbragt gødning kunne henligge 'strandet' og planteutilgængeligt på den udtørrede jordoverflade. For opnåelse af en tilfredsstillende planteproduktion i den korte vækstsæson kræves derfor en sikker gødningsvirkning, hvilket kan opnås ved placering, jvnf. Tabel 5 og Tabel 6.

Forsommertørke kan også forekomme i Danmark men under normale forhold vil massestrømning af nitratkvælstof være bestemmende for den potentielle flux. Dog er massestrømning knyttet til høj transpiration, mens diffusion omvendt har relativ større betydning ved lav transpiration, som kan optræde ved svagt udviklede planter, f.eks. unge eller svækkede planter.

I modsætning til nitrat afhænger den potentielle flux for ammonium, kalium og fosfor hovedsagelig af diffussion, idet massestrømning ikke er væsentlig for disse næringsstoffer. Begrænses den potentielle flux for et næringsstof således af diffusionsleddet i formel (4) bliver diffusionskoefficienten (D) og bufferkapaciteten (b) afgørende. I den følgende omtale og i afsnit 6.2.2 og 6.2.3 lades massestrømning ude af betragtning, idet det ellers ikke vil have mening at diskutere parametre, der er af betydning for diffusionen.

Den største effekt af gødningsplacering findes generelt på jorde med en grov tekstur. Dette hænger sammen med, at diffusionskoefficienten, D i formel (4), er afhængig af parametre, der er relateret til jordtypen (Hansen *et al.*, 1990). Således er diffusionskoefficienten lavest på eksempelvis jorde med grov tekstur. Ydermere er D afhængig af det volumetriske vandindhold (θ), hvorfor gødningen skal placeres tilstrækkelig dybt således, at vandindholdet ikke er begrænsende for den potentielle flux. I litteraturen findes ingen angivelser, men vandindholdet bør være højere end visnegrænsen svarende til pF <4,2.

Jordens bufferkapacitet, b i formel (4), udtrykker i hvilken grad jorden er i stand til at opretholde koncentrationen af plantetilgængeligt næringsstof. Ved en høj bufferkapacitet kan næringsstof let frigives fra de labile puljer (ΔQ) til den plantetilgængelige pulje (ΔI). Bufferkapaciteten for ammonium, fosfor og kalium afhænger af, i hvilken grad disse næringsstoffer

kan bindes kemisk og fysisk i jorden. Da nitrat ikke bindes hverken kemisk eller fysisk bliver $\Delta Q=\Delta I$ og derfor b=1. Derimod udveksles nitrat ligesom ammonium med jordens organiske kvælstof ved biologisk mineralisering og immobilisering, og herved opstår en indirekte buffervirkning.

Jorde med en langsom frigivelse og et højt bindingspotentiale vil have en lav bufferkapacitet. Dette er f.eks. illustreret i jorde med et højt immobiliseringspotentiale for kvælstof, jvnf. Tabel 1, Tabel 2 og Tabel 3. Ved kemiske analyser for fosfor og kalium kan der findes et udtryk for det potentielle plantetilgængelige næringsstofindhold. Ved disse metoder er det dog vanskeligt at adskille intensiteten (I) fra en ændring i kvantiteten (ΔQ), men et indeks kan indikere en risiko for utilstrækkelig næringsstofforsyning, som f.eks. kan opstå ved lav bufferkapacitet. I sådanne situationer vil det være en fordel at tilføre gødning, og derved øge intensiteten af næringsstof, som ofte vil svare til næringsstofkoncentrationen i jordvæsken.

På jorde med et i forvejen højt indhold af plantetilgængeligt næringsstof vil det ikke have et planteernæringsmæssigt formål at øge intensiteten yderligere. Gødningsplacering vil derfor kun have effekt ved en utilstrækkelig intensitet.

Ved bredspredning og indarbejdning af gødningen i hele jordvolumenet opnås en forøgelse af I, som vil give en proportional forøgelse af Q svarende til bufferkapaciteten. Placeres gødningen i et begrænset jordvolumen opnås en kraftig forøgelse af I, som ikke nødvendigvis vil medføre en proportional forøgelse af Q, idet bindingskapaciteten/immobiliseringsevnen i gødningszonen kan være overskredet. Herved vil en større andel af de tilførte næringsstoffer være tilgængelige for afgrøden.

6.2.2 Gødningsmængde og type

Ved bredspredning og indarbejdning af gødningen i hele jordvolumenet øges jordvæskens gennemsnitlige næringsstofkoncentration i hele jordlaget. Herved øges gradienten dc/dr, hvilket igen vil øge den potentielle flux, jvnf. formel (4). Det vil imidlertid ikke være meningsfyldt, at øge den potentielle flux ud over den potentielt maksimale optagelsesrate bestemt ved parametre for røddernes fysiologiske formåen.

Mht. gødningsplacering haves der kun begrænset viden om betydningen af den tilførte mængde næringsstof. Ofte ses den største effekt af gødningsplacering ved lave til moderate gødningsniveauer. I princippet kan der forventes samme hoved- og vekselvirkninger ved gødningplacering som ved bredspredning af stigende mængde gødning. Effekten vil blot være umiddelbar og mere sikker ved placering. F.eks. opnås en betydelig positiv effekt ved samplacering af fosfor og kvælstof, især ved anvendelse af ammoniumholdige kvælstofgødninger.

Ud over jordtype, vandindhold, bufferkapacitet og tilførselsrate afhænger parametrene, der begrænser den potentielle flux, af næringsstof og dets form. Dette er imidlertid ikke belyst i denne udredning. Derimod kan det konstateres, at den potentielle skadevirkning af kvælstofgødninger baseret på flydende ammoniak og urea er langt større end for ammonium- og nitratholdige gødninger, mens der ikke findes tilsvarende store forskelle mellem fosforgødninger.

6.2.3 Placeringsgeometri

Jo dybere gødningen placeres jo mere energi skal der anvendes i form af trækkraft. Derfor skal gødningen ikke placeres dybere end nødvendigt. Der er i litteraturen ikke fundet referencer, der belyser effekten af placeringsdybden. Fra modellen kan det udledes, at gødningen skal placeres i fugtig jord, men ikke nærmere hvilken fugtighedsgrad, der er påkrævet.

En horisontal afstand på 0 cm kombineret med en placering af gødningen vertikalt under udsæden kunne synes fordelagtig, men pga. gødningsskærets dybere bearbejdning af jorden, opstår der risiko for et dårligt såbed, hvilket vil modvirke den positive effekt af gødningsplacering.

Ved gødningsplacering skal den horisontale afstand være ≥3 cm. I området omkring 5×3 til 7×5 cm (horisontal×vertikal afstand fra sårækken) kan gødningen placeres betingelsesløst og der vil kunne forventes en positiv effekt på kornafgrødens næringsstofoptagelse og vækst. En horisontal afstand på 5-7 cm svarer til den halve rækkeafstand i korn sået på 12 cm.

Placeres gødningen uden for dette område, specielt tættere på afgrøderækken, må der, for at sikre en positiv effekt, opstilles en række betingelser bl.a. mht. gødningstype og mængde, idet gødningstypen vekselvirker med placeringsgeometrien. Fosforgødninger kan således placeres tættere på afgrøden end kvælstof- og kaliumholdige gødninger uden at skade afgrøden.

Både for kvælstof og fosfor er der en øvre grænse for den afstand fra planterækken, hvori gødningen med fordel kan placeres. Dette er ikke undersøgt systematisk, men den gennemgåede litteratur tyder på, at omkring 10 cm er den maksimale horisontale afstand for næringsstoffer, hvor den potentielle flux begrænses af diffusion. Dette er tilfældet med fosfor (jvnf. afsnit 4.2.6) og til dels ammonium (jvnf. afsnit 4.2.2), hvor højt pH i gødningsstrengen hæmmer nitrificeringen. Ved mulighed for massestrømning betyder den horisontale afstand mindre. I undersøgelserne omtalt i afsnit 4.2.3 er der formentlig sket en nitrificering af den udbragte urea, hvorved massestrømning har haft afgørende betydning.

Under forhold, hvor diffusionen er begrænsende for den potentielle flux enten pga. forsommertørke, svag rodudvikling eller af det aktuelle næringsstof, vil det, ved placering af gødning til afgrøder med mere end ca. 20 cm rækkeafstand, således være nødvendigt med et gødningsskær til hver række, hvorimod et gødningsskær midt mellem hveranden række muligvis er tilstrækkeligt ved rækkeafstande mindre end ca. 20 cm.

Betydningen af afstanden fra rodens overflade til gødningszonen kan udtrykkes ved gradienten dc/dr. Ved en given tilførselsrate (koncentration i gødningszonen) reduceres gradienten med stigende afstand (r), hvorved en for stor afstand kan blive begrænsende for den potentielle flux. Med tiden vil roden vokse frem til og eventuelt trænge ind i gødningszonen, og dc/dr vil være høj indtil gødningszonen er udtømt.

Litteraturen om placeringsgeometri koncentrerer sig til gødningsplacering i forbindelse med såning af vårsæd, og der er ikke fundet litteratur vedrørende placeringsgeometriens betydning i etablerede afgrøder.

6.3 Model for næringsstofoptagelse fra placeret gødning

Almindeligvis betragtes næringsstofferne som homogent fordelt i de enkelte jordlag, der i modelsammenhæng ofte opdeles i tykkelser på 5-10 cm. Placering af gødning er en lokal ændring i jordens næringsstofstatus, og antagelsen om en homogen fordeling i det enkelte jordlag er således ikke holdbar.

Betragtes en radsået afgrøde med rækkeafstanden *i* og pløjelagsdybden *j*, kan den potentielle flux af det tilførte næringsstof i hvert punkt (*i,j*) tilhørende punktermængden P={(1,..,*i*;1,.., *j*)} udtrykkes ved Φ_{ij} jvnf. formel (4). Fluxen af det tilførte næringsstof i gødningszonen kan tilsvarende betegnes Φ_z. Der ses her bort fra baggrundsfluxen baseret på jordens naturlige indhold af det pågældende næringsstof.

På baggrund af resultaterne fra de i afsnit 3 og 4 præsenterede undersøgelser med ^{15}N og ^{32}P, tyder meget på, at summen af fluxene i de enkelte punkter (*i,j*) er mindre end fluxen i gødningszonen, specielt når fluxen begrænses af diffusion. Dette kan udtrykkes ved:

$$\sum_{n=1}^{i} \sum_{n=1}^{j} \Phi_{ij} < \Phi_z \qquad (5)$$

hvor indeks
i er horisontal afstand
j er vertikal afstand
z er gødningszonen, svarende til en delmængde af punktmængden P.

Dette kan forklares med suboptimale forhold i nogle af punkterne (*i,j*) mht. mindst en af parametrene D, b og dc/dr. Ud over lav potentiel flux kan den aktuelle optagelse være reduceret pga. en lille rodlængde (L) i punkt (*i,j*).

De eksisterende modeller kan simulere den potentielle flux for kvælstofoptagelse i et éndimensionalt vertikalt system (e.g. Hansen *et al.*, 1990). Ved modellering af gødningsplacering er der imidlertid behov for to-dimensionale modeller, hvor specielt pløjelaget opdeles i *i*×*j* punkter. Derudover skal sådanne modeller være i stand til at simulere vertikal vandtransport i de øverste 5-10 cm, også under forhold svarende til udtørring i foråret. Det er imidlertid vanskeligt både at modellere og fremstille valideringsdata for vandtransport i de øverste 5-10 cm under en udtørringsfase (Plauborg, 1997).

I øvrigt er modellering af processer i pløjelaget vigtig, idet hovedparten af næringsstofferne optages herfra, især i de tidlige vækstfaser. En høj opløsning i *i*×*j* punkter på f.eks. 1×1 cm er nødvendig for simulering af rodvæksten, samt transport- og omsætningsprocesser i og omkring gødningszonen. Grundlaget for opstilling af en sådan model er mangelfuldt og forsøgsarbejde er påkrævet.

Simuleringsmodeller beskæftiger sig iøvrigt udelukkende med kvælstofoptagelse, mens transport og optagelse af fosfor og kalium ikke er behandlet, selvom disse næringsstoffer kan være begrænsende for afgrødens vækst i de tidlige vækstfaser, hvor rodudviklingen er svag.

6.4 Valg af parametre til evaluering af placeringseffekt

Placeringseffekten på afgrødens høstudbytte kan være insignifikant både pga. små udslag og stor måleusikkerhed, men også fordi kerneudbyttet ved modenhed er et integrale over hele vækstsæsonen, og det kan påvirkes af mange andre faktorer. En forventning om opnåelse af det højeste kerneudbytte ved gødningsplacering blev således ikke indfriet i dyrkningsforsøg, hvor tre af de i Tabel 16 og Tabel 17 omtalte udbringningsmetoder blev evalueret (Malhi & Nyborg, 1990). I forhold til bredspredning blev hverken kerneudbyttet, total kvælstofoptagelse eller kvælstofoptagelse i kernen forøget ved gødningsplacering i et pløjefrit dyrkningssystem. I det konventionelle system blev gødningen indarbejdet i jorden, hvilket forøgede alle parametre i forhold til både bredspredning og placering i det pløjefri system.

Effekten af gødningsplacering bør derfor ikke udelukkende evalueres på grundlag af parametre målt ved modenhed. Derimod vil afgrødens respons i busknings- og strækningsfasen udtrykke en mere direkte sammenhæng mellem årsag og virkning.

Baseres beregninger af næringsstofudnyttelsen på simple opgørelser af tilført og bortført næringsstof vil der være betydelig risiko for fejlslutninger, og det vil ikke give en grundlæggende forståelse af årsags-virkningssammenhænge. Tomar & Soper (1987) demonstrerer selv tydeligt, at vurdering af placeringseffekt på baggrund af den totale kvælstofoptagelse kan føre til mistolkninger. Undersøgelser af næringsstofoptagelse hidrørende fra den tilførte gødning kan kun baseres på isotopteknik (Tomar & Soper, 1987), og isotoper har da også været anvendt flittigt, jvnf. afsnit 3 og 4.

Ligesom tørstofudbyttet ved modenhed ikke bør være den eneste parameter til evaluering, så bør total næringsstofoptagelse og genfindelse ved modenhed heller ikke stå alene. Fra skridning til modenhed kan der forekomme betydelige tab af f.eks. kvælstof i form af pollenstøv, bladtab, udvaskning fra afmodnet væv samt tab i forbindelse med høst (Wetselaar & Farquhar, 1980).

6.5 Afsluttende konklusion og nye spørgsmål

Det er vanskeligt at tilføje ny kvalitativ viden til listen over effekter af gødningsplacering, der er opstillet i indledningen til dette afsnit, men med modellen, der er beskrevet i afsnit 6.1, kan effekterne systematisk sættes ind i en forståelsesramme. Samtidig er det vanskeligt at kvantificere effekterne, men sammenfattende kan gødningsplacering under ugunstige forhold og i en sikker, men dog ikke for stor, afstand fra planterækken have en positiv effekt på afgrødens vækst og næringsstofudnyttelse.

Placering af gødningen vil primært øge optagelsesraten og sekundært øge røddernes forgrening i gødningszonen. Disse forhold vil begge øge optagelsen af de tilførte næringsstoffer, og derved give mulighed for øget vækst i kornafgrøders busknings- og strækningsfase. Muligvis kan rodvæksten uden for gødningszonen også øges, hvorved en større andel af jordens øvrige ressourcer i form af andre næringsstoffer og vand kan udnyttes. Gødningsplaceringens effekt på kornafgrøder i busknings- og strækningsfasen er dog ikke tilstrækkeligt undersøgt.

En afledt effekt af forøget vækst i strækningsfasen vil være en forøgelse af afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt samt øget modstandsdygtighed over for mekanisk ukrudtsregulering. Disse afledte effekter vil igen give mulighed for at reducere anvendelsen af herbicider. Ud over den positive indflydelse på afgrødens vækst og næringsstofudnyttelse, så kan gødningsplacering have nogle miljømæssige fordele, idet gødningen kun tilføres inden for markskel, hvor en virkning er ønsket. Desuden reduceres potentialet for næringsstoftab ved erosion og ammoniakfordampning.

Flere faktorer påvirker de parametre og variable, der er afgørende for placeringseffekten, ligesom der kan forekomme vekselvirkninger mellem faktorerne. Derfor kan effekten af en enkelt faktor være insignifikant, men set ud fra et helhedssynspunkt kan flere mindre udslag, der peger i samme retning, give mulighed for en samlet signifikant effekt. Den samlede effekt af gødningsplacering er således en kæde af effekter. Hvert enkelt led i kæden kan være et mål i sig selv, hvorved hvert af de forudgående led bliver et middel til opnåelse af målet. For en rationel anvendelse af et middel kræves imidlertid fuld forståelse for virkemåden.

Betydningen af en faktor kan forklares ved ændringer i en eller flere af de parametre, der beskriver jordens egenskaber og forhold knyttet til gødskningen. Således afhænger placeringseffekten af parametre for jordens næringsstofstatus udtrykt ved diffusionskoefficient og bufferkapacitet, samt planternes vandoptagelse. I forbindelse med gødskningen afhænger placeringseffekten af placeringsgeometrien, udbringningstidspunktet samt gødningstype. Placeringsgeometriens indflydelse på afgrøden er imidlertid ikke tilstækkelig systematisk undersøgt, og slet ikke ved udbringning i etablerede afgrøder.

Udbytteeffekten af gødningsplacering er sædvanligvis insignifikant under gunstige betingelser for næringsstofoptagelse, men i dyrkningssystemer med krav om øget udnyttelse af de tilførte næringsstoffer, ved anvendelse af mekanisk ukrudtsregulering, eller under generelt ugunstige vækstbetingelser, kan gødningsplacering være en potentiel indsatsfaktor for opretholdelse af tørstofproduktionen og dermed udbytteniveauet.

Den gennemgåede litteratur og de dragne konklusioner leder frem til det centrale spørgsmål: Hvorledes kan gødningsplacering anvendes målrettet? Med henblik på en rationel anvendelse af fordelene ved gødningsplacering, og specielt vedrørende udnyttelse af de tilførte næringsstoffer, kan der foretages en opdeling i følgende spørgsmål:

- Hvorledes skal (kvælstof) gødninger placeres i relation til afgrøderækken og jordoverfladen (horisontal og vertikal afstand) både i relation til såning af vårsæd og ved forårsgødskning i etablerede kornafgrøder?
- Hvilket potentiale har gødningsplacering med hensyn til effekt på afgrødens vækst, samt udnyttelse af vand og jordens øvrige næringsstoffer?
- Er det muligt at anvende de billigere og højt koncentrerede gødninger, urea og flydende ammoniak, som alternativ til gødninger baseret på ammonium og nitrat? Eller skal der også ske en placering af andre næringsstoffer?
- Er det muligt at overføre principperne for placering af mineralske gødninger til husdyrgødning? Omkring 55-70% af total kvælstof i gylle er ammonium-kvælstof, men samtidig tilføres et immobiliseringspotentiale i form af det organiske stof. Pga. det lave tørstofindhold (4-8%) tilføres der desuden store mængder vand, der medfører temporære anaerobiske zoner med et denitrifikationspotentiale.

Svarene på spørgsmålene bør ikke udelukkende findes ved udbyttemålinger, idet aktuelle forhold i kernefyldningsfasen bestemmer i hvilken grad det ved blomstring dannede potentiale udfyldes. For opnåelse af en grundlæggende forståelse af placeringens indflydelse på afgrødens vækst og næringsstofudnyttelse bør der foretages målinger i busknings- og strækningsfasen, og dette bør ske ved anvendelse af isotoper og under kontrollerede dyrkningsbetingelser. Under sådanne betingelser gennemføres i projektet 'Rækkedyrkningssystem - Planteetablering og plantepleje' ved Afd. for Plantevækst og Jord en række forsøg, der belyser placeringsgeometriens indflydelse på vækst og kvælstofudnyttelse i kornafgrøder.

7. Referencer

Alston, A.M. 1980 Response of Wheat to Deep Placement of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on a Soil High in Phosphorus in the Surface Layer. Aust. J. Agric. Res. **31**, 13-24.

Anonym 1991 Prøverapport nr. 838, 837 og 839 fra Statens Jordbrugstekniske Forsøg, Bygholm.

Bauer, A. 1980 Response of tall and semidwarf hard red spring wheats to fertilizer nitrogen rates and water supply in North Dakota 1969-1974. North Dakota Agric. Exp. Sta., Bull. 510.

Bole, J.B. 1986 Uptake of ^{15}N-labelled urea and ^{32}P-labelled phosphate from acid-based urea phosphate and granular fertilizers. Can. J. Soil Sci. **66**, 189-193.

Carter, M.R. & Rennie, D.A. 1984 Crop utilization of placed and broadcast ^{15}N-urea fertilizer under zero and conventional tillage. Can. J. Soil Sci. **64**, 563-570.

Christensen, B.T., Petersen, J., Kjellerup, V.K. & Trentemøller, U. 1994 The Askov Long-Term Experiments on Animal Manure and Mineral Fertilizers : 1894-1994. Statens Planteavlsforsøg, SP-rapport nr. 43, 1994.

Cochran, V.L., Morrow, L.A. & Schirman, R.D. 1990 The effect of N placement on grass weeds and winter wheat reponses in three tillage systems. Soil & Tillage Res. **18**, 347-355.

Cooke, G.W. 1949 Fertiliser Placement. Proc. no. 6 Fert. Soc., 16 pp.

Cooke, G.W. 1954 Recent advances in fertilizer placement. II. Fertilizer Placement in England. J. Sci. Food Agric. **5**, 429-440.

Cummins, D.G. & Parks, W.L. 1961 The Germination of Corn and Wheat as Affected by Various Fertilizer Salts at Different Soil Temperatures. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **25**, 47-49.

de Wit, C.T. 1953 A physical theory on placement of fertilizers. (Proefschrift) Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen. Nr. 59.4 Staatsdrukkerij Uitgeverrijbedrijf, The Hauge, 71 pp.

Drew, M.C. 1975 Comparison of the effects of a localized supply of phasphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. New Phytol. **75**, 479-490.

Dubetz, S., Smith, R.L. & Russell, G.C. 1959 The effect of fertilizers and osmotic pressure on germination. Can. J. Soil Sci. **39**, 157-164.

Duncan, W.G. & Ohlrogge, A.J. 1958 Principles of Nutrient Uptake From Fertilizer Bands. II. Root Development in the Band. Agron. J. **50**, 605-608.

Ekeberg, E. 1977 Forsøk med radgjødsling til korn i Hedmark og Oppland 1968-1973. Forskning og Forsøg i Lantbruket **28**, 213-228.

Esala, M. & Larpes, G. 1986. Effect of the placement technique and amount of fertilizer on spring wheat and barley grown on clay soils. I. Effect on grain yield. Annales Agriculturae Fenniae **25**, 159-167.

Fogh, H.T. 1974 Virkning af flydende ammoniak nedfældet med forskellige nedfældertyper til korn, bederoer og kartofler. Tidsskr. Planteavl **78**, 167-182.

Fogh, H.T. 1979 Nedfældning af flydende ammoniak i forskellige afstande fra planterødder. Tidsskr. Planteavl Beretning S1444. 11pp.

Haahr, V. Knudsen, H., Nielsen, G. & Sandfær, J. 1965 Nogle kulturplanters rodudvikling på let sandjord. Orienterende undersøgelser udført under anvendelse af radioaktive isotoper. Tidsskr. Planteavl **69**, 554-567.

Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. & Svendsen, H. 1990 DAISY - Soil Plant Atmospere System Model. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen Nr. A10. 269 pp.

Hartman, M.D. & Nyborg, M. 1989 Effect of early growing season moisture stress on barley utilization of broadcast-incorporated and deep-banded urea. Can. J. Soil Sci. **69**, 381-389.

Heinonen, R. & Huhtapalo, Å. 1978 Fertilizer placement for small grains. Dept. of Soil Sci., Univ. og Agric. Sci., Uppsala, Sweden, 1978 (Seminar paper, Dept. of Agric. Eng., The Univ. of Alberta, Edmonton, Canada). 14 p.

Huhtapalo, Å. 1971 Radmyllning 1970: Försök i nye grödor. Lantmannen **82** (1), 6-9.

Huhtapalo, Å. 1978 Utveckling av kombisåmaskiner. Principer för gödselplacering i kombination med sådd. Biologiska och tekniska krav. Examensarbete i ämnet lantbruksmaskiner i enlighet

med fordringerna för agronomexamen. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets arbetmetodik och teknik. 12 p.

Huhtapalo, Å. 1981 Rätt gödselplacering ger effektivt näringsutnyttjande. NJF-seminar om Nitrogengjoedslingens effektivitet og nitrogentap, Aas, 17-18 Februar 1981. Nordisk Jordbrugsforskning **63** (3), 488-489.

Huhtapalo, Å. 1982 Scandinavian principles for fertilizer placement. Utilization of fertilizer-N. The 9th Conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, Socialistic Federal Republic of Yugoslavia, Osijek 1982. p 669-674.

Højmark, J.V. 1972 Placering af NPK-gødning til kartofler. Tidsskr. Planteavl **76**, 196-208.

Højmark, J.V. 1973 Placering af NPK-gødning og vanding af tidlige kartofler dyrket under plastfolie. Tidsskr. Planteavl **77**, 411-414.

Højmark, J.V. 1976 Placering og bredsåning af NPK-gødning til sildige kartofler. Tidsskr. Planteavl **80**, 211-220.

Høy, J.J. Landskontoret for Bygninger og Maskiner, Landbrugets Rådgivningscenter.

Jackson, G.D., Berg, R.K., Kushnak, G.D., Carlson, G.R. & Lund, R.E. 1993 Phosphorus relationships in no-till small grains. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **24** (1&2), 1319-1331.

Jensen, B. Afdeling for Plantevækst og Jord, Danmarks JordbrugsForskning.

Johnston, A.M., Lafond, G.P., Harapiak, J.T. & Head, W.K. 1997 No-Till Spring Wheat and Canola Response to Side Banded Anhydrous Ammonia at Seedling. J. Prod. Agric. **10**, 452-458.

Jónsson, L. 1972 Rapport från försök med radmyllning af kvävegödsel. R3-P17. 1971. Rapporter från avdelingen för Växtnäringslära nr. 56, Lantbrukshögskolan, Uppsala. 36pp.

Jónsson, L. 1973 Rapport från försök med radmyllning af gödsel. R3-P17. 1972. Rapporter från avdelingen för Växtnäringslära nr. 64, Lantbrukshögskolan, Uppsala. 29pp.

Kaila, A. & Elonen, P. 1970 Influence of irrigation and placement of nitrogen fertilizers on the uptake of nitrogen by spring wheat. J. Scient. Agric. Soc. Finl. 42, 123-130.

Kjærsgaard, J. 1991. Planteavlsberetning 1991. Turby-Køge og Omegns Landboforeninger. Sangill Bogtryk.

Klausen, P.S. & Hansen, J.F 1988 Lysimeterforsøg med kominationer af kvælstof, fosfor og kalium i handelsgødning. I. Udbytte og næringsstofoptagelse. Tidsskr. Planteavl **92**, 249-263.

Knudsen, T. 1998 Danmarks forbrug af handelsgødning 1996/97. Plantedirektoratet, 10p.

Kratzsch, G. 1982 Untersuchungen zum Bestockungs- und Beährungsvermögen und zur Ertragsstruktur sowie zur optimalen Aussaatmenge bei Winterweizensorten. Arch. Acker- Planzenb. Bodenkd. **26**, 111-121.

Kyllingsbæk, A. 1984 Kvælstofgødskningens indflydelse på bygplanters skududvikling. Tidsskr. Planteavl. **88**, 479-488.

Lawton, K. & Davis, J.F. 1960 Influence of Fertilizer Analysis and Placement on the Emergence, Growth, and Nutrient Absorption by Wheat Seedlings in the Greenhouse. Agron. J. **52**, 326-328.

Lewis, A.H. & Strickland, A.G. 1954 The placement of Fertilizers. II. Cereals. J. Agric. Sci. **34**, 73-75.

Low, A.J. & Piper, F.J. 1961 Urea as a fertilizer. Laboratory and pot-culture studies. J. Agric. Sci. **57**, 249-255.

Lyngstad, I. 1977. Radgjødsling til korn. Forsøk i perioden 1966-75. Norges landbrukshøgskole, Institutt for jordkultur, Melding nr. 89. Forskning og forsøg i landbruket **28**, 159-177.

Lyngstad, I. & Stabbetrop, H. 1980 Sammenligning av kalkammonsalpeter og urea ved ulike gjødslingsmåter og ulik kalkning. Norges landbrukshøgskole, Institutt for jordkultur, Melding nr. 113. Forskning og forsøg i landbruket **31**, 263-272.

Lyngstad, I. & Stabbetorp, H. 1981 Radgjødsling av superfosfat. Norges landbrukshøgskole, Institutt for jordkultur, Melding nr. 120. Forskning og forsøk i landbruket **32**, 97-103.

MacLeod, L.B., Sterling, J.D.E. & MacLeod, J.A. 1975 Effects of rate, source and method of application of N, P and K on growth, nutrient uptake and yield of barley. Can. J. Soil Sci. **55**, 61-67.

Malhi, S.S. & Nyborg, M. 1985 Methods of Placement for Increasing the Efficiency of N Fertilizers Applied in the Fall. Agron. J. **77**, 27-32.

Malhi, S.S. & Nyborg, M. 1990 Evaluation of Methods of Placement for Fall-Applied Urea Under Zero Tillage. Soil & Till. Res. **15**, 383-389.

Malhi, S.S. & Nyborg, M. 1991 Recovery of ^{15}N-labelled urea: influence of zero tillage, and time and method of application. Fert. Res. **28**, 263-269.

Malhi, S.S. & Nyborg, M. 1992 Recovery of nitrogen by spring barley from ammonium nitrate, urea and sulphur-coated urea as affected by time and method of application. Fert. Res. **32**, 19-25.

Malhi, S.S., Nyborg, M. & Solberg, E.D. 1989 Recovery of ^{15}N-labelled urea as influenced by straw addition and method of placement. Can. J. Soil Sci. **69** (3), 543-550.

Malhi, S.S., Nyborg, M. & Solberg, E.D. 1996 Influence of source, method of placement and simulated rainfall on the recovery of ^{15}N-labelled fertilizer under zero tillage. Can. J. Soil Sci. **76**, 93-100.

Malhi, S.S., Nyborg, M., Penney, D.C., Kryzanowski, L., Robertson, J.A. & Walker, D.R. 1993a Yield response of barley and rapeseed to P fertilizer: influence of soil test P level and method of placement. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **24** (1&2), 1-10.

Malhi, S.S., Nyborg, M., Penney, D.C., Kryzanowski, L., Robertson, J.A. & Walker, D.R. 1993b Yield response of barley and rapeseed to K fertilizer: influence of soil test K level and method of placement. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **24** (17&18), 2271-2280.

Mattingly, G.E.G. & Widdowson, F.V. 1958 Uptake of phosphorus from ^{32}P-labelled superphosphate by field crops. Plant and Soil **10**, 161-175.

Mattsson, L. 1974 Rapport från försök med radmyllning av gödsel. R3-P17. Data Från 1971-1973. Rapporter från avdelingen för Växtnäringslära nr. 83, Lantbrukshögskolan, Uppsala. 44pp.

McIntosh, T.H. & Frederick, L.R. 1958 Distribution and Nitrification of Anhydrous Ammonia in a Nicollet Sandy Caly Loam. Soil Sci. Soc. Am. Proc. **22**, 402-405.

Miller, M.H. & Ohlrogge, A.J. 1958 Principles of Nutrient Uptake Form Fertilzer Bands. I. Effect of Placement of Nitrogen fertilizer on the Uptake of Band-Placed Phosphorus at Different Soil Phosphorus Levels. Agron. J. **50**, 95-97.

Munkholm, L.J. & Sibbesen, E. 1997 Tab af fosfor fra landbrugsjord. Temanummer fra Det strategiske miljøforskningsprogram, juli 1997. 63 pp.

Nielsen, N.E. 1987 Transportkinetik for planters optagelse af næringsstoffer fra jord i relation til hastighedsbestemmende og hastighedsbegrænsende led. Afhandling fra Institut for Kulturteknik og Planteernæring, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, 74pp.

Nyborg, M. 1961 The effect of fertilizers on emergence of cereal grains, flax and rape. Can. J. Soil Sci. **41**, 89-98.

Nyborg, M. & Malhi, S.S. 1992 Effectiveness of fall- versus spring-appield urea in barley. Fert. Res. **31**, 235-239.

Olesen, J.E., Jørgensen, L.N., Christesen, S., Mortensen, J.V., Petersen, J., Rasmussen, G. & Friis, E. 1995 Dyrkningsprogram for vinterhvede - Model for samspillet mellem afgrøde, produktionsfaktorer, skadevoldere og klima. Slutrapport til Forskningspakken: Bæredygtigt landbrug - Reduktion i forbruget af handelsgødning og bekæmpelsesmidler. 34p.

Olsen, C.C. & Larsen, K.E. 1984 Kvælstof til vinterhvede, éngangs- eller delt udbringning. Tidsskr. Planteavl **88**, 243-255.

Olson, R.A. & Dreier, A.F. 1956a Fertilizer Placement for Small Grains in Relation to Crop Stand and Nutrient Efficiency in Nebraska. Soil Sci. Soc. Am. Proc. **20**, 19-24.

Olson, R.A. & Dreier, A.F. 1956b Nitrogen, A Key Factor in Fertilizer Phosphorus Efficiency. Soil Sci. Soc. Am. Proc. **20**, 509-514.

Passioura, J.B. & Wetselaar, R. 1972 Consequences of banding nitrogen fertilizers in soil. II. Effects on the growth of wheat roots. Plant and Soil **36**, 461-473.

Pedersen, C.Å. og Østergaard, H.S. 1991. Gødskning og kalkning. I: K. Skriver Oversigt over Landsforsøgene 1990, p. 70-112.

Persson, K. Afdeling for Jordbrugsteknik, Danmarks JordbrugsForskning.

Petersen, J. (red.) 1996 Husdyrgødning og dens anvendelse. SP-rapport nr. 11, 160 pp.

Petersen, J. 1997 Risici for tab af plantenæringsstoffer ved anvendelse af husdyrgødning. Tidsskrift for Landøkonomi **184** (2), 81-86.

Petersen, J. & Meincke, J. 1992 Forårsnedbør, delt gødskning og kartoffeludbytte. Tidsskr. Planteavl **96**, 25-31.

Plauborg, F. 1997 Evaporation from bare soil. Ph. D. dissertation. SP-report no. 10, Statens Planteavlsforsøg, 144pp.

Prummel, J. 1957 Fertilizer placement experiments. Plant and Soil **8**, 231-253.

Randall, G.W. & Hoeft, R.G. 1988 Placement Methods for Improved Efficiency of P and K Fertilizers: A Review. J. Produc. Agric. **1**, 70-79.

Rasmussen, K. Afdeling for Plantebeskyttelse, Danmarks JordbrugsForskning.

Rasmussen, J. 1992 Testing harrows for mechanical control of weeds in agricultural crops. Weed Research **32**, 267-274.

Rasmussen, P.E. 1995 Effects of fertilizer and stubble burning on downy brome competition in winter wheat. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **26** (7&8), 951-960.

Rasmussen, K., Rasmussen, J. & Petersen, J. 1996 Effects of Fertilizer Placement on Weeds in Weed Harrowed in Spring Barley. Acta Agric Scand. Sect. B, Soil and Plant Sci. **46**, 192-196.

Reinertsen, M.R., Cochran, V.L. & Morrow, L.A. 1984 Response of Spring Wheat to N Fertilizer Placement, Row Spacing, and Wild Oat Herbicides in a No-Till System. Agron. J. **76**, 753-756.

Rennie, D.A. & Soper, R.J. 1958 The effect of nitrogen additions on fertilizer-phosphorus availability. II. J. Soil Sci. **9**, 155-167.

Robinson, D. 1994 The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. New Phytol **127**, 635-674.

Robinson, D. 1996 Resource Capture by Localized Root Proliferation: Why Do Plants Bother? Ann. Bot. **77**, 179-185.

Sawyer, J.E. & Hoeft, R.G. 1990a Effect of Injected Liquied Beef Manure on Soil Chemical Properties and Corn Root Distribution. J. Prod. Agric. **3**, 50-55.

Sawyer, J.E. & Hoeft, R.G. 1990b Greenhouse Evaluation of Simulated Injected Liquid Beef Manure. Agron. J. **82**, 613-618.

Sawyer, J.E., Schmitt, M.A. & Hoeft, R.G. 1990 Inorganic Nitrogen Distribution and Soil Chemical Transformations Associated with Injected Liquied Beef Manure. Agron. J. **82**, 963-969.

Schröder, J.J., ten Holte, L. & Brouwer, G. 1997 Response of silage maize to placement of cattle slurry. Neth. J. Agric. Sci. **45**, 249-261.

Sharratt, B.S. & Cochran, V.L. 1993 Skip-Row and Equidistant-Row Barley with Nitrogen Placement: Yield, Nitrogen Uptake, and Root Density. Agron. J. **85**, 246-250.

Shriniwas; Singh, Nihal & Qureshi, F.M. 1990 Effect of Nitrogen on Utilization of Fertilizer Phosphorus by Barley. J. Nuclear Agric. Biol. **19**, 76-81.

Singh, Y., Malhi, S.S., Nyborg, M. & Beauchamp, E.G. 1994 Large granules, nests or bands: Methods of increasing efficiency of fall-applied urea for small cereal grains in North America. Fert. Res. **38**, 61-87.

Skriver, K. 1978. Gødskning og kalkning. I: Johs. Olesen. Oversigt over forsøg og undersøgelser i Landbo- og Husmandsforeningerne 1977, p. 100-124.

Skriver, K. 1980. Gødskning og kalkning. I: Johs. Olesen. Oversigt over Landsforsøgene 1979, p. 117-139.

Skriver, K. 1982. Gødskning og kalkning. I: Johs. Olesen. Oversigt over Landsforsøgene 1981, p. 126-149.

Skriver, K. 1983. Gødskning og kalkning. I: Frank Bennetzen. Oversigt over Landsforsøgene 1982, p. 137-165.

Skriver, K. 1985. Gødskning og kalkning. I: Frank Bennetzen. Oversigt over Landsforsøgene 1984, p. 71-96.

Sommer, S.G. 1993. Ammoniakfordampning fra handelsgødning. Statens Planteavlsforsøg, Grøn Viden Landbrug, nr. 113.

Sørensen, P. Afdeling for Plantevækst og Jord, Danmarks JordbrugsForskning.

Thorne, G.N. 1962 Survival of Tillers and Distribution of Dry Matter between Ear and Shoot of Barley Varieties. Ann. Bot. **26**, 37-54.

Toews, W.H. & Soper, R.J. 1978 Effects og nitrogen source, method of placement and soil type on seedling emergence and barley crop yields. Can. J. Soil Sci. **58**, 311-320.

Tomar, J.S. & Soper, R.J. 1981 Fate of Tagged Urea N in the Field with Different Methods of N and Organic Matter Placement. Agron. J. **73**, 991-995.

Tomar, J.S. & Soper, R.J. 1987 Fate of ^{15}N-labeled urea in the growth chamber as affected by added organic matter and N placement. Can. J. Soil Sci. **67**, 639-646.

van Vuuren, M.M.I.; Robinson, D. & Griffiths, B.S. 1996 Nutrient inflow and root proliferation during the exploitation of a temporally and spatially discrete source of nitrogen in soil. Plant and Soil **178**, 185-192.

Walther, U. 1983 Einfluss des Mineralstickstoffgehalter des Bodens und der Düngung auf den Ertrag und die Ertragsstruktur von Winterweizen. Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft **31**, 102-112.

Wang, F., Bear, J. & Shaviv, A. 1998 Modelling simultaneous relase, diffusion and nitrification of ammonium in the soil surrounding a granule or nest containing ammonium fertilizer. Eur. J. Soil Sci. **49**, 351-364.

Wetselaar, R. & Farquhar, G.D. 1980 Nitrogen losses from tops of plants. Adv. Agron. **22**, 263-302.

Wetselaar, R., Passioura, J.B. & Singh, B.R. 1972 Consequences of banding nitrogen fertilizers in soil. I. Effects on nitrification. Plant and Soil **36**, 159-175.

Widdowson, F.V. & Cooke, G.W. 1958 Nitrogen fertilizers for spring barley and wheat. J. Agric. Sci. **50**, 312-319.

Widdowson, F.V. & Penny, A. 1960 Experiments with urea on spring barley. Exp. Husbandry **5**, 22-25.

Widdowson, F.V., Penny, A., Williams, R.J.B. & Cooke, G.W. 1959 The value of calcium nitrate for spring-sown cerels. J. Agric. Sci. **52**, 200-205.

Widdowson, F.V., Penny, A. & Williams, R.J.B. 1964 Side-placing urea and other nitrogen fertilizers for spring barley. J. Agric. Sci. **62**, 73-82.

Widdowson, F.V., Penny, A. & Williams, R.J.B. 1967 Experiments comparing the effects on yield of potatoes of three methods of applying three amount of NPK fertilizer and the residual effects on following winter wheat. J. agric. Sci., Camb. **69**, 247-253.

POSTB. BLAD 7401 HRC 50466
691
Danmarks Jordbrugsforskning
afd. for Plantebeskyttelse
Flakkebjerg
4200 Slagelse

DJF Foulum

Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Direktion
Direktionssekretariat, Økonomisekretariat

Afdeling for Animalske Fødevarer
Afdeling for Husdyravl og Genetik
Afdeling for Husdyrernæring og Fysiologi
Afdeling for Husdyrsundhed og Velfærd
Afdeling for Jordbrugssystemer
Afdeling for Plantevækst og Jord

Afdeling for Markdrift
Afdeling for Stalddrift
Centrallaboratoriet
Informationsenhed
IT-funktion
Biblioteksfunktion
International Enhed

DJF Årslev

Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev
Tlf. 63 90 43 43. Fax 63 90 43 90

Afdeling for Prydplanter
Afdeling for Vegetabilske Fødevarer
Afdeling for Infrastruktur

DJF Flakkebjerg

Flakkebjerg, 4200 Slagelse
Tlf. 58 11 33 00. Fax 58 11 33 01

Afdeling for Plantebiologi
Afdeling for Plantebeskyttelse
Afdeling for Infrastruktur

DJF Bygholm

Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Afdeling for Jordbrugsteknik
Driftsfunktion

Enheder på andre lokaliteter

Afdeling for Sortsafprøvning
Teglværksvej 10, Tystofte
4239 Skælskør
Tlf. 58 16 06 00. Fax 58 16 06 06

Askov Forsøgsstation
Vejenvej 55, 6600 Vejen
Tlf. 75 36 02 77. Fax 75 36 62 77

Bioteknologigruppen
(Afd. f. Plantebiologi)
Thorvaldsensvej 40, 1.
1871 Frederiksberg C
Tlf. 35 28 25 88. Fax 35 28 25 89

Borris Forsøgsstation
Vestergade 46, 6900 Skjern
Tlf. 97 36 62 33. Fax 97 36 65 43

Den Økologiske Forsøgsstation
Rugballegård
Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Foulumgård, Postboks 50
8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Jyndevad Forsøgsstation
Flensborgvej 22, 6360 Tinglev
Tlf. 74 64 83 16. Fax 74 64 84 89

Rønhave Forsøgsstation
Hestehave 20, 6400 Sønderborg
Tlf. 74 42 38 97. Fax 74 42 38 94

Silstrup Forsøgsstation
Højmarken 12, 7700 Thisted
Tlf. 97 92 15 88. Fax 97 91 16 96

Tylstrup Forsøgsstation
Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup
Tlf. 98 26 13 99. Fax 98 26 02 11

ISSN 1397-9884