

Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab

Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III

Uffe Jørgensen (Red.)

Danmarks JordbrugsForskning

Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø
Postboks 50, 8830 Tjele

DJF rapporter indeholder hovedsageligt forskningsresultater og forsøgsopgørelser rettet mod danske forhold. Endvidere kan rapporterne beskrive større samlede forskningsprojekter eller fungere som bilag til temamøder. DJF rapporter udkommer i serierne:

Markbrug, Husdyrbrug og Havebrug.

Pris:

op til 50 sider 55 kr.
op til 75 sider 85 kr.
over 75 sider 110 kr.

Abonnenter opnår 25% rabat og abonnement kan tegnes ved henvendelse til:

Danmarks JordbrugsForskning
Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 8999 1028

Alle DJF's publikationer kan bestilles på nettet:
www.agrsci.dk

Tryk: www.digisource.dk

ISSN 1397-9884

Forord

I forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III nedsattes tre overordnede arbejdsgrupper samt en række tekniske undergrupper med henblik på at tilvejebringe et beslutningsgrundlag for det videre arbejde. Den samlede struktur af det forberende arbejde til VMP III fremgår af bilag 1. Nærværende rapport er en let redigeret udgave af arbejdet fra den tekniske undergruppe med arbejdstitlen ”Forbedret kvælstofudnyttelse i marken og effekt på kvælstoftab” – i daglig tale ”Kvælstofgruppen”. Kvælstofgruppens rapport afleveredes i oktober 2003, og er offentliggjort på www.vmp3.dk. I nærværende rapport er tilføjet et afsnit om effekter af reduktion af husdyrproduktionen, som er baseret på en besvarelse fra DJF på en konkret forespørgsel fra Fødevarerministeriet og Miljøministeriet.

En række planteavlstekniske tiltag kan potentielt være med til at forbedre kvælstofudnyttelsen i marken og dermed mindske tabet til omgivelserne. Fornuftig udnyttelse af flere af disse teknikker kan sammenfattes i det bløde begreb ”godt landmandskab”, som er en del af dansk landbrugs strategi for at fremme en miljøvenlig drift. Ændring af arealanvendelsen er en anden mulighed for at reducere kvælstoftab til omgivelserne. Nogle af mulighederne for at forbedre udnyttelsen ibrugtages ikke fuldt ud, da de nok kan mindske nitratudvaskningen, men til gengæld forårsager udbyttenedgang, ekstra omkostninger eller besvær for landmanden. Det udelukker dog ikke, at der kan være tale om samfundsøkonomisk fornuftige tiltag at tage i anvendelse.

Formålet med Kvælstofgruppens arbejde var:

- At samle og beskrive mulige tiltag til forbedring af kvælstofudnyttelsen i marken og/eller til mindskning af kvælstoftabet
- At give den bedst mulige kvantificering af tiltagens potentielle effekt på kvælstofudnyttelse, nitratudvaskning, afgrødekvalitet, driftsøkonomi og ammoniakfordampning
- At diskutere muligheder og begrænsninger for tiltagens implementering herunder tidshorisont for ibrugtagning
- At udrede den kendte viden om effekten af grønne marker og at vurdere effekterne i marken af reduktion i husdyrbestanden

Gruppens medlemmer var:

Uffe Jørgensen (formand), Jens Petersen, Karen Søegård, Elly Møller Hansen og Johannes Ravn Jørgensen fra Danmarks JordbrugsForskning samt Mads Leth-Petersen, Skov og Naturstyrelsen. Af de tilknyttede ressourcepersoner har desuden Leif Knudsen og Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning samt Peter Sørensen, Danmarks JordbrugsForskning deltaget i forberende møder, og Ruth Grant, Danmarks Miljøundersøgelser har kommenteret rapportens indhold.

Derudover har følgende bidraget med enkeltafsnit: Bernd Wollenweber, Lise Nistrup Jørgensen, Jørgen Berntsen, Anton Thomsen, Kirsten Schelde, Kristian Thorup-Kristensen, Preben Bach Holm, Mathias N. Andersen, Ib Sillebak Kristensen, Troels Kristensen & Anders Højlund Nielsen, Danmarks JordbrugsForskning. Lars Bo Pedersen, Claus J. Christensen, Per Gundersen, Karin Hansen, Signe Anthon & Jan K. Schjørring, den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole. Carl Christian Hoffmann, Danmarks Miljøundersøgelser.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord.....	1
1. Sammendrag.....	4
2. Rammebetingelser for kvantificering af effekter	16
3. Diskussion af additivitet og vekselvirkning	27
4. Beskrivelse af enkelttiltag.....	32
4.1. <i>Driftsmæssige tiltag i eksisterende sædskifter</i>	<i>32</i>
4.1.1. Optimeret gødningsudnyttelse - Handelsgødning	32
4.1.1.1. Placeret gødning.....	32
4.1.1.2. Kantspredning	36
4.1.1.3. Ammoniak/Ammonium i stedet for nitratgødning.....	41
4.1.1.4. Optimeret behovsfastsættelse	46
4.1.1.5. Positionsbestemt plantedyrkning.....	51
4.1.2. Optimeret gødningsudnyttelse - Husdyrgødning	55
4.1.2.1. Nedefældning af gylle.....	55
4.1.2.2. Biogasbehandling	61
4.1.2.3. Separering af gylle	67
4.1.2.4. Forsuring af gylle	72
4.1.3. Andre dyrkningsmæssige tiltag.....	75
4.1.3.1. Ændret sortsvalg i korn	75
4.1.3.2. Tidlig såning af vintersæd.....	81
4.1.3.3. Optimeret plantebeskyttelse	87
4.1.3.4. Efterafgrøder under nuværende praksis	93
4.1.3.5. Forslag til øget kvælstofeffekt af efterafgrøder ved optimeret artsvalg, management og placering.....	103
4.1.3.6. Kvægbrugssædskifter	114
4.1.3.6.1. Majs.....	114
4.1.3.6.2. Kløvergræs	117
4.1.3.7. Reduceret jordbearbejdning	128
4.1.3.8. Pløjetidspunkt.....	132
4.1.3.9. Plantebioteknologiske muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og reducere af kvælstofstab	136
4.1.3.10. Forbedret vandingsstyring.....	143
4.1.3.11. Optimering af gødningsdosering til juletræer og pyntegrønt	148
4.2. <i>Ændring i arealanvendelsen</i>	<i>154</i>
4.2.1. Omlægning til økologisk mælkeproduktion - konsekvenser for kvælstofomsætning, -udnyttelse og -tab.....	154
4.2.2. Udtagning af landbrugsjord.....	175
4.2.3. Ophør af omdrift på lavbundsarealer	180
4.2.4. Skovrejsning på tidligere landbrugsjord	188
4.2.5. Dyrkning af flerårige non-food afgrøder.....	197
4.3. <i>Ændringer i regelsættet for gødskning, harmoni m.m.</i>	<i>203</i>
4.3.1. Gødningsnormer, krav til udnyttelse af N i husdyrgødning og harmonikrav	203
4.3.2. Grønne marker.....	217
4.4. <i>Reduktion i husdyrproduktionen</i>	<i>226</i>
Bilag 1	231

1. Sammendrag

I forbindelse med udarbejdelsen af det faglige grundlag for Vandmiljøplan III nedsattes en række tekniske arbejdsgrupper (se bilag 1). En af disse grupper, Kvælstofgruppen, samt en række tilknyttede ressourcepersoner, har gennemgået mulighederne for at forbedre landbrugsgets N-balance ved over 30 enkelttiltag. Tiltagene er primært behandlet på markniveau, men enkelte tiltag dækker også sædskifte- og bedriftsniveauet. De fleste tiltag benyttes allerede i et vist omfang som en del af almindeligt godt landmandskab, og i denne rapport skitseres således de potentielle muligheder for at udvide og evt. målrette udnyttelsen. Tiltagene kan groft opdeles i tre hovedgrupper:

- Driftsmæssige tiltag i eksisterende sædskifter ved eksisterende regler
- Ændringer i arealanvendelsen
- Ændringer i regelsættet for gødskning, harmoni m.m.

Forskelligartede tiltag

Opgørelsen af de enkelte tiltag giver et broget billede. Nogle tiltag er ganske konkrete og kvantificerbare, idet de afhænger af anvendelsen af en bestemt teknologi (f.eks. Forsuring af gylle) eller ændring af arealanvendelsen (f.eks. Udtagning af landbrugsjord og Skovrejsning). Sådanne tiltag vil nemt kunne reguleres ved regelstyring eller tilskud.

Andre tiltag (f.eks. Optimeret plantebeskyttelse) kan givetvis have en effekt, men den er svær at kvantificere og vil sandsynligvis også være vanskelig at regulere ved regelstyring. Det er tiltag, som henhører under begrebet 'godt landmandskab' og i høj grad afhænger af den enkelte driftsleders dygtighed, informationsniveau og muligheder for prioritering. Disse tiltag vil være relevante for den enkelte driftsleders optimering, hvis der indføres et balanceregnskab, eller hvis der indføres afgift på kvælstof.

Endeligt gælder for enkelte tiltag (f.eks. Positionsbestemt planteavl og Bioteknologi), at der, på trods af en forventning om et potentiale for forbedret N-udnyttelse, stadig mangler viden til at kunne vurdere, om det kan realiseres i praksis.

En række tiltag fokuserer på forbedringer i udnyttelsen af gødning, gennem forbehandling, udbringningsteknik og optimeret placering. Udbyttet af disse tiltag er hovedsageligt et mindsket udbringningstab, således at afgrøden sikres en forbedret N-forsyning under de gældende regelsæt. Det vil samtidigt betyde risiko for en øget N-udvaskning. Alt efter politisk synsvinkel kan dette udnyttes til at sikre udbytte og bedre kvalitet af afgrøderne under de nuværende økonomisk suboptimale N-normer, eller til at retfærdiggøre yderligere stramning af kravet til husdyrgødningsudnyttelse og/eller N-normer.

N-udvaskningen kan mindskes f.eks. ved forbedret vandingstyring, som giver et øget planteoptag af N, og formentlig ved reduceret jordbearbejdning, hvis opbygningen af N i jordpuljen

øges derved. Sådanne tiltag kan betyde et øget behov for N-tilførsel, hvilket alt andet lige vil virke som en stramning af N-normerne i forhold til i dag. Denne effekt kan modvirkes af tiltag, der øger N-tilførslen til marken (f.eks. Kantspredning eller Forsuring af gylle), hvorved risikoen for N-mangel i afgrøden mindskes.

På kvægbrug er der stor sammenhæng mellem besætning og markbrug, primært på grund af afgræsning og husdyrgødning. Under disse forhold er det vanskeligt at lave en kohærent beskrivelse alene på markniveau, derfor er både kvægbrugssædskeer og bedriftsstudier inddraget ved analyse af mulighederne på kvægbrug.

Vekselvirkninger mellem tiltag

I de forsøg, som ligger til grund for vurderingerne af N-effekter for de enkelte tiltag, har andre dyrkningsfaktorer normalt været uændrede, og vores vurderinger er derfor sket under forudsætning af 'alt andet lige'. I virkelighedens verden vil det naturligvis ikke være gældende, idet der dels sker en løbende udvikling af jordbrugets teknologianvendelse, dyrkningsmetoder og afgrødesammensætning. Dels er det sandsynligt, at der i VMP III sammenhæng vil blive foreslået en række virkemidler taget i brug samtidigt, som i forskellig grad kan vekselvirke med hinanden. Nogle tiltag er dog umiddelbart additive. Fx vil der næppe være vekselvirkning af betydning ved tidlig såning af vintersæd og udbringning af forsuret gylle på det samme areal.

Men mange tiltag vil vekselvirke, positivt eller negativt. Der kan dels være vekselvirkninger mellem tiltag i stald eller lager og tiltag i marken. Et eksempel på vekselvirkning mellem lager og mark er, at låg på en gylletank ikke nødvendigvis mindsker den samlede ammoniakfordampning i hele håndteringskæden for gylle. Låg på gyllebeholdere vil umiddelbart begrænse ammoniaktabet og øge tørstofindholdet i gyllen, fordi nedbør ikke opsamles i beholderen. Hvis gyllen derpå udbringes uden indarbejdning i marken, vil det højere tørstofindhold mindske infiltrationen og dermed øge ammoniakemissionen i marken. Omvendt vil nedfældning af gyllen sikre, at det øgede ammoniakindhold fra tanken ikke mistes i marken.

Et eksempel på vekselvirkning mellem forskellige tiltag i marken er pløjefri dyrkning og efterafgrøder. Ved overgang til pløjefri dyrkning er vinterhvede den afgrøde, der er mest robust, hvorfor det i første omgang primært vil være vinterhvedeareal, der omlægges til pløjefri dyrkning. Efterafgrøder er vanskeligere at etablere tilfredsstillende i vintersæd end i vårsæd, og etableringen af efterafgrøder ved pløjefri dyrkning er formentlig mindre sikker end ved pløjning. Da nedpløjning ikke kan foretages ved pløjefri dyrkning, er det nødvendigt at herbicidbehandle efterafgrøden inden såning af næste afgrøde. For at få tilstrækkelig effekt af herbicidbehandlingen er det formentlig nødvendigt at udføre behandlingen om efteråret, hvorved N-optagelse i efterafgrøden i det sene efterår eller i milde vintre udelukkes. Det må således forventes, at ved overgang til pløjefri dyrkning vil der ikke umiddelbart kunne opnås så stor N-udvaskningsreduktion med efterafgrøder, og deres anvendelse kan øge herbicidforbruget.

En række tiltag til forbedret N-udnyttelse i marken vil via reduktion af tab (ammoniak eller nitrat) føre til en forbedret N-optagelse i afgrøden og et stigende N-indhold i jordpuljen. Det vil ifølge en 'alt andet lige' betragtning på sigt føre til stigende N-udvaskning fra jordpuljen. Men ved at ændre f.eks. sædskifte eller jordbehandling kan man bevare en øget jordpulje af N. Det vil betyde et øget indhold af organisk stof, der sikrer en forbedret jordkvalitet og bidrager til at lagre kulstof i jorden og reducere atmosfærens CO₂-indhold. Dette illustrerer, at man skal være uhyre varsom med at vurdere enkelte vekselvirkninger under forudsætning om 'alt andet lige', da man risikerer at skabe problemer i forhold til andre højt prioriterede jordbrugs- og miljømæssige indsatsområder.

En skærpelse af de generelle tiltag (N-norm, husdyrgødningsudnyttelse og harmoni) vil give incitament til frivillig implementering af andre konkrete enkelttiltag, og her vil de økonomiske konsekvenser være drivkraften, mens miljøeffekten af tiltaget er af sekundær betydning. Det betyder, at det er usikkert i hvilket omfang de generelle tiltag vil afføde frivillige tiltag. Derfor skal der her blot nævnes nogle eksempler på tiltag, der kan efterfølge de generelle tiltag:

- En skærpelse af N-normerne vil give øget interesse for placering af gødning, kantspredning, valg af gødningstype, optimeret behovsfastsættelse, positionsbestemt planteavl, optimeret plantebeskyttelse, optimeret brug af efterafgrøder og forbedret vandingsstyring.
- En skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning vil forstærke interessen for nedfældning af gylle, biogasbehandling og forsuring af gylle.
- De gældende harmonikrav har allerede medført betydelig interesse for separering af gylle.

Afledte effekter

Ved ændret arealanvendelse er det vigtigt at holde sig for øje, hvilke afledte effekter dette måtte have på den øvrige landbrugsdrift. Udtagning af landbrugsjord og skovrejsning vil isoleret betragtet reducere ammoniakfordampning og udvaskning fra arealet, specielt hvis der fortrænges et areal gødet med husdyrgødning. Men hvis ikke udtagning eller skovrejsning medfører en tilsvarende reduktion i husdyrgødningsproduktionen vil ændringen i arealanvendelse betyde, at andre arealer skal modtage en øget mængde husdyrgødning med øget ammoniakfordampning og nitratudvaskning til følge fra disse. Udtagning og skovrejsning vil dog medføre en reduktion i handelsgødningsanvendelsen.

En vifte af muligheder

Som det fremgår af ovenstående, er det vanskeligt at uddrage entydige konklusioner eller anbefalinger mht. hvilke tiltag, der vil være mest relevante at tage i anvendelse for yderligere at minimere N-tabet fra landbrugsproduktionen i marken. Der er mange vekselvirkninger og afledte effekter, der gør en samlet vurdering meget kompliceret. Dertil kommer mulige adfærd ændringer hos landmanden ved implementering af nye tiltag, som kan modificere effekterne i praksis. Vi har derfor valgt primært at præsentere rækken af tiltag som en vifte af muligheder til yderligere vurdering og diskussion i forbindelse med konkrete sammensætninger af virkemidler.

De enkelte tiltag

En skematisk oversigt over den *potentielle* effekt ved fuld implementering af tiltagene er givet i tabel 0. Specielt for den økonomiske vurdering gælder, at der kan være stigende omkostninger ved stigende arealomfang for implementeringen, og dette er ikke forsøgt vurderet. Herunder resumeres kort de enkelte tiltag. Nummereringen er den samme som i kapitel 4, hvor tiltagene beskrives og analyseres.

4.1. Driftsmæssige tiltag i eksisterende sædskifter

4.1.1. Optimeret gødningsudbringning - handelsgødning

4.1.1.1. Placeret gødning

Tiltaget består i at udbringe handelsgødning, så den placeres i koncentrerede strenge i jorden, således at gødningen ligger tæt på afgrødens rødder. Det vurderes, at tiltaget i løbet af få år kan implementeres på 125.000 ha vårbyg, der udelukkende tilføres handelsgødning. Herved forventes et merudbytte på 2-3 hkg/ha, samt en øget N-udnyttelse på 0-5 kg N/ha, mens effekten på N-udvaskning og ammoniakfordampning er beskedent. Gødningsplacering i etablerede afgrøder praktiseres ikke i dag, men med eksisterende sensor teknik til rækkegenkendelse synes der at være et potentiale for dette indenfor en tidshorizont på 7-10 år.

4.1.1.2. Kantspredning

Tiltaget består i, ved brug af særligt kantspredningsudstyr, at begrænse spredning af gødning ud over markskel og fordele den tildelte mængde indenfor marken, så afgrøden tildeles hele den planlagte gødningsmængde. Der er ingen viden om, hvor udbredt brugen af kantspredningsudstyr er p.t. Baseret på opgørelse af markstørrelser vurderes det, at der er 250 løbende meter skel pr. ha landbrugsjord. Ved anvendelse af det mest benyttede spredeudstyr for handelsgødning vil i gennemsnit 5 kg N/ha spredes ud over skel, hvilket dog kan være til anden mark. Der gættes på, at tiltaget kan have effekt på omkring 1 mio. ha., og det vurderes, at N-udnyttelsen kan forøges med 2-3 kg N/ha, mens effekten på nitratudvaskningen vurderes at være minimal.

4.1.1.3. Ammoniak/ammonium i stedet for nitratgødning

Tiltaget består i at vælge en handelsgødning, der reducerer risikoen for kvælstofudvaskning i foråret, idet der i perioden fra gødningsudbringning til afgrøden er etableret og optager kvælstof kan ske udvaskning i forbindelse med store nedbørshændelser. Tiltaget vurderes at kunne implementeres på omkring 100.000 ha vårbyg på sandjord, hvor der ikke anvendes husdyrgødning. Forårsudvaskning forekommer ca. hvert 8. år, men effekterne er beregnet som årligt gennemsnit. Anvendes flydende ammoniak i stedet for kalkammoniumnitrat vurderes det, at N-udnyttelsen i gennemsnit kan øges med 3-4 kg N/ha, mens reduktionen i N-udvaskningen skønnes til 6 kg N/ha. Udbyttet forventes øget med 1,6 hkg/ha.

4.1.1.4. Optimeret behovsfastsættelse

Kvælstofbehovet i den enkelte mark afhænger af forfrugten, men også af markens dyrkningshistorie i en årrække på måske 50 år forud. Kendskabet til den langsigtede eftervirkning kan udnyttes ved modellering af kvælstofbehovet i edb-baserede gødningsplaner. Derudover kan fastsættelse af kvælstofbehovet forbedres ved anvendelse af N-min-analyser og ved anvendelse af optiske sensorer. Det er dog vanskeligt i kornafgrøder at vise, at disse metoder er økonomisk fordelagtige for landmanden. I landbrugsrådgivningen skønnes det, at det vil være muligt at reducere udvaskningen med 0,6-1,2 kg N/ha ved optimeret behovsfastsættelse.

4.1.1.5. Positionsbestemt plantedyrkning

Dette tiltag dækker over en række metoder og teknologier til omfordeling af N indenfor en given mark. Rationalet herfor er en antagelse om at N-behovet indenfor marken kan variere betydeligt. Forsøg med metoderne har vist varierende resultater fra næsten ingen effekt op til et merudbytte på 1-2 hkg/ha. Herved kan opnås en øget N-udnyttelse på op til 3 kg N/ha og en reduktion af nitratudvaskningen af samme størrelsesorden.

4.1.2. Optimeret gødningsudnyttelse - husdyrgødning

4.1.2.1. Nedfældning af gylle

Ved nedfældning af gylle placeres gyllen under jordoverfladen. Den positive effekt af direkte nedfældning i forhold til nedharvning skyldes hovedsagligt reduceret ammoniaktab, men også at en mindre andel af gyllens kvælstof bindes af jordens mikroorganismer (immobiliseres), når gyllen ikke opblandes i jorden. Ved direkte nedfældning reduceres ammoniakfordampningen med 0-20 kg N pr. ha. Den største reduktion i ammoniakfordampning kan ske efter en effektiv nedfældning på græs om sommeren. Men ofte er jorden da så tør og hård, at nedfældereren kommer dårligt i jorden, og der opnås kun en meget lille reduktion af fordampningen. Kvælstofudvaskningen efter nedfældning af gylle kan øges med op til ca. 6 kg N pr. ha, idet der tilføres mere kvælstof til jorden i kraft af den reducerede ammoniakfordampning.

4.1.2.2. Afgasning af gylle i biogasanlæg

Ved afgasning af gylle i biogasanlæg nedbrydes organisk bundet kvælstof til ammonium. Ved processen bliver gyllen tynd og pH i gyllen stiger. Den større andel af ammonium i gyllen øger plantetilgængeligheden af kvælstoffet, og høstudbyttet ved anvendelse af den afgassede gylle i stedet for ubehandlet gylle forventes at stige 1-3 hkg pr. ha i korn. Stigningen i pH kan give anledning til større ammoniakfordampning, men ved omhu under udbringning og nedbringning forventes uændret ammoniakfordampning. Der kan forventes en reduktion i nitratudvaskning på op til ca. 3 kg N pr. ha, såfremt handelsgødningsforbruget reduceres svarende til stigningen i udnyttelse af gyllens kvælstof. Udviklingen i antallet af biogasanlæg er meget afhængig af de fremtidige afregningsforhold for energi produceret på basis af biomasse.

4.1.2.3. Separering af gylle

Ved separering af gylle deles gyllens næringsstoffer i to eller flere fraktioner. Forsøg og erfaringer med det nuværende tilgængelige separeringsudstyr tyder ikke på, at der kan opnås en

umiddelbar forbedring i N-udnyttelse, nitratudvaskning, ammoniakfordampning eller udbytte. En god effekt på én separeringsfraktion opvejes af en tilsvarende dårlig effekt af en anden fraktion. Da teknologien endnu er ny, kan man forvente teknologiske forbedringer, som kan give en samlet forbedring af én eller flere effekter. En udbygning med mange anlæg i Danmark vil formentlig kræve billigere anlægstyper end de i dag kendte. Desuden vil udviklingen afhænge af udviklingen af biogassektoren, idet de to teknologier ofte kombineres.

4.1.2.4. Forsuring af gylle

Ammoniakfordampning i stalde og fra overfladeudbragt gylle kan reduceres væsentligt ved at nedbringe gyllens pH med syrebehandling. Syretilsætningen sker ved at tilsætte ca. 5 kg svovlsyre pr. ton gylle til en fortank i stalden. Gyllen i fortanken beluftes derudover kraftigt. Gyllen pumpes derefter retur ind under spalterne, så pH i kanalerne bliver 5,5. Den samlede reduktion af ammoniakfordampningen i stald, mark og lager svarer til ca. 29 kg N pr. ha. Den ekstra tilførsel til afgrøderne på grund af den reducerede fordampning resulterer i et øget høstudbytte på 1-1,5 hkg pr. ha. I korn. Derudover kan den ekstra tilførsel resultere i en øget udvaskning på op til 10 kg N pr. ha.

4.1.3. Andre dyrkningsmæssige tiltag

4.1.3.1. Ændret sortvalg i korn

Nyere kornsorter er i forædlingsarbejdet blevet udvalgt under forhold med relativ høj N-tilførsel og er derfor tilpasset et højt input af næringsstoffer. Under forhold med højt input af næringsstoffer kan variationen beskrives som forskelle i sorterens evne til at *optage* næringsstoffer, mens det ved lavt input er sorterens evne til at *udnytte* næringsstofferne effektivt, der har størst betydning. For nuværende foreligger der ikke dyrkningsegne sorter med egenskaber, der signifikant bedre udnytter det tilgængelige kvælstof. Det er dog realistisk at opsætte dette som et forædlingsmål, hvilket vurderes at have en tidshorizont på 8-10 år.

4.1.3.2. Tidlig såning af vintersæd

Ved at så vintersæd tidligt opnås der en bedre N-udnyttelse i efteråret, men der kan opstå dyrkningsmæssige problemer. I forhold til nuværende såtidspunkter for vinterhvede vurderes det muligt i gennemsnit at rykke såtidspunktet 3-7 dage frem. En fremrykning af såtiden med 1 uge forventes at betyde en reduktion af N-min indholdet i jorden på 5-7 kg pr. ha i efteråret. Det forventes, at udvaskningen vil reduceres i samme størrelsesorden som reduktionen i N-min.

4.1.3.3. Optimeret plantebeskyttelse

Sunde og velvoksede afgrøder er en forudsætning for en god optagelse af den tilførte gødning. Derfor kan afgrøder med god sygdomsresistens eller effektiv bekæmpelse af sygdomme og skadedyr være med til at reducere nitratudvaskning ved de gældende N-normer. Omvendt kan kraftige angreb af skadegørere betyde øget udvaskning - i hvede på over 30 kg N/ha. Nye svampemidler (strobiluriner) har vist særlig stor effekt på kvælstofudnyttelsen og deres anvendelse kan betyde, at det økonomisk optimale niveau for N-gødsning stiger.

4.1.3.4. Efterafgrøder under nuværende praksis

Efterafgrøder dyrkes i tidsrummet mellem to hovedafgrøder. Veletablerede ikke kvælstoffikserende efterafgrøder dyrket efter almindelige landbrugsafgrøder vurderes at kunne reducere udvaskningen med ca. 25 kg N/ha. På arealer med store mængder plantetilgængeligt N i jorden om efteråret kan den udvaskningsreducerende effekt blive større. Når efterafgrøder nedmuldes, tilføres jorden organisk bundet kvælstof, der ligesom jordens øvrige indhold af organisk bundet kvælstof, vil kunne mineraliseres både i og uden for den egentlige vækstsæson. Men kun en mindre del af kvælstoffet, der optages i ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder, vil blive frigivet de første år efter nedmuldning. Forsøg med ¹⁵N har vist, at der ved en overjordisk kvælstofoptagelse på ca. 20 kg N/ha kan spares henholdsvis 6, 3 og 1 kg N/ha i handelsgødning de følgende tre år efter nedmuldning.

4.1.3.5. Forslag til optimeret effekt af efterafgrøder

Forsøg med efterafgrøder viser, at det er muligt at opnå en øget effekt ved at: 1. Ændre og udvide artsvalget af efterafgrøder, især for at øge udbedelsen af efterafgrøder med dyb rodvækst. 2. Ændre på regler om nedmuldningstid, især senere nedmuldning på sandjord. 3. Sikre mere optimal placering af efterafgrøder i sædskiftet og på bedriftstyper. 4. Dyrke efterafgrøder målrettet i områder, hvor nitratudvaskning skaber særlige miljøproblemer. Vurderingen af den samlede kvantitative virkning af disse ændringer er dog usikker. Virkningen af efterafgrøder med dyb rodvækst vurderes til 10-40 kg N/ha, virkningen af senere nedmuldningstid til 10 kg N/ha og virkningen af at placere dyrkningen af efterafgrøder mere optimalt i sædskiftet og på bedriftstyper vurderes til 20 kg N/ha.

4.1.3.6. Kvægbrugssædskifter

Kløvergræskomplekset og majs er de to hovedområder, hvor der har været fokus på N-tab i kvægbruget. Etablering af efterafgrøde i majs er skønnet til at kunne reducere udvaskningen med 25-50 kg N/ha. Hvis rajgræsefterafgrøden etableres i juni kan en reduktion af majsudbyttet undgås. En bedre græsmarksstyring, primært i afgræsningsfasen, vil kunne forbedre N-udnyttelsen i kløvergræsset i omdriften betydeligt på visse brug. Der skønnes op til 100 kg N/ha. En optimering af afgræsningen indbefatter en afstemning af suppleringsfoder med markens tilbud, en optimering af tilbud og kvalitet i marken samt at undgå for store kløverandele. Ved omlægning af kløvergræsmarken kan både forårsplojning og isået efterafgrøde bevirke, at N-udvaskningen begrænses. Ændring af pløjetidspunkt er efterhånden kun relevant for et begrænset areal, hvorimod efterafgrøde vil være relevant for et større areal. Effekten på N-udvaskningen er skønnet til 25-50 kg N/ha.

4.1.3.7. Reduceret jordbearbejdning

Reduceret jordbearbejdning er en fællesbetegnelse for jordbearbejdningsstrategier, hvor arbejds- og energiomkostninger søges minimeret. Dette indebærer ofte, at afgrøderne etableres uden anvendelse af pløjning. Tidligere danske og udenlandske forsøg tyder på, at reduceret jordbearbejdning kan reducere udvaskningen. Reduceret jordbearbejdning, som det praktise-

res i Danmark i dag, er dog ikke undersøgt mht. udvaskningsbegrænsende effekt, men markforsøg er netop påbegyndt.

4.1.3.8. Pløjetidspunkt

Traditionelt pløjes jorden før vårafgrøder om efteråret. Et alternativ hertil, som praktiseres mere og mere, er at pløje jorden i det tidlige forår. Ved at ændre pløjetidspunktet før vårsæd fra efterår til forår forventes det, at udvaskningen kan reduceres med 10-25 kg N/ha, under forudsætning af at de forårspløjede arealer ikke jordbearbejdes eller herbicidbehandles i løbet af efteråret. På de fleste jordtyper i Danmark kan pløjning forud for vårsæd udsættes til om foråret uden væsentlige udbyttestab.

4.1.3.9. Plantebioteknologiske muligheder

Der findes allerede højlysin bygsorter og majs med forbedret proteinsammensætning, som kan reducere N-indholdet i husdyrgødning betydeligt. Derudover forventes indenfor ca. 10 år udviklet plantesorter, der via en forbedret stresstolerance og produktivitet kan optage mere kvælstof fra jorden. Dette vil ske dels ved gensplejsning, dels ved konventionel forædling under anvendelse af nye genetiske teknikker. For gensplejsede afgrøder vil implementering afhænge af accept.

4.1.3.10. Forbedret vandingstyring

Vanding af landbrugsafgrøder praktiseres på omkring 400.000 ha sandjord og påvirker N-udvaskning primært via to mekanismer: En positiv effekt af vanding på afgrødernes udbytte og N-indlejring i høstede produkter, og en negativ effekt pga. øget afstrømning fra rodzonen. DJF arbejder på at forbedre beslutningsstøtteprogrammet "Vandregnskab" især mht. brugervenlighed. Ved forbedret udnyttelse heraf samt omhyggelig planlægning og flytning af vandingmaskiner skønnes det muligt at forbedre udbytte og N-udnyttelse samt at reducere N-udvaskningen med 3-5 kg N/ha.

4.1.3.11. Optimering af gødningsdosering til juletræer og pyntegrønt

Juletræer og klippegrønt er stort set den eneste arealanvendelse, hvor der bruges gødning i væsentlige mængder i skove. Ligesom for andre afgrøder er der i forbindelse med Vandmiljøplan II indført gødningsnormer og krav om gødningsregnskaber. Det vurderes, at yderligere reduktion i nitratudvaskning i en størrelsesorden af 2-15 kg/ha kan opnås ved udstrækning af perioden med punktgodskning, ved uensaldrede kulturer, ved optimeret ukrudtsbekæmpelse og ved anvendelse af organiske gødningstyper. Der findes dog kun ringe viden om effekter på udbytte, kvalitet og økonomi.

4.2. Ændring i arealanvendelsen

4.2.1. Økologisk mælkeproduktion

Med udgangspunkt i repræsentative regnskabsdata fra 1999 blev på malkekvægsbrug beregnet et mindre bedrifts N-overskud ved økologisk sammenlignet med konventionel produktion på 73 kg N ha⁻¹, svarende til en mindre udvaskning på 63 kg N ha⁻¹, når der antages standardise-

rede luftformige tab og ingen ændring i jordens pulje af kvælstof. Sammenlignes udelukkende med gruppen af konventionelle kvægbrug med under 1,4 DE ha⁻¹ var der en forskel i udvaskningen på 53 kg N ha⁻¹. Ved at indføje de skærpede VMP II krav i det samme datasæt blev de konventionelle malkekvægsbrugs forventede bedriftsbalance i 2003 forbedret fra 178 til 154 kg N-overskud ha⁻¹. Idet der antages en forbedring i N-balancen på økologiske brug, som følge af kravet om 100% økologisk fodring beregnes en forskel i bedriftsbalancen på 49 kg N ha⁻¹ i år 2003. Ved omlægning af 200.000 ha konventionelle malkekvægsbrug med under 1,4 DE ha⁻¹ kan forventes en reduceret udvaskning på 36-46 kg N ha⁻¹ = 7.200-9.200 ton N i alt.

4.2.2. Udtagning af landbrugsjord

Udtagning af landbrugsjord til vedvarende brak har en stor effekt på kvælstofbalancen på det aktuelle areal. Der forventes en reduktion i udvaskningen på 20-66 kg N/ha fra udtagne sandjordsarealer afhængigt af, hvilken arealanvendelse der erstattes. Ved ophør med anvendelse af husdyrgødning på arealet kan ske en reduktion af ammoniakfordampningen med over 30 kg/ha, men det forudsætter dog, at der reelt sker en reduktion i husdyrproduktionen. Ved tilskud ifølge den gældende MVJ-ordning vil landmandens indkomsttab som følge af indskrænket planteavl ved udtagning omtrent udlignes, men det vil ikke være tilfældet ved indskrænkning af husdyrproduktionen.

4.2.3. Ophør af omdrift på lavbundsarealer

Ved tiltaget sløjfes dræn og grøfter, gødsning ophører og vandløb får lov at ligge i naturligt leje. Arealerne kan eventuelt afgræsses ekstensivt. Der kan herved opnås en reduceret udvaskning som følge af den reducerede gødsning og reducerede afbrænding af organisk materiale. Der kan desuden på nogle arealer opnås en denitrifikation enten af grundvand fra oplandet, der flyder igennem arealet, eller af åvand, som oversvømmer arealet. Variationen i effekterne størrelse er meget stor, men betydelig N-fjernelse kan opnås. Amterne har tidligere udpeget 118.000 ha lavbundsarealer, som vil kunne tages ud af omdrift.

4.2.4. Skovrejsning på landbrugsjord

Danmark har et mål om at fordoble skovarealet over en periode på 80 - 100 år, hvilket nås med en årlig tilplantning af ca. 4.500 ha landbrugsjord. Hidtil har den faktiske tilplantning dog været noget mindre. N-udvaskningen fra skovbevoksede arealer er lav, men med en vis dynamik over omdriften. Der forventes en reduktion i nitratudvaskningen på 54 kg N/ha ved fortrængning af et gennemsnitligt landbrugsareal, samt en reduktion i ammoniakfordampningen på 3-5 kg N/ha. Der gives pt. skovrejsningstilskud for at kompensere landmandens indkomsttab ved omlægning, men kun til under 2000 ha årligt.

4.2.5. Dyrkning af flerårige non-food afgrøder

Flerårige non-food afgrøder såsom pil og elephantgræs kan levere biomasse til energi eller til trævareindustrien. Foreløbigt er der kun etableret ca. 900 ha i Danmark. Afgrøderne vurderes at være mest konkurrencedygtige overfor traditionelle landbrugsafgrøder på sandet jord. Udvasningen fra flerårige non-food afgrøder gødet til gældende N-norm (75 kg N/ha) vurderes

at være 15-30 kg N/ha i gennemsnit over en 20-årig omdrift. Erstatning af omdriftsarealer på sandjord vil derfor medføre en reduktion i nitratudvaskningen på 46-61 kg N/ha, mens erstatning af vedvarende brak kan forårsage en øget udvaskning. Økonomien vurderes at være omtrent neutral, men er vanskelig at vurdere før en dyrkning i større omfang kan analyseres.

4.3. Ændringer i regelsæt for gødskning, harmoni m.m.

4.3.1. Strammere N-normer

Det antages, at en yderligere reduktion af N-normen med 10%-point vil slå igennem i handelsgødningsforbruget, som herved vil reduceres med 38.500 ton N pr. år. Fortrængning af denne mængde forventes at reducere ammoniakemissionen med 850 ton N og udvaskningen med 11.600 ton N. I kornafgrøder, der dækker omkring halvdelen af landbrugsarealet, vil normreduktionen medføre en udbyttereduktion på knap 2 hkg/ha, hvortil kommer en kvalitetsferringelse i form af reduceret proteinindhold. Tiltaget vil imidlertid have effekt på 2,3 mio. ha svarende til hele landbrugsarealet eksklusiv arealer dyrket med afgrøden uden N-norm samt arealer friholdt fra gødskning ved udtagning.

4.3.1. Skærpet udnyttelse af N i husdyrgødning

En skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning på 10%-point vurderes at fortrænge 23.600 ton N i handelsgødning pr. år. Fortrængning af denne mængde forventes at reducere ammoniakemissionen med 520 ton N og N-udvaskningen med 6.400 ton N. Tiltaget skønnes at reducere udbyttet i korn med omkring 1 hkg/ha på 1,65 mio. ha svarende til det husdyrgødede areal, hvortil kommer en kvalitetsferringelse i form af reduceret proteinindhold. Udover et indtægtstab omfatter omkostningerne øgede udgifter til håndtering af husdyrgødning, og disse afhænger i høj grad af hvilke frivillige tiltag, der iværksættes på den enkelte bedrift for at øge udnyttelsen af N i husdyrgødning. Det må forventes, at der herved vil opnås yderlige reduktion i ammoniakemissionen, men dette er ikke estimeret.

4.3.1. Skærpede harmonikrav

Skærpelse af harmonikravet påvirker hverken afgrødernes samlede N-behov eller gødningsmængden, men alene forholdet mellem besætningsstørrelse og arealtilliggende. Medfører en skærpelse, at den samme mængde husdyrgødning fordeles på et større areal, forventes der ingen effekt på den samlede N-udvaskning. Medfører skærpelsen derimod, at mængden af husdyrgødning reduceres som følge af reduceret husdyrproduktion, vurderes det, at N-udvaskningen vil reduceres med forskellen mellem udvaskningen ved gødskning med husdyrgødning og handelsgødning ved opretholdelse af samme planteproduktion. Omkostningerne ved skærpede harmonikrav knytter sig til mulighederne for husdyrproduktion, samt øgede udgifter til håndtering og transport af husdyrgødningen.

4.3.2. Grønne marker

Ifølge nuværende regler skal 65% af den enkelte bedrifts areal være udlagt som grønne marker, dvs. dyrkes med afgrøder, der optager kvælstof om efteråret, f.eks. vintersæd, der sås om efteråret eller roer, der fortsætter væksten længe om efteråret. Arealer med græsmarksafgrø-

der, frøafgrøder og efterafgrøder må tidligst opløjes 20. oktober. Endvidere kan nedmuldning af halm fra korn eller raps på 1,6 ha erstatte 1 ha grønne marker. Udvaskningen fra afgrøder hørende under grønne marker er mangelfuldt belyst, men resultater tyder på, at effekten af kornarterne er mindre end effekten af vinterraps. For afgrøder med lang vækstsæson er rækkefølgen formentlig græs/kløvergræs > roer > majs > kartofler. Der er speciel stor mangel på viden om majs og kartoflers effekt på udvaskningen. For alle afgrøder gælder det, at deres udvaskningsbegrænsende effekt kun er målt direkte i få tilfælde, men er vurderet ud fra kvælstofoptagelse i overjordisk biomasse. Det betyder, at forskelle i fordelingen mellem N i rod og top samt forskelle i roddybde kan medføre, at effekten af en afgrøde over- eller undervurderes i forhold til andre afgrøder.

4.4 Reduktion i husdyrproduktionen

Alene effekter i marken og således ikke ammoniakfordampning fra stald og lager er behandlet. Det antages, at ved en mindre produktion af husdyrgødning vil markerne i stedet blive gødet med handelsgødning. Den gennemsnitlige udnyttelsesprocent for husdyrgødning vurderes at være 68%, og ved overgang fra husdyr- til handelsgødning vil tilførslen af total-N således sænkes med 32%. Det vurderes, at give anledning til en reduceret nitratudvaskning på 10-14 kg N pr. reduceret dyreenhed. Dertil kommer en reduktion i ammoniakemissionen ved udbringning i marken på ca. 9 kg N pr. reduceret dyreenhed. Der er ikke gennemført en økonomisk vurdering af en reduktion af husdyrproduktionen.

Tablet 0. Potentielt omfang og effekter på landsplan af tiltag til forbedret kvælstofudnyttelse i marken vurderet p.b.a. gældende gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMP II. Eventuelle effekter i stald og lager af tiltagene er ikke medregnede. *Det er vigtigt at bemærke, at der ligger en række forudsætninger bag de enkelte værdier, som er beskrevet nærmere i de bagvedliggende afsnit, og at tiltagene ikke alle er additive.*

Tiltag	Areal hvor tiltaget vurderes at kunne implementeres	Reduktion af nitratudvaskning v. gødskning til gældende norm og udnyttelseskrav	Reduktion af Ammoniakemission v. gødskning til gældende norm og udnyttelseskrav	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag (simple overslag)	Tidshorisont for ca 50% implementering
	Ha	tons N/år	tons N/år	Positiv/ Negativ	Mio. Kr/år	År
Placeret handelsgødning	125.000	0-250	0	+	?	2-5
Kantspredning	1.000.000	0	0	+	?	3-5
Ammonium- i stedet for nitratgødning	100.000	600	0	+	0	1-3
Optimeret behovsfastsættelse	1.200.000	720-1.440	0	+	0-12	2-5
Positionsbestemt plantedyrkning	500.000	0-1.500	0	+	125	10-15
Nedfældning af gylle	100.000	-600-0	0-2.000	+	11-18	3-5
Biogasbehandling af gylle	100.000	0	<0 - 0	+	0	3-5
Separering af gylle	30.000	0	0	0	1,8-7,2	5-10

Tabel 0. Fortsat

Tiltag	Areal hvor tiltaget vurderes at kunne implementeres	Reduktion af nitratudvaskning v. gødskning til gældende norm og udnyttelseskrav	Reduktion af Ammoniak-emission v. gødskning til gældende norm og udnyttelseskrav	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag (simple overslag)	Tidshorisont for ca 50% implementering
	Ha	tons N/år	tons N/år	Positiv/ Negativ	Mio. Kr/år	År
Forsuring af gylle	450.000	-4.500	4.500	+	338	5-10
Ændret sortsvalg i korn	?	?	?	?	?	?
Tidlig såning af vintersæd	760.000	2.300-3.800	0	+/-	?	3-5
Optimeret plantebeskyttelse	?	?	?	+	?	?
Øget anvendelse af efterafgrøder	185.000	4.600	0	+	17-37	0-1
Efterafgrøder med dyb rodvækst	200.000	450-4.500	0	+	?	0-15
Senere nedmuldning af efterafgrøder	90.000	900	0	+	0	0-1
Optimal placering af efterafgrøder i sædskifte/bedriftstype	105.000	2.100	0	+	?	0-1
Efterafgrøde i majs	50.000	1.300-2.500	0	+	4,5-10	0-1
Efterafgrøde året efter nedpløjning af kløvergræs	40.000	1.000-2.000	0	+	3,6-8	0-1
Bedre afgræsning på kvægbrug	40.000	?	?	+	?	0-7
Forårsplojning af græsmarker	15.000	400-800	0	?	?	0-1
Reduceret jordbearbejdning	400.000	?	?	?	?	?
Forårsplojning forud for vårafgrøder	300.000	3.000-7.500	0	0	0	0-1
Plantebioteknologiske muligheder	?	?	?	?	?	?
Forbedret vandingsstyring	400.000	1.600-2.400	0	+	20-60	3-5
Punktgødskning af pyntegrønt	4.500	20	?	0	?	3-10
Optimeret ukrudtsbekæmpelse i pyntegrønt	21.000	40-100	0	?	?	3-10
Organisk gødning i pyntegrønt	28.000	60-400	?	0	0	3-10
Økologisk mælkeproduktion	200.000	7.200-9.200	0		156	?
Udtagning af landbrugsjord på højbund	81.000	1.600-5.300	0-1.100		44-500	2-4
Udtagning af lavbunds jord	118.000	11.800	?		472	?
Skovrejsning	420.000	22.700	1.300-2.100		>500	50
Flerårige non-food afgrøder	81.000	-1.600-4.900	0-100		+/-81	10-15
Stramning af N-norm med 10 %-point	2.300.000	11.600	850	-	>125	0-1
Øget udnyttelseskrav til husdyrgødning 10 %-point	1.700.000	6.400	520	-	?	0-1
Strammere harmonikrav	?	0	0		?	?
Reduktion i husdyrproduktionen med 10%		2.250-3.400	2050		?	?

?: der er ikke grundlag for kvantificering. Hvor intet er anført er spørgsmålet ikke relevant for tiltaget.

2. Rammebetingelser for kvantificering af effekter

Jens Petersen og Peter Sørensen, Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Kvælstofgruppen er blevet bedt om at vurdere forskellige tiltags effekt på kvælstofudnyttelse, kvælstofstab (ammoniakfordampning og nitratudvaskning) samt afgrødens udbytte og kvalitet. Sådanne vurderinger bygger primært på forsøgsdata fra forsøg gennemført ved Danmarks JordbrugsForskning og Dansk Landbrugsrådgivning. Det er imidlertid yderst sjældent, at alle effekter af et tiltag kan belyses med data fra samme forsøg. De enkelte forsøg har haft forskellige formål med henblik på at belyse specifikke problemstillinger, hvorved kun parametre, der har været relevant for problemstillingen er bestemt. Det betyder, at den stillede opgave nødvendigvis må belyses på grundlag af datakilder med forskellig tilgang til emnet.

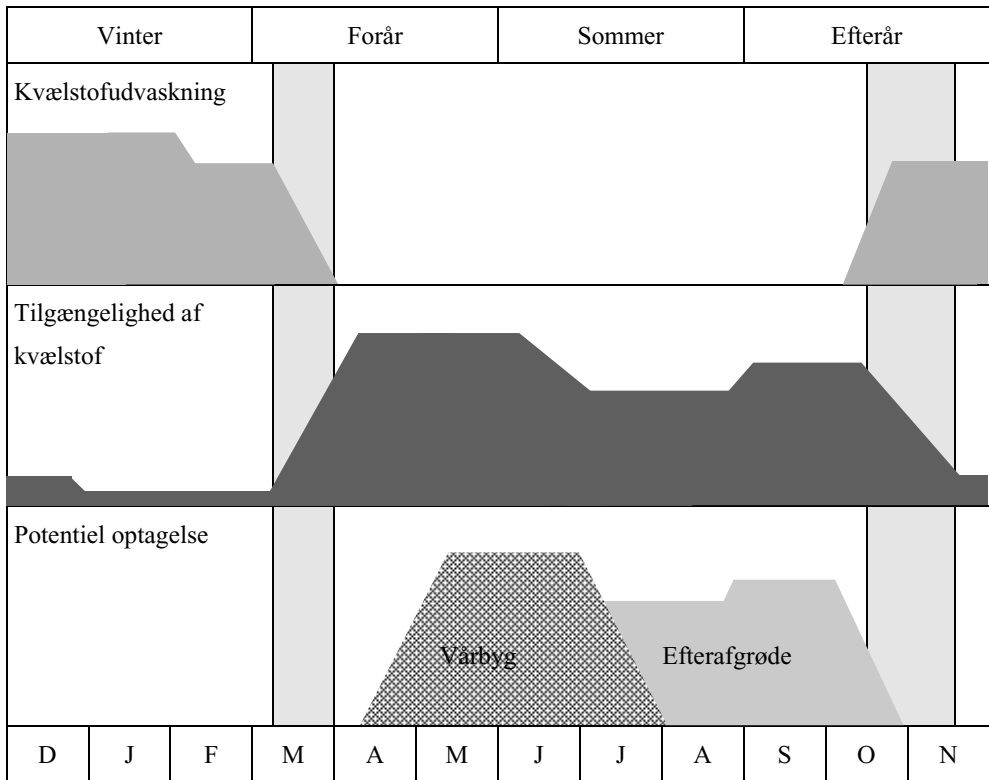
På mange områder savnes der tilstrækkeligt forsøgmæssigt grundlag for belysning af effekten af et tiltag. Derfor gives der indledningsvis nogle generelle betragtninger over, hvorledes et givent tiltag kunne tænkes at påvirke de nævnte parametre. Disse betragtninger giver metoder, der kan anvendes til vurdering af tiltagens effekt i det omfang, der ikke foreligger forsøgsresultater. Metoderne er beskrevet generelt, idet de dækker tiltag vedrørende så forskellige emner som f.eks. handelsgødning, husdyrgødning og efterafgrøder. I øvrigt henvises til Christensen (2004), der giver en sammenfattende oversigt over kvælstofkredsløbet med henblik på at opnå tidsmæssig og rumlig sammenfald mellem tilgængelighed og afgrødens optagelse af mineralisk kvælstof, samt diskuterer dyrkningsprincipper, der kan øge kvælstofudnyttelsen i landbruget.

Den tidsmæssige sammenhæng mellem tilførsel, optagelse og tab af kvælstof er vist i Figur 1. Nedenfor gennemgås parametrene i kronologisk rækkefølge svarende til deres tidsmæssige placering i forhold til gødningsudbringning. De omtalte tiltag kan både have indflydelse på størrelsen og den tidsmæssige udbredelse af processerne, og dermed på bestemmelsen af parametrene.

Som udgangspunkt vurderes tiltagene ved uændret N-tilførsel, men det er ikke muligt at opretholde denne antagelse for alle tiltag, specielt i forbindelse med tiltag der påvirker sammensætningen af husdyrgødningen. I disse tilfælde kan der være tale om, at effekten af tiltaget udmøntes i enten en uændret miljøbelastning eller øget tilførsel af plantetilgængeligt N afhængig af, om der ved gødskningen kompenseres for den ændrede sammensætning af husdyrgødningen eller ej.

Ved vurdering af i hvilket omfang et givent tiltag kan implementeres, er der i stor udstrækning foretaget skøn af arealernes størrelse. Gængse opgørelser over arealer med afgrøder og jordtyper, samt antallet af forskellige bedriftstyper kan ikke umiddelbart benyttes, idet detalje-

ringsgraden ikke er tilstrækkelig. Til brug for dette arbejde har vi savnet statistiske opgørelser, hvor afgrøde, jordtype og bedriftstype er kombineret.



Figur 1. Skematisk illustration af kvælstofudvaskning, tilgængelighed af mineralsk kvælstof (tilført og mineraliseret) og potentielt planteoptag for en 'normal' sæson under Nordvesteuropæiske forhold. Som eksempel på en afgrøde er her vist vårbyg med udlæg. De lodrette grå zoner indikerer perioder, der er følsomme overfor forøget kvælstofudvaskning, idet der ikke er plantedække til at optage det i jorden forekomne mineralske kvælstof. Efter Christensen (2004).

Ammoniakfordampning

Tab af ammoniak sker fra produktion, lagring og transport, samt ved udbringning af gødning. For beskrivelse af ammoniaktab fra produktion og lagring henvises til rapport fra teknologi-gruppen (F-3). I nærværende rapport vurderes tiltagene primært ud fra deres indflydelse på tab af ammoniak fra udbragt gødning, hvor denne henligger eksponeret på jorden. Tab via denne proces sker inden for den første uge efter udbringning, og et tab vil betyde, at der er en mindre N-mængde til rådighed for den efterfølgende planteproduktion. Vurdering af tiltage-

nes effekt på ammoniaktab baserer sig primært på overvejelser af Andersen et al. (1999) og på de seneste emissionsfaktorer angivet i Illerup et al. (2002).

Det samlede N-tab i form af ammoniakemission fra landbruget er estimeret til 80.000 t N (Illerup et al., 2002), hvor ammoniakemission fra husdyrgødning udgør ca. 75%. Den næststørste post er emission fra afgrøderne som udgør ca. 13% af den samlede ammoniakemission fra landbruget (Illerup et al., 2002). Schjørring & Mattsson (2001) fandt en netto ammoniakemission på 1-5 kg N/ha, men ingen systematiske forskelle i emissionen fra hvede, byg og raps. Således forventes afgrødevalget ikke at have indflydelse på den samlede ammoniakemission.

Definition af kvælstofudnyttelse

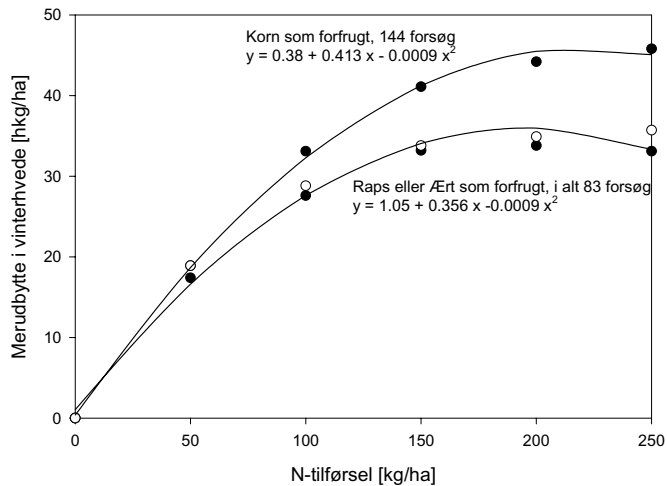
Udnyttelse af kvælstof kan defineres på forskellige måder afhængigt af hvilket delsystem, der betragtes. I det efterfølgende defineres *N-udnyttelsen* som afgrødens totale optagelse af kvælstof, svarende til den mængde kvælstof, der bortføres fra marken med afgrøderne, hvilket for kornafgrøder betyder, at N-optagelse i halmen er inkluderet. Denne definition gør N-udnyttelsen uafhængig af gødningstype, og kan endvidere også anvendes for vurdering af tiltag som ikke involverer N-tilførsel, f.eks. sortsvalg.

Med henblik på at øge udnyttelse af N i husdyrgødning er der indført krav om, hvilken værdi landmanden skal tillægge N i husdyrgødningen. Dette krav kaldes *udnyttelsesprocent*, og er det lovmæssige krav om, hvor stor en del af kvælstoffet i husdyrgødningen, der skal medregnes i gødningsregnskabet. Vi finder det nødvendigt her at gøre opmærksom på, at udnyttelsesprocent ikke må forveksles med kvælstofudnyttelse. Forskellen mellem de to begreber fremgår bl.a. af afsnittet om *Gødningsnormer, krav til udnyttelse af N i husdyrgødning og harmonikrav*, hvor der foretages en vurdering af, hvorledes kvælstofudnyttelsen ændres ved en ændring i kravet til udnyttelsesprocent. For en nærmere diskussion af begreber vedrørende værdien af N, primært i husdyrgødning, henvises til Petersen (1996).

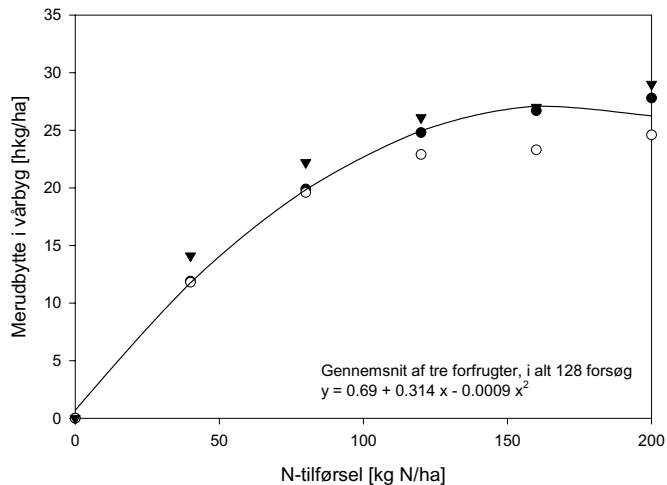
For et givet tiltag opgøres en *ændring i N-udnyttelsen* som differens mellem N bortført med afgrøden ved et tiltag minus N bortført ved dagens praksis, hvor dagens praksis er efter fuld implementering af VMPII. Herved opnås et ensartet sammenligningsgrundlag for de omtalte tiltag.

Standardfunktioner for udbytte og kvælstofoptagelse

Der findes ikke i alle tilfælde forsøgsresultater, der kan belyse tiltagenes effekt på udbytte og kvalitet. Selvom der ved tiltag forudsættes uændret N-tilførsel kan nogle tiltag have indflydelse på hvor stor en del af det tilførte N, der er plantetilgængeligt. Dette kan *opfattes* som en ændring i N-tilførslen, som via udbyttefunktioner (Figur 2 og 3) kan omsættes til effekt på udbyttet. Hertil anvendes gennemsnitsfunktioner baseret på et stort antal udbytteforsøg i vårbyg og vinterhvede udført ved Dansk Landbrugsrådgivning i perioden 1993-2002 (Knudsen & Østergaard, 2002). Denne fremgangsmåde er valgt vel vidende, at der er tale om en gennemsnitsbetragtning, men det har den fordel, at effekten af tiltagene vurderes på samme måde.



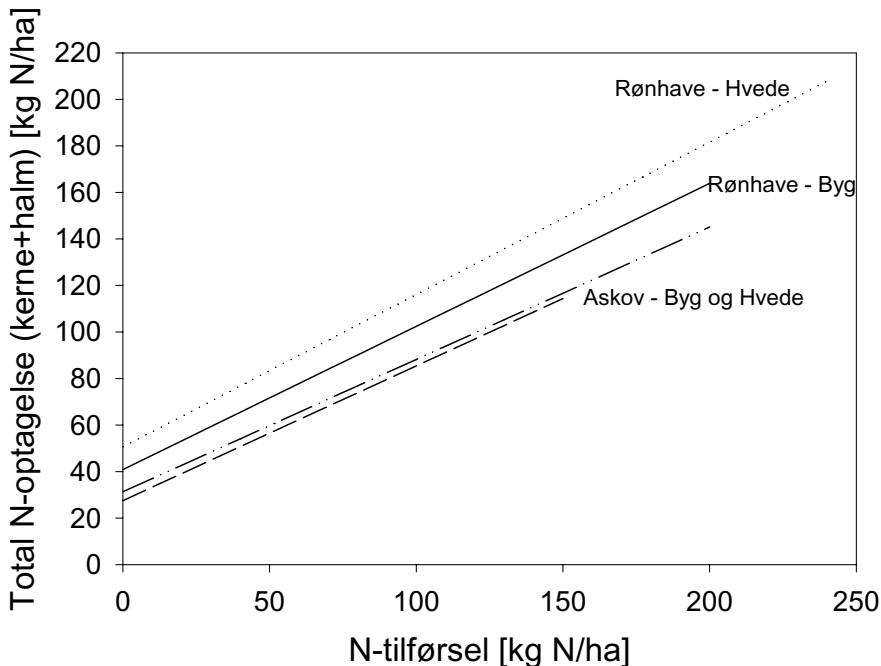
Figur 2. Udbyttefunktion for vinterhvede til vurdering af udbytteeffekten af tiltag, der kan opfattes som en ændring i N-tilførslen. Efter Knudsen & Østergaard (2002).



Figur 3. Udbyttefunktion for vårbyg til vurdering af udbytteeffekten af tiltag, der kan opfattes som en ændring i N-tilførslen. Efter Knudsen & Østergaard (2002).

Man kan diskutere, om anvendelsen af resultater fra etårige gødningsforsøg er dækkende i forhold til permanente ændringer i gødningstilførslen, som f.eks. ved sænkning af N-normen. Der findes dog kun meget sparsom viden herom, idet det kræver et forsøgsdesign, som kan adskille den langvarige fra den enårige effekt under i øvrigt ens betingelser med hensyn til

klima, jord m.v. Der findes stort set kun et forsøg, som kan besvare spørgsmålet, nemlig et forsøg gennemført i korn på Rønhave Forsøgsstation (Thomsen et al., 2003). Petersen (2004) fandt ved yderligere analyse af resultaterne i 4 afgrøder i 2 år en effekt af ”historisk” N-tilførsel på mellem 0 og 0,05 hkg kerne/ha pr. kg N/ha/år tilført i de tidligere 30 år. Kun i et tilfælde var effekten statistisk signifikant. Da forsøget ikke siger noget om effekten på andre jordtyper og under andre klimaregimer end på Rønhave, konkluderes det, at der ikke kan siges noget generelt om en evt. langtidseffekt af ændret N-niveau (Petersen, 2004).



Figur 4. Sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og kvælstofoptagelse i vårbyg og vinterhvede i to langvarige gødningsforsøg. Bag hver regression ligger 4-5 niveauer af kvælstoftilførsel jf. beregninger foretaget af Petersen & Djurhuus (2004). Forsøget på Rønhave er nærmere beskrevet af Thomsen et al. (2003), mens Askov forsøget er beskrevet af Christensen et al. (1994).

I modsætning til udbyttet stiger afgrødens totale kvælstofoptagelse fortsat ved tilførsel af kvælstof ud over det økonomiske optimale (Figur 4). Petersen & Djurhuus (2004) har gennemgået en række forsøg, både en-årige og langvarige, med stigende tilførsel af N i handelsgødning. For de langvarige forsøg fandtes, at sammenhængen typisk var lineær, og at en ændring i N-tilførslen på 10 kg N/ha i gennemsnit afspejlede sig i en ændring i afgrødens optagelse med 6 kg N/ha. For de en-årige forsøg kunne sammenhængen i enkelte tilfælde beskrives bedre ved en kvadratisk funktion end ved en lineær funktion, og optagelsen var omkring 5 kg N/ha pr. tilført 10 kg N/ha. Den kvantitative forskel mellem langvarige og en-årige forsøg kan imidlertid ikke fortolkes kvalitativt, idet de er baseret på populationer af respons-

funktioner, som er karakteristiske for de forhold, hvorunder forsøgene er udført. Forskellen kan således have flere årsager, og ikke alene hvorvidt der er tale om énarige eller langvarige forsøg. På trods af dette er der en generel trend i afgrødens kvælstofoptagelse som funktion af kvælstoftilførslen, og estimaterne kan således betragtes som et udtryk for variationsbredden (Petersen & Djurhuus, 2004).

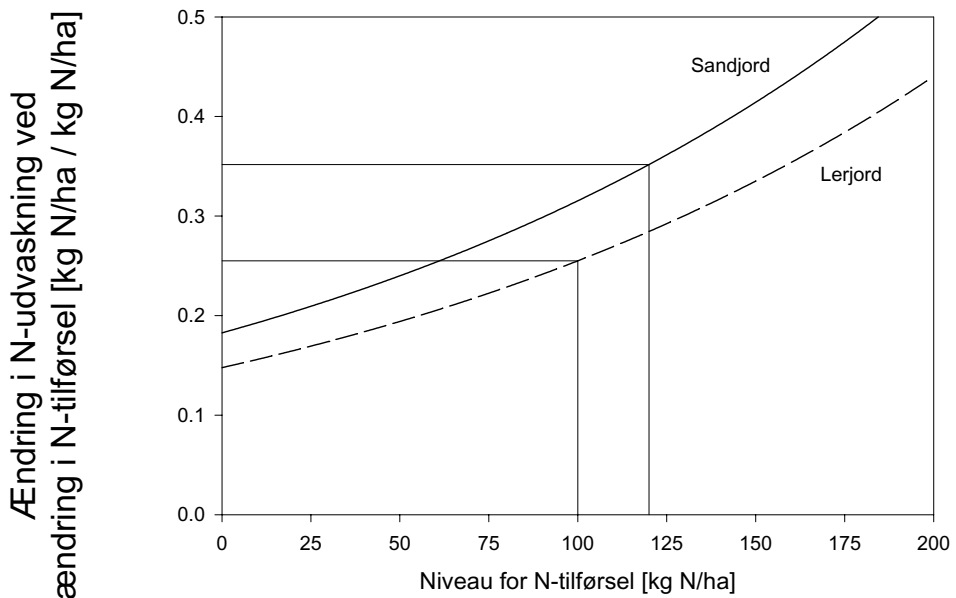
Kvalitetsparametre for den indhøstede vare afhænger af afgrøde og formål. Kvalitetsparametre afhænger ofte af den tilførte N-mængde, men også af andre faktorer, primært vejret i dyrkningssæsonen. Den typiske kvalitetsparameter er protein-koncentrationen i kernen, men da proteinindholdet afhænger af forholdet mellem N-optagelse og udbytte, er det vanskeligt at angive, hvorledes denne kvalitetsparameter påvirkes ved et givent tiltag, og omtales derfor kun hvor der foreligger forsøgsresultater.

N-udvaskning

Med udgangspunkt i de reviderede forudsætninger for beregning af kvælstofudvaskningen, forventes udvaskningen på landsplan ved fuld implementering af VMP II at være 172.000 tons N pr år (Fælles notat fra DMU/DJF 2002: "Effekten af virkemidler i Vandmiljøplan I og II set i relation til en ny vurdering af kvælstofudvaskningen i midten af 1980'erne"). Med et forventet dyrket areal på 2,6 mio. ha i 2003, svarer det til en gennemsnitlig udvaskning på 66 kg N/ha (ved slutevalueringen af VMP II i december 2003 beregnedes en gennemsnitlig udvaskning ved fuldt implementeret VMP II på 61 kg N/ha – denne værdi er ikke benyttet i nærværende rapport). Denne udvaskning skal ses i relation til et totalt N-indhold i pløjelaget på 2-6 t/ha (Heidmann et al., 2001).

Selvom der i denne rapport som udgangspunkt antages, at et tiltag ikke medfører ændringer i N-tilførslen, vil nogle tiltag have indflydelse på fordelingen mellem plantetilængeligt (uorganisk) N og organisk N. Fordelingen mellem disse to fraktioner har betydning for første års virkningen på afgrøden. Ved den efterfølgende mineralisering af organisk N synes der ikke at være forskel på, om kvælstoffet oprindeligt blev tilført i uorganisk eller organisk form, idet lige store andele af det tilførte N blev udvasket efter tilførsel af handelsgødning og gylle (Thomsen et al., 1997). Mindre end 5% af det tilførte N blev udvasket i den efterfølgende udvaskningssæson (Thomsen et al., 1997; Kjellerup & Kofoed, 1983). For normale gødskningsniveauer er der således ingen direkte årsagssammenhæng mellem den kilde til N-tilførsel, der benyttes, og N-udvaskning, hvorimod N-udvaskningen øges ved stigende N-tilførsel (Hansen et al. 1996; Simmelsgaard et al, 2000). Det er altså primært mængden af tilført total-N, der har betydning for N-udvaskningen, mens gødningstypen er af mindre betydning. Da ikke al N i husdyrgødning er plantetilængeligt, betyder det, at der tilføres mere total-N sammenlignet med handelsgødning for at opnå et givent udbytte. Derfor er N-udvaskningen normalt større efter tilførsel af husdyrgødning end efter tilførsel af samme mængde plantetilængeligt N i handelsgødning (Thomsen et al., 1993).

I tilfælde af mangel på data for N-udvaskning vurderes effekten af et tiltag, der medfører ændringer i N-tilførslen, på følgende grundlag: For handelsgødning finder Petersen & Djurhuus (2004) ved balancebetragtninger, at ved en ændring på 1 kg N/ha i handelsgødningstilførslen vil N-udvaskningen ændre sig med 0,25-0,35 kg N/ha afhængig af afgrøde, jordtype og gødskningsniveau (Figur 5). Da det udvaskede N især hidrører fra mineralisering af jordens N-puljer, og tilførsel af N i husdyrgødning og handelsgødning medfører samme mineralisering af jord-N, antages det, at N-udvaskningen ved ændringer i tilførsel af N i husdyrgødning ændres med samme andel som for N i handelsgødning. Såfremt et tiltag har indflydelse på den tilførte N-mængde, og i de tilfælde hvor der ikke haves konkrete forsøgsresultater, estimeres derfor en ændring i N-udvaskningen svarende til 0,3 kg N/ha pr. kg total-N/ha tilførslen ændres.



Figur 5. Effekten af en ændring i N-tilførslen til vårbyg (med korn som forfrugt) på ændringen i N-udvaskningen afhænger af N-tilførslen, svarende til, at hældningen på N-udvaskningskurven ikke er konstant, men afhænger af gødskningsniveauet. Efter Petersen & Djurhuus (2004).

Ved tilsvarende beregninger forud for VMPII anvendtes en faktor på 0,25, idet størrelsen af udvaskningen kunne estimeres som ca. 25% af det tilførte N (Iversen et al., 1998), mens der ved genberegning af VMPI og VMPII angives, at udvaskningen reduceres med 27-34% af reduktionen i forbruget af handelsgødning (Grant, 2002). Ved slutevalueringen af VMP II i december 2003 anvendtes faktoren 0,33 (Grant & Waagepetersen, 2003). Den her benyttede faktor på 0,3 er således ikke væsentlig forskellig fra de tidligere anvendte faktorer.

Ved gennemgangen af tiltagene forudsættes en uændret mængde af kvælstof i husdyrgødning til rådighed for planteproduktionen. Nogle tiltag vil imidlertid medføre en ændret fordeling af husdyrgødningen, som alene vil have betydning for N-udvaskningen fra den enkelte mark, mens den samlede N-udvaskning ikke vil påvirkes heraf. Tiltagernes effekt på den samlede N-udvaskning beregnes i hovedtræk derfor på grundlag af de ændringer i handelsgødningsforbruget, som ændringer i håndteringen af husdyrgødningen vil afføde. Herved vurderes tiltagernes effekt på samme grundlag og kan derfor sammenlignes. En undtagelse herfra er tiltaget vedrørende reduktion i husdyrproduktionen (afsnit 4.4), hvor der foretages en vurdering af, hvorledes N-udvaskningen på landsplan påvirkes ved udbringning af en mindre mængde husdyrgødning. I denne sammenhæng er der benyttet en større udvaskningsfaktor (0,35) for N i husdyrgødning end den ovenfor nævnte generelle udvaskningsfaktor på 0,3. Der henvises til afsnit 4.4. for en nærmere beskrivelse.

Hvorvidt potentialet for udvaskning udløses afhænger af tilfældige klimatiske faktorer, hvor nedbøren i vinterhalvåret har langt den største betydning (Simmelsgaard et al., 2000). Tiden fra høst og frem til næste forår udgør således en periode (vindue) med risiko for N-udvaskning. Valg af dyrkningstiltag har indflydelse på størrelsen af risikovinduet, mens tidspunktet for dyrkningstiltag har indflydelse på, hvor længe risikovinduet står åbent. Risikovinduets størrelse og åbning afhænger ikke alene af dyrkningstiltag men også af jordtype og jordtemperatur. På lerjorder med høj markkapacitet skal der, i forhold til sandjorder, en større nedbørsmængde til, før jorden mættes og nedvaskning begynder. Jordtemperaturen har ved passende jordfugtighed betydning for, hvor hurtig de mikrobiologiske processer forløber, og dermed hvor meget N der mineraliseres.

Beregning af udvaskningen på grundlag af faktoren på 0,3 gælder for forårstilført kvælstof. For tiltag, der sigter på at fastholde kvælstof i jord-plante systemet ved at hindre udvaskning af mineralisk kvælstof i efteråret, kan der anlægges en 1:1 betragtning, idet det antages, at det i plantedækket opsamlede kvælstof er beskyttet mod udvaskning. Såfremt effekten af et tiltag på N-udvaskningen ikke er bestemt ved målinger, er 1:1 betragtningen anvendt for efterafgrøder, eller andre afgrøder etableret efter høst af hovedafgrøden, og hvor der foreligger resultater for N-optagelse i de overjordiske dele. Derudover fastholdes også N i rødderne (Jensen, 1991; Andersen, 1986), men der er betydelig variation mellem arter og endvidere store metodemæssige problemer forbundet med bestemmelse af rodmassen. Denne 1:1 betragtning kan endvidere modificeres af en jordtypeeffekt, idet den udvaskningsbegrænsende effekt ofte vil være mindre på lerjord pga. generel mindre udvaskning på denne jordtype (Hansen et al., 2000). Efter nedpløjning vil det opsamlede N indgå i jordens organiske N-pulje, hvorfra det vil kunne udnyttes af den efterfølgende afgrøde, men også tabes i efterfølgende år, såfremt der ikke iværksættes tiltag til begrænsning af N-udvaskning (Thomsen & Christensen, 1999).

Tiltag, der består i en vedvarende reduktion af tilførslen af organisk stof til jorden, vil reducere jorden organiske N pulje og dermed have en potentiel mulighed for at reducere N-udvaskningen på sigt. Men i andre sammenhænge ønskes et højt organisk stofindhold i landbrugsjorden. Herved opstår der modstridende interesser. Ønsket om både et højt indhold af organisk stof i landbrugsjorden og en lav kvælstofudvaskning kan praktiseres, men det kræver, at driftslederen ofrer lukning af risikovinduet for N-udvaskning stor opmærksomhed. I denne rapport tages der ikke stilling til de forskellige synspunkter vedrørende niveauet af organisk stof i jord, og det vurderes alene, hvorledes tiltag påvirker N-udvaskningen.

Økonomisk vurdering

Kvælstofgruppens medlemmer har ingen ekspertise på økonomi. Økonomiske effekter af de enkelte tiltag er derfor vurderet ved simple driftsøkonomiske overslag eller ved henvisning til økonomiske vurderinger gennemført i anden sammenhæng. Der er således i flere tilfælde henvist til den økonomiske midtvejsevaluering af VMP II (Jacobsen, 2000).

I de fleste tilfælde er vurderet driftsøkonomiske effekter pr. ha. I tabel 0 er samlet omkostning ved implementering af tiltagene på hele det potentielle areal beregnet ved simpel multiplicering af areal og omkostning pr. ha. Der indgår således ikke en vurdering af evt. stigende marginalomkostninger m.m.

De økonomiske vurderinger kan derfor alene benyttes til en foreløbig sammenligning af tiltag og skal følges op af mere detaljerede analyser af udvalgte tiltag i Økonomimodelgruppen under VMP III.

Referencer

- Andersen, A. (1986). Rodvækst i forskellige jordtyper. Tidsskrift for Planteavl Specialserie, Beretning nr. S1827. 90 pp.
- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. & Poulsen, H.D. (1999). Emission af ammoniak fra landbruget – status og kilder. Ammoniakfordampning – redegørelse nr. 1. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks JordbrugsForskning.
- Christensen, B.T. (2004) Tightening the Nitrogen Cycle. In: Schønning, P., Elmholt, S. & Christensen, B.T. (eds.) *Managing Soil Quality – Challenges in Modern Agriculture*, CAB International, Wallingford, UK, 47-67.
- Christensen, B.T., Petersen, J., Kjellerup, V & Trentemøller, U. (1994). The Askov Long-Term Experiments on Animal Manure and Mineral Fertilizers: 1894-1994. Statens Planteavlsforsøg, SP-rapport nr. 43. 85 pp.
- Grant, R. (2002) Genberegning af effekterne af Vandmiljøplan I og II. Danmarks Miljøundersøgelser, November 2002, Notat 15 p.
- Grant, R. & Waagepetersen, J. (2003). Vandmiljøplan II – slutevaluering. Danmarks Miljøundersøgelser, 32 pp.
- Hansen, E.M., Simmelsgaard, S.E. & Djurhuus, J. (1996). Nitratudvaskning ved stigende kvælstofgødskning af sandjord. Statens Planteavlsforsøg, Grøn Viden Landbrug nr 163.
- Hansen, E.M., Kyllingsbæk, A., Thomsen, I.K., Djurhuus, J., Thorup-Kristensen, K. & Jørgensen, V. (2000). Efterafgrøder – Dyrkning, kvælstofoptagelse, kvælstofudvaskning og eftervirkning. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport nr. 37 Markbrug, 50 pp.
- Heidmann, T., Nielsen, J., Olesen, S.E., Christensen, B.T. & Østergaard, H.S. (2001). Ændringer i indhold af kulstof og kvælstof i dyrket jord: Resultater fra Kvadratnettet 1987-1998. DJF-rapport nr. 54 Markbrug, 2001. 73 pp.
- Illerup, J. B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkerne, S., Bruun, H.G. & Fenhann, J., (2002). Projection Models 2010. Danish emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. Neri Technical Report No. 414, 192 pp.
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffmann, C.C. Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D. & Kristensen, V.F. (1998). Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 44 pp.
- Jacobsen, B.H. (2000). Vandmiljøplan II – Økonomisk midtvejsevaluering. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, December 2000. 78 pp.
- Jensen, E.S. (1991). Nitrogen Accumulation and Residual Effects of Nitrogen Catch Crops. *Acta. Agric. Scand.* 41, 333-344.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A.D. (1983). Kvælstofgødskningens indflydelse på udvaskningen af plantenæringsstoffer fra jorden. Lysimeterforsøg med anvendelse af ¹⁵N. Tidsskrift for Planteavl 87, s. 1-22. (Beretning nr. 1631).
- Knudsen, L. & Østergaard, H.S. (2002). Gødskning og kalkning. I: Pedersen, C.Å.: *Oversigt over Landsforsøgene 2002*. Jysk Centraltrykkeri A/S.

- Petersen, J. (red.) (1996). Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsvforsøg, SP-rapport nr. 11, 160 pp.
- Petersen, J., 2004. Notat om udbyttefunktion ved vedvarende ændring i kvælstoftilførslen. Danmarks JordbrugsForskning, 9 p.
- Petersen, J. & Djurhuus, J. (2004). Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødning, kornrige sædskifter. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Markbrug nr. 102, januar 2004, 61pp.
- Schjørring, J.K. & Mattsson, M. (2001). Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: Measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea. *Plant & Soil* 228, 105-115.
- Simmelsgaard, S.E., Kristensen, K., Andersen, H.E., Grant, R., Jørgensen, J.O. & Østergaard, H.S. (2000). Empirisk model til beregning af kvælstofudvaskning fra rodzonen. DJF-rapport nr. 32 Markbrug. 67 pp.
- Thomsen, I.K., Hansen, J.F., Kjellerup, V. & Christensen, B.T. (1993). Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use and management* 9, 53-58.
- Thomsen, I.K. & Christensen, B.T. (1999). Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. *Soil Use and Management* 15, s. 195-200.
- Thomsen, I.K., Kjellerup, V. & Jensen, B. (1997). Crop uptake and leaching of ¹⁵N applied in ruminant slurry with selectively labelled faeces and urine fractions. *Plant and Soil* 197, 233-239.
- Thomsen, I.K., Djurhuus, J. & Christensen, B.T. (2003). Long continued application of N fertilizer to cereals on sandy loam: grain and straw response to residual N. *Soil Use and Management* 19, 57-64.

3. Diskussion af additivitet og vekselvirkning

Uffe Jørgensen, Jens Petersen og Elly Møller Hansen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

I den efterfølgende gennemgang af tiltag til forbedret N-udnyttelse og reduktion af N-tab beskrives forventede effekter af enkeltstående tiltag i marken. Det er dog vigtigt at bemærke, at i de forsøg som ligger til grund for vurderingerne, har andre dyrkningsfaktorer normalt været uændrede, og vores effektvurderinger er derfor sket (hvor intet andet er nævnt) under forudsætning af 'alt andet lige'. I virkelighedens verden vil det naturligvis ikke være gældende, idet der dels sker en løbende udvikling af jordbrugets teknologianvendelse, dyrkningsmetoder og afgrødesammensætning. Dels er det sandsynligt, at der i VMP III sammenhæng vil blive foreslået en række virkemidler taget i brug samtidigt, som i forskellig grad kan vekselvirke med hinanden. Nogle tiltag er dog umiddelbart additive. Fx vil det være muligt at gennemføre både placering af handelsgødning og en forbedret vandingsstyring på det samme areal.

Ved beskrivelsen af de enkelte tiltag er nogle af de væsentlige vekselvirkninger nævnt. Det er ikke muligt at beskrive alle tænkelige vekselvirkninger, og det vil derfor være vigtigt ved sammensætning af nye virkemidler at vurdere deres mulige vekselvirkninger i de enkelte tilfælde. Den mest detaljerede kvantificering af vekselvirkninger ville kunne ske ved analyse med dynamiske jord-plante-atmosfæremodeller (fx DAISY) gerne koblet med bedriftsbalancer (Farm-N), da der også er vekselvirkninger mellem tiltag i stald og mark. Sådanne analyser vil kunne inkludere andre vekselvirkninger end de mest åbenlyse og muligvis afdække uventede effekter via komplekse samspil. Man kan dog stadig ikke forvente, at alle feedbackmekanismer er indeholdt i modellerne.

Vi har ikke i udarbejdelsen af nærværende rapport haft tidsmæssige ressourcer til at gennemføre modelmæssig analyse af vekselvirkninger mellem tiltag på markniveau. Det skal dog samtidigt bemærkes, at der stadig er betydelige problemer med dynamisk modellering af bl.a. jordens organiske stofindhold (Petersen & Berntsen, 2002), og det vil næppe være forsvarligt p.t. at lægge sådanne detaljerede modelvurderinger af vekselvirkninger mellem enkelttiltag til grund for politiske beslutninger. Men indlagring af N i og mobilisering af N fra jordens organiske N-pulje kan antage meget store værdier (kan være lige så stor som nitratudvaskningen (Heidmann et al., 2001)) og forårsager væsentlige forskelle mellem N-balancen i forskellige afgrøder og mellem traditionel og reduceret jordbearbejdning. Det vil derfor være afgørende vigtigt fremover at sikre en bedre viden om samspillet mellem dyrkningspraksis og ændringer i jordpuljen.

Eksempler på vekselvirkninger

Først skal nævnes, at der kan være betydelige vekselvirkninger mellem tiltag i stald og lager og efterfølgende tiltag i marken. Disse vekselvirkninger er beskrevet detaljeret i rapporten fra Teknologigruppen, og skal kun kort nævnes her: I Danmark har man, uden at reducere til-

væksten af slagtesvin, mindsket udskillelsen af total-N og især af urea ved at tilsætte essentielle aminosyrer til foderet. Modelberegninger viser, at ammoniakfordampningen ved reduceret fordring med N vil blive reduceret mere end forventet alene ud fra reduktionen af total-N. Det skyldes, at ammoniak fordampes fra ammonium der hydrolyseres fra urea, og den relative reduktion af urea-N i gødningen ved reduceret fodring med N er større end reduktionen af total N.

Et andet eksempel er, at låg på en gylletank ikke nødvendigvis mindsker den samlede ammoniakfordampning i hele håndteringskæden for gylle. Sommer og Hutchings (1995) viste med en dynamisk model, at et låg på gyllebeholdere umiddelbart vil begrænse ammoniaktabet og også vil øge tørstofindholdet i gyllen, fordi nedbør ikke opsamles i beholderen. Når gyllen derpå udlægges i marken, vil det højere tørstofindhold mindske infiltrationen og dermed øge ammoniakemissionen i marken. Modelberegningerne viste til gengæld, at nedfældning af gyllen vil sikre, at det øgede ammoniakindhold fra tanken ikke mistes i marken. Der er således en kraftig vekselvirkning mellem ammoniakreduktion i stald og lager og udbringningsmetoden i marken.

En række tiltag til forbedret N-udnyttelse i marken vil via mindskningen af tab (ammoniak eller nitrat) føre til en forbedret N-optagelse i afgrøden og et stigende N-indhold i jordpuljen. Det vil ifølge en 'alt andet lige' betragtning på sigt føre til stigende N-udvaskning fra jordpuljen. Men ved at ændre fx sædskifte eller jordbehandling kan man bevare en øget jordpulje af N. Det vil betyde et øget indhold af humus, der sikrer en forbedret jordkvalitet og bidrager til at lagre kulstof i jorden og reducere atmosfærens CO₂-indhold. Dette illustrerer, at man skal være uhyre varsom med at vurdere enkelte vekselvirkninger under forudsætning om 'alt andet lige', da man risikerer at skabe problemer i forhold til andre højt prioriterede jordbrugs- og miljømæssige indsatsområder.

Et eksempel på et tiltag, der kan øge N-indholdet i jordpuljen, er anvendelse af efterafgrøder. Da det kun er en mindre del af det kvælstof, der tilbageholdes i en efterafgrøde, som bliver optaget i afgrøden de første år efter nedpløjning af efterafgrøden, vil gentagen dyrkning og nedmuldning af efterafgrøder have en langsigtet virkning på jordens indhold af både kulstof og kvælstof (Thomsen, 1995; Hansen et al., 2000). Det øgede kvælstofindhold i jorden vil medføre, at der mineraliseres mere kvælstof end uden gentagen dyrkning af efterafgrøder. For at opnå maksimal effekt af efterafgrøder er det derfor vigtigt så vidt muligt at tilpasse afgrødefølgen (undgå bar jord året efter gode efterafgrøder), således at kvælstof mineraliseret fra efterafgrøder bliver udnyttet og ikke udvasket. Lovgivningsmæssigt har man i VMP II sammenhæng fra år 2003 valgt at reducere gødningsnormen til afgrøder, der følger lovpligtige efterafgrøder, for at reducere risikoen for øget udvaskning.

Ved overgang til pløjefri dyrkning skal man være opmærksom på, at vinterhvede er den afgrøde, der er mest robust overfor pløjefri dyrkning (Anonym), hvorfor det formodentlig i første omgang vil være vinterhvedearealer, hvorpå pløjefri dyrkning praktiseres. Efterafgrøder

er vanskeligere at etablere tilfredsstillende i vintersæd end i vårsæd (Hansen et al., 2000). Etableringen af efterafgrøder ved pløjefri dyrkning er formentlig mindre sikker end ved pløjning, men erfaringer indsamles i igangværende forsøg. Da nedpløjning af efterafgrøden ikke kan foretages ved pløjefri dyrkning er det nødvendigt at herbicidbehandle efterafgrøden inden såning af næste afgrøde. For at få tilstrækkelig effekt af herbicidbehandlingen er det formentlig nødvendigt at udføre behandlingen om efteråret, hvorved N-optagelse i efterafgrøden i det sene efterår eller i milde vintre udelukkes. Det må således forventes, at ved overgang til pløjefri dyrkning vil der ikke umiddelbart samtidigt kunne opnås stor N-effekt med efterafgrøder, og deres anvendelse kan øge herbicidforbruget.

Direkte såede afgrøder kan have behov for mere N-gødning i en overgangsperiode (se afsnittet ”Reduceret jordbearbejdning”). Hvorvidt et øget N-behov ligeledes opstår ved pløjefri dyrkning, som det praktiseres under danske forhold, er ikke undersøgt, men belyses i igangværende forsøg. Hvis der i en periode er et øget behov for N, vil dette have betydning for udbytte og evt. kvalitet – specielt hvis samtidigt gødningsnormerne reduceres. Hvis derimod reduceret jordbearbejdning kombineres med forbedret gødningsudbringning (kantspredning, nedfældning (kan være problematisk på lerede jorder), vil det sandsynligvis kunne bidrage til at opfylde det øgede N-behov.

Udbringningsmetoden for husdyrgødning vekselvirker med gylletype (indhold af ammonium-N, pH og vandindhold). Reduktionen i ammoniakfordampning kan således forventes at være større ved nedfældning af biogasgylle end af ikke-afgasset gylle. Omvendt vil forsurening af gylle reducere effekten af en senere nedfældning, således at effekten af disse to tiltag ikke er additiv.

Ændret anvendelse af arealer såsom udtagning af landbrugsjord, skovrejsning eller økologisk dyrkning ændrer mange dyrkningsfaktorer samtidigt. Der kan dog stadig forventes en effekt af enkelttiltag under visse af de nye dyrkningskoncepter, fx af nedfældning af gylle i økologisk jordbrug og i flerårige non-food afgrøder. Men pga. det lavere input-niveau for N i disse systemer og en anderledes afgrødestruktur, vil der ikke nødvendigvis være samme fordeling på øget N-udnyttelse og -tab af den øgede N-tilførsel til jorden, som i konventionelle systemer.

Ved ændret arealanvendelse er det vigtigt at holde sig for øje, hvilke afledte effekter ændringen måtte have på den øvrige landbrugsdrift. Udtagning af landbrugsjord og skovrejsning vil isoleret betraget reducere ammoniakfordampningen og nitratudvaskningen fra arealet, specielt hvis der fortrænges et areal gødet med husdyrgødning. Men hvis ikke udtagning eller skovrejsning medfører en tilsvarende reduktion i husdyrgødningsproduktionen vil ændringen i arealanvendelse betyde, at andre arealer skal modtage en øget mængde husdyrgødning med øget ammoniakfordampning og nitratudvaskning til følge fra disse. Omplaceringen af husdyrgødning vil dog medføre en reduktion i handelsgødningsanvendelsen.

Vekselvirkninger mellem generelle tiltag (harmoni, N-norm, udnyttelsesgrad)

De tre generelle tiltag vil på den enkelte bedrift betyde, at harmonikravet bestemmer mængden af husdyrgødning, der kan udbringes, mens kravet om udnyttelse af N i husdyrgødning bestemmer hvor meget N, der kan købes ind i handelsgødning til opfyldelse af N-normerne. Der er således et samspil mellem virkningen af de tre generelle tiltag. Dette samspil kan bedst udtrykkes ved uligheder, som er afgørende for, hvilke barrierer der er på den enkelte bedrift, og hvilke adfærdsændringer barriererne eventuelt vil afføde. Tiltagene vil således ikke påvirke på samme måde på forskellige brugstyper.

Kan harmonikravet ikke opfyldes, må der ske tilpasninger i form af øget jordtilliggende (tilkøb eller forpagtning), eksport af næringsstoffer fra bedriften eller reduktion af husdyrproduktionen. Sådanne tilpasninger er ofte forbundet med betydelige økonomiske omkostninger og udgør derfor en væsentlig barriere.

Ved opfyldelse af harmonikravet skal bedriftens summerede N-norm være større end den udbragte mængde N i husdyrgødning multipliceret med kravet om udnyttelse af N i husdyrgødningen. Gælder dette, vil besætningsstørrelsen være bestemmende for tilførsel af husdyrgødning, mens krav til udnyttelse af N i husdyrgødning vil bestemme, hvor meget handelsgødningskvælstof, der er plads til. De økonomiske konsekvenser af skærpede N-normer kan i hovedtræk beskrives ved reduktion i udbytte og kvalitet, mens skærpede krav til udnyttelse af N i husdyrgødningen vil øge udgifterne til håndtering af husdyrgødningen.

Såfremt harmonikravet opfyldes, men bedriftens summerede N-norm er for lille i forhold til mængden af N i husdyrgødning og kravet til udnyttelse, vil N-normen være begrænsende for tilførslen af husdyrgødning. En løsning på dette kan være, at bedriften øger N-normen ved ændring i afgrødevalget. Det kan imidlertid ikke udelukkes, at ændringer i afgrødevalget kan have negativ effekt på N-udvaskning og ammoniakfordampning. Kan bedriftens samlede N-norm ikke øges, vil skærpede N-normer virke på samme måde som en skærpelse af harmonikravet.

Vekselvirkninger mellem generelle tiltag og konkrete enkelt tiltag

En skærpelse af de generelle tiltag vil give incitament til frivillig implementering af konkrete enkelt tiltag, og her vil de økonomiske konsekvenser være afgørende, mens miljøeffekten af tiltaget er af sekundær betydning. Dette betyder, at det er usikkert i hvilket omfang de generelle tiltag vil afføde frivillige tiltag. Derfor skal der her blot nævnes hvilke konkrete tiltag, der kan vekslevirke med de generelle tiltag.

- En skærpelse af N-normerne vil give øget interesse for placering af gødning, kantspredning, valg af gødningstype, optimeret behovsfastsættelse, positionsbestemt planteavl, optimeret plantebeskyttelse og forbedret vandingsstyring.
- En skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning vil forstærke interessen for nedfældning af gylle, biogasbehandling og forsuring af gylle.
- De gældende harmonikrav har allerede medført betydelig interesse for separering af gylle.

Referencer

- Anonym. Praktisk vejledning i Reduceret Jordbearbejdning. Landbrugs-Rådgivning Østjylland I/S, 15 pp.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. og Kristensen, K. (2000a). Nitrate leaching as affected by introduction or discontinuation of cover crop use. *J. Environ. Qual.* 29, 1110-1116.
- Hansen, E.M., Kyllingsbæk, A., Thomsen, I.K., Djurhuus, J., Thorup-Kristensen, K. og Jørgensen, V. (2000). Efterafgrøder. Dyrkning, kvælstofoptagelse, kvælstofudvaskning og eftervirkning. DJF rapport, Markbrug nr. 37.
- Heidmann, T., Nielsen, J., Olesen, S.E., Christensen, B.T. & Østergaard, H.S. (2001). Ændringer i indhold af kulstof og kvælstof i dyrket jord: Resultater fra Kvadratnettet 1987-1998. DJF-rapport nr. 54 Markbrug, 2001. 73 pp.
- Petersen, B.M. & Berntsen, J., (2002). Omsætning i jordpuljen på forskellige driftstyper. I: Kvælstofbalancer op landbrugsbedriften – status og perspektiv. Intern Rapport nr. 157, DJF, 13-24.
- Sommer, S.G. and Hutchings, N. (1995). Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. *Water Air Soil Pollut.*, 85, 237-248.
- Thomsen, I.K. (1995). Catch crop and animal slurry in spring barley grown with straw incorporation. *Acta Agric. Scand. Sect. B* 45, 166-170.

4. Beskrivelse af enkelttiltag

4.1. Driftsmæssige tiltag i eksisterende sædskifter

4.1.1. Optimeret gødningsudnyttelse - Handelsgødning

4.1.1.1. Placeret gødning

Jens Petersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Tiltaget består i at udbringe handelsgødning så den placeres i koncentrerede strenge i jorden i en forudbestemt afstand fra afgrøderækken med henblik på, at gødningen ligger tæt på afgrødens rødder.

Forud for såning af vårsæd nedbringes overfladeudbragt gødning ved nedharvning eller nedpløjning. For handelsgødning, der nedfældes direkte, er det muligt at placere gødningsstrenge i forhold til afgrøderækken ved anvendelse af kombinationssåmaskine til såning af udsæd og gødning i en arbejdsgang.

I vintersæd er det i foråret ikke muligt at indarbejde den overfladeudbragte gødning ved nedharvning, men under visse betingelser kan placering af handelsgødning foretages. Placering i etablerede bredsåede afgrøder anvendes dog ikke i praksis, men med mulighed for edb-baseret genkendelse af afgrøderækker og dermed mulighed for styring af nedfælderskær i forhold til afgrøderækkerne (Søgaard & Olsen, 2003), vil gødningsplacering i etablerede afgrøder være en fremtidig mulighed.

I flere forårssåede rækkeafgrøder med langsom fremspiring, specielt majs, foretages almindeligvis placering af gødning i forbindelse med afgrødeetablering, men ofte er der tale om startgødskning, hvor kun en mindre mængde af det samlede gødningsbehov placeres. Selvom teknologi for gødningsplacering i kartofler og (sukker)roer er kendt, haves der ikke sikre informationer om metodens udbredelse.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Effekten af placering af handelsgødning i forbindelse med såning af vårsæd afhænger meget af klimaforholdene i de første 3-5 uger efter såning. Ved forsommertørke, typisk forårsaget af højtryk over Østersøen, vil placering af gødningen tæt på afgrøderækken i forbindelse med såning øge afgrødens mulighed for at optage kvælstoffet, idet udtørring af den øverste del af pløjelaget vil forsinke og reducere optagelsen af det bredspredte kvælstof. Udbredelsen og varigheden af højtrykket vil have betydning for hvor stor en del af landbrugsarealet, der vil blive påvirket af forsommertørke i det enkelte år.

Selvom afgrøden vil optage en større andel af den tilførte gødning ved placering, vil forskellen i den ikke-optagne mængde være ubetydelig i forhold til mineralisering af jordens organiske pulje efter høst. Derfor forventes placering af gødning ikke at have en målbar effekt på kvælstofudvaskningen. Imidlertid kan effekten forsøges kvantificeret ved at benytte den i afsnittet om Rammebetingelser nævnte faktor for ændring i N-udvaskning på 0,3 kg N/ha pr. tilført kg N/ha. Antages gødningsplacering at øge afgrødens optagelse af gødnings-N med 5 kg N/ha pr. tilført 100 kg N/ha (Petersen, 2001), kan gødningsplacering skønnes til at reducere udvaskningen med <2 kg N/ha. Da afgrøden optager N fra jorden, og der også tabes N fra afgrøden, vil en øget optagelse af gødnings-N ikke nødvendigvis give sig udslag i N-udnyttelsen, jf. definitionen i afsnit 2 om Rammebetingelser. Det vurderes, at N-udnyttelsen maksimalt vil øges med 5 kg N/ha.

Gødningsplacering i vårsæd forventes ikke at påvirke ammoniakfordampningen, idet bredspredt gødning nedharves. I vintersæd vil placering af pilleret gødning reducere ammoniakfordampningen med omkring 2% af den udbragte mængde i forhold til bredspredning. Placering af flydende gødning, der nedfældes omhyggeligt, vil ligeledes reducere ammoniakfordampningen.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

I udbytteforsøg i vårsæd fra 1970'erne i Sverige (Mattsson, 1974) og Danmark (Skriver, 1978) fandtes et merudbytte på gennemsnitlig 2-3 hkg/ha. Denne effekt var sammensat af dels en effekt af den direkte nedfældning (1,6 hkg/ha) og dels en placeringseffekt (1,2 hkg/ha) (Skriver, 1978). I vinterhvede er der i enkelte forsøg også konstateret øget udbytte ved gødningsplacering, men effekten kan dog også skyldes den anvendte gødningstype, idet der i forsøgene muligvis er sket et N-tab i form af ammoniakfordampning fra den overfladeudbragte gødning.

Grundlaget for vurderingen af udbytteeffekten ved nutidens dyrkningspraksis er mangelfuldt. Placering af gødning vil vekselvirke med jordens frugtbarhed således, at udbytteeffekten af gødningsplacering sædvanligvis vil være insignifikant under gunstige betingelser for næringsstofoptagelse, mens gødningsplacering i dyrkningssystemer med begrænsede næringsstofsressourcer eller under generelt ugunstige vækstbetingelser kan være en potentiel indsatsfaktor for opretholdelse af tørstofproduktionen og dermed udbyttenuiveauet (Petersen, 1999). I forhold til slutningen af 1970'erne er nutidens forbrug af kvælstof i handelsgødning reduceret med omkring 40% (Knudsen, 2003). Effekten af gødningsplacering ved dette reducerede N-niveau kendes ikke ved nutidens dyrkningspraksis.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Omkostningerne knytter sig primært til behovet for investering i så- og gødningsudstyr, der er udformet således, at det kun kan anvendes i enten vår- eller vintersæd. I forbindelse med etablering af vårsæd med kombinationssåmaskine, vil så-kapaciteten reduceres men muligvis opvejes af, at marken kun skal overkøres en gang.

Placering af gødning i etablerede afgrøder vil kræve udstyr til rækkegenkendelse, styring og øget energiforbrug pga. nedfældningen i forhold til bredspredning. Dette udstyr skal være udformet til formålet og vil ikke kunne anvendes til andre afgrøder.

Ved en mere sikker og umiddelbar optagelse af det tilførte kvælstof, vil afgrødens vækst øges. 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. Disse forhold betyder, at den økonomiske effekt af gødningsplacering ikke udelukkende kan beregnes på baggrund af høstudbyttet men, at der må anlægges en helhedsbetragtning for dyrkningskonceptet. Tilsvarende bør omkostningerne ved ændret gødningshåndtering inddrages.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Placering af handelsgødning vil kun være relevant på planteavlsbrug uden anvendelse af husdyrgødning, idet husdyrgødningens afsættes før der suppleres med handelsgødning. Rene planteavlsbrug ligger hovedsageligt i Østdanmark og skønnes at dække 650.000 ha, hvoraf hovedparten dyrkes med vintersædsafgrøder. Det skønnes, at arealet med vårsæd i Østdanmark er på omkring 150.000 ha, mens arealet med vintersæd skønnes at udgøre 450.000 ha. Gødningsplacering i vårsæd anvendes i begrænset omfang, og det skønnes at ske på <20% af det ovenfor nævnte vårsædsareal. Dvs. tiltaget skønnes at kunne implementeres på omkring 125.000 ha.

I hovedtræk skønnes det, at det Østdanske vintersædsareal udelukkende gøres med handelsgødning, mens vintersædsarealet i Vestdanmark kun delvist gødes med handelsgødning, hvorved effekten af tiltaget vil være tilsvarende mindre på dette areal. Det Vestdanske vintersædsareal skønnes at være på 300.000 ha. Gødningsplacering i etablerede afgrøder skønnes at kunne praktiseres på 2/3 af vintersædsarealet, henholdsvis 300.000 og 200.000 ha i Øst- og Vestdanmark.

Majs formodes dyrket på husdyrbrug, dvs. på arealer der typisk tilføres husdyrgødning før såning. Derfor vurderes det, at der ikke vil være et potentiale for et tiltag vedr. gødningsplacering i denne afgrøde. For kartofler og roer (primært sukkerroer) er omfanget af gødningsplacering usikkert. I modsætning til majs dyrkes disse afgrøder i højere grad uden anvendelse af husdyrgødning, hvilket kunne gøre et tiltag vedr. gødningsplacering mere relevant for disse afgrøder, men på den anden side udgør disse afgrøder et forholdsvis lille andel af det samlede landbrugsareal.

Tidshorisont for implementering

Implementering af gødningsudstyr skønnes at kunne ske ved løbende udskiftning af eksisterende spredeudstyr, når det er afskrevet.

Barrierer for implementering

Brug af kombinationssåmaskine til placering af gødning i forbindelse med såning af vårsæd på planteavlsbedrifterne vil kræve, at der rådes over andet udstyr til såning og gødskning af vintersæden. Fremgangsmåden vil derfor kun være mulig på bedrifter med et tilstrækkeligt stort areal af vår- og vintersæd til at bære maskinomkostningerne.

Referencer

- Knudsen, T. (2003). Forbruget af handelsgødning i 2001/02. Meddelelse GØ-1/03, Plantedirektoratet.
- 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. 44 pp.
- Petersen, J. (1999). Placering af gødning i kornafgrøder. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Markbrug nr. 11, 64 pp.
- Petersen, J. (2001). Recovery of ¹⁵N-ammonium-¹⁵N-nitrate in spring wheat as affected by placement geometry of the fertilizer band. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61 (3), 215-221.
- Skriver, K. (1978). Gødskning og kalkning. I: Johs. Olesen. Oversigt over forsøg og undersøgelser i Landbo- og Husmandsforeningerne 1977, 100-124.
- Søgaard, H.T. & Olsen, H.J. (2003). Determination of crop rows by image analysis without segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture* 38 (2), 141-158.

Table 1. Effektvurdering af placeret handelsgødning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødskning	Reduktion af nitrat udvaskning v. uændret gødskning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødskning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Placering af gødning	Vårsæd, Østdanmark	125.000	0-5	0-2	0 ²⁾	2-3 hkg/ha	¹⁾	2-5
	Vintersæd, Østdanmark	300.000	³⁾	³⁾	2-3	³⁾	¹⁾	7-10
	Vintersæd, Vestdanmark	200.000	³⁾	³⁾	1-2	³⁾	¹⁾	7-10

¹⁾ Afhænger af investering i udstyr og bedriftens størrelse, og kan derfor ikke vurderes.

²⁾ Nedfældning af bredspredt gødning antages at ske umiddelbart efter udbringning, hvorved ammoniakfordampning hindres. Henligger den bredspredte gødning i mere end 2 dage skal der regnes med et ammoniakfordampningstab på 2-3 kg N/ha.

³⁾ Der haves ikke forsøgs-mæssigt grundlag for vurdering af effekten. Udstyr til gødningsplacering i etablerede afgrøder findes ikke i dag, men det skønnes, at det kan udvikles. Det antages, at effekten er af samme størrelsesorden som for vårsæd, dog forventes effekten på udbyttet at være mindre pga. køreskade.

4.1.1.2. Kantspredning

Jens Petersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

I modsætning til udbringning af husdyrgødning, hvor der i overvejende grad benyttes spredbom (slæbeslangebom eller bom til direkte nedfældning), bliver langt det meste handelsgødning udbragt med centrifugalspredere. Sammenlignet med fuldbreddespredere, der kun spreder gødningen i spredbommens arbejdsbredde, anses centrifugalspredere for at være en enklere maskine med gode sprederegenskaber, såfremt den indstilles korrekt. Imidlertid har denne spredere den ulempe, at den ud fra sit arbejdsprincip spreder gødningen over et areal, som er bredere end den tiltænkte arbejdsbredde, hvorved der ved spredning langs markskel spredes gødning til andre biotoper som hegn, grøfter, vandløb etc. Centrifugalspredere arbejder på overlap ved normalspredning inde i marken, hvilket er medvirkende til, at det totale spredebillede bliver jævnt.

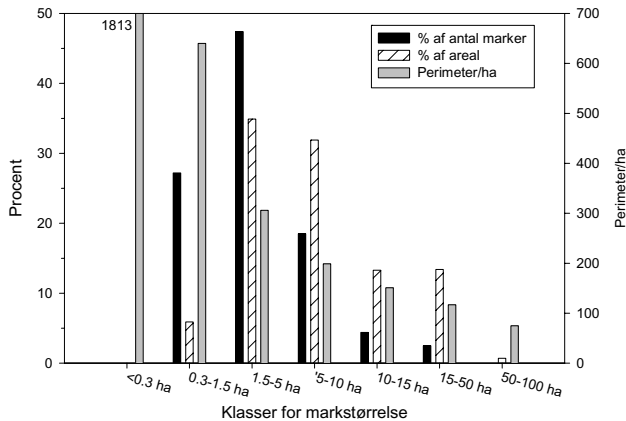
Udbringningsmetode for handelsgødning-N har ikke været reguleret tidligere. Der arbejdes i EU med en europæiske standard for gødningsspredere med krav om, at disse fremover skal være konstrueret således, at spredning af handelsgødning udover markskel kan minimeres ved brug af særligt kantspredningsudstyr (Persson & Skovsgaard, 2002). Tiltaget består i, at begrænse spredning udover markskel og fordele den tildelte mængde indenfor marken, så afgrøden tildeles hele den planlagte gødningsmængde.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Tab af gødning langs markskel er undersøgt af Persson & Skovsgaard (2002). Ved anvendelse af centrifugalspredere til udbringning af pilleret handelsgødning vil der ved gødsning med 100 kg N/ha tabes 2.1 kg N/100 m skel/ha. Til centrifugalspredere er der udviklet særligt kantspredningsudstyr, der skal anvendes langs markskel, hvorved tabet kan reduceres til 0.2 kg N/100 m skel/ha. Udføres spredningen langs markskel med omhu vil det således været muligt at reducere tabet betragtelig, men der kan fortsat ske et betydeligt næringsstofftab, hvis det særlige kantspredningsudstyr ikke anvendes korrekt.

Tabet af gødning udover markskel ved brug af centrifugalspredere afhænger i høj grad af forholdet mellem markens omkreds og markens areal, og er størst på små marker. Antages en kvadratisk mark på 16 ha vil den have 100 m skel/ha. I praksis er de fleste marker mindre og med irregulære former. På baggrund af 57.658 marker på i alt 227.000 ha udtaget i otte områder til *Hektar-støtte kontrollen* i 2001 og 2002 er det beregnet, at der som gennemsnit af alle marker er 365 skelmeter/ha (R. Larsen, pers. komm.), hvilket umiddelbart kan virke højt. Til gennemsnitstallet knyttet der sig en stor variation, og den stærke afhængighed af markstørrelsen fremgår af figur 6. Variationen mellem de otte områder er derimod beskeden og fordelingen mellem markklasser i figur 6 anses for repræsentativ for hele landet. Den gennemsnitlige markstørrelse er på omkring 4 ha, hvilket skyldes, at det store antal små marker vejer tungt.

Vægtes derimod efter arealet i markklasserne vil marker på 5-15 ha udgøre 45% af det samlede areal, og denne markstørrelse anses for dominerende for heltidsbrug. For denne størrelse marker vil der være 2-300 skelmeter/ha, og i beregning af tab ud over skel benyttes derfor 250 skelmeter/ha. Ved en gødningstildeling på eksempelvis 100 kg N/ha, og ingen eller ukorrekt anvendelse af kantspredningsudstyr, vil gennemsnitlig omkring 5 kg N/ha tabes udover markskel, og afgrøden vil undergødes med samme mængde. Ved korrekt anvendelse af kantspredningsudstyr vil tabet kunne reduceres til 0.5 kg/ha.



Figur 6. Fordeling af 227.000 ha svarende til 57.658 marker i 8 områder. Data fra Hektarstøtte kontrollen 2001 og 2002 (R. Larsen, pers. komm.)

Det har ikke umiddelbart været muligt at opdele markerne i forskellige skeltyper i de otte områder fra *Hektarstøtte kontrollen*. I tilfælde af, at skellet mellem to marker kun består af en smal græskant vil effekten af spredning ud over skel på de to marker i et vist omfang blive neutraliseret, afhængig af afgrøder og N-tilførsel til disse. Men jo bredere skel og jo højere og tættere bevoksning, jo mindre betydning må den neutraliserende virkning af nabomarker tillægges, og jo større andel af gødningen spredt ud over skel må anses for tabt. Langs andre typer af større sammenhængende biotoper, f.eks. skov, vil al gødning spredt ud over skel være tabt.

Selvom centrifugalspredere er den mest anvendte spredere til pilleret handelsgødning, så findes der fuldbreddespredere til både pilleret og flydende handelsgødning. I princippet kan disse spredere sprede gødningen helt til skel uden at der spredes gødning ud over skel, dvs. den tildelte N-mængde bliver på marken. Disse sprederes arbejdsprincip betyder imidlertid, at overlap i marken, f.eks. i forbindelse med kiler og foragre, vil blive gødet med dobbelt mængde. Ulempen herved er ikke vurderet, idet overlap-arealet er afhængig af markens form og størrelse, men det vil dog kun udgøre en mindre del af markens samlede areal.

Ved tilførsel af 100 kg N/ha i handelsgødning skønnes tiltaget at øge afgrødens N-optagelse med 2-3 kg N/ha. Derimod skønnes tiltaget ikke at have effekt på ammoniakfordampning. Udvaskningen fra selve marken vil formentlig øges med 1-2 kg N/ha som følge af øget N-tilførsel (Petersen & Djurhuus, 2003). Hvorledes den samlede udvaskning påvirkes vil afhænge af naboarealets karakter, f.eks. vil nogle naboarealer være biotoper med lang vækstsæson (hegn, grøftekanter), mens andre naboarealer vil være ubevoksede (veje, vandløb). Det skønnes imidlertid, at tiltaget vil være neutralt mht. den samlede udvaskning.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Spredning udover markskel reducerer indirekte den tildelte N-kvot. Sikres det, at den udbragte N-mængde er tildelt marken, og kun marken, vil en forøgelse i N-tilførslen på 4-5 kg N/ha svare til omkring 1 hkg/ha kerne, jf. indledende betragtninger i afsnit 2 om Rammebetingelser.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Ved korrekt anvendelse af det særlige kantspredningsudstyr vil spredjævnheden i arealet indenfor markskel dog påvirkes noget i negativ retning, idet fordelingsnøjagtigheden ikke bliver på højde med den, der normalt opnås inde i marken (Persson & Skovsgaard, 2002).

Vedligeholdelse, herunder løbende kontrol med indstillingen, af kantspredningsudstyret vil øge tidsforbruget til udbringning af gødning. Afhængig af mulighederne for til- og frakobling af kantspredningsudstyr kan dette også øge tidsforbruget.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Stort set hele landbrugsarealet gødes med handelsgødning, men i varierende omfang. På plantevlsbrug tilføres hele gødningsmængden som handelsgødning og effekten af tiltaget vil være størst på disse arealer. Anvendelsen af husdyrgødning fortrænger forbruget af handelsgødning, og for nogle husdyrbrug udgør husdyrgødning formodentlig en så stor del, at handelsgødningsforbruget er tæt på nul. På øerne (0.8 mill. ha) var det gennemsnitlige forbrug af handelsgødning 99 kg N/ha, mens det i Jylland (1.9 mill. ha) var 70 kg N/ha, med det laveste forbrug i Vest- og Sydjylland på henholdsvis 65 og 62 kg N/ha (Knudsen, 2003).

Tabes der 5% for hver 100 kg N/ha vil det omregnet til det på landsplan samlede forbrug af N i handelsgødning på 210.000 ton N svare til et tab på 10.500 ton N. Ved korrekt brug af kantspredningsudstyr kan dette reduceres til 1.050 ton N. Der haves ingen opgørelse af hverken udbredelse eller i hvilket omfang kantspredningsudstyr benyttes korrekt. Spredning ud over skel kan endvidere reduceres ved simple forholdsregler, f.eks. undlade at sprede gødning i den yderste omgang eller reducere omdrejningstallet på spredepladen. Et groft skøn (rent gæt) er at spredning af gødning ud over markskel kan reduceres på halvdelen af landbrugsarealet, dvs. omkring 1 mio. ha.

Tidshorisont for implementering

Implementering af gødningsudstyr, der ikke spreder udover markskel, skønnes at kunne ske ved løbende udskiftning af eksisterende spredeudstyr når det er afskrevet. Samtidig er der mulighed for optimering af gødningshåndteringen på bedriften.

Barrierer for implementering

Benyttelse af kantspredningsudstyr på centrifugalspredere kræver justering af centrifugalspredernes spredeplade, spredepladens viger, spredepladens omdrejningshastighed eller anden justering af spredeenheten. På nyere spredere kan tilkobling ske elektronisk/mekanisk fra førerhuset, men ældre udstyr skal tilkobles manuelt på sprederen. En væsentlig forudsætning for at den ønskede reduktion i gødningstabet udover markskel opnås er, at indstillingen af kantspredeudstyret sker korrekt, og Dansk Landbrugsrådgivning anbefaler i en dyrkningsvejledning brug af kantspredningsudstyr (Anonym, 2002). Forefindes kantspredningsudstyr ikke opstiller Dansk Landbrugsrådgivning nogle simple muligheder til afhjælpning af problemet, f.eks. kan spredning af gødning langs skel til skov, hegn og vandløb undlades (Anonym, 2002).

Referencer

- Anonym (2002). Dyrkningsvejledning Anvendelse og udbringning af handelsgødning. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl.
- Knudsen, L. (2002). Dyrkningsvejledning, Anvendelse og udbringning af handelsgødning. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl.
- Knudsen, T. (2003). Forbruget af handelsgødning i 2001/02. Plantedirektoratets Meddelelse GØ-1/03 af 15. januar 2003.
- Larsen, R., Afd. For Jordbrugsproduktion og miljø, DJF. Personlig kommunikation.
- Persson, K. & Skovsgaard, H. (2002). Spredning af gødning langs markskel. Grøn Viden Markbrug nr. 252, Danmarks JordbrugsForskning.

Table 2. Effektvurdering af kantspredning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor til-taget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødskning	Reduktion af nitratudvaskning v. uændret gødskning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødskning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Begrænsning af gødningspredning ud over markskel	Hele DK	1.000.000 ²⁾	2-3 ³⁾	0	0	1 hkg/ha ¹⁾		3-5

¹⁾ Omkostningerne er vanskelige at vurdere, da de består af flere poster af forskellig karakter (tidsforbrug og maskinomkostninger pr. ha, samt tidsforbrug til vedligehold), og endvidere er stærkt afhængig af aktuelle forhold på bedriften.

²⁾ I mangel af konkrete oplysninger vedrørende spredepraksis og forekomst af skeltyper, er der her tale om et groft skøn. Arealet svarer til omkring halvdelen af landbrugsarealet, idet tiltaget ikke vil have effekt hvor der ikke er skel til nabomark, hvor kantspredningsudstyr allerede anvendes, og hvor der tages andre forholdsregler mod spredning ud over skel.

³⁾ Skønnet på grundlag af sammenhæng mellem N-tilførsel og N-optagelse beskrevet indlednings vis i afsnit 2.

4.1.1.3. Ammoniak/Ammonium i stedet for nitratgødning

Jens Petersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Kvælstofudvaskning fra rodzonen forekommer primært i efterårs- og vintermånederne. I enkelte år kan der dog forekomme overskudsnedbør i foråret, hvorved det udbragte kvælstofgødning kan udvaskes. De aktuelle nedbørshændelser er den udløsende faktor, mens den udbragte kvælstofform og længden af perioden fra gødningsudbringning til kvælstoffet optages af afgrøden giver risikoen for forårsudvaskning. Tiltaget består i at vælge en gødning, der reducerer risikoen for kvælstofudvaskning i foråret.

Nitrat følger vandstrømmene mens ammonium bindes til jordens kolloider (ler og organisk stof). Denne binding er dog af midlertidig karakter, idet ammonium i løbet af 2-3 uger omdannes til nitrat. En fremspiret afgrøde vil optage det tilførte kvælstof i løbet af 2-3 uger (Petersen, 2001), men ved gødningsudbringning forud for såning forsinkes kvælstofoptagelsen med yderligere 1-3 uger, afhængig af afgrøde og betingelser for spiring. Dvs. risikovinduet er åbent i 3-6 uger.

Af det samlede forbrug af N i handelsgødning i 2001/02 var de 122.000 tons N som enkeltgødninger og de 88.000 tons N som samgranulerede NPK, NP og NK-gødninger. I langt de fleste gødninger findes N i lige store andele af ammonium og nitrat. Kun nogle få gødninger med lille volumen adskilte sig herfra: Forbruget af kalksalpeter, som er en ren nitratgødning, var 500 tons N, mens forbruget af svovlsur ammoniak og flydende ammoniak var henholdsvis 3.600 og 8.000 tons N. Udover lige dele ammonium og nitrat indeholder flydende gødninger amidkvælstof og forbruget af denne gødningstype var på 10.300 tons N, mens forbruget af urea, der kun indeholder amidkvælstof, var på 500 tons N.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

På grundlag af Kyllingsbæk & Simmelsgaard (1986) vurderes det, at forårsudvaskning vil forekomme ca. hvert 8 år. Udvasningsrisikoen er størst på sandjord med lav markkapacitet, og i egne med relativt store nedbørshændelser, hvilket vil sige Vestdanmark. Da forårsudvaskning er en tilfældig hændelse med lav frekvens, og indvirkningen på afgrøden tidligere kunne kompenseres ved supplerende gødskning, er denne kilde til kvælstoftab ikke ofret megen opmærksomhed. Derfor er datagrundlaget yderst beskedent.

Tiltag, der påvirker mikrobiologiske processer, kan forsinke omdannelsen af ammonium til nitrat, men effekten af sådanne tiltag afhænger i høj grad af de aktuelle forhold, heriblandt jordtemperaturen. Derfor kan der kun anlægges nogle generelle vurderinger af hvorledes tiltagene vil indvirke på risikoen for nitratudvaskning i forbindelse med nedbørshændelser i foråret.

For langsomt spirende afgrøder som majs (95.000 ha), kartofler (37.000 ha), sukkerroer (60.000 ha) og foderroer (10.000 ha) er risikovinduet åbent i omkring 6 uger. Majs, foderroer og delvist kartofler dyrkes ofte på husdyrbrug og disse afgrøder gødes derfor almindeligvis med husdyrgødning, hvorved valg af handelsgødningstype ikke bliver aktuelt. Sukkerroer gødes også i en vis udstrækning med husdyrgødning, og det vurderes, at et tiltag vedrørende valg af handelsgødningstype kun vil være aktuelt for 75% af sukkerroearbejdet (lerjord) og 50% af kartoffelarealet (sandjord).

Eftergødskning i kartofler med 40 kg N/ha anbefales på let sandjord, såfremt der i perioden fra kvælstofgødningens udbringning lige før lægning og frem til ca. 14 dage efter kartoflernes fremspiring falder 80-90 mm nedbør. Ved 100-120 mm nedbør er behovet for eftergødskning ca. 60 kg N/ha. Dvs. op til halvdelen af afgrødens kvælstofbehov kan tabes. I gennemsnit vurderes det, at forårsudvaskning af den tilførte gødning kan give anledning til et tab på 7.5 kg/ha. Da udvaskningsrisikoen er størst på sandjord, vurderes det, at tiltaget kun vil have effekt på 20.000 ha dyrket med kartofler, hvilket svarer til 150 ton N.

Forårsudvaskning kan imidlertid også forekomme i vårsæd, selvom fremspiringsperioden er kortere, hvilket betyder, at risikovinduet kun er på 3-4 uger. Anvendelse af ammonium-N eller amid-N frem for nitrat-N gødning vil lukke omkring halvdelen af vinduet, idet ammonium-N skal nitrificeres før det foreligger som udvaskningsbart nitrat-N. For amid-N skal det endvidere først omdannes enzymatisk til ammonium, men dette bidrager dog ikke til en væsentligt forsinkelse. En større forsinkelse i nitrifikationen opnås ved anvendelse af vandfrit flydende ammoniak, som giver en kraftig lokal pH forøgelse i gødningsstrengen. Det vurderes på grundlag af Højmark & Fogh (1977), at der kan være tale om en forsinkelse på 1-2 uger, som sammen med nitrificeringen betyder, at risikovinduet næsten lukkes. Ved anvendelse af kalkammonsalpeter vurderes det på grundlag af Højmark & Fogh (1977), at halvdelen af den tilførte N-mængde kan udvaskes i forbindelse med forårsnedbør, hvilket svarer til et årligt gennemsnit på omkring 6 kg N/ha. Anvendelse af nitrifikationshæmmere har tidligere været forsøgt i forbindelse med efterårsudbringning af husdyrgødning (Kjellerup, 1991), men der haves ikke danske erfaringer med brug af nitrifikationshæmmere sammen med ammoniumholdige handelsgødninger, men anvendelse vil formentlig kunne begrænse forårsudvaskningen.

Anvendelse af flydende ammoniak forventes ikke at øge ammoniakfordampningen fra den udbragte gødning (Andersen et al., 1999), hvorimod anvendelse af urea kan være forbundet med en forøgelse i ammoniakfordampningen, såfremt denne gødningstype ikke nedbringes.

Røddernes optagelse af ammonium og nitrat forløber vidt forskelligt, men på trods af forskelle i optagelsesprocessen er der i princippet ingen forskel i gødningsvirkningen af de forskellige gødningsformer, såfremt de udbringes på en sådan måde, at rødderne kan optage kvælstof. Observerede forskelle i gødningsvirkningen af forskellige gødningsformer hænger sædvanligvis sammen med andre faktorer, primært udbringningsmetoden. For amid-N gød-

ninger (urea) er direkte nedfældning eller indarbejdning i jorden påkrævet for at hindre tab i form af ammoniakfordampning, dog kan tilstrækkeligt nedbør efter udbringning også modvirke ammoniakfordampningstab. Præference for anvendelse af nitrat eller ammonium gødning kan begrundes med hensyntagen til reaktionstallet, idet gødningernes pH-reaktionen med jorden er forskellig. Langt hovedparten af danske jorde har reaktionstal 5-7, hvor det er uden betydning hvilken kvælstofform, der anvendes.

Forårsudvaskning repræsenterer et tab, hvilket vil reducere N-udnyttelsen. Det vurderes, at tiltag kan modvirke en reduktion i N-udnyttelsen på 3-4 kg N/ha.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Da N i alle handelsgødning er let plantetilgængeligt forventes ingen effekt på udbyttet, dog under forudsætning af, at handelsgødninger hvortil der er knyttet risici for N-tab i form af ammoniakfordampning, er udbragt på sådan en måde, at dette tab ikke forekommer, og under forudsætning af, at forårsudvaskning ikke forekommer.

Petersen & Meincke (1992) fandt i kartofler en reduktion i knoldudbyttet på 0,9 hkg/ha/mm nedbør i de fem første uger efter udbringning. Deling af gødningen med hovedparten ved lægning og resten ved kartoflernes fremspiring betød, at nedbørens udbyttereduktion var lidt mindre, 0,6-0,7 hkg/ha/mm. Ved tildeling af hele gødningsmængden ved kartoflernes fremspiring blev udbyttet fortsat reduceret med stigende nedbør, men kun med 0,4 hkg/ha/mm. Det sene gødskningsstidspunkt havde imidlertid ikke tilfredsstillende gødningsvirkning, og udbyttet var ofte leveret en ved fuld gødsning før lægning.

I de år hvor forårsudvaskning forekommer, vil udvaskning af det udbragte kvælstof svare til reduktionen af gødningsniveauet og medføre reduktion i udbytte og kvalitet. I vårbyg på sandjord gødet med 120 kg N/ha i kalkkammonsalpeter fandt Højmark & Fogh (1977) et merudbytte på 8-16 hkg/ha ved eftergødsning med 40 kg N/ha i et år med kraftig forårsudvaskning. Ved anvendelse af samme N-mængde i flydende ammoniak gav eftergødsning et mindre merudbytte, 2-7 hkg/ha, men samtidig var udbyttet uden eftergødsning 11-19 hkg/ha højere sammenlignet med kalkkammonsalpeter. Også ved 80 kg N/ha var det en klar fordel at anvende flydende ammoniak, idet merudbyttet her var 11-12 hkg/ha. Omregnet til årligt gennemsnit svarer det til ca. 1,6 hkg/ha.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Den begrænsede anvendelse af rene nitrat gødninger skyldes prisen på 12 kr/kg N, mens 1 kg N i ammoniumnitratgødninger og svovlsur ammoniak koster omkring 5 kr. Flydende ammoniak koster omkring 4 kr/kg N, men hertil skal lægges ca. 1 kr for udbringningen, der typisk er en maskinstationsopgave. Indkøbsprisen for gødninger, der kan medvirke til at reducere risikoen for forårsudvaskning, adskiller sig således ikke væsentligt fra den almindelig benyttede kalkkammonsalpeter.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Muligheden for implementering af tiltaget vurderes til at kunne omfatte vårsæd dyrket på sandjord uden husdyrgødning. Arealet med denne kombination anslås til ikke over 100.000 ha.

Tidshorisont for implementering

Såfremt egnet udstyr til håndtering af forskellige gødningsformer er til rådighed indenfor lokalområdet, kan der let skiftes til anvendelse af ammonium og amidgødninger i forbindelse med dyrkning af vårbyg med henblik på at begrænse vinduet med risiko for udvaskning af kvælstof ved store mængder nedbør efter såning. Anvendelse af amid-gødninger kræver omhyggelig indarbejdning i jorden, så der ikke opstår risiko for N-tab ved ammoniakfordampning. Udstyr til nedfældning af flydende ammoniak har i 1970'erne haft en stor udbredelse, men findes nu kun lokalt.

Barrierer for implementering

Anvendelse af flydende ammoniak kræver betydelig logistik i distributionsledet, idet opbevaring og transport skal ske i tanke under tryk. Desuden skal udbringning ske med særligt nedfældningsudstyr.

For at spare omkostninger i forbindelse med gødningsindkøb kan det være en fordel kun at anvende en type handelsgødning på bedriften. Anvendelse af flere gødninger kræver, at der er mulighed for dette på bedriften, men det er næppe en uoverstigelig barriere.

Referencer

- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. & Poulsen, H.D. (1999). Emission af ammoniak fra landbruget – status og kilder. Ammoniakfordampning – redøgørelse nr. 1. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks JordbrugsForskning.
- Fogh, H.Th. (1972). Ændringer i jordens pH og kalkbehov efter anvendelse af kalksalpeter, flydende vandfri ammoniak eller urea.
- Højmark, J.V. & Fogh, H.Th. (1977). Nedvaskning af kvælstof og eftergødskning af byg på sandjord 1977. Statens Planteavlsforsøg, Meddelelse nr. 1382, 2 pp.
- Kjellerup, V. (1991). Tørstofudbytte, kvælstofoptagelse og –udvaskning ved anvendelse af gylle iblandet nitrifikationshæmmere. Tidsskrift for Planteavl beretning S2139.
- Knudsen, T. (2003). Forbruget af handelsgødning i 2001/02. Meddelelse GØ-1/03, Plantedirektoratet.
- Kyllingsbæk, A. & Simmelsgaard, S.E. (1986). Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab på sandjord. Beretning S1853, Tidsskrift for Planteavls Specialserie.
- Petersen, J. (2001). Recovery of ^{15}N -ammonium- ^{15}N -nitrate in spring wheat as affected by placement geometry of the fertilizer band. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61 (3), 215-221.

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

Table 3. Effektvurdering af ammoniumgødsning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødskning	Reduktion af nitratudvaskning v. uændret gødskning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødskning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg /ha	Kr/ha	År
Ammoniak/Ammonium i stedet for nitrat	Vårbyg på sandjord uden husdyrgødning	100.000	3-4	6 ³⁾	0 ²⁾	1.6 hkg/ha ³⁾	0 ¹⁾	1-3

¹⁾ Omkostninger opvejes af besparelse for alternativ.

²⁾ Ved nedbringning af gødning vil ammoniakfordampningen være ubetydelige uanset gødningstype. Foretages der ikke nedbringning kan gødningstyperne svovlsur ammoniak og urea give anledning til et ammoniakfordampningstab på henholdsvis 5 og 15% af den udbragte mængde.

³⁾ Årligt gennemsnit

4.1.1.4. Optimeret behovsfastsættelse

Leif Knudsen, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscenteret

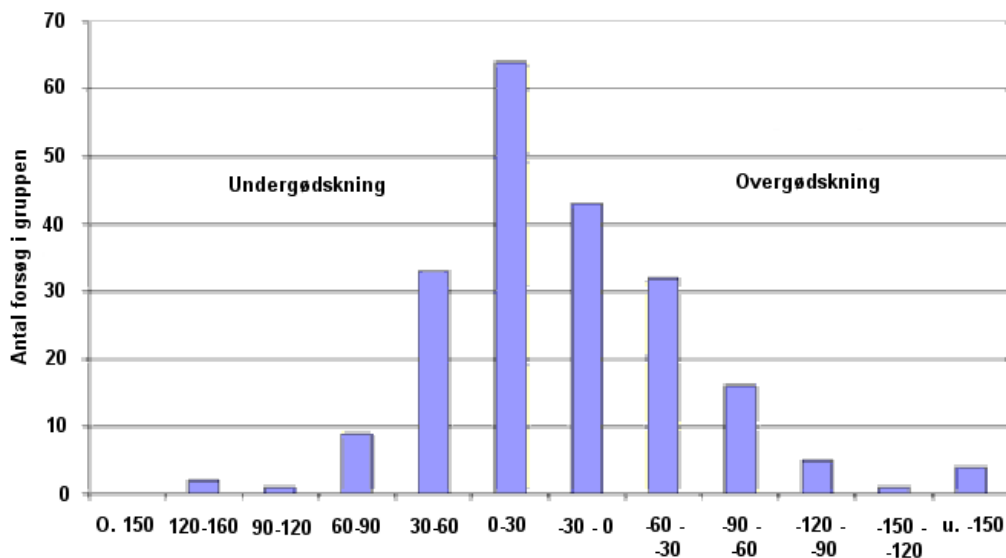
Kvælstofbehovet opfattes her som den økonomisk optimale kvælstofmængde, dvs. den kvælstofmængde, hvor omkostningen til yderligere tilførsel af kvælstof overstiger indtægten. Den optimale kvælstofmængde varierer meget for samme afgrøde mellem forskellige marker. Ved gødningsplanlægningen estimeres markens kvælstofbehov. En overestimering af behovet (overgødskning) medfører en for stor gødningsudgift, i nogle tilfælde for lavt udbytte og en for stor kvælstofudvaskning. En underestimering af kvælstofbehovet (undergødskning) medfører et for lavt udbytte og et lavt proteinindhold. Kvælstofudvaskningen vil ikke reduceres tilsvarende stigningen ved overgødskning.

Fra forsøg i de landøkonomiske foreningers regi er det velkendt, at variationen i kvælstofbehovet for en afgrøde er stor mellem de enkelte marker. F.eks. viste resultatet af 259 forsøg i vinterhvede i perioden 1994-98 et gennemsnitligt kvælstofbehov på 152 kg kvælstof pr. ha med en spredning på 59 kg pr. ha. Tilsvarende viste 118 forsøg i vårbyg et gennemsnitligt behov på 125 kg N pr. ha og en spredning på 45 kg N pr. ha. En del af variationen i kvælstofbehov skyldes den forsøgsræssige usikkerhed ved at beregne den optimale kvælstofmængde i forsøget.

Kvælstofbehovet fastsættes ved gødningsplanlægningen typisk ved modelberegninger med bedriftsløsnings kvælstofmodul. Kvælstofbehovet kan også beregnes ud fra Plantedirektoratets normer med tilhørende korrektioner, der er beregnet af Landskontoret for Planteavl ud fra forsøgene. Både bedriftsløsnings kvælstofmodul og Plantedirektoratets normer kan rimelig godt ramme de målte optima som gennemsnit af mange forsøg, men de kan kun forklare en lille del af variationen mellem forsøgene. Forudsigelsen af kvælstofbehovet kan i mange tilfælde med fordel korrigeres ud fra landmandens/konsulentens detailkendskab til marken. En del af variationen mellem forsøgene kan skyldes variationer i de klimatiske betingelser i vækstsæsonen.

På figur 7 er vist resultatet af 210 forsøg i vinterhvede i perioden 1993-98, hvor der indgik forsøgsled fra 0-250 kg kvælstof pr. ha med intervaller på 50 kg N pr. ha. På figuren er vist fordelingen af forsøg efter afvigelsen mellem det målte optimum og det beregnede optimum efter Plantedirektoratets normer for vinterhvede i år 2000 (uden reduktion). Af figuren fremgår det, at det beregnede optimum for mange af forsøgene afviger betydeligt fra det målte. Det skal her noteres, at i praksis vil de beregnede kvælstofbehov blive korrigeret ud fra landmandens/konsulentens kendskab til marken.

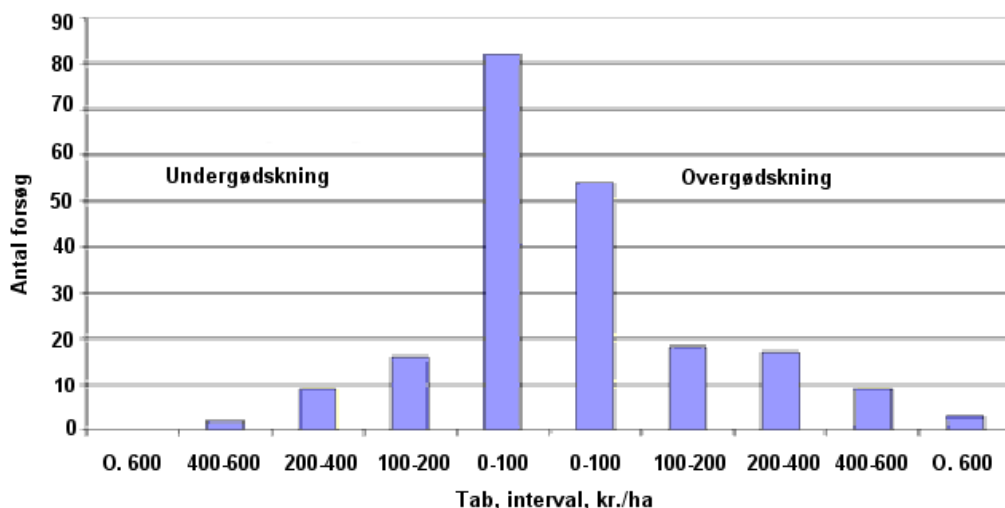
Afvigelse, Opt. - PD-norm, 210 forsøg i vinterhvede 1993-98



Figur 7. Afvigelse fra målt optimum i 210 forsøg i vinterhvede 1993-98 sammenlignet med beregnet kvælstofbehov efter Plantedirektoratets normer for 2000 (uden 10 pct reduktion). Data fra Landskontoret for Planteavl's forsøgsdatabase.

For mange af forsøgene betyder en vis afvigelse fra optimum ikke ret meget økonomisk, fordi nettoudbyttekurven er "flad" et stykke omkring optimum. I figur 8 er vist, hvordan tabet fordeles sig ud fra samme forsøgsgrundlag som i figur 7. De fleste af forsøgene viser, at tabet ved ikke at ramme optimum er under 100 kr. pr. ha. Men resultaterne viser også, at der i 3 tilfælde ved overgødskning er forekommet et tab på over 600 kr. pr. ha. Ser man på de 3 forsøg, skyldes fejlestimeringen efter Plantedirektoratets normer, at der for det ene forsøgs vedkommende er tale om en vinterhvedemark efter korn, hvor afgrøderne før forfrugten i de 2 foregående år var kløvergræs, i det andet forsøg blev der målt et N-min-indhold i rodzonen på 188 kg kvælstof pr. ha om foråret som følge af den nedbørsfattige vinter 1995/96 og som følge af en intensiv tilførsel af husdyrgødning på arealet. I det 3. forsøg var dyrket flerårigt frøgræs før vinterhvede og der forekom udpræget lejesæd i kornet.

Opdeling af forsøg efter tab ved gødskning efter PD-norm, 210 forsøg 1993-98



Figur 8. Opdeling af 210 forsøg i vinterhvede 1993-98 efter tab ved gødskning efter Plantedirektorets normer i forhold til gødskning med optimal kvælstofmængde.

Antages det, at de 210 forsøg er repræsentative for vinterhvede, viser beregningen, at der i gennemsnit kunne tjenes 110 kr. pr. ha, hvis kvælstofbehovet i hver enkelt mark kunne forudsiges helt nøjagtigt. På bedriftsniveau kan den økonomiske konsekvens være meget større. For ejendomme, hvor manglende viden og manglende differentiering ved beregning af ejendommens kvælstofkvote, medfører en systematisk undergødskning, kan tabet som følge af nedsat udbytte og nedsat proteinindhold i den høstede vare blive meget større. Omvendt vil en konsekvent overgødskning på grund af manglende viden også kunne koste betydeligt mere end gennemsnitstallet.

Tilsvarende beregninger af den potentielle gevinst ved præcis forudsigelse af kvælstofbehovet er også gennemført for vårbyg. Resultatet af disse beregninger minder meget om vinterhvede. For andre afgrøder er sammenhængen mellem den nuværende behovsbestemmelse og det reelle kvælstofbehov ikke systematisk undersøgt.

Det må antages, at kvælstofbehovet varierer ligeså meget i andre afgrøder som i vårbyg og vinterhvede.

Som konsekvens af Vandmiljøplan II tildeles hver ejendom en underoptimal kvælstofkvote. Derfor står man i en ny situation, hvor det er aktuelt at undersøge, hvordan kvoten fordeles optimalt mellem de enkelte afgrøder og marker.

Der er forskellige muligheder for at forbedre behovsfastsættelsen på markniveau i forhold til i dag. I det normsæt med tilhørende korrektioner, som er en del af Plantedirektoratets normsæt, har Landskontoret og DJF forsøgt at angive en simpel metode til fastsættelse af behovet. Metoden lider dog under væsentlige mangler af hensyn til kontrollen med gødningsplaner/gødningsregnskaber:

- kvælstofbehovet fastsættes ikke ud fra udbyttepotentialet på den enkelte mark, men ud fra normudbytter
- Den langsigtede dyrkningshistorie inddrages ikke i behovsfastsættelsen
- Landmandens egne erfaringer med den pågældende mark udnyttes ikke

Landskontoret og DJF har vist, at kvælstofbehovet i den enkelte mark afhænger af forfrugten, men også af den markens dyrkningshistorie i en årrække på måske 50 år forud. Ved fastsættelse af kvælstofbehovet til vinterhvede efter vinterhvede er sædskiftet, håndtering af afgrøderester og efterafgrøder samt tilførsel af husdyrgødning i denne årrække afgørende for kvælstofbehovet, mens de lovpligtige normer kun tager hensyn til forfrugt og en generel eftervirkning af husdyrgødning. Kendskabet til den langsigtede eftervirkning udnyttes ved modellering af kvælstofbehovet i EDB-baserede gødningsplaner.

Derudover kan fastsættelse af kvælstofbehovet forbedres ved anvendelse af N-min-analyser og ved anvendelse af optiske sensorer. Det er dog vanskeligt i kornafgrøder at vise, at disse metoder er økonomisk fordelagtige for landmanden. Det har været undersøgt i et projekt i 2000-2002, om mineraliseringsindekser bestemt i jordprøver kan forbedre forudsigelsen af kvælstofbehovet. Det er imidlertid ikke lykkedes at forbedre behovsfastsættelsen.

Miljømæssig effekt af en bedre behovsfastsættelse

Sammenhængen mellem kvælstoftilførsel og kvælstofudvaskning beskrives normalt ved en eksponentiel sammenhæng, hvor marginaludvaskningen pr. kg tilført kvælstof er stigende. Det antages ligeledes, at kvælstofudvaskningen er afhængig af planternes behov. Dvs. tilføres der mere kvælstof end behovet stiger udvaskningen relativt mere, end den falder, hvis der tilføres mindre end afgrødens behov. Dette vil betyde, at hvis kvælstoftilførslen bliver afstemt bedre efter planternes behov, vil udvaskningen ved samme gennemsnitlige kvælstoftilførsel falde. Det er skønnet, at det er muligt i gennemsnit at opnå en udvaskningsreduktion på 0,6-1,2 kg kvælstof pr. ha.

Den samlede nettotilførsel af kvælstof (tilført kvælstof – fraført kvælstof med afgrøden) vil blive reduceret. Reduktionen vil dog ikke blive stor, idet marginaloptagelsen af kvælstof er næsten konstant i et betydeligt interval strækkende fra under afgrødens kvælstofbehov til over kvælstofbehovet. Det er skønnet, at den samlede nettotilførsel af kvælstof kan reduceres med 0,8-1,6 kg kvælstof pr. ha som funktion af, at det samlede udbytte vil stige ved samme kvælstofmængde.

Effekter på udbytte og kvalitet

En analyse af forsøgene (jf. ovenfor) har vist, at en hel præcis behovsfastsættelse vil resultere

i merudbytter på 1,5 hkg pr. ha og en merindtjening på 110 kr. pr. ha. Det er imidlertid ikke realistisk præcist at kunne ramme kvælstofbehovene i den enkelte mark, hvorfor det næppe er realistisk at forvente et merudbytte på mere end 0,5-1,0 hkg pr. ha eller 40 til 80 kr. pr. ha.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Omkostningerne ved en bedre behovsbestemmelse er generelt små så længe vi taler om bedre modelberegninger på grundlag af bedre registreringer mv. Ved øget anvendelse af N-min-analyser og sensormålinger vil omkostningerne øges.

Det er skønnet, at omkostningerne vil blive fra 0-10 kr. pr. ha.

Arealmæssigt omfang af bedre behovsfastsættelse

Langt de fleste analyser på variation i kvælstofbehov er foretaget i korn. Men der er ingen grund til at forvente, at værdien af en præcis behovsfastsættelse er mindre i andre afgrøder. Derfor vil en forbedret behovsfastsættelse omfatte hele landbrugsarealet. En stor del af den bedre behovsfastsættelse er allerede implementeret som funktion af, at der udarbejdes detaljerede gødningsplaner på en stor del af arealet. Omvendt betyder kvoten, at flere landbrug ukritisk bruger kvoten på markniveau til at gøde efter, hvilket kan resultere i en forkert behovsfastsættelse. Det vurderes samlet, at bedre behovsfastsættelse kan implementeres på ca. halvdelen af omdriftsarealet.

Tidshorisont for implementering

Det vurderes, at med en yderligere analyse af kendt viden og en kraftig satsning på udnyttelse i forbedrede gødningsmodeller vil optimeret behovsfastsættelse kunne udnyttes i vidt omfang i løbet af 2-5 år.

Barriere for implementering

Barrieren for fuld implementering er, at landmanden måske ikke er motiveret for at lave de detaljerede registreringer af dyrkningshistorie og tilførsel af husdyrgødning.

Tablet 4. Effektvurdering af forbedret behovsfastsættelse. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitratudvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
	Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	kg N/ha	Hkg/ha	Kr/ha	År
Optimeret behovsfastsættelse	Ca. 1.200.000	0,8-1,6	0,6-1,2	0	0,5-1,0	0-10	0-5

4.1.1.5. Positionsbestemt plantedyrkning

Jørgen Berntsen, Anton Thomsen & Kirsten Schelde, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Positionsbestemt plantedyrkning dækker over en række forskellige metoder og teknologier, så som gradueret kvælstofgødskning, gradueret kalkning og forskellige former for ukrudtsbekæmpelse. I nedenstående vurderes udelukkende effekterne af en graduering med kvælstof. Indenfor denne kategori eksisterer også en række forskellige teknologier og metoder. Fælles for disse er, at de baseres på en antagelse om at kvælstofbehovet indenfor den enkelte mark varierer betydeligt. Afpasses kvælstoftilførslen efter variationen kan der opnås et merudbytte og dermed en forbedret kvælstofudnyttelse. Der eksisterer i dag det tekniske udstyr, der muliggør en graduering af kvælstoftilførslen indenfor marken. Gradueringen kan foretages på grundlag af landmandens/planteavlskonsulentens erfaringer med marken, udbyttekort, EM38 (sensor som estimerer jordens lerindhold) kort og forskellige traktor monterede plantesensorer. Desuden kan kort optaget af fly eller satellitter også bruges som basis for en graduering.

Baseret på disse kort udregnes den aktuelle kvælstof tildeling f.eks. via algoritmer udviklet af DJF og Landskontoret for Planteavl (Berntsen et al. 2002) på basis af målinger af biomasse og/eller EM38-målinger. Omfordelingsmetoden afhænger af hvilket mål landmanden har: størst muligt udbytte, højt proteinindhold eller en ensartet proteinkvalitet. Disse forskellige mål vil sandsynligvis kræve at kvælstof bliver omfordelt på hver sin måde. Nedenstående antager at landmandens primære mål er et højere udbytte.

De beskrevne effekter er primært gældende for plantebedrifter med anvendelse af handelsgødning, da der stort set ikke har været udført forsøg med positionsbestemt plantedyrkning på bedrifter der bruger husdyrgødning. På husdyrbedrifter vil brugen af N-sensorer sandsynligvis kunne øge kvælstofudnyttelsen betydeligt mere end på planteavlsbedrifter. Med en sensor til biomassemålinger vil en estimering af eftervirkningerne af husdyrgødning og græsmarker kunne fastlægges bedre. Herved kan man estimere afgrødens kvælstofbehov betydelige bedre. Det vurderes derfor, at potentialet for at reducere miljøbelastningen på husdyrbedrifter er langt større end på planteavlsbedrifter.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Forsøg ved Danmarks JordbrugsForskning og Landskontoret for Planteavl, hvor der er brugt en række af ovenstående sensorer, har vist, at det er vanskeligt at finde en generel metode som giver et større udbytte (Thomsen et al., 2002). Det forventes dog, at man med de nuværende teknologier indenfor den nærmeste fremtid kan øge udbyttet med 1- 2 hkg pr. ha. Estimatet er noget usikkert, idet mange forsøg ikke har kunnet dokumentere et signifikant større udbytte (f.eks. LR (2001) og LR (2002)). Andre forsøg har dog vist et øget udbytte af ovenstående størrelsesorden (f.eks. Jørgensen og Jørgensen (2001) og LR (1999)). Der vil desuden i frem-

tiden komme nye sensorer og metoder, som sandsynligvis vil øge udbyttet, men tidshorizonten og effekten er vanskelig at forudsige.

Generelt har det ikke været muligt, at påvise et signifikant højere proteinindhold ved brug af præcisionsgødskning (LR, 1999 og 2000). Der findes dog enkelte undersøgelser, som har dokumentere en øget protein procent på 0-0,6% (Planteavlsberetning, 2000). En indirekte effekt af anvendelsen af sensorer til omfordeling af kvælstof i vintersæd er, at tidspunktet for sidste kvælstoftildeling udsættes i forhold til normal praksis. Dette giver i sig selv en stigning i proteinprocenten på ca. 0,5 pct. enhed, som også kan opnås uden anvendelse af en sensor ved blot at udsætte tidspunktet for sidste kvælstoftildeling.

Som noteret ovenfor vil effekten på udbyttet og kvaliteten desuden afhænge af hvilken strategi der bliver valgt. Hvis man bruger en strategi som giver den højeste kvalitet, vil udbyttet kunne blive lavere.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Det forventes at kvælstofudnyttelsen vil kunne øges med op til 3 kg N pr. ha. Dette estimat er belagt med en meget stor usikkerhed, da der som beskrevet ovenfor ikke er tilstrækkeligt mange forsøg, som dokumenterer et signifikant øget udbytte. Som følge af den øgede kvælstofudnyttelse vil nitratudvaskningen reduceres med op til 3 kg N pr. ha. Estimatet er ligeledes meget usikkert. Desuden er der en ikke ubetydelig korrelation mellem udvaskning, kvælstoftildelingen og jordtypen, som heller ikke er belyst. Nitratudvaskningen kan muligvis reduceres yderligere, hvis man kan identificere områder med en dårlig plantebestand og derved undgå overgødskning. I et modelstudie har Børgesen og Heidman (2002) estimeret reduktioner i udvaskning på mellem 3-10 kg-N ved at beregne den optimale kvælstoftildeling for miljøet. En sådan beregning er dog en slags ”best case”, idet den baseres på, at man kender alle faktorer på forhånd - også klimaet.

Der vil ikke være nogen langtidseffekt på hverken kvælstofudnyttelse eller tab ved brug af positionsbestemt gødskning. Man kan muligvis forvente en minimal stigning i ammoniakfordampning fra planter, som konsekvens af en højere kvælstofkoncentration i bladene. Denne effekt vil dog være negligerbar i forhold til ændring i nitratudvaskning.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Omkostningen til implementering af positionsbestemt kvælstoftilførsel afhænger meget af den valgte teknologi. Hvis landmanden selv skal købe alt udstyr er det forbundet med forholdsvis høje etableringsomkostninger. En udbyttmåler kan købes for ca. 25.000, en GPS modtager for ca. 20.000 og udstyr til gødningssprederen ca. 15.000. Omkostningerne pr. ha afhænger meget af arealet. For henholdsvis en bedrift på 100 ha og 500 ha vurderer Pedersen et al. (2002) at udgiften vil variere mellem 494 og 234 kr. pr. ha for N tildeling hvor landmanden har alt udstyr selv. Olesen (2001) estimerer dog en noget lavere omkostning på ca. 135 kr. pr.

ha. for en bedrift med 400 ha. Maskinstationsprisen for graduering af kvælstof med en N-sensor er ca. 65 kr. pr. ha. (Pedersen et al, 2002).

Gevinsten ved en graduering vil ved ovenstående antagelser om et merudbytte være omkring 100-150 kr. pr. ha. (Pedersen et al. (2002) og Olesen (2001)). Hvis der kan dokumenteres en kvalitetsforbedring, vil der muligvis kunne opnås en merpris for dette. Merprisen er estimeret til omkring 100-200 kr. pr. ha. (Pedersen et al. (2002) og Olesen (2001)).

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

I beregningerne af effekten af positionsbestemt dyrkning er antaget, at der kan opnås fuld effekt i forhold til potentialet på i alt 500.000 ha, hvor jordbundsvariationen indenfor marken antages at være stor nok til at give en effekt. Der foreligger dog ingen undersøgelser af, hvilke og hvor store arealer hvorpå positionsbestemt tilførsel af kvælstof med fordel kan praktiseres. Hvis teknologier med flyfoto og/eller satellitmålinger viser sig brugbare, vil ovenstående areal dog kunne øges yderligere.

Tidshorisont for implementering

Der er pt. udstyr og modeller til at implementere positionsbestemt tilførsel af kvælstof. En række marker bliver således allerede gødet efter ovenstående principper. Der forventes dog først en større introduktion hvis der kommer pålidelige forsøgsresultater, som viser et økonomisk udbytte og/eller miljømæssige gevinster ved brug af graderet gødsning.

Barrierer for implementering

Den primære barriere for en generel udbredelse af positionsbestemt gødsning, er de forholdsvist store etableringsomkostninger og at der mangler forsøg, som klart dokumenterer et økonomisk udbytte ved en sådan investering.

Referencer

- Berntsen, J., Thomsen, A., Schelde, K. & Hansen, O.M. (2002). Ny strategi for GPS-gødsning med sensor. *Agrologisk* 3, 26-27.
- Børgesen og Heidmann (2002). Optimisation of nitrogen application rates based on daisy simulated nitrate leaching. NJF seminar no. 336.
- Jørgensen, J.R. & Jørgensen R.N. (2001). Impact on grain quality parameters when nitrogen is sensor applied by the Hydro precise system, Third European Conference on Precision Agriculture, edited by Blackmore S and Grenier G. 929-934.
- LR (1999). Positionsbestemt dyrkning. Oversigt over landsforsøgene 1999, 205-214.
- LR (2000). Positionsbestemt dyrkning. Oversigt over landsforsøgene 2000, 194-204
- LR (2001). Positionsbestemt dyrkning. Oversigt over landsforsøgene 2000, 181-190
- Olesen, S.E. (2001). Notat om positionsbestemt plantedyrkning.
- Pedersen, S.M., Lindgaard, J. & Gylling, M. (2002). Perspektiverne for præcisionsjordbrug. FØI arbejdsrapport nr. 06/02.
- Planteavlserbetning (2000). Storstrømmens Planteavlserbetning, 96-107

Thomsen, A., Berntsen, J., Hansen, O.M. & Hørfarter, R. (2002). Positionsbestemt gødskning. Pedersen, C.Å. (red.). Oversigt over Landsforsøgene. Forsøg og Undersøgelser i de Landøkonomiske Foreninger, 172.

Table 5. Effektvurdering af positionsbestemt gødskning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødskning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødskning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødskning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg /ha	Kr/ha	År
Positionsbestemt gødskning	Variabel jord	500.000***	0-3***	0-3***	-	1-2***	250**	10-15

* Lille usikkerhed på estimat

** Middel usikkerhed på estimat

*** Stor usikkerhed på estimat

4.1.2. Optimeret gødningsudnyttelse - Husdyrgødning

4.1.2.1. Nedfældning af gylle

Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscenteret

Beskrivelse af tiltaget

Ved nedfældning af gylle sikrer tænder eller skær monteret i en bom bag på gyllevognen, at gyllen nedbringes direkte til 4-10 cm dybde og om muligt dækkes med jord. Overordnet set kan gylle nedfældes i tre situationer:

- Nedfældning i græs: Et nedfælderskær (typisk et eller flere rulleskær) skaber en 4-5 cm dyb V-formet rille i jorden. En slange leder gyllen ned i rillen, som derved fyldes med gylle. Rillen lukkes ikke efter tilførslen af gylle, og derfor er gyllen stadig delvist eksponeret mod atmosfæren efter nedfældningen. En ny form for gyllenedfælder anvender et nyt princip. Gyllen spules ved ned i jorden 8-10 atm. tryk. I praksis er der kun få erfaringer med princippet.
- Nedfældning i vintersæd: Udføres efter de samme principper som i græs, men normalt er rillen formentlig lidt dybere på grund af den løsere jord i vintersæden. Gyllen dækkes derfor bedre end ved nedfældning i græs.
- Nedfældning på ubevokset jord: I modsætning til nedfældning i voksende afgrøder, kan man på ubevokset jord nedfælde uden hensyn til at skåne afgrøden. En kraftig harvetand er monteret med en gylleslange bagpå. Gyllen nedfældes til 8-10 cm dybde, og jorden lukkes over gyllestrengen.

I praksis nedfældes kun beskedne mængder gylle i vintersæd. Derimod er det forholdsvist almindeligt at nedfælde gylle både i græs og på ubevokset jord. F.eks. viste en GFK-undersøgelse, at ca. 1/3 af al gylle udbragt på ubevokset jord i Danmark blev nedfældet i foråret 2002, og ca. 21 pct. af al gylle nedfældes (Andersen, 2002).

Effekt på kvælstofudnyttelse og –tab

Ved udbringning med slæbeslanger er henliggetiden på jordoverfladen indtil nedbringning afgørende for ammoniaktabet. Ved (direkte) nedfældning er der ingen henliggetid og udføres nedfældningen omhyggeligt, dvs. den nedfældede gylle dækkes fuldstændigt med jord, er der ingen overflade, hvorfra der kan ske ammoniakfordampning. På ubevokset jord opblandes gyllen ikke i jorden, hvilket reducerer den mikrobielle immobilisering af kvælstof. Den reducerede ammoniakfordampning, og på sort jord den reducerede immobilisering, bevirker ofte en bedre udnyttelse af kvælstoffet i gyllen og et højere udbytte (Sørensen et al., 2003). I voksende afgrøder opvejes dette imidlertid helt eller delvist af en større beskadigelse af rødderne ved nedfældning.

Ammoniakfordampning

Andersen et al., (1999), ansløgte ammoniakfordampningen ved nedfældning til 2 pct. af total-N, hvorimod ammoniakfordampningen ved slangeudlægning blev anslået til 2-25 pct. af total-N afhængig af afgrødedække, årstid mv. Dog anslås 25 pct. fordampning kun for gylle udbragt på ubevokset jord uden efterfølgende nedbringning. En sådan anvendelse sker ikke i praksis, da der er krav om nedbringning inden 6 timer på ubevokset jord.

I praksis vil der være en betydelig variation i ammoniakfordampningen ved nedfældning. På ubevokset jord kan nedfældningen ske så effektivt, at ammoniakfordampningen formentlig er tæt på 0 pct. Modsat kan der være en meget betydelig ammoniakfordampning, hvis nedfældningen i voksende afgrøder ikke er effektiv (rillen for lille og bred) og gyllen dermed efterlades med for stor overflade eksponeret mod atmosfæren. I en undersøgelse af Høy (2000) fandtes, at ammoniakfordampningen kun blev reduceret med 25-50 pct. i forhold til slangeudlægning, når gylle blev nedfældet i græs. Ved slangeudlægning var ammoniakfordampningen ca. 16 pct. af den udbragte ammonium-N.

Kvælstofudvaskning

Selvom afgrøden har mulighed for at optage en større andel af den tilførte gødning ved direkte nedfældning, vil forskellen i den ikke-optagne mængde være ubetydelig i forhold til mineralisering af jordens organiske pulje efter høst. Den reduktion i ammoniakfordampningen, som nedfældning af gylle giver anledning til, vil svare til en øget N-tilførsel. Effekten på N-udvaskningen kan beregnes ved at benytte den i afsnit 3 angivne faktor på 0,3. Herved skønnes det, at gyllenedfældning vil øge N-udvaskningen med 0-6 kg N/ha.

Den negative effekt på N-udvaskningen gælder for en alt andet lige situation. Inddrages den reducerede ammoniakfordampning i gødningsplanlægningen således, at den effektive N-tilførsel er konstant (dvs. den tilførte mængde husdyrgødning reduceres), vil der ikke forventes en effekt på N-udvaskningen.

Denitrifikation

Ved direkte nedfældning af gylle kan der imidlertid opstå iltmangel omkring gyllestrengen, hvilket kan medføre tab af kvælstof ved denitrifikation. Risikoen for denitrifikation er generelt større efter direkte nedfældning, men dette skal afvejes mod mindre risiko for ammoniaktab og mindre kvælstofbinding. Det øgede tab ved denitrifikation efter direkte nedfældning udgjorde 4-5% af total-N i gyllen uanset gylletype.

Reduceret immobilisering på ubevokset jord

Når gylle nedfældes på ubevokset jord placeres gyllen i en relativ velafgrænset streng i jorden. Når gylle slangeudlægges og nedharves opblandes den kraftigt med jorden. Den positive effekt af direkte nedfældning i forhold til nedharvning skyldes hovedsagligt reduceret ammoniaktab samt, at en mindre andel af gyllens kvælstof bindes af jordens mikroorganismer (immobiliseres), når gyllen ikke opblandes i jorden (Sørensen & Amato, 2002). Sørensen et al.

(2003) fandt, at afgrødens N-optagelse blev forøget med 28 kg N/ha ved direkte nedfældning af 100 kg ammonium-N/ha kvæggylle i forhold til bredspredning. Forskellen blev især tilskrevet reduceret ammoniaktab og i mindre omfang en reduceret kvælstofbinding i jorden ved direkte nedfældning. For svinegylle fandtes en ubetydelig forskel i jordens kvælstofbinding ved de to udbringningsmetoder, måske fordi den tyndere svinegylle under alle omstændigheder trækker mere ud i jorden, men afgrødens N-optagelse blev alligevel øget med 13 kg N/ha ved direkte nedfældning af 100 kg ammonium-N/ha på grund af mindre ammoniaktab.

Effekt på høstudbytte og kvalitet

I Landsforsøgene er der gennem tiden udført en lang række forsøg med nedfældning af gylle. I forhold til praksis overvurderer forsøgsresultaterne formentlig den positive effekt af gylle-nedfældning. Det skyldes, at forsøgene er udført således, at forsøgsparcellerne ikke skades ved kørsel med traktor og gyllevogn. Denne metodik vil alt andet lige favorisere nedfældning, fordi køreskaderne i praksis er størst efter nedfældning.

Græs

Ved nedfældning af gylle i 5-8 cm dybde fandtes i gennemsnit en bedre kvælstofudnyttelse efter nedfældning end efter slangeudlægning og især bredspredning (tabel 6). Det udstyr, som i dag anvendes til nedfældning af gylle i græs nedfælder imidlertid kun gyllen til 3-5 cm dybde. Det er derfor uvist, hvordan effekten af moderne udstyr er i forhold til slangeudlægning.

Tabel 6. Udbytte af kvælstof og foderenheder pr. ha. ved høst af 2. og 3. slæt efter udbringning af 50 kg N i kas eller 50 kg NH₄-N i kvæggylle til slætgræs. Alle forsøgsled blev tilført 50 kg N pr. ha i KAS efter 1. slæt. (Oversigt over Landsforsøgene, 1991 og 1993)

	Udbytte for 2. + 3. slæt	
	Kg N pr. ha	FE pr. ha
Grundgødsket	99	3670
50 N i KAS ^{*)}	130	4760
50 kg NH ₄ -N i gylle, bredspredt	123	4350
50 kg NH ₄ -N i gylle, slangeudlagt	127	4600
50 kg NH ₄ -N i gylle, nedfældet	134	4800

^{*)} Kalkammonsalpeter

Vintersæd (vinterhvede)

I 1999-2001 blev der udført i alt 26 forsøg med slangeudlægning og nedfældning af gylle i vinterhvede.

Tabel 7. Kerneudbytte, N udbytte og proteinprocent i vinterhvede tilført gylle i perioden 1999-2001 (Oversigt over Landsforsøgene, 2001).

	Svinegylle, 15 forsøg			Afgasset gylle, 11 forsøg		
	Pct. råprotein i kerne	Udb., kg N i kerne pr. ha	Kerneudbytte, hkg/ha	Pct. råprotein i kerne	Udb., kg N i kerne pr. ha	Kerneudbytte, hkg/ha
Ingen kvælstof	8,9	51	38,1	9,4	60	42,9
150 N i N-25	10,5	112	71,8	10,8	119	74,0
50 N i N-25 + 100 NH ₄ -N, slangeudlagt	10,0	106	70,9	10,5	119	76,0
50 N i N-25 + 100 NH ₄ -N, nedfældet	10,5	111	71,0	10,8	121	75,0

De tre års forsøg med svinegylle og afgasset gylle i vinterhvede viste, at

- i gennemsnit opnås stort set samme udbytte ved slangeudlægning af gylle som for direkte nedfældning
- bedst effekt af nedfældning kan forventes, når potentialet for ammoniakfordampning fra slangeudlagt gylle er højt. F.eks. hvis tørstofindholdet eller pH i gyllen er højt
- proteinprocenten er 0,2 til 0,7 procentenheder højere, når gyllen nedfældes, end når den slangeudlægges. Det har betydning for kornets værdi både ved salg og ved opfodring

Tilsvarende resultater er tidligere fundet med nedfældning af kvæggylle i vinterhvede (Oversigt over Landsforsøgene, 1998).

Ubevokset jord (vårbyg)

I 1999-2001 blev der gennemført i alt 25 forsøg med kvæggylle og afgasset gylle udbragt forud for såning af vårbyg på sandjord. Resultaterne af 22 af forsøgene er vist i tabel 8.

Tabel 8. Kerneudbytte, N udbytte og proteinprocenter i vårbyg tilført gylle på sandjord (JB 1-4) i perioden 1999-2001 (Oversigt over Landsforsøgene, 2001).

	Kvæggylle, 11 forsøg			Afgasset gylle, 11 forsøg		
	Pct. råprotein i kerne	Udb., kg N i kerne pr. ha	Kerneudbytte, hkg/ha	Pct. råprotein i kerne	Udb., kg N i kerne pr. ha	Kerneudbytte, hkg/ha
Ingen kvælstof	9,8	44	33,0	9,9	40	29,4
60 NH ₄ -N, slangeudlagt+nedharvet	10,3	60	42,8	10,1	51	36,7
60 NH ₄ -N, nedfældet	10,7	68	46,9	10,0	55	40,6
60 NH ₄ -N, nedpløjet	10,5	66	45,9	10,2	53	37,9

De tre års forsøg med udbringingsstrategi for kvæggylle og afgasset gylle på sandjord viste, at:

- slangeudlægning efterfulgt af nedharvning af især kvæggylle giver et lavere merudbytte end både nedfældning og nedpløjning af gyllen
- merudbyttet for nedfældning er stort set den samme, uanset om nedfældningen sker før eller efter pløjning (ikke vist i tabellen)
- nedpløjning af gylle giver næsten samme effekt som nedfældning,

- hvis man i en vårbygmark nedfælder 40 ton gylle pr. ha vil den i mange tilfælde være fuldgødsket

Omkostninger og gevinster

Nedfældning af gylle er forbundet med større omkostninger end slangeudlægning. En undersøgelse af Mikkelsen et al. (2001) blandt 52 landmænd viste, at maskinstationers faktureringer i gennemsnit for slangeudlægning havde været 12,50 kr. pr. ton, for sortjordsnedfældning 16,00 kr. pr. ton og for græsmarksnedfældning 18,50 kr. pr. ton. Gyllenedfældning er fortrinsvist en opgave, som varetages af maskinstationer.

Ved en merpris for nedfældning på sort jord på 3,50 kr. pr. ton i forhold til slangeudlægning er ekstraomkostningen ca. 140 kr. pr. ha. Med en kornpris på 80 kr. pr. hkg skal der altså høstet et ekstra udbytte på 1,75 hkg pr. ha for at opnå rentabilitet af nedfældningen. Det har været tilfældet i de fleste vårbygforsøg men ikke i vinterhvedeforsøgene.

En landmands motivation for at vælge nedfældning frem for den billigere slangeudlægning kan dels være et ønske om højere udbytte og kvalitet, men også f.eks. reducerede lugtgener under og efter udbringning. Et ønske om reduceret ammoniakfordampning i nærheden af særlig følsomme naturområder kan ligeledes motivere en nedfældning.

Ved nedfældning på ubevokset jord sparer landmanden normalt en harvning, idet der udføres en ”harvning” i forbindelse med nedfældningen.

Arealmæssig omfang, tidshorisont og barrierer

I 2002 blev ca. 21 pct. af al gylle i Danmark nedfældet, svarende til ca. 200.000 ha. Nedfældning sker fortrinsvis på kvægbrug, hvor ca. 33 pct. af al gylle nedfældes, og kun i mindre omfang på svinebrug (ca. 12 pct.) (Andersen, 2002). I de seneste år er der sket en meget betydelig stigning i nedfældning af gylle på især ubevokset jord, men også i græs. Derimod er nedfældning i vintersæd fortsat beskeden. En yderligere stigningen i anvendelsen af nedfældning kan formentlig forventes, men en række faktorer vil bremse udviklingen. Herunder:

- På grund af dårlig økonomisk resultat, vil udviklingen i vintersæd være beskeden
- Der kan være praktiske problemer forbundet med nedfældning på lerjord, på hældende arealer og på arealer med mange sten
- Udbringningskapaciteten er lavere ved nedfældning
- Arbejdsbredden på nedfældeudstyr er normalt 6-9 meter. Det betyder, at det tunge udstyr skal overkøre en større andel af arealet, med køre- og strukturskader til følge
- Mange landmænd har investeret i eget slangeudstyr og vælger derfor at benytte det frem for eventuel maskinstation med nedfælder
- Nedfældning er fortrinsvist maskinstationsarbejde på grund af de store investeringsomkostninger. Hvis efterspørgslen i et område er begrænset, vil maskinstationen vælge ikke at investere i udstyr

Referencer

- Andersen, J.M. (2002). Udbringningspraksis for husdyrgødning i 2002. GfK-undersøgelse for Landboforeningerne.
- Andersen, J.M.; Sommer, S.G.; Hutchings, H.J.; Kristensen, V.F. & Poulsen, H.D. (1999). Emission af ammoniak fra landbruget – status og kilder. Ammoniakfordampning – redøgørelse nr. 1. Danmarks JordbrugsForskning og Danmarks Miljøundersøgelser.
- Høy, J.J. (1999). Undersøgelse af gyllenedfældere, LBM-nyt nr. 1088. Landbrugets Rådgivningscenter.
- Mikkelsen, M.; Birkmose, T.S.; Sandal, E.; Høy, J.J. & Rasmussen, A.L. (2001). Gyllenedfældning eller slangeudlægning? - eget udstyr eller maskinstation? Rapport fra Landbrugets Rådgivningscenter.
- Oversigt over Landsforsøgene, 1991, 1993, 1998 og 2001
- Sørensen, P. & Amato, M., (2002). Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. European Journal of Agronomy, 16(2), 81-95.
- Sørensen, P.; Vinther, F.P.; Petersen, S.O.; Petersen, J. & Lund, I. (2003). Høj udnyttelse af gyllens kvælstof ved direkte nedfældning. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden, Markbrug nr. 281.

Table 9. Effektivurdering af direkte nedfældning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødskning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødskning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødskning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag	Tidshorisont for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr./ha	Kr./ha	År
Direkte nedfældning	Fortrinnsvis på let jord og flade marker uden sten	100.000 ¹⁾	2-8	+6-0 ²⁾	0-20	0-4 hkg/ha; 0-0,5 %-point protein	105-180 ³⁾	3-5

¹⁾ Areal udover det, hvor tiltaget allerede praktiseres i dag, svarende til 50% forøgelse af arealet i forhold til i dag

²⁾ Beregnet som 30 pct. af den ekstra tilførsel af kvælstof som resultat af den reducerede ammoniakfordampning

³⁾ Beregnet som meromkostningen i forhold til slangeudlægning ved en mængde på 30 ton pr. ha.

4.1.2.2. Biogasbehandling

Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscenteret

Jens Petersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Tørstoffet i husdyrgødning består bl.a. af kulstof. I biogasprocessen omdannes dette kulstof til en blanding af metan (CH₄) og CO₂, hvorimod næringsstofferne lades tilbage i gødningen. Blandingen af metan og CO₂ kaldes biogas. Alle biogASFællesanlæg modtager både husdyrgødning og organisk affald fra industrien. Gødning og affald blandes i anlæggets fortank, inden det opvarmes til 35-52°C og pumpes over i udrådningstanken (reaktoren), hvor selve biogasproduktionen foregår. Energiindholdet i gylle er beskedent og kan ikke forrente et biogasanlæg. Derfor tilsættes almindeligvis energirige organiske affaldsprodukter, f.eks. slagteriaffald (indhold af maver og tarme – affaldet er af ikke-dyrsk oprindelse), fiskeaffald og lignende, som også indeholder kvælstof og andre næringsstoffer. Biomassen opholder sig i reaktoren i 2-3 uger. Da er ca. halvdelen af tørstoffet blevet omdannet til biogas.

Afgasset gylle skal transporteres, opbevares og udbringes på samme måde som gylle, der ikke har været anvendt til biogasproduktion. Alligevel er der nogle afgørende forskelle. I tabel 10 er vist analyseresultater for ubehandlet gylle og for en afgasset blanding bestående af kvæg- og svinegylle og organisk affald.

Tabel 10. Gennemsnitlige analyseresultater af gylle anvendt i Landsforsøg, 1999-2001 (Oversigt over Landsforsøgene, 2001).

	Tørstof, pct.	Total-N, kg/t	NH ₄ -N, kg/t	P, kg/t	K, kg/t	pH	NH ₄ -andel
Svinegylle (28 analyser)	5,0	4,0	2,9	1,1	2,3	7,1	74
Kvæggylle (15 analyser)	7,5	3,9	2,4	0,9	3,5	6,9	61
Afgasset gylle (20 analyser)	4,8	4,4	3,5	1,0	2,3	7,6	81

I forhold til ubehandlet svine- og kvæggylle, er det vigtigt at lægge mærke til, at for afgasset gylle gælder:

- Tørstofindholdet er lavt, og derfor er gyllen mere tyndtflydende
- Indholdet af ammonium (NH₄-N) er højt, og forholdet mellem ammonium og total-N er højt
- pH er ca. 0,5 enhed højere end for ubehandlet gylle

Den teoretiske baggrund for biogasproduktionen og omdannelsen af organisk bundet kvælstof til ammoniumkvælstof er detaljeret behandlet i notatet fra VMPIII-gruppen, teknologi (F3)

”Reduktion af næringsstoffab ved biogasanlæg, primært biogasfællesanlæg” (Gregersen et al., 2003)

Effekt på kvælstofudnyttelse og -tab

Den fysiske og kemiske ændring af gyllen, som sker ved afgang i en biogasreaktor, giver anledning til et ændret potentiale for ammoniakfordampning ved udbringning og et andet potentiale for afgrødernes udnyttelse af kvælstof i gyllen.

Ammoniakfordampning

Gyllens indhold af ammonium står i kemisk ligevægt med ammoniak, som er en flygtig gasart. Denne ligevægt afhænger af pH i gyllen; jo højere pH jo større andel på ammoniakform. For hver enhed pH stiger, stiger andelen af ammoniak 10 gange. På grund af det højere pH i afgasset gylle, er potentialet for tab af ammoniak efter udbringning af afgasset gylle altså alt andet lige væsentligt større end i ubehandlet gylle.

Men alt andet er ikke lige! Nedbrydningen af organisk stof under afgang i en biogasreaktor, gør, at gyllen er forholdsvis tyndtflydende, hvilket får den afgassede gylle til at trænge hurtigere i jorden efter udbringning, hvor den er beskyttet mod ammoniakfordampning.

Det høje pH og den lave viskositet virker altså modsat rettet på ammoniakfordampningen. Hvorvidt den ene virkning ophæver den anden afhænger af jordens porøsitet. I løs jord hvor gyllen let kan trænge ned vil ammoniakfordampningen være lavere, mens pH vil være afgørende for ammoniakfordampningen i jord, hvor gyllen vanskeligt kan trænge ned. I en undersøgelse af Sommer og Christensen (1990), blev der ikke fundet forskel på ammoniakfordampningen 6 døgn efter overfladeudbringning af henholdsvis ubehandlet og afgasset svinegylle.

Kvælstofudvaskning

I forhold til både ubehandlet kvæg- og svinegylle tilføres der ved gødskning almindeligvis mindre organisk N med afgasset gylle, idet en del af det organiske stof er omsat i biogasanlægget. På lang sigt vil tilførsel af en mindre mængde organisk N reducere jordens organiske pulje, hvorved der vil kunne forventes en mindre N-udvaskning i løbet af efteråret, og dermed et mindre potentiale for udvaskning ved tilførsel af afgasset gylle i forhold til ubehandlet gylle.

Sørensen & Birkmose (2002) fandt i et lysimeterforsøg, at der ikke var væsentlig forskel på kvælstofudvaskningen, om man gødskede vårbyg med handelsgødning eller med afgasset gylle. I forsøget blev der anvendt samme mængde uorganisk N i handelsgødning og i afgasset gylle.

Et reelt fald i udvaskningen på ejendomsniveau vil formentlig kræve, at handelsgødningsforbruget på ejendommen reduceres til et lavere niveau, når der anvendes afgasset gylle, end når

der ikke gør. I praksis er dette imidlertid tvivlsomt, idet forbruget af handelsgødning er underlagt underoptimale kvoter. Den bedre udnyttelse af husdyrgødningen i kraft af afgangningen, vil i højere grad blive anvendt til at foretage en optimal gødsning, end til at reducere forbruget af handelsgødning. Derfor skønnes det, at anvendelsen af biogasgylle ikke vil påvirke N-udvaskningen.

Effekt på udbytte og kvalitet

Det høje indhold af ammonium i afgasset gylle kan give anledning til en højere kvælstofudnyttelse sammenlignet med ubehandlet gylle. Sammenligning af de to gylletyper er imidlertid forbundet med visse problemer. Da den afgassede gylle er baseret på et blandingsprodukt, dels af svine- og kvæggylle, og dels tilsat energirigt organisk materiale med henblik på gasproduktion, er det i princippet ikke muligt at udføre forsøg, hvor der sammenlignes med udgangsmaterialet, idet kvalitetsændringen i gyllen kan skyldes andet end afgangningen alene.

På den anden side betyder de praktiske realiteter, at en sammenligning af effekten af den afgassede gylle med udgangsgyllen er interessant. En sådan sammenligning kan dog ikke bruges som argument for eller imod biogasbehandling, men alene til at belyse hvorvidt den gødningsmæssige virkning af produkterne er forskellige.

I 1999-2001 blev der i Landsforsøgene gennemført en række forsøg med forskellige gylletyper i vårbyg og vinterhvede (Oversigt over Landsforsøgene, 2001). Efter samme forsøgsplan blev kvæggylle og afgasset gylle tildelt vårbyg før såning. Ligeledes blev svinegylle og afgasset gylle tildelt vinterhvede efter en fælles forsøgsplan. Imidlertid har forsøgene fokuseret på udbringningsmetode, og forsøgene med de forskellige gylletyper har ligget på forskellige lokaliteter, hvorved det ikke er muligt at foretage en direkte sammenligning. Da der er gennemført 11-15 forsøg for hver kombination af gylletype og afgrøde kan der foretages en indirekte sammenligning.

Ved indirekte sammenligning af forsøgene i vinterhvede synes anvendelse af afgasset gylle at give et højere udbytte, N-optagelse og proteinprocent end forsøgene med anvendelse af svinegylle (data ikke vist). Modsat, ved sammenligning af forsøgene i vårbyg findes, at den afgassede gylle giver lavere udbytter, N-optagelse og proteinprocent (data ikke vist). Disse forskelle skal dog ikke tages som et sikkert udtryk for forskellen mellem gylletyperne, men viser blot, at sådanne indirekte sammenligninger kan skyldes andre faktorer, bl.a. forskelle i det gennemsnitlige udbytt niveau for forsøgene med de forskellige gylletyper.

En sammenligning af afgasset og ikke-afgasset svinegylle foretages i en forsøgsserie påbegyndt i 2002, hvor der blev udført fire forsøg i vinterhvede på Horsenseggen (Oversigt over Landsforsøgene, 2002). Der fandtes ingen signifikante effekter af gylletype på hverken udbyttet, kvælstofoptagelsen eller proteinprocenten, dog var der en tendens til lidt højere udbytte (2 hkg/ha) ved anvendelse af den afgassede gylle, både når den var udlagt med slanger og direkte nedældet. Forsøgsserien fortsætter i 2003.

Petersen (1996) sammendrager tidligere forsøg med sammenligning af afgasset og ikke-afgasset gylle, og der findes generelt kun beskedne og insignifikante forskelle i effekten på udbyttet. Ved tilførsel af samme mængde mineralsk N (ammonium-N) fandt Larsen et al. (1992) ingen forskel i N-optagelsen i vårbyg gødet med afgasset og ikke-afgasset gylle.

Effekten af biogasbehandling må derfor vurderes på i hvilken grad behandlingen ændrer på forholdet mellem ammonium-N og total-N, samt hvilke ændringer i den tildelte mængde gylle der foretages i gødningsplanen. Da afgrødernes N-norm er underoptimale må det forventes, at der med afgasset gylle tilføres samme mængde total-N som ved anvendelse af ikke-afgasset gylle. Herved tilføres der en større mængde umiddelbart plantetilgængeligt N, som kan medføre en større N-udnyttelse. Andelen af ammonium-N kan, afhængig af udgangsgyllen, øges med 5-15 %-point ved biogasbehandling. Ved en N-tilførsel på 140 kg total-N/ha i gylle (svarende til 1,4 DE/ha) vil der være omkring 15 kg N/ha mere til rådighed for afgrøden. Det forventes, at dette vil medføre et mer-udbytte på 1-3 hkg/ha sammen med en forøgelse i proteinindholdet på op til 0.5 %-point, og en øget N-udnyttelse på 5-10 kg N/ha. Tages der i gødningsplanen derimod højde for ændringen i ammonium-N/total-N forholdet ved en tilpasning af den tilførte gyllemængde, så den effektive N-tilførsel er konstant, vil der ikke forventes effekt på udbyttet og N-udnyttelsen.

Omkostninger og gevinster

Økonomien i biogasproduktion baserer sig på salg af energi og tilhørende tilskudsordninger. En forøgelse af kvælstofudnyttelsen anses som en sidegevinst i forbindelse med biogasproduktionen, og der er ikke grundlag for etablering af biogasanlæg alene med det formål at øge kvælstofudnyttelsen.

På gårdanlæg må landmanden selv bære alle anlægsomkostningerne, mens landmandens omkostninger ved tilslutning til et biogasfællesanlæg begrænser sig til at etablere infrastruktur på bedriften således, at tilkørselsforhold for biogasfællesanlæggets lastbiler sikres. Normalt er landmanden økonomisk uafhængig af biogasfællesanlæggets drift, og hans rolle består i at 'udlåne' bedriftens gylle til biogasfællesanlægget, som afholder omkostningerne ved afhentning af rågylle og returnering af afgasset gylle.

For landmanden er der udover en bedre kvælstofudnyttelse en række fordele ved biogasproduktionen; f.eks. reducerede lugtgener, hygiejniserings af gyllen mv. For samfundet er det en samfundsøkonomisk fordel at afgasse gylle - bl.a. fordi det er en CO₂-neutral energiform, og fordi det sikrer en billig bortskaffelse af industriens organiske affald. Dette er detaljeret beskrevet af Nielsen et al. (2002).

Omfang, tidshorisont og barrierer

I dag afgasses ca. 1,7 mio. ton biomasse, hvoraf ca. 1,4 mio. ton er husdyrgødning. Det svarer til ca. 4 pct. af al husdyrgødning i Danmark. Hvis der i gennemsnit tilføres 30 ton gylle pr. ha pr. år, tilføres der afgasset gylle til knap 60.000 ha i Danmark.

En forøgelse af dette areal kræver, at antallet af biogasanlæg øges. Om dette vil ske afhænger bl.a. af de fremtidige afregningsforhold på energi produceret på basis af biogas og på adgangen til anvendeligt organisk industriaffald. Nielsen et al. (2002), anslår, at i 2011 vil mængden af afgasset biomasse været steget til 5 mio. ton svarende til, at ca. 170.000 ha vil kunne modtage afgasset gylle.

Der er imidlertid stor interesse for biogasanlæg blandt landmænd, og adskillige biogasprojekter er under planlægning. Herunder i husdyrtætte områder på Als, ved Horsens og på Mors. Interessen skyldes bl.a. de gunstige muligheder for lempeligere arealkrav når der foretages gylleseparering i kombination med biogasanlæg.

Referencer

- Gregersen, K.H., Møller, H.B. & Sommer, S.G. (2003). Reduktion af næringsstoffab ved biogasanlæg, primært biogafællesanlæg. Rapport fra VMPIII-F3.
- Larsen, K.E., Petersen, J., Hansen, J.F. & Sommer, S.G. (1992). Kvælstofvirkning af ubehandlet og afgasset gylle efter overfladeudbringning og nedfældning. Tidsskr. Planteavl, 96, 223-243.
- Nielsen, L.H.; Gregersen, K.H.; Thygesen, P. & Christensen, J. (2002). Samfundsøkonomiske analyser af biogafællesanlæg - med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser, Rapport nr. 136, Fødevareøkonomisk Institut.
- Oversigt over Landsforsøgene, (2001).
- Oversigt over Landsforsøgene, (2002).
- Petersen, J. (1996). (Red.) Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsforsøg, SP-rapport nr. 11. 160 pp.
- Sommer, S.G.; Christensen, B.T. (1990). Ammoniakfordampning fra fast husdyrgødning samt ubehandlet, afgasset og filtreret gylle efter overfladeudbringning, nedfældning, nedharvning og vanding. Beretning nr. 2090 fra Statens Planteavlsforsøg. Tidsskrift for Planteavl, 94, 407-417.
- Sørensen, P. & Birkmose, T. (2002). Kvælstofudvaskning efter gødskning med afgasset gylle. Grøn viden, Markbrug nr. 266. Danmarks Jordbrugsforskning.

Table 11. Effektvurdering af biogasproduktion. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorison for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr./ha	Kr./ha	År
Biogasproduktion	Husdyrtætte områder	100.000 ¹⁾	5-10 ⁶⁾	0 ⁴⁾	<0 - 0 ²⁾	1-3 hkg/ha; 0-0,5 %-point protein	0 ³⁾	3-5 ⁵⁾

¹⁾ Areal udover det hvor tiltaget allerede praktiseres

²⁾ Tiltaget vil formentlig ikke reducere ammoniakfordampningen, men derimod kan risikoen for ammoniaktab være øget. Effekten afhænger i høj grad af de aktuelle forhold under og efter udbringning.

³⁾ Etablering af biogasanlæg kræver store investeringer, men salg af gas kan betale dette, hvorved husdyrgødningen ikke belastes af etableringsomkostningerne.

⁴⁾ Såfremt der sker en reduktion i handelsgødningsforbruget som følge af bedre udnyttelse af den afgassede gylle, skønnes det, at nitratudvaskningen kan reduceres med 3-6 kg N/ha.

⁵⁾ Udviklingen i antallet af biogasanlæg er meget afhængig af de fremtidige afregningsforhold for energi produceret på basis af biomasse. Forringes afregningsforholdene væsentligt vil det økonomiske grundlag for sektoren udhules, og det skønnes derfor, at der ikke vil ske udbygning af kapaciteten i forhold i dag.

⁶⁾ Ved udbringning af ca. 140 kg total-N/ha.

4.1.2.3. Separering af gylle

*Jens Petersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø
Torkild Birknose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscenteret*

Beskrivelse af tiltaget

Ved separering af gylle dannes to eller flere fraktioner, hvor summen af næringsstoffer svarer til udgangsmaterialet, men næringsstofkoncentrationen er øget i én eller flere af fraktionerne.

Efter VMPII implementering er der ved Fødevareministeriets bekendtgørelse om husdyrhold og arealkrav m.v. af 2. oktober 2002 givet mulighed for at ansøge jordbrugskommissionen om lempeligere arealkrav, når der ved teknisk forarbejdning foretages gylleseparering. Der skelnes mellem lavteknologisk (primært mekanisk separering, hvor hovedsagelig fosfor opkoncentreres) og højteknologisk separering (kombination af mekanisk og kemisk/fysisk separering, hvor både kvælstof og fosfor opkoncentreres).

En række virksomheder i Danmark udvikler og forhandler udstyr til gylleseparering. Det er karakteristisk, at de tekniske principper for separering er meget forskellig fra fabrikant til fabrikant. Derfor kan der ikke gives en generel beskrivelse, men almindeligvis er det lettest at opkoncentrere fosfor, da fosfor hovedsagligt er bundet til tørstoffet i gyllen. Desuden er det karakteristisk, at næringsstofferne kvælstof og fosfor ikke opkoncentreres lige meget i koncentrationerne, og i visse tilfælde opkoncentreres kvælstof i én fraktion og fosfor i en anden. Ved højteknologisk separering frasepareres i visse anlæg en fraktion af mere eller mindre rent vand, som f.eks. kan udvandes på et mindre areal med græs året rundt. Vandet må derimod ikke ledes til vandløb eller dræn.

Der findes i dag et 8-10 separationsanlæg i drift og en del af disse findes i kombination med biogasbehandling - både i forbindelse med gårdbiogasanlæg og på biogasfællesanlæg. På grund af denne kobling med biogasanlæg samt det forhold, at fraktionernes egenskaber ofte betinger udbringning i forskellige afgrøder, vanskeliggør en vurdering af tiltaget.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Kvælstof

Gødningsvirkningen af de to fraktioner, der dannes med dekantercentrifugering er undersøgt af Sørensen (2003). Den samlede vægtede virkning af fiberfraktionen og den flydende fraktion var på samme niveau som virkningen af den useparerede gylle, både i vårbyg og vinterhvede. I forsøget blev fraktionerne håndteret således, at kvælstoftab i form af ammoniakfordampning var udelukket. Dette vil ikke forventes at kunne ske i praksis, og fiberfraktionen er særdeles vanskelig at opbevare, transportere og udbringe uden betydelig risiko for tab.

Tabet i forbindelse med og efter udbringning vil afhænge af udbringningstidspunkt og afgrøde, samt tabet under opbevaring og transport. Ved nedbringning umiddelbart efter tilførsel

forud for såning af vårbyg fandtes kvælstofvirkningen af fiberfraktionen at svare til indholdet af ammoniumkvælstof (Sørensen, 2003). Denne fremgangsmåde sikrer den maksimale udnyttelse af kvælstoffet i fiberfraktionen, mens 38% af kvælstoffet tabtes ved anvendelse af fiberfraktionen i vinterhvede. Ved udbringning og nedpløjning før såning tabtes kvælstoffet ved udvaskning, mens udbringning om foråret i en 10 cm høj afgrøde gav anledning til ammoniakfordampning. Disse tab vil være mindre, hvis der allerede er sket tab under lagring og transport.

Gødningskoncentratet fra højteknologiske anlæg er ofte basiske, og der vil derfor være en forøget risiko for kvælstoftab ved ammoniakfordampning i forbindelse med overfladeudbringning af disse produkter. Der må foretages en forsuring eller direkte nedfældning af disse produkter.

Ved fjernelse af tørstoffet fra gylle og eksport af fiberfraktionen vil bedriftens marker tilføres en mindre mængde organisk stof. For den eksporterende bedrift vil dette på lang sigt betyde et mindre potentiale for mineralisering efter høst og dermed reduceret risiko for kvælstofudvaskning i efterårs- og vintermånederne, men på den anden side vil jordens generelle frugtbarhed også reduceres. Da separation er en ny teknik, haves der ikke erfaringer med hvortil fiberfraktionen eksporteres, men det vil formentlig være over en afstand på mere end 50 km. Antages en indenlandsk aftager, vil denne bedrift på lang sigt forbedre jordens frugtbarhed, men samtidig øge risikoen for kvælstofudvaskning på den bedrift, som modtager fiberen.

Ved at adskille gyllens næringsstoffer i flere fraktioner opnår man en mulighed for reducere kvælstofudvaskningen. Separering med dekantercentrifuge er ofte et indledende procestrin ved separering, og anvendelse af fiberfraktionen volder vanskeligheder, bl.a. på grund af risikoen for nitratudvaskning. Ved nedpløjning af fiberen forud for såning af f.eks. vårbyg med udlæg eller roer sikrer man sig den bedst mulige udnyttelse af denne fraktion, idet ammoniakfordampningen efter udbringning er lav, og samtidig vil der være en afgrøde på marken i efteråret til at optage mineraliseret kvælstof. Dette vil minimere udvaskning af kvælstof på bedriften. Ved eksport af fiberen til andre landsdele eller til udlandet er der mulighed for, at fiberen udbringes i et mindre følsomt område eller på arealer, som er robuste mod nitratudvaskning (f.eks. lerjord, jord med lavt indhold af organisk kvælstof, nedbørsfattige områder eller arealer med en stor nitratreducerende evne i undergrunden).

Fosfor

Da fosfor normalt ikke ændrer kemisk sammensætning ved separering, er en bedre udnyttelse et spørgsmål om fordeling over et større areal, således at overdosering undgås. Hvis der ikke sker en kemisk behandling, vil fosforen være lige så tilgængelig, som i ubehandlet husdyrgødning. Man kan derimod forvente en lidt lavere tilgængelighed, hvis fosforen er fældet med jern eller aluminium, og man kan forvente en meget lav tilgængelighed, hvis fosforen foreligger som aske som resultat af en forbrænding af f.eks. en fiberfraktion.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Landsforsøg med tynd fraktion fra dekanter

I 2002 blev der udført syv landsforsøg med den tynde fraktion fra en dekantercentrifuge. Tre af forsøgene blev udført med separeret afgasset gylle fra Fangel Biogasanlæg, og fire forsøg blev udført med separeret afgasset gylle fra "Hegndal" ved Tarm. Forsøgsplan og resultater er vist i tabel 12.

Tabel 12. Resultatet af syv Landsforsøg med separeret afgasset gylle i vinterhvede i 2002. Kun resultater med slangeudlagt gylle er vist (Oversigt over Landsforsøgene, 2002).

	Fangel Biogas, 3 forsøg			"Hegndal", 4 forsøg		
	Pct. råprot. i kerne	Udb. kg N i kerne pr. ha	Udnytte, hkg kerne pr. ha	Pct. råprot. i kerne	Udb. kg N i kerne pr. ha	Udnytte, hkg kerne pr. ha
Ingen kvælstof	9,7	44	30,7	9,8	52	35,8
50 N i N-25 + 120 NH ₄ -N, svinegylle	-	-	-	10,8	118	73,1
50 N i N-25 + 120 NH ₄ -N, afgasset gylle	9,7	97	67,3	10,5	119	75,6
50 N i N-25 + 120 NH ₄ -N, tynd fraktion	10,1	109	72,4	- ¹⁾	- ¹⁾	76,6

¹⁾ Proteinprocenten mangler for ét af de fire forsøg.

Forsøgene i vinterhvede i 2002 viste foreløbigt, at væskefraktionen af afgasset gylle har en højere N-udnyttelse end usepareret afgasset gylle. Forsøgene fortsættes i 2003 og 2004.

Opnåelse af en høj udnyttelse af én fraktion betyder ikke nødvendigvis, at der samlet opnås en højere udnyttelse af gyllen efter separering. Ofte vil den høje udnyttelse modsvares af en lavere udnyttelse af en anden fraktion - f.eks. en fiberfraktion. Sørensen (2003) har i forsøg vist, at der kan opnås en kvælstofudnyttelse af fiberfraktionen på ca. 40 pct. forudsat, at den nedpløjes forud for vårsæd.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Særligt de højteknologiske separeringsanlæg er kapitalkrævende, og omkostningerne til behandling af gylle afhænger i høj grad af, om anlæggets kapacitet udnyttes fuldt ud. Det vurderes, at omkostningerne til behandling af gylle ligger omkring 20-35 kr. pr. ton for lavteknologiske og 40-80 kr. pr ton for højteknologiske anlæg (Jacobsen, et al., 2002; S.H. Jørgensen, 2003).

Udover en eventuel gevinst ved øget udnyttelse af næringsstofferne, og dermed besparelse på indkøb af handelsgødning, kan der opnås besparelser på opbevaring, transport og udbringning af husdyrgødningen:

- Besparelser på opbevaring kan opstå ved, at en vandfraktion udvandes kontinuerligt straks efter produktion (kun, hvis gyllen separeres i næringsstoffer og "rent vand")

- Besparelser på transport kan opstå ved, at de mest koncentrerede produkter transporteres til de udbringningsarealer, som ligger længst bort - eventuelt i andre landsdele eller i udlandet, og de lavt koncentrerede i nærheden af bedriften
- Besparelser under udbringning kan opnås ved, at højtconcentrerede produkter kan udbringes med en høj kapacitet. En sådan besparelse kræver imidlertid, at der også skal udbringes en fraktion med tilsvarende lav koncentration med lav udbringningskapacitet til følge

Derudover kan der være gevinster med hensyn til hygiejnisering af gyllen og med reducerede lugtgener. Disse gevinster kræver en varmebehandling eller en anden form for behandling, som nedbryder organiske forbindelser og nedsætter den mikrobiologiske aktivitet væsentligt.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

I dag (april 2003) har kun få landmænd investeret i gyllesepareringsanlæg. Skønmæssigt separeres 100.000 tons gylle pr. år på landsplan, svarende til den gyllemængden der udbringes på 3-4.000 ha.

Gylleseparation ses ofte som et alternativ til opkøb af jord til opfyldelse af kravet om, at bedriften råder over tilstrækkeligt areal til udbringning af husdyrgødningen (Anonym, 2002). Interessen koncentrerer sig om disharmoniske brug og brug, der ønsker at udvide husdyrproduktionen.

Tidshorisont for implementering

På trods af stor interesse blandt husdyrbrug er det vanskelig at angive en præcis tidshorisont for implementering. Formentlig vil en del især større svineproducenter se gylleseparering som et led i den fortsatte udvikling af deres landbrug. Herunder som et middel til at øge den animalske produktion uden at skulle investere i mere jord. Endvidere vil nogle landmænd formentlig benytte separering som et led i tilpasningen til nye og eventuelt kommende miljøkrav.

I husdyrtætte områder vil nye og eksisterende biogasfællesanlæg formentlig tage gylleseparering i anvendelse. I sådanne områder vil både større og mindre landbrug kunne få gylle separeret til samme relativt lave pris på grund af stordriftsfordelen på biogasfællesanlægget.

Barrierer for implementering

En række barrierer kan nævnes:

- Manglende sikkerhed for afsætning af fraktioner udenfor bedriften.
- Ved gødskning med fibergødninger skal suppleres efterfølgende med kvælstof.
- Omkostningerne står ofte ikke i realistisk mål med de opnåede besparelser på bedriften.
- Den teknologiske udvikling er stadig ung og relativ uafprøvet over længere tid.
- Der mangler dokumentation for anlæggenes funktion, funktionssikkerhed, levetid mv.
- Der mangler dokumentation for den gødningsmæssige håndtering og udnyttelse af fraktionerne.

Referencer

- Anonym (2002) Bekendtgørelse om husdyrhold og arealkrav m.v. Fødevareministeriets bekendtgørelse nr. 824 af 2. oktober 2002.
- Jacobsen, B.H.; Gregersen, K.H.; Sørensen, C.G. & Hansen, J. (2002). Separering af gylle - en teknisk-økonomisk systemanalyse. Fødevareøkonomisk Institut, Rapport nr. 142.
- Jørgensen, S.H. (2003). Fremtidige udviklingsmuligheder for separation set fra rådgivningen. Indlæg på temadag om gylleseparering arrangeret af Fødevareøkonomisk Institut, 18. marts 2003.
- Sørensen, P. (2003). Udnyttelse og tab af kvælstof i separeret gylle fra dekantercentrifuge. http://www.lr.dk/bygningerogmaskiner/diverse/b15_artikel_petersorensen.htm

Tablet 13. Effektivurdering af gylleseparering. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende priseniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitratudvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag	Tidshorisont for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr./ha	Kr./ha	År
Gylleseparering	Husdyrtætte områder	30.000 ¹⁾	0 ²⁾	0 ²⁾³⁾	0 ²⁾⁴⁾	0 ²⁾⁵⁾	600-2400 ⁶⁾	5-10

- ¹⁾ Areal udover det hvor tiltaget allerede praktiseres. Forudsætter yderligere 30 højteknologiske og 60 lavteknologiske anlæg á 500 dyreenheder. Dette vil kræve billigere anlægstyper end de i dag kendte. Desuden vil udviklingen afhænge af biogassektoren, idet de to teknologier ofte kombineres.
- ²⁾ Forsøg og erfaringer med det nuværende tilgængelige separeringsudstyr tyder ikke på, at der kan opnås en umiddelbar forbedring i N-udnyttelse, nitratudvaskning, ammoniakfordampning eller udbytte. En god effekt på ét separeringsprodukt opvejes af en tilsvarende dårlig effekt af et andet produkt. Da teknologien endnu er ny, kan man forvente teknologiske forbedringer, som kan give en samlet forbedring af én eller flere effekter.
- ³⁾ I kraft af mulighederne for transport af husdyrgødningsprodukter fra nitratfølsomme områder til nitrat-robuste områder (f.eks. til lerjord i områder med lav overskudsnedbør) kan der opnås en vis reduktion i nitratudvaskningen. Omvendt kan nitratudvaskningen stige, hvis f.eks. en fiberfraktion i vid udstrækning udbringes om efteråret.
- ⁴⁾ Tiltaget vil formentlig ikke reducere ammoniakfordampningen, men derimod vil risikoen for ammoniaktab være øget for visse koncentrerede N-fraktioner. Effekten afhænger i høj grad af udbringningsmetode for separeringsprodukterne og de aktuelle forhold under og efter udbringning.
- ⁵⁾ Effekten er vanskelig at vurdere pga. forskelle i fraktionerne fra gyllesepareringen. Typisk haves kun udbytte-resultater fra den næringsstoffrige og let anvendelige fraktion, mens resultater fra fraktion(er) med lavt næringsstofindhold savnes.
- ⁶⁾ Der er her regnet med en tilførsel på 30 t gylle/ha, og de i teksten nævnte priser.

4.1.2.4. Forsuring af gylle

Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscenteret

Beskrivelse af tiltaget

Konceptet er, at ammoniakfordampning i stalde og fra overfladeudbragt gylle kan reduceres væsentligt ved at nedbringe gyllens pH med syrebehandling. I modsætning til tidligere forsøg med syretilsætning til gylle tilsættes svovlsyre til gyllen hurtigt efter udskillelse fra dyret, og der sker samtidig en beluftning af gyllen.

Syretilsætningen sker i fortanken i en mængde af ca. 5 kg svovlsyre pr. ton gylle. Målet er at reducere pH i gyllen fra godt 7 til 5,5. Gyllen i fortanken beluftes derudover kraftigt. Gyllen pumpes derefter retur ind under spalterne, så pH i kanalerne også bliver 5,5. pH styres løbende af en automatisk måling, og der er indbygget alarmer for svovlbrinte.

Effekt på kvælstofudnyttelse og –tab

Foreløbige målinger af ammoniakfordampningen fra stalde, foretaget af Landsudvalget for Svin, viser en reduktion på ca. 70 - 80 pct. i forhold til ikke-forsuret gylle (Pedersen, 2003). For kvælstofvirkningen i husdyrgødningen i marken ses en effekt af følgende:

- At kvælstofindholdet i gyllen er 10 - 15 pct. over husdyrgødningsnormen, fordi ammoniakfordampningen i stalden og lageret reduceres
- At kvælstofvirkningen af det udbragte gylle er højere, fordi ammoniakfordampningen ved udbringning er lavere på grund af det lavere pH

DJF har i 2003 gennemført målinger af ammoniakfordampning ved udbringning af forsuret gylle. En foreløbig opgørelse viser en reduktion i fordampningen ved udbringning på knap 70% (Martin Nørregård Hansen, personlig meddelelse).

Effekt på høstudbytte og kvalitet

Der er gennemført to markforsøg i 2002 og et i 2001, hvor virkningen af ubehandlet og forsuret svinegylle er undersøgt (Oversigt over Landsforsøgene, 2002). I disse forsøg er gennemsnitligt opnået en vis forbedring af kvælstofudnyttelsen. Antallet af forsøg er dog for beskedent til at kvantificere forbedringen, men den sparede ammoniakfordampning vil svare til en øget N-tilførsel. Herved kan effekten på udbyttet vurderes til 1-1,5 hkg kerne pr. ha jævnfør udbyttefunktionen i afsnit 3.

Omkostninger og gevinster

LandboNord har gennemført nogle overordnede økonomiske beregninger på rentabiliteten i forsuren. Ved etablering af et anlæg til 250 DE forventes en omkostning på ca. 25 kr. pr. ton gylle, hvoraf udgiften til svovlsyre udgør ca. 5 kr. og energi ca. 1,35 kr. pr. ton gylle, og resten af omkostningen er vedligehold, forrentning og afskrivning af investeringen. (Nørgaard, 2002). I kraft af den bedre kvælstofudnyttelse i marken kan forventes et højere høstudbytte i marken.

Der er samtidig en forventning om, at lugtafgivelsen fra gyllen i stalden, under lagring og efter udbringning mindskes. Der er ligeledes observeret mindre støv i stalde, hvor gyllen er forsuret. Der forventes reduktion af lugtgener fra staldene og fra gyllen efter udbringning, men disse forhold er endnu ikke tilstrækkelig dokumenteret. Ej heller forventninger om bedre trivsel og sundhed hos grisene og om et bedre arbejdsmiljø i staldene er tilstrækkelig belyst og dokumenteret.

Arealmæssig omfang, tidshorizont og barrierer

Der er sat 10 anlæg i drift (april 2003) og yderligere mindst 20 anlæg forventes sat i drift inden for de næste 8-10 måneder (Bredal, 2003).

Referencer

- Bredal, T. (2003) Staring maskinfabrik. Personlig kommunikation.
- Nørgaard, N.H. (2002) Økonomisk perspektiv. Bilag til konferencedag om Reduceret ammoniakfordampning og kemisk fældning med forsuret gylle den 5. november 2002 i Brønderslev.
- Oversigt over Landsforsøgene, 2002.
- Pedersen, P. (2003) Bilag til Temadag om gylleseparering den 18. marts 2003 arrangeret af Fødevareøkonomisk Institut.

Tabel 14. Effektvurdering af forsuring af gylle. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorison for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg /ha	Kr./ha	År
Forsuring af gylle	Husdyrbrug med gylle	450.000 ¹⁾	12 ²⁾	+10 ³⁾	10 ⁴⁾	1-1,5 ⁵⁾	750 ⁶⁾	5-10

¹⁾ 25.000.000 ton gylle, 20 ton/DE, 1,4 DE/ha, halvdelen forsures (rent gæt)

²⁾ 70 pct. reduktion i stald, lager og mark (hhv. 15, 2 og 10 pct. fordampning uden forsuring) giver 29 kg N øget tilførsel af NH₄-N til afgrøden, 40 pct. marginaloptagelse.

³⁾ Det antages, at 30 pct. af den ekstra tilførsel i form af reduceret ammoniakfordampning udvasker som nitrat. Den negative effekt på N-udvaskningen gælder for en alt andet lige situation. Indregnes den reducerede ammoniakfordampning i gødningsplanlægningen således, at den effektive N-tilførsel er konstant (dvs. den tilførte mængde husdyrgødning reduceres), vil der ikke forventes en effekt på N-udvaskningen. Tilsvarende vil der forventes en nul-effekt på udbyttet.

⁴⁾ Kun reduktionen af ammoniakfordampning i marken er medregnet: 10 pct. fordampning af 140 kg uden forsuring, 70 pct. reduktion

⁵⁾ Den anslåede effekt af at øge gødsningsniveauet med ca. 29 kg N pr. ha som følge af reduceret ammoniakfordampning. Effekten på udbyttet er vurderet på grundlag af sammenhængen mellem N-tilførsel og udbytte præsenteret i afsnit 3.

⁶⁾ Bruttoomkostning: 25 kr. pr. ton, 30 ton pr. ha. Dette kan fratrækkes fordele i stalden, lugt mv. for at beregne en nettoomkostning.

4.1.3. Andre dyrkningsmæssige tiltag

4.1.3.1. Ændret sortsvalg i korn

Bernd Wollenweber og Johannes Ravn Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Plantebiologi

Sortsvariation

Generelt er variationen i sorterens udnyttelse af næringsstoffer afhængig af jordegenskaber, gødnings-form, -mængde og -tidspunkt. Nyere kornsorter er blevet valgt under forhold med relativ høj N-tilførsel og er derfor tilpasset et højt input af næringsstoffer. Under forhold med højt input af næringsstoffer kan variationen beskrives som forskelle i sorterens evne til at optage næringsstof, mens det ved lavt input er sorterens evne til at udnytte næringsstofferne effektivt, der har størst betydning. Planternes næringsstofudnyttelse er en meget vigtig parameter ved dyrkning i sædskifter med et lavt kvælstofindhold. Endvidere er næringsstof-udnyttelsen bestemmende for kerne kvaliteten i korn, da det overvejende er kvælstof oplagret i plantens vegetative organer, der bidrager til N-udnyttelsen under kernefyldning. Disse forskelle er blevet bekræftet ved molekylær-biologiske undersøgelser, som viser at udtrykkelsen af mange relevante gener til en vis grad er afhængig af N-forsyningen. Under alle omstændigheder forventes det, at sorter med et højere udbyttepotentiale er i stand til at udnytte kvælstof bedre – og bidrage til at udvaskningen af kvælstof falder.

Forædlingsmål

For nuværende foreligger der ikke dyrkningsegne sorter med egenskaber, der signifikant bedre udnytter det tilgængelige kvælstof. Det er dog realistisk at opsætte dette som et forædlingsmål, hvilket vurderes at have en tidshorisont på 8-10 år. Betydningen af sortsvalg i forhold til en forbedret N-udnyttelse kan derved medføre nye forædlingsmål. Forøgelse af udnyttelsen af næringsstoffer, især af N og C, ved hjælp af informationer fra det sekvenserede risgenom er eksempler i denne sammenhæng (Wollenweber, 2002). Undersøgelser af N-optagelse, især studier af influx carrier for uorganisk N for at øge oplagringkapaciteten for N i cellerne og/eller specielle oplagringstvæv er relevante. Dertil kommer studier af N-udnyttelsen via undersøgelser af alternative N-kilder såsom aminosyre-transporter i rødderne og en øget forståelse af bidraget fra symbiotiske organismer. Også eksperimenter omkring 'førmælsens' (sensing) af N *via* studier af de processer, som styrer signaloverførsel ved optagelse af N, og undersøgelser af, hvordan disse er tilknyttet til genexpression af relevante enzymer, er vigtige. Til sidst vil forøgelse af fotosyntesekapaciteten i cerealier via f.eks. overførsel af gener fra C₄ fotosyntese-mekanisme (i majs) til C₃ planter (cerealier) resultere i højere udbytte, som demonstreret i ris, hvor disse sorter har produceret op til 90% flere kerner (Wollenweber, 2002).

Højlysinbyg er en forædlet byg, hvor aminosyresammensætningen er ændret til fordel for en større andel af den for foderudnyttelsen begrænsende aminosyre lysin. En afledt effekt af den

bedre foderudnyttelse er et reduceret kvælstofindhold i gyllen. Der er desværre en genetisk kobling mellem højlysineegenskaben og lille kernestørrelse, hvilket medfører, at det endnu ikke er lykkedes at udvikle sorter med mere end ca. 90% udbytte i forhold til målesorterne i det officielle afprøvningssystem.

Den genetiske forbedring af sorter har medført en større fjernelse af N / en bedre N-udnyttelse. Dette kan bl.a. andet konstateres ved, at udbyttet og høstindekset (forholdet mellem kerne- og halmfraktion) for især hvede og byg har været konstant stigende i løbet af de sidste 100 år. En medvirkende årsag til dette har været en øget kvælstof-akkumulation i kernerne (Sinclair, 1998). Gennemsnitsudbyttet for vinterhvede er således ikke faldet, på trods af, at N-tildelingen har været begrænset som følge af vandmiljøplanerne. Betydningen af denne bedre N-udnyttelse bør vurderes i sammenhæng med det udbredte areal med vinterhvede.

N-tilførsel og udbytte

N-tilførsel til afgrøder påvirker både kvantitative (udbytte) og kvalitative (protein, stivelse) parametre i korn (El Negoumy et al., 1982; Kirkman et al., 1982). Generelt involverer dyrkningsstrategier modifikationer af enten N-form, mængde og/eller tidspunkt for N-tildeling. Ved højt N-input kan variationen i disse parametre beskrives som forskelle i sorterens evne til at optage N, mens det ved lavt N-input er sorterens evne til udnytte N effektivt, som har større betydning. Under danske forhold vil en forøget tildeling af N på 20 kg/ha⁻¹ øge proteinprocenten med 0,3-0,4% (Knudsen, 2001). Variation i N-tildeling vil dermed have en positiv effekt, selvom den praktiske implementering kan være kompleks (Waagepetersen et al., 2001). I denne sammenhæng har man i Danmark udnyttet værktøjer fra præcisionsjordbrug, som f.eks. GPS-baserede digitale kort af både jord- og afgrødeforhold samt optiske sensorer (Knudsen, 2000; Waagepetersen et al., 2001), men med varierende resultater (Jørgensen og Jørgensen, 2001). Der er også tradition for at variere N-form, f.eks. fra husdyrgødning, grøngødning, biokompost og dybstrøelse, men der mangler fortsat mere viden om den optimale gødningsstrategi i forhold til afgrødevalg, jordparametre og miljøfaktorer.

De seneste års sortsforsøg i både konventionelle og økologiske dyrkningssystemer har vist en betydelig variation i sorterens udbytte, men det er ikke klarlagt, om denne variation kan henføres til dyrkningssystem, lokalitet, eller eventuelt begge faktorer. Der er derfor et stort behov for at udvikle sorter af korn, som kan anvendes i en målrettet produktion under hensyntagen til kvælstofindhold i sædskiftet, samt i hvilken form kvælstoffet optræder. Dette mål forudsætter mere viden om sorterens rodudvikling, næringsstofoptagelse og -udnyttelse. Relevant i denne sammenhæng er også sorterens evne til selv at øge tilgængeligheden af næringsstoffer i rhizosfæren. Eksempler herpå er rodudvikling, rodexudater (afgivelsen af lavmolekylære stoffer som sukkerforbindelser, organiske syrer, aminosyrer og fenoler fra rødderne som påvirker bl.a. redoxforholdet i rhizosfæren, kompleksdannelse med ioner, desorption af mineralstoffer og pH (syre-base balance)), exoenzymer (ureaser, fosfataser) og ikke mindst vekselvirkninger med fritlevende eller symbiotiske mikroorganismer og svampe.

En øget kvælstoftildeling til hvede resulterer generelt i et højere proteinindhold i kernen, men det er overvejende indholdet af ikke-essentielle aminosyrer, som øges, medens indholdet af essentielle aminosyrer stort set forbliver uændret (se nedenfor). En reduceret kvælstoftildeling resulterer tilsvarende i et lavere proteinindhold i kernen, hvilket gennem de seneste år er konstateret som en konsekvens af restriktionerne i landbrugets kvælstofanvendelse som følge af Vandmiljøplan I og II. Som følge heraf er der tilsvarende konstateret en stigning i kernens stivelsesindhold i nogle sorter.

Som beskrevet ovenfor påvirker tilførsel af kvælstof til afgrøderne tilgængeligheden af N i kernen. Det potentielle N-behov i kernen er genetisk bestemt og afgrøderne tilpasser optagelsen (før og efter blomstring) efter kernernes behov for - og tilgængeligheden af - N. Generelt er der forskel i tidspunkt og hastighed af syntesen af de enkelte proteinfraktioner. Oplagring af disse fraktioner er meget asynkron, fordi både sammensætning og koncentration af proteinfraktionerne varierer gennem kernernes vækst (Gupta et al. 1996; Stone & Nicolas 1996), og er afhængig af forsyningen med N. Forholdet mellem fraktionerne påvirkes også af ændringer i indholdet af (total)protein i kernen (Daniel & Triboi 2000; Triboi & Triboi-Blondel 2001).

N-tildelingsstrategier og protein

Tidspunktet for N-tildeling har betydelig indflydelse på proteinkoncentrationen i kernen (Bulman et al., 1994). Tidlig anvendelse af N ved spiring eller i strækingsfasen kan øge udbyttet, fordi dette påvirker afgrødernes størrelse og derved forsyningen af fotoassimiler, som igen øger antallet af blomsterstande per aks og antal kerner per skud, dvs. de 2 bestanddele i sink-væv (Rhodes & Mathers, 1974). Imidlertid har N-tilførsel efter strækingsfasen ingen eller kun en mindre effekt på antal kerner, selvom afgrødens biomasse og i nogle tilfælde kernevægt stiger under disse forhold (Spiertz & van de Haar, 1978). Når klimatiske og agronomiske faktorer er gunstige for et højt udbytte, kan høje N-mængder tilført til jord (eller blade) dog blive udnyttet effektivt, især i tildelt form (Destain et al., 1989).

Alligevel er anvendelsen af en tidlig tildeling af N i mange tilfælde ikke tilstrækkelig til at opretholde akkumulationen af protein gennem hele kernefyldningsperioden. Sen tilførsel (f.eks. som bladgødskning) i begyndelsen af kernefyldningen vil ikke øge afgrødens biomasse, fordi dannelsen af sideskud og bladvækst er ophørt på dette tidspunkt, således at sink-begrænsningen formindsker udbyttet (Winkler & Schön 1980). Tildeling af gødning i begyndelsen af kernefyldningen vil dog have indflydelse på proteinkoncentrationen. Forsøg med byg har vist, at ved sen tilførsel af N kan kerneudbyttet øges med 19%. Begrænsninger i optagelsen af N efter blomstring (pga. jordegenskaber, tørke m.m.) vil øge andelen af protein i kernen, som stammer fra recirkulation fra de grønne plantedele. Imidlertid medfører dette, som beskrevet nedenfor, en reduceret andel af essentielle aminosyrer i de relevante proteinfraktioner (Bulman & Smith, 1994; Bulman et al., 1994).

Erfaringer med vinterhvede i Europa (Spiertz & De Vos, 1983) har vist, at sorter med potentielle for højt udbytte har behov for ekstra N efter blomstring for at opnå et højt niveau af prote-

in i kernen. Tilførsel af N ved buskning, strækning og skridning med henholdsvis 50, 60 og 70 kg N ha⁻¹ resulterede i et udbytte over 8 t ha⁻¹ med 12,5% protein. Endnu højere mængder af N blev tilført i andre forsøg. Faktisk blev det konstateret, at ved 150 - 210 kg N ha⁻¹ er forholdet mellem N-tilførsel og N i kernen næsten lineært (Benzian and Lane, 1981).

Selvom optagelsen af N i nogle sorter aftager efter blomstring, beholder nogle planter evnen til at absorbere N nok til udnyttelse under kernefyldning, men resultater herpå er ikke entydige. Med stigende N-tilførsel kunne således hvede (Perez et al., 1983), men ikke byg (Lewicki and Cherry, 1992), øge udnyttelsen af N efter blomstring. Der er konstateret genotypisk variation imellem hvedesorter med hensyn til evnen til både at udnytte N tilført efter blomstring (Dhugga & Waines, 1989; Löffler et al., 1983; Paucaud et al., 1985) og til at transportere N ind i kernen (Dhugga & Waines, 1989; Löffler et al., 1983). I nogle sorter var N akkumuleret ved blomstring positivt korreleret med N transporteret til kernen, men forholdet til N-optagelsen efter blomstring var negativ (Dhugga & Waines, 1989).

N-optagelsen i hvedesorter afprøvet i det danske afprøvningssystem

I en analyse af de forhåndenværende vinterhvedesorter afprøvet i det danske sortsafprøvningssystem fra 1994-99 viste Deneken (2001):

- at proteinindhold og N-optagelse (kg/ha) er forskellig mellem sorterne ved samme N-gødskningsniveau
- at ved et aftagende kerneudbytte forventes et stigende proteinindhold
- at allerede ved ét N-niveau kan der i de fleste år forventes en 'vekselvirkning' mellem proteinindhold og N-optagelse, der afhænger af sorterens forskellige udbyttepotentiale.
- at, hvor sorterne er dyrket ved norm N-tildeling og ekstra brødhvedetillæg (25-30 kg N/ha), er den gennemsnitlige proteinprocent hævet med 0.3% (1999)
- at sedimentationsværdien stiger med stigende proteinindhold og at sorter, der ligger i grænseområdet mht. indstilling/optagelse på listen mht. parametrene proteinindhold og sedimentationsværdi kan forventes at opnå anden klassificering ved øget N-tildeling.

Resultaterne tyder entydigt på, at ved øget N-tildeling stiger proteinindholdet, der igen hæver sedimentationsværdien. Klassificering begrænser sig imidlertid ikke kun til disse to parametre.

N-tildelingsstrategier og indhold af aminosyrer

Det relative bidrag fra de enkelte aminosyrer til den samlede pulje er delvist genetisk bestemt. Mængden af tilført N vil have indflydelse på koncentrationen og sammensætningen af aminosyrer. Højere N-niveauer vil øge mængden og koncentrationen af protein, som generelt vil øge kvaliteten. Medens andelen af de ikke-essentielle aminosyrer (Glu, Gln og Asp) i glutenin/prolamin-fraktionen i hvede og byg stiger med stigende N-tilførsel, resulterer den deraf følgende formindskelse i essentielle aminosyrer (Lys, Thr, Cys, Arg, Asp og Gly) i en lavere næringsværdi. Responsen af aminosyrer er dog i vist omfang afhængig af sæsonmæssige forhold og sortsvalg.

Vinterfasthed og sortsvalg

Vinterfasthed er vigtig i kolde vintre. Rug er den af de overvintrene kornarter, der klarer sig bedst og byg dårligst. For vinterbyg såvel som vinterhvede gælder det således, at det ikke kan anbefales at vælge sorter, hvor der hersker tvivl om overvintringsevnen, på trods af udsigten til et merudbytte. Der foregår løbende en forædlingsindsats frem mod vinterfaste sorter. Undersøgelser af vinterhvedesorters overvintringsevne viste, at sorter med genetisk baggrund fra Sverige havde den bedste overvintringsevne, mens sorter fra England havde større risiko for at udvintre og krav om tidligere såning for at opnå at etablere en tilfredsstillende udvikling før vinteren (Andersen & Olsen, 1992).

Referencer

- Andersen, A. & Olsen C.C. (1992). Såtid, såmængde og kvælstofgødskning i forskellige sorter af vinterhvede. Tidsskrift for Planteavl 96, 441-451
- Benzian, B. & Lane, P. (1981). Interrelationships between nitrogen concentration in grain, grain yield and added fertilizer nitrogen in wheat experiments in South-East England. Journal of the Science of Food and Agriculture 32, 35-43.
- Bulman, P. & Smith, L. (1994). Post-heading nitrogen uptake, retranslocation, and partitioning in spring barley. Crop Science 34, 977-984.
- Bulman, P., Zarkadas, C.G. & Smith, D.L. (1994). Nitrogen fertilizer affects amino acid composition and quality of spring barley grain. Crop Science 34, 1341-1346.
- Daniel, C. & Triboi, E. (2000). Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: Effects on gliadin content and composition. Journal of Cereal Science 32, 45-56.
- Deneken, G. (2001). Sortsvalg. In: Produktion af kvalitetshvede i Danmark. En oversigt over problemer og muligheder. (Waagepetersen, J., Petersen, J.B., Knudsen, L., Deneken, G. & Jørgensen, J.R. eds), DJF Rapport Nr. 53, 82-99.
- Destain, J.P., Guiot, J., Francois, E. & Riga, A. (1989). Fertilizer nitrogen budgets of two doses of Na¹⁵NO₃ dressings split-applied to winter wheat in microplots on a loam soil. Plant and Soil 117, 177-183.
- Dhugga, K.S. & Waines, J.G. (1989). Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. Crop Science 29, 1232-1239.
- El Negoumy, A.M., Newman, C.W. & Hockett, E.A. (1982). Effect of level of nitrogen fertilizer on protein composition of some barley cultivars. Nutrition Reports International 25, 89-96.
- Gupta, R.B., Masci, S., Lafiandra, D., Bariana, H.S. & MacRitchie, F. (1996). Accumulation of protein subunits and their polymers in developing grains of hexaploid wheats. Journal of Experimental Botany 47, 1377-1385.
- Jørgensen, J.R. & Jørgensen, R. N. (2001). Impact on grain quality parameters when nitrogen is applied by the hydro-precise system. In Third Euro-pean Conference on precision agriculture, Montpellier, France, 2001. 929-934.

- Kirkman, M.A., Shewry, P.R. & Mifflin, B.J. (1982). The effect of nitrogen nutrition on the lysine content and protein composition of barley seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33, 115-127.
- Knudsen, L. (2001). Hvorledes er forhold mellem udbytte af tørstof og protein, hvis de højtydende sorter gødes extra? *In* Produktion af kvalitetshvede i Danmark - En oversigt over problemer og muligheder. DJF Report.
- Knudsen, L. (2000). Proteinindhold i vinterhvede. Planteavl/orientering, Landskontoret for Planteavl, Nr. 07.379.
- Lewicki, S. & Cherry, J. (1992). Effect of N accumulation and remobilisation in barley. *Agronomie* 12, 235-245.
- Löffler, C.M., Busch, R.H. & Wiersma, J.V. (1983). Recurrent selection for grain protein percentage in hard red spring wheat. *Crop Science* 23, 1097-1101.
- Paucaud, F.X., Fossati, A. & Cao, H.S. (1985). Breeding for yield and quality in winter wheat: Consequences for nitrogen uptake and partitioning efficiency. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 94, 89-100.
- Rhodes, A.P. & Mathers, J.C. (1974). Varietal differences in the amino acid composition of barley grain during development and under varying nitrogen supply. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 25, 963-972.
- Sinclair, T.R. (1998). Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Science* 38, 638-643.
- Spiertz, J.H.J. & De Vos, N.M. (1983). Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation in cereals. *Plant and Soil* 75, 379-391.
- Spiertz, J.H.J. & van de Haar, H. (1978). Differences in grain-growth, crop photosynthesis and distribution of assimilates between a semi-dwarf and a standard cultivar of winter wheat. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 26, 233-249.
- Stone, P.J. & Nicolas, M.E. (1996). Varietal differences in mature protein composition of wheat resulted from different rates of polymer accumulation during grain filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 23, 727-737.
- Triboi, E. & Triboi-Blondel, A.M. (2001). Environmental effects on wheat grain growth and composition. *Aspects of Applied Biology - Wheat Quality* 64, 91-101.
- Waagepetersen, J., Petersen, J.B., Knudsen, L., Deneken, G. & Jørgensen, J.R. (2001). Produktion af kvalitetshvede i Danmark - En oversigt over problemer og muligheder. DJF Report.
- Winkler, U. & Schön, W.J. (1980). Amino acid composition of the kernel proteins in barley resulting from nitrogen fertilization at different stages of development. *Zeitschrift für Acker und Pflanzenbau* 149, 503-512.
- Wollenweber, B. (2002) Udviklings- og forskningsbehov. In: Vidensyntese: Dyrkning af kvalitetsafgrøder - målrettet produktion af korn, raps og bælgssæd til foderbrug (B. Wollenweber, P.K. Flengmark, K.E. Bach Knudsen, S. Boisen, J.E. Olesen & J.B. Pedersen eds.). DJF Rapport (Markbrug) Nr. 74, August 2002. 175-192.

4.1.3.2. Tidlig såning af vintersæd

Johannes Ravn Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Plantebiologi

Afhængig af høsttidspunktet for den forgående afgrøde er det muligt at flytte såtidspunktet frem for vintersædsarterne. Ved at så tidligt opnås der en bedre N-udnyttelse i efteråret, men der kan opstå dyrkningsmæssige problemer.

Nuværende anbefalinger for såtid og udsædsmængde

Vinterhvede kan sås fra ca. 1. september til ca. 15. oktober, med foretrukken såtid mellem 15. og 20. september (Dyrkningsvejledninger, Landskontoret for Planteavl). Sen såning benyttes kun i milde områder af landet. Udsædsmængden afpasses efter såtidspunktet. Ved såning 1. september skal man stile efter at etablere 200 planter pr. m², det ønskede plantetal ages med ca. 6 planter pr. m² pr. dag såtiden ændres. Ved såning omkring 1. oktober skal der således tilstræbes et plantetal på ca. 400 pr. m². Anden og flere års hvede sås til sidst, for at reducere risikoen for angreb af fodsyge.

Vinterbyg kan sås fra ca. en uge ind i september og til ca. 25. september. Sen såning kan kun anbefales i milde områder af landet. Vinterbyg er mere følsom over for ændringer i såtidspunktet end de øvrige vintersædsarter. Der stiles normalt efter at etablere ca. 300 til 350 planter pr. m². Den højeste udsædsmængde anvendes ved sen såning.

Vinterrug kan sås fra ca. 1. september til ca. 25. oktober. Den meget sene såning kan kun anbefales i milde områder af landet. Normal såtid er 15-25 september. Ved tidlig såning kan rugen udvikle sig så kraftigt, at risikoen for angreb af sneskimmel forsages. Uanset om der dyrkes almindelig eller hybridrug bor man stile efter at etablere 200-250 planter pr. m². Ved dyrkning af hybridrug kan man nedsætte risikoen for angreb af meldrøjer ved at så en stribe med almindelig rug rundt om hele rugmarken. Det er med til at sikre en god bestøvning af hele marken.

Såtidens indflydelse på kvælstofudnyttelse

En tidlig såning af vintersæd medfører et større optag og en bedre udnyttelse af den mineraliserede kvælstof i efteråret (Addiscott et al., 1991). Dette er vist i engelske forsøg (Widdowson et al. 1987) men vises også fint i tabel 15, med data fra en forsøgsrække udført under danske forhold i de landøkonomiske foreninger i 1996-1997 (Oversigt over Landsforsøgene 1997 s 83-84). Ud over det kvælstof der er optaget i de overjordiske plantedele, må man også forvente at der i efteråret optages en relativ større mængde kvælstof i de underjordiske plantedele ved tidlig såning.

En fremrykning af såtiden med 1 uge må således forventes at betyde en reduktion af N-min indholdet i jorden på 5-7 kg pr. ha. Det må forventes, at udvaskningen vil reduceres i samme niveau som reduktionen i N-min.

Udbyttet og proteinprocenten påvirkes ved forskellige såtidspunkter. I samme forsøgsserie som refereret ovenfor var udbytte størst ved tidlig såning og proteinindholdet størst ved sen såning. Den samlede mængde kvælstof i kernerne ved høst faldt ved sen såning (tabel 15). Dertil kommer, at halmmængden og kvælstofbortførslen med halmen stiger ved tidligere såning.

Tabel 15. Gennemsnitstal for såtid i vinterhvede 1996-1997, hvor der blev pløjet umiddelbart forud for hver såtid. Der blev målt følgende N-min-indhold i jord og optaget kvælstof i overjordiske plantedele i efteråret (Oversigt over Landsforsøgene 1997 s 83-84.

	Såtidspunkt		
	1/9	20/9	10/10
Kg N-min i nov. – dec.	38	55	63
Optaget kg N i efterår, i overjordiske plantedele	19	6	2
Udbytte, hkg/ha	82,9	82	75,2
Proteinprocent	10,7	10,8	11,1
Kg N i kerne pr. ha	132	132	124

Vinterrug er den af vintersædsarterne der har den kraftigste tilvækst i efteråret og det tidlige forår på både sand- og lerjord. Andersen et al. (1994) angiver tørstofproduktionen til at være 35% større i vinterrug end i vinterhvede i denne periode. I slutningen af september har vinterhvede sået omkring d. 10. september optaget 11-15 kg. N pr. ha i de overjordiske plantedele på sandjord og 25-35 kg N pr. ha på lerjord, mens vintersæd sået 3 uger senere kun optaget 8-11 kg N pr. ha.

Jordens nettomineralisering af kvælstof vil normalt være tilstrækkeligt til at dække planternes behov i efteråret. Generelt anbefales det ikke at tildele kvælstof til vintersæd om efteråret (Oversigt over landsforsøgene, 2002). Der kan dog opstå kvælstofmangel i efteråret efter vinterhvede hvor halmen er nedmuldet eller efter frøgræsser hvor der ikke umiddelbart efter høst er foretaget jordbearbejdning.

Nettomineraliseringen af kvælstof er således lavest i rene kornsædskifter eller korn- og frøgræssædskifter hvor der ikke tilføres husdyrgødning. Modsvarende er nettomineraliseringen af kvælstof størst efter tidlig høstede afgrøder som vinterraps eller i sædskifter med kløvergræs og som følge af jordbearbejdning efter høst og før såning.

Såtidens effekt på udbytte og kvalitet

Vintersæd bør sås så tidligt at planterne når at buske sig mest muligt om efteråret. Planterne er dermed klar til at udnytte de gunstige vækstfaktorerer (lys, vand og temperatur) maksimalt i foråret. Dette sikres i sammenligning med de forårssåede kornarter en større produktivitet.

De klimatiske / geografiske forhold i efteråret påvirker ligeledes det optimale såtidspunkt ud fra et planteetableringssynspunkt, idet milde lokaliteter kan sås 5-10 dage senere med samme udbytte til følge end kolde lokaliteter. Senere såning medfører et stigende udbyttetab.

Markforsøg udført ved fra Statens Planteavlsvforsøg i årene 1979-83, 1986-88 og 1989-92 viste, at såning af vinterhvede og vinterbyg ca. 1. september i gennemsnit gav samme kerneudbytte som såning 20. – 25. september (Olsen, 1984; Andersen og Olsen 1992a; 1992b; Andersen et al, 1994). Såning midt i oktober medførte betydelige udbyttetab fra 5-9 hkg kerne pr. ha svarende til 9 og 15%, henholdsvis for vinterhvede og vinterbyg. Optimal udsædsmængde af vinterhvede ved såning omkring 20. - 25. september kan variere fra 300-420 spiredygtige kerner pr. m². Ved tidlig såning kan udsædsmængden med fordel reduceres lidt, mens der ved sen såning i oktober bør udsås omkring 550 spiredygtige kerner pr. m². Udsædsmængder fra 360 - 540 spiredygtige kerner pr. m² influerer ikke væsentligt på vinterbyggenes nettokerneudbytte, men der kan forekomme udbyttetab, når der sås mindre end 360 kerner pr. m².

Det største plantetal opnås ved såning omkring 20. - 25. september, både i vinterhvede og vinterbyg, men buskningen er størst ved den tidlige såning først i september. Tidlig såning medfører større risiko for udbredelse af goldfodsyge og knækkefodsyge, både i vinterhvede og vinterbyg. Tidlig såning øgede også strå længden og risikoen for lejesæd.

Kun forhold som lejesæd, grønskud, sygdomsangreb og vanskeligt høstvejr har været årsag til forringelse af bagekvaliteten, hvorimod forskellige såtider eller såmængder ikke har påvirket væsentligt. Kernernes kvælstofindhold, vægt, størrelse og litervægt påvirkes bedst i optimal retning ved moderate udsædsmængder og forholdsvis tidlig såning af både vinterhvede og vinterbyg.

I såtidforsøg er det fundet at tidlig såning medfører en øget halm mængde (Milford, 1993), og i forsøg hvor der var lejesæd, var der mest læggende korn ved tidlig såning. Kornvægt og rumvægt er kun i ringe grad påvirket af såtiden (Oversigt over Landsforsøgene 1997 s 83-84). Dog er der for rug fundet at kornvægten og rumvægten øges ved sen såning. For vinterbyg er der ved tidlig såning endvidere en øget risiko for udvintring. I tabel 16 er de anbefalede såtider for vintersæd angivet.

Tabel 16. Optimale såtider i vintersæd

Kornart	Mild lokalitet	Kold lokalitet
1. års hvede	10/9	1/9
Flerårshvede	20/9	15/9
Vinterbyg	15/9	10/9
Vinterrug, hybrid	15/9	10/9
Vinterrug, alm.	20/9	15/9
Triticale	20/9	15/9

Omkostninger og gevinster ved tidlig såning

Etablering af en tilfredsstillende plantebestand med et godt udbytte kan ved tidlig såning opnås med en mindre udsædsmængde for alle kornarterne (tabel 17). Ved sen såning skal udsædsmængden øges for at kompensere for udbyttenedgangen. Dog vil vintersæden ved tidlig såning være udsat for smitte af svampesygdomme som meldug, gulrust, septoria, knækkedodssyge og goldfodssyge i vinterhvede.

Såning før 1. september kan generelt ikke anbefales, da det indebærer for stor risiko for udbyttetab pga. lejesæd, fodsyge og havrerødsot. Tidlig såning øger ligeledes risikoen for lejesæd trods lavere plantetal.

Tabel 17. fordele og ulemper ved varierende såtidspunkt i efteråret for vinterhvede. Positiv effekt er angivet med + og en negativ effekt med -.

Såtid	Kerne- udbytte	Halm- udbytte	Udsæds- mængde	N- optagelse i planten før vinter	Kerne- kvalitet	Lejesæd	Svampe- sygdomme	Ukrudt
1/9	++	++	++	++		--	--	--
15/9	++	+	+	+	+	-	-	-
1/10	+	-	-	-	+	+	+	+
15/10	-	--	--	--		++	++	++

En tidlig såning af vintersæd øger også ukrudtstrykket, specielt græsukrudsproblemer og dermed øges behovet for kemisk ukrudtsbekæmpelse. Idet en traditionel bekæmpelse af rodukrudd som kvik i en periode efter høst hvor marken ligger brak forsvinder. Hvor målet er så lav behandlingshyppighed som muligt, bør der ikke sås før i slutningen af september, men med risiko for udbyttetab som følge.

Arealmæssigt omfang og udnyttelse af tidlig såning

Tidlig såning af vintersæden kan foretages på alle vintersæds arealer såfremt sædskiftet tillader dette. En vigtig barrierer er vejrforholdene i det aktuelle år, ligesom der kan være kapacitetsbegrænsninger på det maskineri der skal bearbejde jorden og foretage såningen.

Tiltaget med tidlig såning af vintersæd kan relateres til det dyrkningsmæssige areal der er på ca. 760.000 ha. I den nuværende dyrkningspraksis tilsås en stor del af vintersædsarealet tidligt pga. driftøkonomiske fordele. Statistik på praktiseret såtidspunkt foreligger ikke. I forhold til praksis midt i 80'erne er der ingen tvivl om, at såtidspunktet for vintersæd generelt er fremrykket, hvilket således har haft en reducerende effekt på udvaskningen. I forhold til nuværende såtidspunkter for vinterhvede er det realistisk i gennemsnit at rykke såtidspunktet 3-7 dage frem.

Overgang til større andel af tidligt sået vintersæd og barrierer

Tidshorizonten for at øge andelen af tidligt sået vintersæd er kort. Der er dog allerede en tendens til at vintersæd sås tidligere end for 10-15 år siden, der forligger dog ikke dokumentation for dette.

En vigtig barriere, der kan forhindre tidlig såning af vintersæd, er vejrforholdene i det aktuelle år, idet våde forhold kan forhindre, at der kan sås på det ønskede tidspunkt. Ligeledes kan der være kapacitetsbegrænsninger på det maskineri, der skal bearbejde jorden og foretage såningen. En fremrykning af såtidspunktet vil reducere den tid, der er til at certificere det høstede korn til sædekorn.

Tidlig såning vil medføre et større behov for sygdoms- og ukrudtsbekæmpelse – og dermed et større pesticidforbrug.

Referencer

- Andersen, A. & Olsen, C.C. (1992a), Såtid, såmængde og kvælstofgødskning i forskellige sorter af vinterhvede. Tidsskrift for Planteavl 96, 441-451
- Andersen, A. & Olsen, C.C. (1992b), Såtid, såmængde og kvælstofgødskning i forskellige sorter af vinterbyg. Tidsskrift for Planteavl 96, 453-459
- Andersen, A., Olsen, C.C. & Djurhus, J. (1994). Dyrkning af overvintrede kornarter efter forskellige forfrugter og med forskellig såtid. SP rapport nr. 22.
- Addiscott, T.M., Whitmore, A.P. & Powlson, D.S., (1991). Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. CAB International, Wallingford, UK, 170 pp.
- Dyrkningsvejledninger, Landskontoret for Planteavl.
- Olsen, C.C. (1984). Såtid og såmængde i vinterhvede og vinterbyg. Tidsskrift for Planteavl 88, 557-569.
- Oversigt over Landsforsøgene (1997). 83-84.
- Oversigt over Landsforsøgene (2002).
- Ehdaie, B. & Waines, J.G. (2001). Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. Field Crops Research 73, 47-61
- Milford, G.F.J., Penny, A., Prew, R.D., Darby, R.J. & Todd, A.D. (1993). Effects of previous crop, sowing date, and winter and spring applications of nitrogen on the growth, nitrogen uptake and yield of winter-wheat. J Agr Sci. 121, 1-12
- Widdowson, F.V., Penny, A., Darby, R.J., Bird, E. & Hewitt, M.V., (1987). Amount of NO₃-N and NH₄-N in soil, from autumn to spring, under winter wheat and their relationship to soil type, sowing date, previous crop and N uptake at Rothamsted, Woburn and Saxmundham, 1979–1985. J. Agric. Sci., Cambridge 108, 73–95.

Table 18. Effektivurdering af tidlig såning af vintersæd. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorison for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Tidlig såning af vintersæd	Arealer med vintersæd	760.000	3-5 ** a)	3-5 ** a)		0-1 hkg/ha b)		3-5 år

* Lille usikkerhed på estimat

** Middel usikkerhed på estimat

*** Stor usikkerhed på estimat

a) I udlægsåret

b) I høståret

4.1.3.3. Optimeret plantebeskyttelse

Lise Nistrup Jørgensen, Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Plantebeskyttelse

Plantebeskyttelse er en vigtig del af almindelig dyrkningspraksis i Danmark. Ordet plantebeskyttelse dækker normalt over forhold, der er med til at kontrollere både ukrudt, sygdomme og skadedyr, ligesom vækstregulering i visse kulturer også indgår under denne betegnelse. Blandt kontrolforanstaltningerne indgår såvel forskellige kulturtekniske indsatser som en direkte bekæmpelse ved hjælp af pesticider.

I Danmark har der siden 1986 været handlingsplaner for reduktion af indsatsen med pesticider. I dag bruges der i gennemsnit på det dyrkede areal ca. 2 fulde doseringer af pesticider, svarende til et behandlingsindex på 2. Dette svarer til kravet i pesticidhandlingsplanen fra 2000 (Anon 2000).

Stort set alle arealer behandles med 1-2 gange med herbicider for at holde ukrudtsbestanden nede. Dette sker for at sikre, at afgrøden kan udvikle sig frit uden at skulle konkurrere med ukrudtet om lys, vand og næringsstoffer.

Indsatsen med fungicider og insekticider er mere afgrødeafhængig. Især korn og kartofler behandles meget med fungicider, mens indsatsen med insekticider er størst i raps, kartofler, ærter og korn. Generelt sikrer anvendelsen af fungicider og insekticider, at afgrøden i tilfælde af sygdoms- og insektangreb ikke får sit udbyttepotentiale reduceret.

Udbyttetab som følge af skadegørere i afgrøder

Tabel 19 viser typiske tabsstørrelser, som følge af skadegørere i relevante afgrøder, jævnfør det tal der blev brugt til Bicheludvalgets beregning af konsekvenser ved hel eller delvis ud-fasning af pesticider (Anon. 1999). Store udbyttetab som følge af skadegørere vil i værste tilfælde kunne reducere udbyttet med 25-50%. I f.eks korn bevirker det, at der levnes N-mængder i en størrelsesorden på 9-30 kg N/ha, hvilket øger den potentielle udvaskningsrisiko.

Tabel 19. Estimerede tabsprocenter i udbyttet og deraf mindre N-indhold i den høstede vare, som følge af skadegørere m.m. i forskellige afgrøder i et 0-pesticid scenarium. Der er kun medregnet direkte udbyttetab (delvis efter Bichelrapporten 1999).* N er beregnet jævnt for LRC's omregningstabeller til N fra henholdsvis 1985-92 og 2001

	Tab 1 Gns.	Tab 2 Gns.	Tab 3 Gns.	Tab 4 Gns.	Tab 5 Gns.	Samlet gns. tab	Gns. Udbytte	Tab i kg N Pr ha*
	Udsat såning m.m.	Sygdoms- angreb	Skadedyr- angreb	Afgrøde- skade	Øget ukrudt	Multipli- ativt	Hkg/ha	
Hvede	7	9	4	7	6	29	70	31-36
Vårbyg	-	6	6	1	7	19	50	14-17
Vinterbyg	7	10	0	3	3	21	56	19-21
Vinterrug	3	4	3	1	2	12	48	9
Ærter	-	2	9	5	7	21	38	
Vinterraps	-	2	5	0	0	7	25	
Vårhaps	-	2	17	0	5	23	18	
Sukkerroer	-	2	12	0	0	14	480	
Kløverfrø	-	0	50	0	50	75	4,5	
Frøgræs	-	1	0	?	50	50	9	
Kartofler	-	38	6	0	0	42	360	
Græs	-	0	0	0	?	3	65 a.e.	
Majs	-	0	3	5	8	16	65 a.e.	

Generelt tilstræbes det derfor at sikre afgrøderne mod økonomisk betydelige tab. Som vejledning for hvornår det er økonomisk rigtigt at behandle bruges bl.a. skadetærsklerne i beslutningsstøttesystemet Planteværn Online (Ryedahl et al 2002). Dette system vurderer om der er behov for bekæmpelse og angiver forskellige behandlingsløsninger.

For at mindske risikoen for angreb af svampesygdomme er der en betydelig indsats for at forædle sorter med god sygdomsresistens. Da sygdommens virulens imidlertid kan ændres med årene og dermed svække sorternes resistens, vil man ikke altid kunne sikre sig mod sygdomsangreb. God sygdomsresistens overfor samtlige sygdomme i en afgrøde har også vist sig vanskelig at opnå i praksis, hvilket gør at svampebekæmpelse med fungicider f.eks. i hvede ofte er økonomisk.

Effekter af N tildeling på ukrudtsudvikling

Kvælstofgødskning kan påvirke konkurrencen mellem ukrudt og afgrøde. Ændringen skyldes hovedsageligt at konkurrenceforholdet mellem afgrøde og ukrudt påvirkes (Alkämper 1976). Afhængigt af hvilket ukrudt der er tale om kan ændringerne gå i både den ene eller den anden retning, men også afgrødens og ukrudtets tilstand når gødningen tildeles påvirker konkurrenceforholdet. Øget N- tildeling i vintersæd begunstiger konkurrencesterke ukrudtsarter som Burrenerre, Agerrævehale og Vindaks (Olesen et al 1992). Forsøg fra Vinterhvedeprojektet viste at afgrødens konkurrenceevne over for ukrudtet nedsættes, når N-mængden reduceres og generelt hæmmes væksten af ukrudtet ikke så meget som væksten af hveden ved underforsyning af N (Jørgensen et al 1999).

Herbicidresistente gensplejsede afgrøder, som raps, roer og majs, der er færdigudviklede til det danske landbrug vil potentielt set kunne være med til at reducere kvælstofudvaskningen. Disse afgrøder muliggør, at ukrudtet får lov at udvikle sig under de tidlige stadier af afgrødens udvikling, hvorefter de bortsprøjtes, når de er ved at tage overhånd. Der eksisterer imidlertid, så vidt vides, ingen data for en sådan potentiel beskyttelse mod kvælstofudvaskning.

Effekter af N tildeling på skadedyr.

Stigende kvælstofmængder og især sene tildelinger fremmer bladlusenes reproduktionsevne (Veriejken 1979). Den stigende udvikling i bestanden skyldes, at vingedannelsen hæmmes og dermed mindskes muligheden for migration. Derudover forsinkes plantens modning ved høje og sene kvælstoftildelinger, hvorved perioden for skadevirkning og dermed den samlede skade som følge af bladlus kan blive forøget.

Effekter af N tildeling på sydomsudvikling

Der er i flere forsøg vist en klar sammenhæng mellem mængden af tildelt kvælstof og planternes modtagelighed over for flere sygdomme (Jørgensen et al 1997). Årsagen til de stigende angreb af især biotrofe sygdomme som meldug og rust skyldes bl.a., at kvælstof påvirker indholdet af fungitoksiske phenolforbindelser i bladene og reducerer indholdet af lignin i bladene, hvilket igen gør det lettere for svampene at penetrere og inficere planten (Kiralý 1964, Matsuyama & Dimond 1973, Jensen og Munk 1991, Olesen et al in press b).

Forsøg har generelt vist, at også tildelingsstrategien har indflydelse på afgrødens sygdomsmodtagelighed og plantens struktur. I hvede har man således set, at splittildeling giver mindre angreb end engangstildeling. Engangstildeling giver en mere lukket plantebestand, som skyldes mere nedbøjede faneblade. Hvor gødning er tildelt af flere gang ses mere en opret position af fanebladene (Jørgensen et al 1999).

Sammenhæng mellem N-niveau og merudbytter for svampebekæmpelse

Generelt er der fundet højere merudbytter for svampebekæmpelse ved stigende N-niveauer (Wiik 2003, Oversigt over Landsforsøgene 2000). Årsagen til de højere merudbytter skyldes formodentligt et højere sygdomstryk som følge af, at afgrøden bliver mere modtagelig ved de høje N-niveauer. Forsøgene har også vist, at sprøjtning med strobiluriner, der generelt holder afgrøden grøn længere, giver større merudbytter end de gamle triazolere. I forsøg er der fjernet ca. 20 kg N mere per ha. for en god svampebekæmpelse med strobiluriner i forhold til ubehandlede led, mens der i forhold til gamle fungicider er fjernet 10 kg N mere (Tabel 20). Dette giver anledning til vurdering af om strobiluriner stiller krav om højere N-tildeling for at udnytte disse midlers højere potentiale (Bryson 2000).

Som en del af det tidligere hvedeprojekt blev sammenhænge mellem behovet for sygdomsbekæmpelse og forskellige N-niveauer undersøgt. Disse forsøg viste generelt et højere N-optimum ved en god bekæmpelsesindsats (Olesen et al, in press a), hvilket f.eks. vil være tilfældet efter brug af strobilurinerne.

Tabel 20. Udbytte og merudbytte ved forskellige kvælstofniveauer, gns 5 forsøg 2001 i sorten Ritmo. (Wiik, 2003)

Forskellige svampebehandlinger i sorten Ritmo	Udbytte og merudbytte hkg/ha		
	120 kg N	170 kg N	220 kg N
1. Ubehandlet	99,3	99,8	101,9
2. 0,67 Amistar+0,4 l Corbel vs 51-55	6,2	8,4	12,3
3. 0,24 Mentor +0,2 Corbel vs 37-39 0,67 Amistar+0,4 l Corbel vs 51-55	5,3	9,7	15,7
4. 0,12 Mentor +0,2 Corbel vs 37-39 0,33 Amistar+0,2 l Corbel vs 51-55	3,7	6,5	13,4

Tabel 21. Svampebekæmpelse i vinterhvede med strobiluriner og triazol. Indflydelse på udbytte, høstet kg N i kernen og kg N i jorden efter høst. Gns. af 18 forsøg ved LR. (Oversigt over Landsforsøgene s 71.)

	40 kg under N-min		N efter N-min		40 kg over N-min		
	Kg N i kerne pr ha	Udbytte og merudbytte Hkg/ha	Kg N i kerne pr ha	Udbytte og merudbytte Hkg/ha	Kg N i 75 cm dybde efter høst	Kg N i kerne pr ha	Udbytte og merudbytte Hkg/ha
Ubehandlet	126	73,2	133	73,2	81	138	72,6
2 x Tilt top	133	8,5	148	9,7	76	156	11,0
2 x strobilurin	142	14,0	158	16,5	73	165	17,8
		2,4		2,8	ns		3,1

Fra UK foreligger der et interessant forsøg fra 1998 og 1999, som viste at indholdet af tilgængeligt gødning i jorden året efter, at der var behandlet med forskellige fungicider (plus minus strobiluriner) og 5 forskellige N-niveauer (0, 80, 160, 240, 320 kg/ha) var meget forskelligt (Bryson, 2000). I forsøgsåret 1998 og gav strobilurinløsninger henholdsvis 6, 3 og 14 hkg/ha højere merudbytter ved 0, 160 og 320 kg N sammenholdt med rene Opus løsninger (triazol). Dette påvirkede den forbrugte mængde kvælstof i jorden.

Forsøget blev ikke forsynet med gødning i 1999, men målinger af udbytte og N indhold i afgrøden viste i dette år, at indholdet af tilgængeligt kvælstof i jorden var størst, hvor der var høstet de laveste udbytter i 1998. I 1999 var der således højere udbytter efter ubehandlede led og hvor triazol havde været anvendt sammenlignet med de felter, der var behandlet med strobiluriner (tabel 21 og 22). Resultaterne viser, at anvendelsen af strobiluriner således også kan have markante effekter på behovet for N-tildeling i den efterfølgende vækstsæson – i det mindste på gode jorder og ved lille nedbørsoverskud.

Tabel 22. N-optagelse (kg N/ha) i hvedeafgrøde på vækststadium 33 (Zadoks skala) efter behandling med forskellige N-mængder og fungicider året før. Forsøg fra ADAS, UK (Bryson, 2000). Forsøget fik ikke tildelt gødning i 1999.

Fungicidbehandling i 1998	N input i 1998 kg/ha		
	0	160	320
ubehandlet	60,2	114,5	189,1
Opus 3 x 0,67 l	53,2	98,7	178,3
Amistar+Opus 3 x (0,67+0,25)	37,4	61,0	88,6

Tabel 23. Udbytte ton/ha i hvedeafgrøde efter behandling med forskellige N-mængder og fungicider året før. Forsøg fra ADAS, UK (Bryson, 2000). Forsøget fik ikke tildelt gødning i 1999.

Fungicidbehandling i 1998	N input i 1998 kg/ha		
	0	160	320
ubehandlet	3,59	6,94	8,43
Opus 3 x 0,67 l	3,09	4,57	6,92
Amistar+Opus 3 x (0,67+0,25)	2,87	4,33	5,29

Effekt af fungicidbehandling på kvalitetsparametre i korn

Brugen af fungicider har i mange forsøg vist sig at påvirke diverse udbytte og kvalitetsmæssige parametre i korn. Indholdet af protein i kernerne er 5-6% lavere i fungicidbehandlede led sammenlignet med ubehandlede led (Jørgensen et al., 2000). Årsagen til denne fortyndingseffekt er, at der høstes flere og større kerner, hvilket gør at proteinandelen generelt bliver lavere. Det vurderes dog, at det højere merudbytte efter svampebekæmpelse opvejer den eventuelt lavere afregning som følge af lavere proteinindhold.

Sammenfatning

En god N- husholdning kræver, at man sikrer afgrøden mod skadegørere, således at det forventede udbyttepotentiale høstes. Hvis afgrøden rammes af et kraftigt angreb af en skadegører, kan udbyttet reduceres signifikant med risiko for tab af næringsstoffer til følge. I hvede vil dette tab realistisk være på godt 30 kg N/ha.

Generelt vurderes det, at jordbrugerne i dag beskytter deres afgrøder mod tab som følge af skadegørere og forsøger at agere optimalt i forhold til at undgå udbyttetab og et deraf afledt N-tab. Det vurderes vigtigt, at det nuværende beskyttelsesniveau kan bibeholdes, hvilket betyder at eventuelt nye reduktionsplaner for pesticider bl.a. bør ses i lyset af, hvilke effekter dette kan have på en fremtidig N-udvaskning.

Der findes dokumentation for, at svampebekæmpelse med de relativt nye strobiluriner kan forbedre kvælstofudnyttelsen, samtidig med at det vil øge det økonomisk optimale N-niveau. Brugen af strobiluriner har desuden vist, at de kan påvirke den tilgængelige N-mængde for den efterfølgende afgrøde.

Referencer

- Alkämper, J. (1976). Einfluss der Verunkrautung auf die Wirkung der Düngung. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 29, 191-235.
- Anonym, (1996). Pesticidhandlingsplanen 1986.
- Anonym, (2000). Pesticidhandlingsplanen 2000.
- Anonym, (2002). Udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en afvikling af pesticidanvendelsen. Bichel-udvalget Rapport fra hovedudvalget. Miljøstyrelsen s.144.
- Bryson, R. J. (2000). The residual effects of strobilurin fungicides on soil nitrogen for the following crop. HGCA Project report no. 221.
- Jørgensen, L.N., Rasmussen, G., Olsen, C. C., Olesen, J.E. & Jensen, L.S. (1999). Kvælstofs indflydelse på sygdomsudvikling og ukrudt i vinterhvede. Grøn viden, markbrug nr 213.
- Kiraly Z. (1964) Effect of nitrogen fertilization on phenol metabolism and stem rust susceptibility of wheat *Phytopat. Z.* 51, 252-261.
- Matsuyama, N. & Dimond, A.E. (1973). Effect of nitrogenous fertilizer on biochemical processes that could affect lesion size of rice blast. *Phytopathology* 63, 1202-1203.
- Jensen, B. & Munk, L. (1997). Nitrogen induced changes in colony density and spore production of *Erysiphe graminis f. sp. hordei* on seedlings of six spring barley cultivars. *Plant Pathology* 46, 191-202.
- Jørgensen, L.N., Høyer, M.D. & Nielsen, G.C. (2001). Fungicidbehandlings indflydelse på kvalitetsparametre i korn. 18. Danske Planteværnskonference. DJF rapport nr. 40, 113-130.
- Rydahl, P., Hagelskjær, L., Bøjer, O. Q., Jørgensen, L. N., Bligaard, J., Pedersen, L. & Jørgensen, M. (2002a). [Crop Protection Online – an Internet based decision support system]. 19th Danish Plant Protection Conference, DIAS report 64, 59-74.
- Olesen, J.E., Olsen, C.C., Petersen, J., Rasmussen, K.J., Secher, B.J.M., Jørgensen, L.N., Jensen, P.K., Vester, J. & Ersbøll, A. (1992). Udvikling af et dyrkningsprogram for vinterhvede. *Tidskrift for planteavl's Specialserie Beretning* nr. S 2204, 185 pp.
- Olesen, J.E., Jørgensen, L.N., Petersen, J. & Mortensen, J. (2003). Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat 1. Grain yield and foliar disease control *Journal of Agricultural Sciences* (submitted).
- Olesen, J.E., Jørgensen, L.N., Petersen, J. & Mortensen, J. (2003). Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat 2. Crop growth and disease development. *Journal of Agricultural Sciences* (accepted).
- Jørgensen, L.N. Secher B.J.M., Olesen J.E. & Mortensen, J. (1997). Need for fungicide treatments when varying agricultural parameters. *Aspect of Applied Biology, Optimizing cereal input: Its scientific basis.* 50, 285-292.
- Oversigt over landsforsøgene 2000, s. 71, tabel 81
- Vereijken, P. (1989). The DFS farming systems experiment. I J.C: Zadoks (ed.): *Development of farming systems. Evaluation of the five year period 1980-1984.* Pudoc. 1-8.
- Wiik, L.. (2002). Skåneforsøg 2001. Jordbruksförsöksverksamheten i Skaåne län. *Meddelande* nr 68, 173-186. *Försöksringarna och Hushållningsällskapet i Skåne.*

4.1.3.4. Efterafgrøder under nuværende praksis

Elly Møller Hansen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Efterafgrøder dyrkes i tidsrummet mellem to hovedafgrøder med det formål at mindske kvælstofudvaskningen fra planternes rodzone om efteråret og i milde vintermåneder, hvor risikoen for tab af kvælstof ved udvaskning af nitrat er størst. Kravene til en god efterafgrøde er derfor, at den er i stand til at vokse og opsamle kvælstof udenfor den egentlige vækstsæson. En lang række afgrøder kan anvendes som efterafgrøde, men i gældende lovgivning er der pålagt visse begrænsninger mht. til artsvalg og dyrkning, hvis den benyttede efterafgrøde skal opfylde kravene til en 6 procent efterafgrøde. Afgrøder nævnt i tabel 24 opfylder kravet til 6 procent efterafgrøder, og hovedafgrøder nævnt i tabel 25 indgår i arealet, hvoraf de 6 procent efterafgrøder skal beregnes. Kravet om 6 procent efterafgrøder skal overholdes som et gennemsnit af 4 år.

Tabel 24. Afgrøder til opfyldelse af krav om 6 procent efterafgrøder. Kilde: Bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2002/2003.

Udlæg af græs, korsblomstrede afgrøder og cikorie.
Korn, græs og korsblomstrede afgrøder sået efter høst, dog sået senest den 1. august.
Korsblomstrede afgrøder sået efter 1. august, dog senest den 20. august. Disse arealer indgår dog blot med faktor 0,5 i opgørelsen af arealet med efterafgrøder.
Frøgræs.

Tabel 25. Afgrøder, der indgår i arealet, hvoraf der på 6 procent skal etableres efterafgrøder.

Korn (vår- og vintersæd).
Vår- og vinterraps samt rybs.
Ærter og hestebønner.
Solsikke, sennep, soya, olieør og andre 1-årige afgrøder, der ikke har kvælstofoptagelse om efteråret i høståret.

Efterfølgende afsnit er delvist baseret på en rapport vedrørende efterafgrøder (Hansen et al., 2000c) udarbejdet i forbindelse med midtvejsevalueringen af Vandmiljøplan II.

Nogle efterafgrøder etableres som udlæg om foråret, andre sås efter høst. Ved at så efterafgrøden om foråret opnås der fordel af, at efterafgrøden kan etablere sig i sommerens løb. Efterafgrøden vil derfor være i stand til at optage kvælstof umiddelbart efter høst af hovedafgrøden. Mulighederne for at etablere efterafgrøder ved udstrøning af frø umiddelbart inden høst af hovedafgrøden er mangelfuldt belyst (Hansen et al., 2000c).

Ved såning af efterafgrøder efter høst af hovedafgrøden er efterafgrødens etablering og vækst stærkt afhængig af såtidspunktet, som er bestemt af hovedafgrødens høsttidspunkt (Hostrup, 1977). For at få en god udvikling af f.eks. gul sennep, og dermed en høj kvælstofoptagelse, bør den sås inden midten af august (Hansen et al., 2000c). Rasmussen og Andersen (1991) fandt f.eks. efter syv års forsøg med såning af gul sennep efter høst af vårbyg, at gul sennep i alle syv forsøgsår blev sået senere end 1. september ved Askov, mens efterafgrøden alle år blev sået før 1. september ved Roskilde. Ved Borris, Rønhave og Højer lykkedes det i halvdele af tilfældene at få sennepen sået før 1. september. Ligeledes fandt Rasmussen og Olsen (1983) at etablering af gul sennep efter høst af vårbyg mislykkedes oftere ved Jydevad og Tylstrup end ved Roskilde, Rønhave og Højer. I de pågældende referencer er de eksakte datoer ikke oplyst.

Risikoen for sen høst af f.eks. vårbyg og dermed sen såning af efterafgrøden kendes ikke om foråret, når der skal træffes beslutning om, hvorvidt efterafgrøden skal sås som udlæg om foråret eller efterafgrøden skal sås efter høst. Rettidig såning af efterafgrøder efter høst af vinterbyg og vinterraps vil formentlig kunne lykkes hvert år, da disse afgrøder høstes forholdsvis tidligt.

De dyrkede græsser er ved forædling udvalgt mht. deres egnethed til såning som udlæg i kornafgrøder, og Rydberg og Karlsson-Strese (1994) fandt, at mange af de dyrkede græsser var velegnede som forårssåede efterafgrøder. Vælges en forårssået græsefterafgrøde opnås relativ stor sikkerhed for, at efterafgrøden har mulighed for at begynde væksten snarest efter høst af hovedafgrøden. Der findes sandsynligvis andre efterafgrøder end græsser, f.eks. cikorie (Karlsson-Strese et al., 1998), som vil være velegnet til forårsudlæg i korn, men mulighederne er kun undersøgt i begrænset omfang (se endvidere afsnit 'Forslag til øget kvælstofeffekt af efterafgrøder ved optimeret artsvalg, management og placering').

Bælgplanter kan, foruden at udnytte frit kvælstof fra luften, optage mineralsk kvælstof fra jorden og dermed reducere risikoen for udvaskning i den periode, hvor de vokser på marken. Hvor stor en del af bælgplanters kvælstofindhold, der optages fra jorden, og hvor stor en del, der stammer fra luften, afhænger bl.a. af jordens kvælstofindhold. Ifølge den nuværende lovgivning er bælgplanter ikke blandt de arter, der kan benyttes som 6 procent efterafgrøde (tabel 24).

I de seneste årtier har der været gennemført et stort antal forsøg med forskellige efterafgrøder. I landbrugsmæssig sammenhæng har interessen især været koncentreret om efterafgrøder efter korn, hvor alternativet var bar jord om efteråret. På grund af usikker etablering af efterafgrøder efter høst af de fleste landbrugsafgrøder, har nyere forsøg med efterafgrøder hovedsagelig koncentreret sig om dyrkning af alm. rajgræs udlagt i vårsæd om foråret.

I grøntsagsproduktionen har interessen været rettet mod dyrkning af efterafgrøder efter tidligt høstede grøntsager, hvor det har været mest hensigtsmæssigt at etablere efterafgrøder efter

høst. Netop på grund af visse grøntsagers tidlige høsttidspunkt har såning efter høst været en mere sikker etableringsmetode end såning efter høst af kornafgrøder (bortset fra vinterbyg og vinterraps, der også høstes tidligt).

Efter traditionelle landbrugsafgrøder efterlades der i de fleste år ikke kvælstof af betydning ved høst (Martinez og Guiraud, 1990; Hansen og Djurhuus, 1996). Den mængde nitrat, der udvaskes i efterårs- og vintermånederne efter dyrkning af landbrugsafgrøder, stammer derfor ofte fra mineralisering af kvælstof. Mulighederne for at reducere udvaskningen yderligere fra lerjord vha. efterafgrøder med særlig dyb rodvækst beskrives i afsnit 'Forslag til øget kvælstofeffekt af efterafgrøder ved optimeret artsvalg, management og placering'.

De fleste grøntsager dyrket på friland kræver store kvælstofmængder i forhold til de mængder, der optages (Hansen et al., 2000c), og kan derfor efterlade mineralsk kvælstof i jorden ved høst. Samtidig efterlader grøntsagsafgrøder ofte betydelige mængder kvælstof i letomsættelige afgrøderester, som hurtigt kan mineraliseres efter høst. Potentialt for kvælstofoptagelse i efterafgrøder, der dyrkes efter grøntsager eller andre specialafgrøder, kan derfor være betydeligt større end for efterafgrøder, der dyrkes efter korn.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse- og -tab kan forventes?

Efterafgrøder kan, hvis der er meget kvælstof i jorden, og efterafgrødernes vækstperiode er tilstrækkelig lang, optage store mængder kvælstof. I et forsøg med simuleret grøntsagsproduktion, hvor der blev tilført 150 kg N/ha før såning af italiensk rajgræs midt i juli måned, blev der målt en gennemsnitlig kvælstofoptagelse på 150 kg N/ha (Sørensen, 1992). I et tilsvarende forsøg blev der fundet lignende kvælstofoptagelser i foderræddike og gul sennep ved såning 1. august (Thorup-Kristensen, 1994). Efter traditionelle landbrugsafgrøder er kvælstofoptagelsen sædvanligvis langt mindre (Hansen et al., 2000c).

Forskellige arter af efterafgrøder har forskelligt forhold mellem overjordisk og underjordisk kvælstofoptagelse. F.eks. optager foderræddike forholdsvis meget kvælstof i rødder i sammenligning med gul sennep og honningurt (Andersen og Olsen, 1994). Dette er medvirkende til, at det er vanskeligt at vurdere efterafgrødernes udvaskningsbegrænsende effekt på basis af N-optagelse i overjordisk biomasse.

Der foreligger kun få danske undersøgelser, hvor virkningen af korsblomstrede efterafgrøder på udvaskningen af kvælstof efter høst af korn er målt direkte. Uden tilførsel af kvælstof til efterafgrøden blev der fundet en reduktion i udvaskningen varierende fra 10 til 35 kg N/ha (Andersen og Jensen, 1983; Djurhuus, 1985). Alm. rajgræs er den efterafgrøde, der forsøgs-mæssigt er bedst belyst ved direkte måling af udvaskningen. Ved udlæg i vårsæd dyrket på sandjord og gødet med anbefalede mængder af handelsgødning eller organisk gødning om foråret blev det fundet, at middeltidlig eller sildig alm. rajgræs, der ikke blev gødet om efteråret, i gennemsnit reducerede udvaskningen med 38 kg N/ha sammenlignet med ubearbejdet jord uden bevoksning (Simmelsgaard, 1991; Djurhuus og Lind, 1992; Hansen og Djurhuus,

1997). Forsøgene blev udført i år med milde vintre. I år med koldere vintre vil den udvaskningsreducerende effekt formentlig være mindre. På lerjord vil den udvaskningsbegrænsende effekt ofte være mindre pga. generel mindre udvaskning på lerjord. På fin sandblandet lerjord ved Ødum fandt Hansen og Djurhuus (1997) således, at alm. rajgræs i gennemsnit reducerede udvaskningen med 12-16 kg N/ha ved nedmuldning henholdsvis efterår eller forår, mens Thomsen og Christensen (1999) og Thomsen 2003 (personlig meddelelse) fandt reduktioner på 20-35 kg N/ha i lysimeterforsøg med grov sandblandet lerjord ved Askov. Resultaterne afspejler, at den udvaskningsmæssige reduktion, der kan opnås på lerjord ved dyrkning af efterafgrøder, er afhængig af de aktuelle nedbørsmængder i efterårs- og vinterperioden, idet Askov er beliggende i et mere nedbørsrigt område end Ødum.

På baggrund af ovennævnte forsøg anslås det, at udvaskningen som gennemsnit over jordtyper kan reduceres med 25 kg N/ha ved dyrkning af veletablerede ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder efter almindelige landbrugsafgrøder med afstemt brug af handels- eller husdyrgødning. For at opnå dette resultat kræves en god driftsledelse med rigtigt valg af efterafgrøde samt rettidig såning og ensartet etablering af efterafgrøden.

Flertallet af ovennævnte forsøg er gennemført i planteavlssædskifter, der ikke har en stor pulje af organisk bundet kvælstof fra husdyrgødning og kløvergræs. Der er derfor begrænset viden om effekten af efterafgrøder i husdyrintensive sædskifter. Det findes dog målinger, der tyder på, at der på arealer med store mængder mineralsk kvælstof i jorden om efteråret kan opnås væsentlig større udvaskningsbegrænsende effekt af efterafgrøder end de ovenfor anslåede 25 kg N/ha. Simmelsgaard (1991) fandt, at alm. rajgræs optog op til 76 kg N/ha i overjordisk biomasse ved tilførsel af 100 kg N/ha i kartoffelrugtsaft i november måned, og forsøg på intensive svinebrug viste, at veletablerede græsefterafgrøder kunne reducere det mineralske kvælstofindhold i jorden med op til ca. 75 kg N/ha (Anonym, 1993). Ligeledes fandt Thorup-Kristensen (2001) stor kvælstofoptagelse i efterafgrøder dyrket efter grønne ærter.

Effekt på udvaskningen ved at benytte artsblandinger af græsser samt græsser iblandet tokimbladete ikke-kvælstoffikserende arter er ikke undersøgt i forsøg. I forhold til benyttelse af en enkelt art som efterafgrøde, vil artsblandinger formentlig kunne medføre en mere stabil effekt af efterafgrøden under forskellige vejrforhold, både før og efter høst af hovedafgrøden.

Effekten af at benytte bælplanter er ikke tilstrækkeligt belyst til, at der kan anslås en størrelse for den udvaskningsbegrænsende effekt (Hansen et al., 2000c). Nyere forsøg tyder dog på, at udlæg af blandinger af græs og kløver kan reducere det uorganiske N-indhold i jorden om efteråret til tilsvarende niveau som rent græs (Tersbøl et al., 2002). På grund af bælplanter kvælstoffikserende evne vil de ofte efterlade mere kvælstof i jorden end ikke-kvælstoffikserende planter. Dette kvælstof kan, hvis det udnyttes effektivt, bidrage positivt til kommende afgrøders kvælstofforsyning, men der er risiko for, at en del af kvælstoffet mineraliseres, når jorden er uden et effektivt plantedække, der kan optage kvælstof.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

I udlægsåret

Visse græsser, bl.a. italiensk rajgræs vil, hvis de sås som udlæg i f.eks. vårbyg, konkurrere med hovedafgrøden og derved medvirke til lavere udbytte end uden benyttelse af efterafgrøde. Men udlæg af 8-10 kg/ha af middeltidlig eller sildig alm. rajgræs har vist sig kun i ringe grad at konkurrere med hovedafgrøden (Hansen et al., 2000c).

Eftervirkning

Nærværende afsnit er relateret til efterafgrøder dyrket efter traditionelle landbrugsafgrøder. Når efterafgrøder nedmuldes, tilføres jorden organisk bundet kvælstof. Men blot en mindre del af det kvælstof, der findes i ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder, vil blive frigivet de første år efter nedmuldning. Ved en overjordisk kvælstofoptagelse på ca. 20 kg N/ha viser ¹⁵N-forsøg, at der i de tre første år efter nedmuldning af efterafgrøden optages henholdsvis 3, 1 og <1 kg N/ha/år i den efterfølgende afgrøde (Jensen, 1992; Thomsen og Jensen, 1994).

Disse kvælstofoptagelser svarer til, at man ved et års efterafgrødedyrkning kan spare ca. det dobbelte i handelsgødning, altså henholdsvis 6, 3 og 1 kg N/ha, og høste samme udbytte. For at opnå de angivne værdier forudsættes det, at efterafgrøden nedmuldes så sent som muligt, men alligevel så tidligt, at den i foråret ikke optager væsentlige mængder kvælstof, som ellers ville kunne udnyttes af hovedafgrøden ("pre-emptive competition", Thorup-Kristensen, 1993). Derved reduceres risikoen for negativ eftervirkning, som ofte ses på lerjord. Det betyder, at efterafgrøder på lerjord bør nedmuldes tidligt om foråret eller evt. sent efterår/vinter. Frostfølsomme arter som honningurt og gul sennep standser selv væksten, når de udsættes for frost. På sandjord, hvor der skal mindre nedbørmængder til at forårsage udvaskning, er det uheldigt, hvis efterafgrøden visner, og omsættes om efteråret. For at undgå dette, bør der på sandjord vælges efterafgrøder, der ikke er følsomme over for frost, og der bør foretages nedmuldning om foråret frem for om efteråret. På sandjord er der sjældent tilbageværende kvælstof i jorden om foråret, hvilket mindsker risikoen for, at efterafgrøden vil optage kvælstof, der kunne være til rådighed for den efterfølgende afgrøde. Det anslås, at immobilisering af kvælstof ved nedmuldning af efterafgrøder er af ringe betydning, idet C/N-forholdet sædvanligvis er af en sådan størrelse, at immobilisering ikke kan forventes (Djurhuus og Lind, 1992; Lindén et al., 1993; Hansen og Djurhuus, 1997; Hessel et al., 1998).

Hvis efterafgrøder dyrkes, hvor der er meget kvælstof i jorden, kan eftervirkningen blive større end ovenfor beskrevet. I forsøg med såning af efterafgrøder 1. august er der målt eftervirkninger af foderræddike på mere end 60 kg N/ha svarende til en tilført gødningsmængde på ca. 100 kg N/ha (Thorup-Kristensen, 1994).

Eftervirkningen af veletablerede bælgplanter vil ligeledes kunne være større end beskrevet ovenfor, da disse sædvanligvis har en højere kvælstofkoncentration ved nedmuldning pga. deres evne til biologisk kvælstoffiksering.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Ved dyrkning af efterafgrøder er der udgifter til frø og såning. For at opveje disse omkostninger skal der opnås merudbytter i forhold til at undlade dyrkning af efterafgrøder. Det økonomiske nettomerudbytte afhænger bl.a. af priser på afgrøden og udsæden samt på arbejds- og maskinomkostningerne. I en tidligere beregning er der opnået positive nettomerudbytter på grovsandet jord (Hansen et al., 1995), mens der på lerjord, hvor den udvaskningsbegrænsende effekt er mindre, ofte findes negative nettomerudbytter (Hansen et al., 2000C).

For jordens frugtbarhed kan dyrkning af rajgræs som efterafgrøde have en positiv effekt, som ikke kan opvejes ved øget tilførsel af kvælstof (Hansen et al., 2000b). Hyppig dyrkning af efterafgrøder kan endvidere medvirke til at reducere faldet i jordens indhold af organisk stof som følge af ensidig dyrkning af kornafgrøder og fjernelse af halm fra marken, som beskrevet af Christensen (2002).

Gentagne nedmuldninger af efterafgrøder på samme areal vil øge jordens indhold af organisk bundet kvælstof (Thomsen, 1995; Hansen et al., 2000a). Dette kvælstof vil ligesom jordens øvrige indhold af organisk bundet kvælstof kunne mineraliseres både i og uden for den egentlige vækstsæson. Den del, der mineraliseres i efterfølgende vækstsæsoner, vil kunne udnyttes af efterfølgende afgrøder, mens der er risiko for, at den del, der mineraliseres, når jorden er uden bevoksning, udvaskes. For ikke-kvælstoffikserende efterafgrøder gælder det imidlertid, at der totalt set over en årrække ikke vil kunne udvaskes mere kvælstof end efterafgrøderne i årenes løb har opsamlet. Hansen et al. (2000a) fandt, at den gennemsnitlige årlige udvaskning på grovsandet jord efter ophør af 25 års dyrkning af alm. rajgræs som efterafgrøde i vårbyg var 14 kg N/ha større end uden dyrkning af efterafgrøde i samme tidsinterval. Den øgede udvaskning efter ophør af flere års dyrkning af efterafgrøde svarede i Thomsen og Christensen (1999) til at 30% af det kvælstof, der var blevet tilbageholdt efter fem års dyrkning af efterafgrøder, blev udvasket i de efterfølgende fem år, hvor byg blev dyrket uden efterafgrøder. I begge ovennævnte forsøg var gødningsmængden til den efterfølgende hovedafgrøde uafhængig af forsøgsbehandlinger og derfor ikke korrigeret ud fra en forventet eftervirkning af efterafgrøden. For at opnå maksimal reduktion i udvaskningen ved dyrkning af efterafgrøder er det vigtigt at tilpasse afgrødevalg og sædskifte, således at kvælstof mineraliseret fra efterafgrøden kan blive udnyttet. Derfor bør markerne så vidt muligt være bevokset med afgrøder, der effektivt optager kvælstof i perioder med nedadgående vandbevægelse.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

I forbindelse med Vandmiljøplan II blev det forudsat, at kravet om 6% efterafgrøder skulle medføre at yderligere 120.000 ha blev dyrket med efterafgrøder. Fra efteråret 1999 skulle der etableres efterafgrøder på 6% af det areal med afgrøder, der ikke har kvælstofoptagelse om efteråret i høståret, kaldet ”grundarealet” (Plantedirektoratet 2002). Kravet om 6%-efterafgrøder skal overholdes som et gennemsnit af 4 år, hvilket betyder, at opgørselsperioden udløber med udgangen af 2002. Oplysninger fra Plantedirektoratet (2002) viser, at der i efteråret 1999 blev

etableret efterafgrøder på 11,7% af grundarealet, mens der i efteråret 2000 blev etableret efterafgrøder på 9,6% af grundarealet svarende til 185.000 ha.

Benyttelsen af efterafgrøder afhænger ikke blot af, hvor mange vårafgrøder der dyrkes, men også af, i hvilken sædskiftemæssig sammenhæng de dyrkes, idet vårafgrøder på kvægbrug ofte følger efter græsmarker. Det er derfor vanskeligt at vurdere, hvor stort et areal, det er muligt at dyrke efterafgrøder på. Endelig kan sædskiftemæssige ændringer i retning af mere vårsæd på bekostning af vintersæd medføre, at arealet med efterafgrøder kan udvides.

Hvis arealet med efterafgrøder øges til 370.000 ha, er det tidligere vurderet, at dette bør kunne ske uden store ændringer i sædskiftet (Anonym, 2000), men det vil kræve, at en del vintersæd omlægges til vårsæd, hvilket kan give indtægtstab. Hvis det nuværende areal med efterafgrøder anslås til samme niveau som gældende for 2000/2001 (185.000 ha), svarer forøgelsen til, at efterafgrødearealet øges med 185.000 ha.

Tidshorisont for implementering

Benyttelse af efterafgrøder kan ændres fra det ene år til det andet. Hvis efterspørgslen efter specielle efterafgrøder øges, kan produktionen af udsæd dog være begrænsende.

Barrierer for implementering

Øgede udgifter til udsæd og såning samt frygt for negativ effekt på udbyttet af hovedafgrøden og efterfølgende afgrøde er medvirkende til at benyttelsen af efterafgrøder har været ringe, indtil kravet om 6 procent efterafgrøder skulle opfyldes. Efterfølgende er efterafgrøder af mange landmænd blevet betragtet som chikaneafgrøder, hvilket ikke har bidraget til yderligere udbredelse og formentlig heller ikke til særlig omhu for at sikre ensartet og vellykket etablering. Dette øger risikoen for, at efterafgrøder bliver til en slags pro-forma-afgrøder. Såfremt benyttelsen ikke kræver ændringer i sædskiftet, vurderes det dog, at holdningen til efterafgrøder er ved at blive mere positiv. Hvis ændringer af sædskiftet er nødvendigt for en yderligere udbredelse af efterafgrøder vil dette være en væsentlig barriere.

Referencer

- Anonym. Praktisk vejledning i Reduceret Jordbearbejdning. Landbrugs-Rådgivning Østjylland I/S, 15 pp.
- Anonym, (1993). Artikeludgave af rapport over 5-årige forsøg med efterafgrøder 1988-1992. Landskontoret for Planteavl. Landbrugets Rådgivningscenter, Skejby.
- Andersen, A. & Jensen, M.B. (1983). Jordbearbejdning og efterafgrøder ved bygdyrkning. 2. Bygplanternes morfologiske udvikling i relation til kvælstof. Tidsskr. Planteavl 87, 217-236.
- Andersen, A. & Olsen, C.C. (1994). Forskellige kulturplanter anvendt som grøngødning i bygdyrkingen. SP rapport nr. 23.
- Christensen, B.T. (2002). Kulstofindhold i dyrket jord. I: Christensen, B.T. (ed) Biomasseudtag til energiformål – konsekvenser for jordens kulstofbalance i land- og skovbrug. Slut-

- rapport for projekt under Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi m.v. (UVE). DJF-rapport nr. 72, Markbrug.
- Djurhuus, J. (1985). Intern rapport. Betydningen af efterafgrøde, halmnedmuldning og jordbearbejdning for kvælstofudvaskning. Statens Forsøgsstation Højer.
- Djurhuus, J. & Lind, A.-M. (1992). N-transformation and N-transport in a sandy loam and a coarse sandy soil cropped with spring barley. I. Description of the experimental areas, climate, plant production and mineral N in soil. Tidsskr. Planteavl. Beretning nr. S 2213.
- Hansen, E.M. og Djurhuus, J. (1996). Nitrate leaching as affected by long-term N fertilization on a coarse sand. *Soil Use Manage.* 12, 199-204.
- Hansen, E.M. & Djurhuus, J. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.* 41, 203-219.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. & Simmelsgaard, S.E. (1995). Alm. rajræs som efterafgrøde i vårbyg. Effekt på nitratudvaskning og udbytte på sandjord. *Grøn Viden, Landbrug* nr. 157.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. & Kristensen, K. (2000a). Nitrate leaching as affected by introduction or discontinuation of cover crop use. *J. Environ. Qual.* 29, 1110-1116.
- Hansen, E.M., Kristensen, K. & Djurhuus, J. (2000b). Yield parameters as affected by introduction or discontinuation of cover crop use. *Agron. J.* 92, 909-914.
- Hansen, E.M., Kyllingsbæk, A., Thomsen, I.K., Djurhuus, J., Thorup-Kristensen, K. & Jørgensen, V. (2000c). Efterafgrøder. Dyrkning, kvælstofoptagelse, kvælstofudvaskning og eftervirkning. DJF rapport, Markbrug nr. 37.
- Hessel, K., Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Rydberg, T. & Gustafson, A. (1998). Höstgrödor – Fanggrödor – Utlakning. Kvævedynamik och kväve-utlakning på en moränlättlera i Skåne. *Ekohydrologi* 46.
- Hostrup, S.B. & Hansen, P.F. (1977). Supplerende grovfoderproduktion med efterafgrøder. Statens Planteavlsvorsøg. Meddelelse nr. 1317.
- Jensen, E.S. (1992). The release and fate of nitrogen from catch-crop materials decomposing under field conditions. *J. Soil Sci.* 43, 335-345.
- Karlsson-Strese, E.M., Rydberg, I., Becker, H.C. & Umaerus, M. (1998). Strategy for catch crop development. II. Screening of species undersown in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) with respect to catch crop growth and grain yield. *Acta Agric. Scand. Sect. B* 48, 26-33.
- Lindén, B., Gustafson, A., Torstensson, G. & Ekre, E. (1993). Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på en grovmojord i södra Halland med handels- och stallgödslade odlingssystem med och utan insådd fånggröda. *Ekohydrologi* 30. Avd. för Vattenvårdslära. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Martinez, J. & Guiraud, G. (1990). A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. *J. Soil Sci.* 41, 5-16.
- Plantedirektoratet, (2002). Gødningsregnskaber Fysisk Kontrol Statistik 1999/2000.

- Rasmussen, K.J. & Andersen, A. (1991). Nedmuldning af halm og efterafgrøde ved forskellig jordbearbejdning og kvælstofgødskning i fastliggende forsøg. Tidsskr. Planteavl 95, 105-118.
- Rasmussen, K.J. & Olsen, C.C. (1983). Jordbearbejdning og efterafgrøder ved bygdyrkning. 1. Vækstbetingelser, jordfysiske målinger og udbytter ved ensidig byg og sædskiftebyg. Tidsskr. Planteavl 87, 193-215.
- Rydberg, I. & Karlsson-Strese, E.-M. (1994). Variation between and within species for the ability to "catch" nitrogen. NJF-seminar 245. Knivsta, Sverige 3.- 4. oktober 1994.
- Simmelsgaard, S.E. (1991). Slutrapport for projektet: Kvælstofudvaskning efter udbringning af kartoffelfrugtsaft. Statens Planteavlsvforsøg. Intern rapport.
- Sørensen, J.N. (1992). Effect of catch crops on the content of soil mineral nitrogen before and after winter leaching. Z. Pflanz. Bodenkunde 155, 61-66.
- Tersbøl, M., Bertelsen, I. & Mejnertsen, P. (2002). Oversigt over Landsforsøgene. Landbrugsgets Rådgivningscenter, Skejby.
- Thomsen, I.K. (1995). Catch crop and animal slurry in spring barley grown with straw incorporation. Acta Agric. Scand. Sect. B 45, 166-170.
- Thomsen, I.K. & Christensen, B.T. (1999). Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. Soil Use Manage. 15, 195-200.
- Thomsen, I.K. & Jensen, E.S. (1994). Recovery of nitrogen by spring barley following incorporation of ¹⁵N-labelled straw and catch crop material. Agric. Ecosyst. Environ. 49, 115-122.
- Thorup-Kristensen, K. (1993). The effect of nitrogen catch crops on the nitrogen nutrition of a succeeding crop. I. Effects through mineralization and pre-emptive competition. Acta Agric. Scand. Sect. B 43, 74-81.
- Thorup-Kristensen, K. (1994). Effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops, Fert. Res. 37, 227-234.
- Thorup-Kristensen, K. (2001). Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? Plant Soil 230, 185-195.

Table 26. Effektvurdering af efterafgrøder. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres.	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr./ha	Kr./ha	År
Efterafgrøder	Forud for vårafgrøder	185.000***	0 - >0	25** ¹⁾	0	0 - >0 ²⁾	udsæd/såning 90-200 kr. ³⁾	0-1 år

* Lille usikkerhed på estimat

** Middel usikkerhed på estimat

*** Stor usikkerhed på estimat

- 1) Der forudsættes veletablerede ikke kvælstoffikserende efterafgrøder efter almindelige landbrugsafgrøder med afstemt brug af handels- og/eller husdyrgødning. På arealer med store mængder plantetilgængeligt N i jorden om efteråret kan den udvaskningsreducerende effekt blive væsentlig større.
- 2) Det forudsættes at efterafgrøden nedmuldes så sent som muligt, men alligevel så tidligt at den i foråret ikke optager væsentlige mængder kvælstof, som ellers ville kunne udnyttes af hovedafgrøden. Derved reduceres risikoen for negativ eftervirkning, som kan ses på lerjord.
- 3) Omkostninger: 8 kg rajgræsfrø/ha á 11,25 kr (i alt 90 kr) og fra 0 kr. (ekstra såkasse på såmaskinen) til 125 kr./ha (gødningsspreder) for udsåning. Ved separat udsåning med såmaskine vil omkostningerne være større. Indtægtstab ved eventuel omlægning fra vintersæd til vårsæd er ikke inkluderet.

4.1.3.5. Forslag til øget kvælstofeffekt af efterafgrøder ved optimeret artsvalg, management og placering

Kristian Thorup-Kristensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Havebrugsproduktion

Beskrivelse af tiltaget

Der foreslås fire tiltag:

- 1) Ændre og udvide antallet af plantearter der kan bruges som efterafgrøder, især for at øge udnyttelsen af efterafgrøder med dyb rodvækst
- 2) Ændre regler om nedmuldningstid, især senere nedmuldning på sandjord
- 3) Sikre mere optimal placering af efterafgrøder i sædskiftet/bedriftstyper
- 4) Dyrke efterafgrøder målrettet i områder, hvor nitratudvaskning skaber særlige miljøproblemer

Generelt handler de foreslåede tiltag om at udnytte de muligheder vi har i form af optimeret artsvalg, management eller placering, for at forbedre virkningen af de efterafgrøder der dyrkes. Vi har videnskabelig baggrund der dokumenterer at tiltagene kan virke. Vi har veldokumenterede eksempler fra Danmark og/eller fra udlandet der viser virkningen, men vi har ikke et stort antal forsøg, hvor de er afprøvet under en række forskellige forhold. Bl.a. derfor bliver vurderingen af den samlede kvantitative virkning, hvis tiltagene implementeres på landsplan, generelt usikker. Til gengæld omhandler forslagene nogle af de emner hvor der forventes at være fremtidige muligheder for at udvikle dyrkning af efterafgrøder til et mere effektivt redskab i landbrugets N-styring, og derfor må deres virkning på længere sigt, efterhånden som der opbygges mere viden og erfaring om metoderne, forventes at kunne blive større end den kan her og nu.

I vurderingerne af arealmæssig betydning og betydning for udvaskning er der taget udgangspunkt i afsnittet 'Efterafgrøder under nuværende praksis', hvor effekten af at øge arealet med efterafgrøder til 370.000 hektar beskrives med udgangspunkt i de eksisterende regler og praksis, hvorved efterafgrøderne især må forventes at bestå af græs undersået i korn. Forslagene i nærværende beskrivelse antager altså 370.000 hektar med efterafgrøder, men kommer med forslag til ændrede regler, der sigter på at forbedre virkningen. Vurderingerne af virkninger og omkostninger er tilsvarende vurdering af forbedrede virkninger og øgede eller sænkede omkostninger i forhold til forslaget om 370.000 hektar efterafgrøder dyrket efter nuværende regler og praksis.

Ændre og udvide antallet af plantearter der kan bruges som efterafgrøder, især for at øge udnyttelsen af efterafgrøder med dyb rodvækst

De nuværende regler om dyrkning af efterafgrøder begrænser sig til nogle få arter, græsser eller cikorie ved undersåning i korn, og rajgræs, rug og korsblomstrede arter ved såning efter

høst. Hvis der dyrkes korsblomstrede arter kræves der dobbelt så stort et areal for at opfylde kravene. Disse regler fører i praksis til, at langt de fleste efterafgrøder er græs undersøgt i korn. Rajgræs er en velundersøgt og relativt dyrkningssikker efterafgrøde, hvilket naturligt har ført til regler der fremmer den som efterafgrøde. En del forskningsresultater har dog vist, at der i mange situationer kan opnås bedre resultater med andre arter af efterafgrøder. Ved sammenligning er det fundet at en del andre plantearter har væsentligt dybere rodvækst end rajgræs, og at det har stor betydning for deres optagelse af kvælstof især fra dybere jordlag (Kristensen and Thorup-Kristensen 2003; Thorup-Kristensen 2001; Thorup-Kristensen 1993). I undersøgelserne har rajgræs nået roddybder på 70-100 cm i løbet af efteråret når den blev sået i starten af august, vinterrug nåede mere end 100 cm dybde, og olieræddike opnåede roddybder på over 200 cm. Undersøgelserne viste samtidig, at disse forskelle har stor betydning for efterafgrødernes evne til at optage N fra dybere jordlag. Andre undersøgelser bekræfter, at korsblomstrede afgrøder har et højere potentiale for N optagelse end rug eller rajgræs, ihvertfald hvis de sås tidligt (Elers and Hartmann 1987). Disse undersøgelser er lavet på efterafgrøder, der er sået efter høst af en hovedafgrøde. Ved undersåning i korn, sådan som græsefterafgrøder normalt dyrkes, får efterafgrøden længere tid til at udvikle større roddybde. Alligevel viser resultater, at græs også under disse betingelser opnår effektive roddybder på højest 100 cm. Undersøgelser har vist at et antal andre plantearter kan bruges som undersøede efterafgrøder (Karlsson-Strese et al. 1998), og rodvækstmålinger har vist at nogle af disse arter kan opnå roddybder på mere end 200 cm når de dyrkes etableres ved undersåning i korn. Specielt cikorie og vajd har vist lovende resultater (Thorup-Kristensen, upubliceret). I gennemsnit af 4 forsøg reducerede cikorie undersøet i byg mængden af nitrat i jordlaget fra 100 til 250 cm dybde med 25 kg N ha⁻¹, mens rajgræs ikke havde effekt på dette jordlag. Resultaterne tyder samtidig på at vajd har en endnu bedre evne til at optage N fra større jorddybder, samt at der kan findes typer af cikorie med mere aktiv vækst sidst på efteråret der er bedre end de typer der primært har været afprøvet i forsøg indtil nu.

De omtalte målinger er lavet på lerjord. Der er ikke lavet tilsvarende undersøgelser på sandjord, men det må antages at virkningen af dyb rodvækst er mindre på sandjord end på lerjord, specielt på grovsandede jorder hvor planternes roddybde begrænses stærkt af jordens fysiske egenskaber.

Der kan også være andre grunde til at landmænd ønsker at vælge andre arter af efterafgrøder end rajgræs. Eftervirkningen af andre arter er ofte bedre, specielt har korsblomstrede arter ofte vist en særligt god eftervirkning (Vyn et al. 1999; Thorup-Kristensen 1994; Vyn et al. 2000), men i sammenligninger viser også vinterrug typisk en bedre eftervirkning end rajgræs (Schröder et al. 1996; Thorup-Kristensen 1994; Kuo et al. 1996). Forskellige arter af efterafgrøder giver forskellige muligheder i forbindelse med etablering og nedmuldning, har effekter på jordbårne sygdomme, jordstruktur (Breland 1995), andre plantenæringsstoffer end N og meget andet (Janzen and Schaalje 1992; Thorup-Kristensen et al. 2003).

Valg af dybrodede arter kan forbedre miljøeffekten af efterafgrøderne. Nogle af de andre muligheder i ændret artsvalg, f.eks. forbedret N-eftervirkning, kan også forbedre miljøeffekten, men de er først og fremmest med til at give landmanden flere muligheder og muligheden for at opnå en bedre økonomi i dyrkning af efterafgrøder.

Alt i alt er der behov for et mere frit artsvalg. Konkret for at øge udnyttelsen af dyb rodvækst foreslås det, at reglen om at areal med korsblomstrede efterafgrøder kun tæller halvt i arealregnskabet fjernes. Til gengæld foreslås kravene til såtid ændret, så korsblomstrede skal sås senest 15. august, mens vinterrug kan sås indtil 25. august. De korsblomstrede afgrøders fordele med dyb rodvækst kan primært udnyttes hvis de sås relativt tidligt, mens der ved senere såning kan forventes bedre resultater med vinterrug. Ved tidlig såning kunne reglerne med fordel give et incitament til at dyrke efterafgrøder med dybt rodsystem. Græsser bør ikke indgå i listen af arter til såning efter høst, da det er dokumenteret (Kristensen and Thorup-Kristensen 2003; Thorup-Kristensen 2001; Thorup-Kristensen 1993; Thorup-Kristensen 1994) at de under disse betingelser ikke virker lige så godt som vinterrug eller korsblomstrede arter.

Til undersåning i korn er viden og erfaring omkring alternative arter endnu meget begrænset, men resultaterne tyder på, at der kan være betydelige perspektiver i at dyrke andre arter, både for at forbedre N eftervirkningen, men også virkningen på andre næringsstoffer, virkninger på jordstruktur sædskiftesygdomme og andre forhold (Thorup-Kristensen et al. 2003). Med de eksisterende regler er der slet ikke mulighed for at udnytte dybrodede arter til undersåning. Forslaget er derfor at ændre reglerne så de muliggør brug af andre arter end rajgræs ved at tilføje arter, der i undersøgelser viser lovende resultater. Foreløbige resultater tyder f.eks. på at arter som vajd, bibernelle, natlys og havesyre kan fungere godt som undersåede efterafgrøder (Karlsson-Strese et al. 1998; Thorup-Kristensen, upubliceret).

Både for efterafgrøder til undersåning og til såning efter høst foreslås det, at der gives mere generel mulighed for frit at vælge efterafgrødearter også ud over de her foreslåede, dog ikke bælglplanter. For at tage højde for usikkerhederne kan det så kræves at de skal sås senest 10. august hvis de sås efter høst, og at der kræves et større areal end af de mere dokumenterede arter, f.eks. 1,5 gange så stort areal.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Der er betydelige perspektiver i dette på længere sigt, forsøgsresultaterne viser at dyb rodvækst i nogle tilfælde kan forbedre virkningen af efterafgrøder drastisk (Thorup-Kristensen 2001) fandt at nitratindholdet i jordlaget 100-150 cm blev reduceret fra 41 kg N ha⁻¹ uden efterafgrøde, til 20 kg N ha⁻¹ hvor der blev dyrket rajgræs og kun 0.4 kg N ha⁻¹ under olieræddike der havde meget dyb rodvækst. I et andet forsøg med rajgræs, rug og ræddike efterafgrøder hvor der blev taget jordprøver og målt rodvækst helt til 250 cm dybde (Kristensen and Thorup-Kristensen 2003) blev det fundet at de tre efterafgrøder havde efterladt henholdsvis 87, 59 og 18 kg nitrat-N ha⁻¹ i jorden, deraf henholdsvis 39, 27 og 8 kg nitrat-N i jordlaget 100-250

cm, og endnu upublicerede forsøg har vist tilsvarende store forskelle ved måling til stor dybde. I et forsøg med efterafgrøder undersøgt i byg blev der kun fundet et lavt nitratindhold i 0-100 cm i november, men alle efterafgrøder var istand til at reducere dette niveau lidt. I jordlaget 100-250 cm var der derimod en del nitrat (103 kg N ha^{-1}), efterafgrøder med overfladisk rodvækst som rajgræs havde ingen effekt på dette jordlag, mens arter med dyb rodvækst bl.a. cikorie og vajd reducerede det med mellem 37 og 78 kg N ha^{-1} . Den bedste effekt blev opnået med vajd der reducerede indholdet af nitrat-N fra 103 kg N ha^{-1} til kun 25 kg N ha^{-1} i jordlaget 100-250 cm. Resultaterne viser altså at effekten *kan* være meget stor når der er betydelige mængder N i dybe jordlag og efterafgrøder er istand til at udvikle rødder der. Vi mangler viden om hvor meget N der normalt findes i de dybere jordlag, og om hvor ofte vi i praksis vil være istand til at få efterafgrøder til at udnytte dette.

På kort sigt kan efterafgrøder med dyb rodvækst kun udnyttes på en lille del af arealet. Den store del af arealet, der p.t. dyrkes med undersøede græsefterafgrøder, vil fra starten påvirkes meget lidt. Med et efterafgrødeareal på 370.000 hektar og et skøn på en gennemsnitlig 5% øget effekt (stor effekt, men på en lille del af arealet) bliver den samlede effekt ca. 450 ton N/år.

På længere sigt er det muligt at dyrkning af dybrodede efterafgrøder kan udbredes til en langt større andel af arealerne med efterafgrøder, med mulighed for at opnå en stor effekt som omtalt ovenfor. Hvis der regnes med 50% bedre effekt af efterafgrøderne kan det blive 4.500 ton N/år. Usikkerheden på dette estimat er stor.

Med efterafgrøder der reducerer nitratudvaskning mere effektivt, og hvoraf flere har vist sig at have væsentligt større N-eftervirkning, end den man normalt finder for rajgræs, kan der forventes en betydelig effekt på N-udnyttelsen.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Behandles under næste punkt.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Der vil stort set ikke være omkostninger ved forslaget, da det først og fremmest stiller landmændene friere i deres valg af efterafgrøder. Forslaget vil gøre det lettere for landmændene at optimere deres dyrkning af efterafgrøder. Efterafgrøder med dyb rodvækst, der optager mere N, vil også generelt have større N-eftervirkning. Landmændene får også forbedrede muligheder for at søge at udnytte de andre andre gunstige virkninger, der kan være af efterafgrøde-dyrkning. I princippet kan disse fordele medføre øget udbytte og/eller forbedret kvalitet. I økologisk jordbrug er sådanne muligheder blevet dokumenteret (Thorup-Kristensen 1999), i konventionelt jordbrug forventes fordelene at være væsentligt mindre.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Fra starten ret begrænset, men på længere sigt kan det i princippet omfatte det meste af arealet med efterafgrøder. På de egentlige sandjorder må værdien af dybrodede antages at være begrænset. Hvor udbredt det i praksis bliver afhænger helt af den udbygning af viden og erfaring, der vil ske i de kommende år.

Tidshorisont for implementering

Forslaget kan implementeres med det samme, men der er behov for mere viden og erfaring især omkring effekten af dybrodede efterafgrøder til undersåning, så der vil gå en del år inden virkningen kan slå fuldt igennem.

Barrierer for implementering

Der er ingen umiddelbare barrierer for forslaget, det vil give landmændene større handlefrihed omkring dyrkning af efterafgrøder så det kan tværtimod virke fremmende.

Ændre på regler om nedmuldningstid, især senere nedmuldning på sandjord

De eksisterende regler om nedmuldningstid kræver tidligst nedmuldning 20. oktober. Med så tidlig nedmuldning kan efterafgrødens effekt forringes (Mose C.H 1999; Sanderson et al. 1999; Thorup-Kristensen 1996a; Torstensson 1998; Wallgren and Linden 1994; Hansen et al. 1997), enten ved at den ikke når at tømme jorden effektivt inden nedmuldning, eller ved at N fra efterafgrøden når at mineraliseres efter nedmuldningen og udvaskes inden næste forår. Dette er især et problem på sandjorder og i de mest nedbørsrige egne af landet, hvor nedvaskningen kan ske meget hurtigt. På disse jorder er der behov for at efterafgrøderne overvintrer levende på marken. Også på lerjord har forsøg vist, at nedmuldning 20. oktober kan være for tidligt, med klart bedre virkning ved nedmuldning i slutningen af november (Thorup-Kristensen 1996a).

Forslaget er at ændre nedmuldningstiden til 1. februar i de sydlige og vestlige dele af Jylland, hvor udvaskningen går særligt hurtigt, og til 1. november i resten af landet.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Forslaget er vel ikke et nyt tiltag, mere et forslag til justering af den eksisterende lovgivning ud fra den viden vi nu har. Hvis forslaget fører til mere optimal nedmuldningstid på 25% af efterafgrødearealet (godt 90.000 ha), og på disse arealer medfører i gennemsnit 10 kg N ha⁻¹ mindre udvaskning, vil den samlede effekt blive godt 900ton N/år. Usikkerheden på dette estimat er stort, især fordi det er ukendt, hvor stor en del af arealerne med efterafgrøder, der allerede overholder de foreslåede skærpede krav.

Det er dokumenteret at senere nedmuldningstid fører til øget N-udnyttelse (Wallgren and Linden 1994; Sanderson et al. 1999; Thorup-Kristensen 1996b).

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

For tidlig nedmuldning af efterafgrøder forringer deres eftervirkning, så en mere optimal nedmuldningsstid kan forbedre udbyttet af den følgende afgrøde. Risikoen for for sen nedmuldning, hvilket også kan reducere eftervirkningen (Waggen 1989), øges dog også lidt. Samlet set kan en lille positiv effekt forventes.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Med en kortere periode til at foretage nedmuldningen kan det kræve øget kapacitet til arbejdet, og der er en lidt øget risiko for, at nedmuldning kommer til at ske for sent eller kolliderer med andre arbejdsopgaver. Som nævnt ovenfor kan der til gengæld forventes en lille positiv effekt på udbytte.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Ændringer vil især ske på de mest vestlige/sandede jorder, måske ca. 1/3 af det samlede areal med efterafgrøder. Det er uvist, hvor stor en del af disse arealer der allerede overholder de foreslåede skærpede krav, og hvor store områder der skal ændre praksis på.

Tidshorisont for implementering

Kan implementeres straks.

Barrierer for implementering

De skærpede krav kan gøre dyrkningen af efterafgrøder mere besværlig for landmændene i nogle situationer.

Sikre mere optimal placering af efterafgrøder i sædskiftet/bedriftstyper

Effekten på nitratudvaskning af at dyrke en efterafgrøde varierer i høj grad ud fra de konkrete forhold i den mark de dyrkes i. Effekten kan variere fra ca. 10 kg N ha⁻¹ (Jensen 1991; Richards et al. 1996) til over 200 kg N ha⁻¹ i sjældne tilfælde (Müller and Sundman 1988; Francis 1995; Thorup-Kristensen 1994; Thorup-Kristensen 2001; Thorup-Kristensen 1994). Der er stor forskel på, hvor meget kvælstof forskellige afgrøder efterlader i marken, og efterafgrøder har størst effekt, hvor der er mest kvælstof, der ellers kan udvaskes. Men også andre aspekter af markens dyrkningshistorie, samt hvor lang tid efterafgrøden kan få til sin udvikling (Elers and Hartmann 1987; Sørensen and Thorup-Kristensen 1993) og hvad der skal dyrkes i det følgende år (Willumsen and Thorup-Kristensen 2001) kan være vigtigt, for den effekt en efterafgrøde får.

I de eksisterende regler tages der ikke stilling til, hvor i sædskiftet en efterafgrøde skal placeres, kravene går alene på, hvor tidligt efterafgrøden skal etableres. Effekten af efterafgrøder kan forbedres ved at kræve, at de dyrkes efter bestemte afgrøder, f.eks. specialafgrøder som grønsager, kartofler og spinatfrø hvor disse høstes tidligt, f.eks. før 10. august. Også efter vinterbyg og vinterraps kan efterafgrøder give en god effekt, fordi den relativt tidlige høst betyder længere tid til efterafgrødens udvikling. Man kan næppe kræve efterafgrøder efter alle

marker med vinterbyg eller vinterraps, men hvor landmanden f.eks. har en mulighed for at dyrke efterafgrøden enten efter vinterbyg eller efter vinterhvede, vil det være en fordel med regler der tilskynder til at de dyrkes efter vinterbyggen.

Det er velkendt, at ikke alle bedriftstyper leder til lige stor risiko for N udvaskning. Kravene til dyrkning af efterafgrøder kan derfor strammes specielt på husdyrbrugene.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Dyrkning af efterafgrøder efter tidligt høstede specialafgrøder kan vel omfatte i størrelsesordenen 5000 hektar. I 2002 blev der dyrket knapt 200.000 hektar med vinterbyg og vinterraps. Da langt fra hele dette areal kan forventes at blive dyrket med efterafgrøder kan der antages et samlet areal på ialt 75.000 hektar. Med en skønnet forbedret virkning på i gennemsnit 20 kg N ha⁻¹ i forhold til at dyrke de samme efterafgrøder som græs undersået i korn, vil det ialt give en virkning på 1.500 ton N. Hvis der samtidig flyttes f.eks. 30.000 hektar med efterafgrøder fra planteavlbrug til husdyrbrug, og det også øger effekten af dem med 20 kg N ha⁻¹ kan den samlede virkning øges til 2.100 ton N. Især vurderingen af antal hektar, tiltaget kan omfatte er usikker, så den samlede vurdering af tiltagets effekt er meget usikker, men det er sikkert at der kan nås en væsentlig effekt.

Ved at flytte efterafgrøder til arealer, hvor de kan optage mere N og forhindre mere udvaskning, kan der opnås en større eftervirkning og dermed en forbedret N udnyttelse.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

I det omfang tiltaget vil tvinge landmænd til at skifte fra vintersædsdyrkning til vårsædsdyrkning vil det sænke det samlede høstudbytte, og i øvrigt betyde at landmændene i en række tilfælde ikke kan gennemføre det sædskifte, der vil give dem optimalt udbytte. Forslaget vil dog ikke øge arealet med efterafgrøder, men placere det anderledes i sædskifterne/på bedrifterne, så hvor meget arealet med vintersæd samlet vil reduceres er uklart. Det udbyttetab, der opstår, vil i et vist omfang modvirkes ved, at efterafgrøderne får større N optagelse og dermed bedre eftervirkning, men samlet set må der forventes et udbyttetab.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Forslaget vil føre til flere efterafgrøder der etableres efter høst frem for ved undersåning, og det må forventes at give lidt større omkostninger. Ang. effekter på udbytte se punkt 3 ovenfor.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Se under 'kvælstofudnyttelse og –tab' ovenfor.

Tidshorisont for implementering

Kan implementeres straks.

Barrierer for implementering

De forventede omkostninger ved gennemførelse af forslaget vil udgøre en barriere for implementeringen.

Dyrke efterafgrøder målrettet i områder, hvor nitratudvaskning skaber særlige miljøproblemer

Man får mest miljø for pengene, når efterafgrøderne dyrkes der, hvor der især er miljøproblemer med nitratudvaskningen. På samme måde, som det allerede i et vist omfang gøres med SFL områderne, kan dyrkning af efterafgrøder målrettes imod områder hvor der er følsomme grundvandsmagasiner eller naturværdier, der skal beskyttes. Det kan også overvejes at målrette dyrkning af efterafgrøder imod landområder hvor afstrømningen sker til de indre farvande, hvor der ofte forekommer iltsvind, frem for de landområder hvor afstrømningen sker til Nord-søen.

Den foreslåede dyrkning af efterafgrøder i områder, hvor de kan forventes at være særligt vigtige for miljøet, betyder at bedrifter i disse områder kan blive tvunget til at dyrke et relativt stort areal med efterafgrøder. Det vil kræve ændringer i deres dyrkning og sædskifte, hvilket naturligvis vil være en barriere for forslagets gennemførelse.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Forslaget omfatter ikke øget eller ændret dyrkning af efterafgrøder, men at de i større omfang dyrkes der, hvor deres miljøeffekt er mest værdifuld. Der forventes dermed ikke nogen særlig ændring i efterafgrødernes samlede effekt, men derimod en større værdi af deres effekt.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Forslaget må samlet set forventes at have lille effekt, da det kun handler om at dyrke efterafgrøderne andre steder.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Som under punkt 3 ovenfor, forventes der samlet en meget begrænset effekt. Forslaget vil dog betyde skærpede krav til efterafgrøder for nogle landmænd, og lempelser for andre. For nogle landmænd vil der altså blive tale om meromkostninger.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Afhænger helt af politiske prioriteringer af de forskellige miljøproblemer ved nitratudvaskningen.

Tidshorisont for implementering

Kan i princippet implementeres hurtigt, men de relevante områder for mere intensiv dyrkning af efterafgrøder skal først udpeges, og der skal vel forhandles kompensation til de landmænd der rammes af forslaget.

Barrierer for implementering

Der vurderes at være en betydelig viden om, hvilke områder det kunne være relevant at øge indsatsen imod nitratudvaskning i. Omkostningerne til forslaget vil specifikt ramme landmænd i de områder der udpeges, og det vil udgøre en barriere.

Referencer

- Breland, T.A. (1995). Green manuring with clover and ryegrass catch crops undersown in spring wheat: effects on soil structure, *Soil Use & Management* 11. 163-167.
- Elers, B. & Hartmann, H.D. (1987). Biologische Konservierung von Nitrat, *Gemüse* 4. 210-214.
- Francis, G.S. (1995). Management practices for minimising nitrate leaching after ploughing temporary leguminous pastures in canterbury, new zealand, *Journal of Contaminant Hydrology* 20. 313-327.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. & Dick, W.A. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop, *Soil biology and tillage* 41.203-219.
- Janzen, H.H. & Schaalje, G. B. (1992). Barley response to nitrogen and non-nutritional benefits of legume green manure, *Plant & Soil* 142. 19-30.
- Jensen, E.S. (1991). Nitrogen accumulation and residual effects of nitrogen catch crops, *Acta Agriculturae Scandinavica* 41. 333-344.
- Karlsson-Strese, E.M., Rydberg, I., Becker, H.C. & Umaerus, M. (1998). Strategy for Catch Crop Development II. Screening of Species Undersown in Sping Barley (*Hordeum vulgare* L.) with Respect to Catch Crop Growth and Grain Yield, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 48. 26-33.
- Kristensen, H.L. & Thorup-Kristensen, K. (2003). Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers, *Soil Science Society of America Journal*.
- Kuo, S., Sainju, U.M. & Jellum, E. (1996). Winter cover cropping influence on nitrogen mineralization, presidedress soil nitrate test, and corn yields, *Biol.Fertil.Soils* 22. 310-317.
- Mose, C. H. (1999). Nedbringningstidspunkt for kløvergræs - Påvirkning af kvælstofmineraliseringen og udnyttelsen hos den efterfølgende afgrøde.
- Müller, M.M. og Sundman, V. (1988). The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions, *Plant & Soil* 105. 133-139.
- Richards, I.R., Wallace, P.A. & Turner, I.D.S. (1996). A comparison of six cover crop types in terms of nitrogen uptake and effect on response to nitrogen by a subsequent spring barley crop, *Journal of agricultural science* 127. 441-449.
- Sanderson, J.B., MacLeod, J.A. & Kimpinski, J. (1999). Glyphosate application and timing of tillage of red clover affects potato response to N, soil N profile, and root and soil nematodes, *Can.J.Soil Sci.* 79. 65-72.
- Schröder, J.J., Vandijk, W. & Degroot, W.J.M. (1996). Effects of cover crops on the nitrogen fluxes in a silage maize production system, *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44. 293-315.
- Sørensen, J.N. & Thorup-Kristensen, K. (1993). Nitrogen effects of non-legume catch crops, *Zeitschrift Fur Pflanzenernährung und Bodenkunde* 156. 55-59.

- Thorup-Kristensen, K. (1993). Root development of nitrogen catch crops and of a succeeding crop of broccoli, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science* 43. 58-64.
- Thorup-Kristensen, K. (1994). The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops, *Fertilizer Research* 37. 227-234.
- Thorup-Kristensen, K. (1996a). Effect of catch crop incorporation time on N availability for a succeeding crop. In J.J.Schröder, editor, In: Long term reduction of nitrate leaching by cover crops, First progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. Wageningen, 49-54.
- Thorup-Kristensen, K. (1996b). Effect of catch crop incorporation time on N availability for a succeeding crop. In J.J.Schröder, editor, In: Long term reduction of nitrate leaching by cover crops, First progress report of EU concerted action (AIR3) 2108. Wageningen, 49-54.
- Thorup-Kristensen, K. (1999). An organic vegetable crop rotation aimed at self-sufficiency in nitrogen. In J.E.Olesen, R.Eltun, M.J.Gooding, E.S.Jensen, and U.Köpke, editors, *DARCOF*, 133-140.
- Thorup-Kristensen, K. (2001). Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant & Soil* 230, 185-195.
- Thorup-Kristensen, K., Jensen, L. S. & Magid, J. (2003). Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones, *Adv.Agron.* 79. 227-301.
- Torstensson, G. (1998). Nitrogen delivery and utilization by subsequent crops after incorporation of leys with different plant composition, *Biological Agriculture & Horticulture* 16. 129-143.
- Vyn, T.J., Faber, J.G., Janovicek, K.J. & Beauchamp, E.G. (2000). Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat, *Agronomy Journal* 92. 915-924.
- Vyn, T.J., Janovicek, K.J., Miller, M.H. og Beauchamp, E.G. (1999). Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops, *Agronomy Journal* 91. 17-24.
- Wagger, M.G. (1989). Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops, *Agronomy Journal* 81. 236-241.
- Wallgren, B. & Linden, B. (1994). Effects of catch crops and ploughing times on soil mineral nitrogen, *Swedish Journal of Agricultural Research* 24. 67-75.
- Willumsen, J. & Thorup-Kristensen, K. (2001). Effects of green manure crops on soil mineral nitrogen available for organic production of onion and white cabbage in two contrasting years, *Biological Agriculture & Horticulture* 18. 365-384.

Table 27. Effektvurdering af ændret management af efterafgrøder. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
	Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Efterafgrøder med dyb rodvækst	10-200.000 ¹	?	15-30 ²	0	+	~0	0-5
Senere nedmuldning af efterafgrøder	90.000	3-9	5-15 ²	0	+	?	0-1
Optimal placering af efterafgrøder i sædskifte/bedriftstype	105.000	?	20 ³	0	?	?	0-1

1. På henholdsvis kort og langt sigt
2. Forbedring i forhold til nuværende efterafgrødeeffekt

4.1.3.6. Kvægbrugssædskifter

Karen Søegaard, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Kvægbrugssædskifterne består primært af fire afgrødetyper: majs, helsæd, korn til modenhed og kløvergræs. Ifølge Danmarks Statistik var der i 2002 ca. 95.000 ha med majs, 110.000 ha med helsæd og 220.000 ha med kløvergræs/græs i omdriften. Da der er kløver i over 90 % af de udsædsblandinger, der sælges (oplysninger fra Hunsballe Frø og DLF Trifolium), vil der kun være en mindre del rent græs i omdriften. Arealet med foderroer har i en del år været i tilbagegang og udgjorde i 2002 kun 10.000 ha. Der synes at være to problemområder i kvægbrugssædskiftet. Det ene er majs, hvor der muligvis er en stor N-udvaskning, og det er andet er hele kløvergræs-komplekset. Ved kløvergræsdyrkning og –udnyttelse indgår der store N-mængder, hvilket giver mulighed for store variationer i N-overskud. Det giver også mulighed for 'lækage' af dette kvælstof flere steder, både i etableringsåret, i årene mens der er kløvergræs og efter omplojning. De forskellige problemområder beskrives efterfølgende enkeltvis.

4.1.3.6.1. Majs

Karen Søegaard

Skal majs erstattes af en anden afgrøde ?

Majsarealet er steget meget de senere år på bekostning af helsæd og roer. Stigningen skyldes et lidt varmere klima kombineret med at de majssorter, som anvendes nu, er tilpasset et lidt koldere klima end tidligere. Majsens dyrkningsgrænse er således flyttet nordpå. Derudover supplerer majsensilagen kløvergræs godt i foderrationen, idet der i majs er et lavt råprotein indhold, et højt indhold af stivelse og lav fordøjelighed af cellevægge, mens det omvendte er tilfældet i kløvergræs. Majsensilage sammen med frisk eller ensileret græs er det altafgørende grovfoder i europæiske lande, som DK normalt sammenlignes med.

Udvaskningen efter majs har imidlertid været stor i Landovervågningsprogrammet, hvor udvaskningen har varieret mellem 41 og 374 kg N/ha med et gennemsnit på 139 kg N/ha. Der var i gennemsnit tilført 290 kg total N/ha (Simmelsgaard et al., 2000). Denne høje udvaskning har givet anledning til, at der er stillet spørgsmål ved, hvorvidt majs er særlig velegnet i sædskiftet set ud fra et kvælstof-synspunkt. Majs er i den sidste del af vækstsæsonen inaktiv mht. N-optagelse, hvilket skulle begrunde en ophobning af mineralsk N i jorden. Der er imidlertid relativt få målinger af N-udvaskning i majs (15 obs.) og der kan muligvis være eftervirkninger der forstyrrer billedet, idet majs ofte bliver dyrket på de samme marker. Tidligere 'dumpning' af gylle i majsmarkerne kan være en sådan forstyrrende faktor. Der findes ingen målinger af N-udvaskning fra majs under kontrollerede forhold under danske forhold, som de forholdsvis store udvaskninger i praksis kan holdes op imod.

Spørgsmålet er om majsdyrkning efter gældende normer vil resultere i en stor N-udvaskning. Da der ikke findes konkrete målinger kan der kun gisnes herom, og i tabel 28 er en simpel beregning af N-overskud vist. Majs var tidligere en afgrøde, som blev tilført store mængder husdyrgødning, fordi den udnytter N i husdyrgødning godt. Med de reducerede N-normer kombineret med krav om høj udnyttelse af N i husdyrgødning er N-tilførslen blevet reduceret forholdsvis meget. Størrelsen af reduktionen kan imidlertid ikke dokumenteres.

Tabel 28. N-overskud ved majsdyrkning dyrket på vandet sandjord efter N-normerne 2002/03. Normen for majs efter korn er 170 kg N. Der forudsættes 30 kg N placeret som startgødning og derudover enten handels- eller husdyrgødning.

		Handelsgød.	Husdyrgød.
Tilført	Handelsgød.	170	30
	Husdyrgød.		200
Høstet ¹⁾		190	190
N-overskud		-20	40

¹⁾ Mikkelsen (Landsforsøg 1997 og 2002)

Et overskud på -20-40 kg N/ha vil ikke kunne berettige en antagelse om udvaskning på over 100 kg N. Efter kløvergræs er normen for majs 118 kg N/ha, da der er taget hensyn til kløvergræssets forfrugtsværdi, og en gødskning efter denne norm bør således heller ikke give et større N-overskud. Der kan således ikke argumenteres for på grundlag af N-overskuddet, at udvaskningen efter majs skulle være betydeligt højere end efter korn uden efterafgrøde, når der gødes efter N-normen, og derfor foreslås der ikke tiltag vedr. ændringer af sædskiftet mod en mindre majsandel. Alternativet til majs i sædskiftet er kornhelsæd eller foderroer, som kan erstatte majs i foderrationen. Arealet af foderroer forventes imidlertid ikke forøget igen, og N-udvaskningen efter kornhelsæd uden kløvergræsudlæg eller efterafgrøde kan ikke forventes mindre end efter majs.

Spørgsmålet er så, om der evt. gødes med mere end normen. I 2001 blev der som gennemsnit i Studielandbrugene tilført 39 N i handelsgødning og 213 N i husdyrgødning til majs (Studielandbrug, 2002). Der var 13 konventionelle kvægbrug, som havde majs i sædskiftet. Med 55% udnyttelse af kvæggylle, som var gældende i 2001, giver det 166 kg N/ha. Reelt har niveauet været lidt mindre, da noget af husdyrgødningen har været dybstrøelse. Der er ikke kendskab til majsens placering i sædskiftet, dvs. i hvor mange tilfælde kløvergræs har været forfrugt, hvorfor der ikke nærmere kan beregnes, om der har været en eventuel overgødskningen. Registreringerne på Studielandbrug antyder imidlertid ikke en overgødskning.

Efterafgrøde i majs

Beskrivelse af tiltaget

Ligesom for korn kan en efterafgrøde i majs optage N i den sidste del af vækstsæsonen, hvor majs ikke optager noget. I landsforsøgene har majs med udlæg af en sildig diploid alm. raj-

græs eller hybrid rajgræs, sået i første halvdel af juni, givet samme udbytte som renbestand (Mikkelsen, Landsforsøg 2002). Dyrkning af efterafgrøde er derfor en realistisk metode til tilbageholdelse af kvælstof i den sidste del af majsens vækstsæson, hvor majsene ikke selv optager kvælstof. Selv om der kun er foretaget én forsøgsserie med dette emne, har resultaterne herfra været så positive, at en generel anbefaling kan laves.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

N-optagelsen i majs har i forsøgene været den samme i renbestand som med efterafgrøde. Samtidig har N-optagelsen i efterafgrøden i gennemsnit været 20 kg N/ha i overjordisk biomasse. Der kan således optages lige så meget N i denne efterafgrøde som i/efter en kornafgrøde (jf. afsnit 'Forskellige typer af efterafgrøder'). Mineralsk-N i pløjebonden blev nedsat med ca. 20 kg N/ha, dvs. med samme mængde, som der var optaget i den overjordiske del af efterafgrøden (Mikkelsen, 2002). På sandjord kan der forventes en godt 50% større reduktion i udvaskningen end optaget i overjordisk biomasse bl.a. på grund af fastlægning i rodmasse i efterafgrøden (Hansen et al., 2000). Majs indgår i kvægbrugssædskifter med et større N-overskud end på svine og planteavlsbedrifter. Når en optimeret efterafgrødestrategi i majs er udviklet, anslås derfor en udvaskningsreduktion på 25-50 kg N/ha at kan opnås.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Majsudbytte og majs kvalitet blev ikke påvirket af efterafgrøden, når efterafgrøden var alm. rajgræs eller hybrid rajgræs sået i juni. Ved såning af efterafgrøde lige efter såning af majs, hvilket blev prøvet for rødsvingel, blev majsudbyttet flere gange reduceret (Mikkelsen, 2002).

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Omkostningerne ved tiltaget er såning af græs og udgifter til frø (jf. afsnit 'Forskellige typer af efterafgrøder').

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Majsarealet er på 95.000 ha. Reduktionen af N-udvaskning kan der kun gættes på, da der ingen viden er tilgængelig. Det må imidlertid forventes at være på mindst samme niveau, ca. 25 kg N/ha, som ved efterafgrøde i korn (jf. afsnit 'Forskellige typer af efterafgrøder').

Tidshorisont for implementering

Vil kunne implementeres umiddelbart.

Barrierer for implementering

Der er ikke umiddelbart nogen barrierer for implementering.

4.1.3.6.2. Kløvergræs

Karen Søegaard

I de allerfleste græsmarker isåes der i dag kløver, men andelen af kløver i afgrøden er meget variabel. Det er primært hvidkløver der isåes, mens anvendelsen af rødkløver er begrænset. Anvendelsen af rødkløver er imidlertid stigende, primært fordi græsmarkerne i stigende grad anvendes til slæt og ikke til afgræsning. Der fikseres således kvælstof i de fleste græsmarker i omdriften. Selv om kvægbedrifterne og dermed kvægbesætningerne bliver større og større, er der stadigvæk ca. 70 % af besætningerne, som afgræsser i sommerhalvåret. Benyttelsen af kløvergræsmarkerne er meget variabel. Det gælder både i etableringsåret og i årene derefter, hvor kløvergræsset anvendes, hvilket typisk er 2-3 år. I kløvergræsmarkerne ophobes en større eller mindre mængde N, som efter omlægning kan udnyttes i den efterfølgende afgrøde, tabes til omgivelserne og/eller fortsat være i jordpuljen. Ifølge Simmelsgård et al. (2000) er der målt en udvaskning op til 440 kg N/ha og beregnet en udvaskning op til 242 kg N/ha fra græsmarker. Der synes således i praksis at kunne være store N-overskud, der kan resultere i store N-tab.

Den store variation i benyttelse, kløverandel, alder mv. gør, at N-overskuddet kan variere meget. Der er imidlertid begrænset viden om, hvordan N-overskuddet bliver påvirket af de enkelte faktorer, og i de følgende vil de væsentligste emner blive omtalt ud fra simple beregninger, hvor grundlaget er tabelværdier for udbytte, N-normer, udskillelse fra husdyr mv., hvorimod kløverandelen er fremkommet fra registreringer på studielandbrug og fra forsøg. Dette regnestykke er lavet for at vise, hvor stor spændet i N-overskuddet er under disse forudsætninger og for at vurdere, om der er mulige tiltag.

Benyttelse af kløvergræs (afgræsning og slæt)

Benyttelsen af kløvergræs er som omtalt meget variabel. Ved afgræsning varierer belægningsgraden meget ligesom antallet af timer, der afgræsses om dagen, samt hvor meget køerne egentlig græsser pr. tidsenhed. Desuden er der en variation i, hvordan suppleringsfoderet er afstemt til kvaliteten af afgræsningsgræsset, hvilket dog ikke er behandlet i dette afsnit. Yderligere er det meget forskelligt, hvor meget marken bliver brugt til hhv. slæt og afgræsning, og endelig varierer gødningsniveau og anvendelse af hhv. handels- og husdyrgødning. Alle disse faktorer har indflydelse på N-overskuddet.

Der beskrives ofte store N-overskud ved afgræsning. F.eks. fandt Søegaard et al. (2001) et overskud på 191-429 kg N/ha/år ved forskellig fodring og kløverandel. I de senere år er der kommet mere fokus på effektivisering af afgræsningen, både for at undgå det store N-overskud og for at udnytte husdyrgødningen bedre. I tabel 29 er vist tre eksempler på afgræsning: A) en god afgræsning, hvor der dagafgræsses med en forholdsvis stor optagelse, B) en dårlig afgræsning med samme optagelse men med døgnafgræsning og C) en endnu dårligere afgræsning med færre køer end B. Alle tre er realistiske afgræsninger under danske forhold, og de er vist dels ved tilførsel af handelsgødning efter N-normen dels uden handelsgødning.

For at begrænse N-overskuddet er der i den nuværende rådgivning et mål for optagelse under afgræsning på 1 FE/time. Det er forholdsvis meget set over hele sæsonen, idet optagelsen reduceres i den sidste del af sæsonen, hvor kvaliteten går ned. Derfor er optagelsen ved god afgræsning (A) sat til 5 FE på 8 timer. Der er således kun dagafgræsning, da natafgræsning ikke er så effektiv. Der afgræsser 9 køer pr. ha som gennemsnit for sæsonen, hvilket svarer til et normudbytte på 7500 FE. Normudbytte er ifølge reglerne lig nettoudbytte. I den dårlige afgræsning (B) er optagelsen den samme, men køerne afgræsser både nat og dag. Dvs. staldfodringen på døgnbasis er den samme som ved (A), og køerne afgræsser hele 'nettoudbyttet'. I dette tilfælde er staldfodringen således så stor, at køerne ikke afgræsser særlig intensivt. Samtidig er N-udskillelsen i urin og gødning under afgræsning så stor, at der ikke kan tilføres handelsgødning indenfor N-normen. I den endnu dårligere afgræsning (C) er staldfodringen ikke tilpasset tilbuddet på marken, og køerne afgræsser alt for lidt. Køerne fodres så meget på stald, at de ikke kan afgræsse hele 'nettoudbyttet' og der skal derfor afpudses forholdsvis store mængder.

Det ses, at N-overskuddet varierer fra 38 til 220 kg N/ha. Ved god afgræsning (A) er det således muligt at begrænse N-overskuddet betydeligt under de forudsætninger, der her er lavet. Ved registreringer på otte Studielandbrug i afgræsningsmarker har der i gennemsnit været 25 % kløver af tørstof, dvs. fikseringen har været lidt større end i tabellen. Sammenlignes tidligere nævnte afgræsningsforsøg med store N-overskud i ugødet kløvergræs (Søegaard et al., 2001) med tabel 29 'god afgræsning', så var afgræsningsintensiteten den samme i de to tilfælde. Forskellen var primært at finde i to forhold. For det første var kløverandelen i forsøget betydeligt større, ca. 50% af tørstof, hvilket gav en N-fikseringen i forsøget, som var ca. 100 kg N højere. For det andet udskilte køerne mere N i urin i forsøget, ca. 60 kg N, hvilket skyldes en forholdsvis stor N-optagelse under afgræsning, fordi råprotein indholdet er højt i det kløvergræs, der afgræsses. Dette forhold er der ikke helt taget højde for i normtallene.

I beregningerne i dette afsnit er der taget udgangspunkt i udbyttенormen. Denne er 7500 FE/ha og er muligvis lidt i overkanten, idet nettoudbyttet på 16 konventionelle studielandbrug er målt til 6650 FE/ha i 2001 (Studielandbrug, 2002). Hvis udbyttet er mindre vil det både mindske N-fikseringen, tilbageførslen af N via urin og gødning og N-raførsel ved afgræsning, idet belægningsgraden (antal køer/ha) vil blive mindre. Den mindre tilbageførsel i urin og gødning vil medføre en større tilførsel af handelsgødnings-N, når der skal gødes efter N-

norm. Ved afgræsning A i tabel 29 vil en sænkning af nettoudbyttet fra normen på 7500 FE til 6650 FE derfor bevirke, at N-overskuddet stiger fra 74 til 91 kg N/ha.

Tabel 29. N-balance (kg N/ha/år) ved tre forskellige afgræsninger dels ved gældende N-norm og dels uden tilførsel af handelsgødning. Der afgræsses hele sæsonen (167 dage). De enkelte dele er beregnet som gennemsnit over sæsonen.

Variation i afgræsningsintensitet	Tilførsel efter N-norm			Uden tilførsel af handelsgød.	
	A.	B.	C.	A.	C.
	God afgræsn.	Dårlig afgræsn.	Meget dårlig afgræsn.	God afgræsn.	Meget dårlig afgræsn.
Tilførsel					
Gødning (Handelsg.)	106	0	100	0	0
Urin+gødning afgræs.	179	358	199	151 ¹⁾	199
N-fiksering	93	132	93 ²⁾	144	144 ²⁾
(% kløver af ts) ³⁾	12	17	12	22	22
Fraførsel					
Afgræsning	304	304	172	258	172
Nettoudbytte(FE/ha)	7500	7500	4250	6365 ⁴⁾	4250
N-overskud	74	186	220	38	171

A. 9 køer/ ha, 5 FE/dag, 8 timers afgræsning, normudbytte

B. 9 køer/ha, 5 FE/dag, 16 timer, normudbytte

C. 5 køer/ha, 5 FE/dag, 16 timer, ikke normudbyttet, der afgræsses kun 4250 FE, dvs. resten er vraggræs. Derfor er der også regnet med samme udbytte uden tilførsel af handelsgødning

¹⁾: Det mindre nettoudbyttet (se ⁴⁾) bevirker, at der kun kan græsse 7,6 køer/ha

²⁾: forudsætning: samme totalvækst som normudbytte

³⁾: kløverandele fra N-forsøg på tre Studielandbrug (Søegaard, 2003). Kløverandele i B justeret efter forsøg, idet handelsgødning-N nedsætter kløverandelen mere end husdyrgødnings-N (Søegaard, 1998).

⁴⁾: normudbyttet reduceret efter Søegaard (2003), hvor der tages hensyn til kløverandelens indvirkning på N-responsen. Mht. udbyttet i B se tekst.

Forudsætninger for beregningerne (tabel 29, 30 og 31):

Vandet sandjord, gældende N-norm (231 kg N/ha), gældende krav til udnyttelse af kvæggylle (70 %), udskillelse fra et storkreatur (130 kg N), udnyttelsen (7500 FE/ha).

N-fiksering beregnet efter Høgh Jensen et al. (2002)

Slæt: 1,2 kg tørstof(ts)/FE, 17 % råprotein. Bruttoudbytte = 1,2*nettoudbytte (Kristensen et al., 2003)

Afgræsning med malkekvæg: 1,1 kg ts/FE, 23 % råprotein. Bruttoudbytte = 1,4*nettoudbytte (Kristensen et al., 2003).

Ved beregning af N-gødsning er N afsat under afgræsning trukket fra N-normen, og N-udskillelsen i urin og gødning er forudsat jævnt fordelt gennem døgn.

Vigtigt: Bruttoudbyttet er således beregnet, som anført, med 20 og 40 % marktab ved slæt og afgræsning, henholdsvis. Dette har kun betydning i forbindelse med N-fiksering, som beregnes på grundlag af bruttoudbyttet.

I de fleste kløvergræsmarker er benyttelsen en kombination mellem afgræsning og slæt. En teoretisk beregning på dette ses i tabel 30. I tabellen er vist et eksempel på slæt gødet med enten handelsgødning eller husdyrgødning efter N-normen. Eksemplet er medtaget for at vise, hvor meget N-overskuddet øges ved husdyrgødning i forhold til handelsgødning. Øgningen skyldes både en større N-tilførsel og en større N-fiksering pga. en større kløverandel, når der gødes med husdyrgødning. Kløvergræs til slæt bliver imidlertid typisk gødet med både handels- og husdyrgødning. Ved god afgræsning (A) vil der ikke være den store forskel på N-udnyttelse ved forskellige antal slæt gennem sæsonen, når der ved slæt forudsættes en tilførsel af både handels- og husdyrgødning. Under forudsætning af optimal afgræsning vil der således ikke kunne opnås en bedre N-udnyttelse ved en anden benyttelse. Ved en dårlig afgræsning, vil indlagte slæt derimod kunne reducere N-overskuddet betydeligt. Indlagte slæt har imidlertid andre væsentlige fordele for græsmarksbenyttelsen, hvoraf de væsentligste er at forbedre smagbarhed og kvalitet af afgræsningsgræsset, begrænse andelen af buskgræs og begrænse parasittryk. Slæt er således et væsentligt del af græsmarksstyringen.

Tabel 30. N-balance (kg N/ha/år) ved forskellig slæt/afgræsningskombinationer gødet efter N-norm. Ved slæt er vist gødsning både med handelsgødning og med husdyrgødning. Afgræsningen er A (god) jf. tabel 29.

Slæt/afgræsning						
gødsning efter N-norm		Slæt	Slæt	2 slæt +	1 slæt + af-	Afgræsning
		(handelsg.)	(husdyrg.)	afgræsning	græsning	
Tilførsel						
Gødning	Handelsg.	231	-	168	137	106
	Husdyrg.	-	330	-	-	-
Urin + gødning	afgræs.	-	-	90	134	179
N-fiksering		36	71	64	79	93
	(% kløver af ts)	5	10	8	10	12
Fraførsel						
	Slæt	245	245	123	61	-
	Afgræsning	-	-	152	228	304
	Nettoudbytte(FE/ha)	7500	7500	7500	7500	7500
N-overskud		22	156	47	61	74

Forudsætning: der høstes fire ens slæt gennem sæsonen, både mht. udbytte og vækstrate. Afgræsning forudsættes også konstant gennem sæsonen. Øvrige forudsætninger se under tabel 29.

Konklusion

Afgræsnings'effektiviteten', dvs. optagelse pr. tidsenhed er altafgørende for N-overskuddets størrelse, og har meget større betydning end N-normens størrelse. N-overskuddet kan kun nedsættes ved god management i hele stald-mark systemet, hvilket indebærer en afstemning mellem suppleringsfoder og markens tilbud og en styring af afgræsningsmarken, så tilbuddet er stort og af god kvalitet. Indlægning af slæt har ved optimal afgræsning ikke afgørende betydning for N-overskuddets størrelse. De store overskud, som findes i afgræsningsmarker kan således især forbedres gennem god rådgivning og ikke ved udefra kommende tiltag. Det må formodes, at en forbedret afgræsning vil kunne nedsætte N-overskuddet med op til 100 kg N/ha/år, hvilket også vil reducere N-tabet. Der er imidlertid endnu ikke på alle områder tilstrækkelig viden til at optimere hele stald-mark systemet.

I hvor stor en andel af kløvergræs/græs arealet afgræsningsstyringen vil kunne forbedres væsentligt er ukendt, men anslås til at være ca. 40.000 ha. Dette på baggrund af, at der er 220.000 ha kløvergræs/græs i omdriften, at 70 % af besætningerne afgræsser og at en tredjedel (skønnet) af afgræsningsarealet kunne optimeres væsentligt.

Kløverandel

Ud over benyttelsen har kløverandelen stor betydning for N-overskuddet, hvilket er vist med eksempler i tabel 31. Kløverandelen har betydning for, hvor meget N der tilføres marken via N-fiksering. N-overskuddet varierer under de opstillede forudsætninger mere end 150 kg N/ha pga. forskelle i kløverindhold. De viste forskelle i kløverandel er fundet i gødningsforsøg på studielandbrug (Søegaard, 2003), og må betegnes som realistiske ved gældende N-norm.

Eksemplerne i tabel 31 er ud fra gødsning efter N-norm. Hvis der i stedet ikke tilføres handelsgødning til afgræsning ville N-overskuddet variere mellem -80 og 260 kg N/ha ved god afgræsning (A). Disse beregninger er ikke vist. Overskuddet kan således blive større uden N-tilførsel end ved N-norm gødet afgræsning (jf. tabel 31). Det skyldes, at kløverandelen kan blive forholdsvis høj, op til 50 % kløver af tørstof i gennemsnit, under disse forhold (afgræsning og ingen handelsgødning). Ved et tilsvarende gødningsniveau ved slæt, hvor handelsgødning svarer til køerne udskillelse ved afgræsning, ville N-overskuddet variere mellem -51 og 90 kg N/ha (beregningerne er ikke vist). I forsøg på Studielandbrug har der flere gange ved slæt været ingen eller endda en negativ N-balance (Søegaard, unpub.) ligesom i tabel 31, når N-fikseringen er beregnet efter Høgh-Jensen et al. (2002). Hvorvidt dette er realistisk kan være svært at vurdere. I enkelte tilfælde kan det måske være tilfældet, når der er store eftervirkninger i sædskiftet.

Tabel 31. N-balance (kg N/ha/år) ved forskellig kløverandel ved hhv. slæt og afgræsning. Afgræsning er god (A), jf. tabel 28.

Variation i kløverandel ved gødskning efter N-norm	Slæt			Afgræsning		
	Lav	Gens.	Høj	Lav	Gens.	Høj
Tilførsel						
Gødning (Handelsg.)	231	231	231	104	104	104
Urin + gødning afgræs.	-	-	-	182	182	182
N-fiksering	14	36	143	15	93	193
(% kløver af ts)	2	5	20	2	12	25
Fraførsel						
Slæt	245	245	245	-	-	-
Afgræsning	-	-	-	304	304	304
Nettoudbytte(FE/ha)	7500	7500	7500	7500	7500	7500
N-overskud	0	22	129	-3	75	175

Kløverandel: 'Gens.' er gennemsnit ved denne N-tilførsel i gødningsforsøg på Studielandbrug (Søegaard, 2003) og lav og høj er ekstremerne i samme forsøg.

Forudsætninger for beregningerne er vist under tabel 29.

Konklusion

Kløverandelen har afgørende betydning for N-overskuddet, og har meget større betydning end N-normens størrelse. Det er imidlertid ikke muligt at lave tiltag, som kan fastsætte størrelser for kløverandelen, idet der er mange faktorer som har betydning for denne.

I tabellerne er N-fikseringen udregnet efter 'standardmetode' (Høgh Jensen et al., 2002). Hvis denne metode underestimerer N-fikseringen, vil N-overskuddene blive større end de anførte.

Efterårsgræsning

I efterårsperioden er både kvalitet og udbytte af kløvergræsset lavt. Udbyttet kan af klimatiske grunde ikke blive stort, selv om der er en lang hvileperiode. Samtidig kan det være svært at fortørre, hvilket gør, at slæt er forholdsvis omkostningstung samtidig med at kvaliteten er lav. Derfor foretrækkes afgræsning oftest.

Der er imidlertid stillet spørgsmål ved, hvor hensigtsmæssigt efterårsafgræsning er, når N-udnyttelsen skal optimeres. N-udnyttelsen ved efterårsafgræsning er mindre end tidligere i sæsonen, idet det ikke er muligt at opretholde en høj afgræsningsintensitet og udvaskningsrisikoen kan derfor være større end tidligere i sæsonen. Desuden er den urin, der afsættes under afgræsning i efteråret, muligvis ikke optaget fuldstændigt i planterne, hvilket dermed også kan være med til at øge udvaskningsrisikoen. Der er imidlertid ingen danske undersøgelser, der kan belyse problemstillingerne omkring efterårsafgræsning. I udenlandske undersøgelser er der fundet både et fald fra 34 til 9 kg N/ha i akkumulering af mineralisk N i jorden og mere modsatrettede resultater (Cuttle & Scholefield, 1995).

Konklusion

Da der næsten ingen viden er om effekten af efterårsgræsning på N-overskuddet og N-tab, vil det ikke være muligt at gisne om en eventuel positiv effekt på N-udnyttelsen, hvis der ikke bliver afgræsset efter 1. september under danske forhold.

Antal år med kløvergræs i sædskiftet

Kløvergræs varer normalt 2-3 år i sædskiftet under danske forhold. Kløvergræsudbyttet mindskes med alderen og N-udnyttelsen vil derfor også mindskes fra år til år, idet N-normen til kløvergræs er den samme uafhængigt af alder. N-overskuddet vil således stige med alderen. Efter ompløjning er der en stor forfrugtsværdi til den efterfølgende afgrøde, især i det første dyrkningsår. Efter ompløjning af kløvergræs er N-normen derfor også mindre i vårbyg i forhold til vårbyg efter korn. Hvis kløvergræs kun varede i 1 år i forhold til 2 eller 3 år ville der være mulighed for at udnytte forfrugtsværdien flere gange i sædskiftet, forudsat samme antal kløvergræsår. Det stigende N-overskud med alderen synes imidlertid ikke at påvirke udvaskningen i kløvergræsårene i forsøg, idet denne ikke er ændret af betydning indenfor en varighed på 1-3 brugsår af kløvergræs (Askegaard et al., 1999; Eriksen, pers. medd.). Til gengæld steg N-udvaskningen i praksis, både målt og beregnet, kraftigt fra 1. til 2. brugsår (Simmelsgaard et al., 2000).

Den samlede N-udnyttelse for sædskiftet vil således forbedres, hvis alderen af kløvergræsmarkerne nedsættes, og dermed må N-udvaskningen for hele sædskiftet også mindskes. Forskellig alder af kløvergræs er ikke undersøgt under danske forhold, men i udenlandske forsøg har 2 års kløvergræs forøget udbyttet mere i den efterfølgende afgrøde end efter 1 års kløvergræs. Til gengæld var der ikke større forskel i eftervirkning mellem 2 og 3 års kløvergræs (Johnston et al., 1994). Den forøgede eftervirkning ved en ældre kløvergræs var imidlertid minimal i forhold til eftervirkningen efter flere etårige kløvergræs.

Konklusion

Der er ikke tilstrækkelig viden til at vurdere, hvilken betydning varigheden af kløvergræsset i sædskiftet har på N-overskuddet i hele sædskiftet.

Udlægsåret for kløvergræs

Kløvergræsset etableres i en vårafgrøde, typisk vårbyg eller ærter. Dæksæden høstes enten som grønkorn/grønært, som helsæd eller til modenhed. I andre Nordvesteuropæiske lande er denne etableringsmetode ikke almindelig (Conijn et al., 2002), og der findes ikke forsøg eller lignende, der belyser N-overskuddet i etableringsåret ved forskellig høsttid af dæksæd. Derfor er N-overskuddet beregnet, ved brug af normudbytter og N-normer (tabel 32).

Tabel 32. N-balance (kg N/ha/år) i etableringsåret. N-tilførsel efter N-norm og normudbytter.

		Grønkorn	Helsæd	Modenhed
Dæksæd	<i>Udbyttentorm</i>	2700 FE	6000 FE	53hkg+halm
	Handelsgødning ¹⁾	104	136	131
	N-høstet	80	131	110
Udlæg (kløvergræs)	<i>Udbyttentorm (FE)</i>	5000	1500	1100
Slæt	Handelsgødning	138	81	33
	N-høstet	163	49	36
	N-fikseret (10 % kløver)	48	14	10
Afgræsning	<i>Antal græsningsdage</i> ²⁾	110	33	24
	Handelsgødning	62	58	16
	Urin + gødning	118	35	26
	N-afgræsset	202	61	45
	N-fikseret (10 % kløver)	52	15	11
N-overskud				
Slæt		46	51	58
Afgræsning		47	51	58

¹⁾ N-norm efter korn

²⁾ Udregnet efter 9 køer/ha og 5 FE/dag

N-normerne stiger med senere høst af dæksæden og N-normen til kløvergræs stiger med længere periode for benyttelse i etableringsåret. Ifølge den simple beregning i tabel 32, vil der ikke være væsentlig forskel på N-overskuddet ved forskellig høsttid af dæksæden, dog under forudsætning af en god afgræsning (A i tabel 29).

Konklusion

Der er ikke viden om N-overskuddets størrelse i etableringsåret, men ud fra normudbytter er det vurderet, at N-overskuddet ikke påvirkes væsentligt af høsttidspunktet eller af benyttelsen af udlægget, dvs. slæt eller afgræsning. Det er dog en forudsætning, at afgræsningen er god og effektiv. Der er således ikke baggrund for at foreslå tiltag, der pålægger begrænsninger i etableringsåret.

Indmark-udmark problematikken

I forbindelse med de større og større kvægbrug kan det blive et problem at have kløvergræs til afgræsning over hele arealtilliggendet. Flere brug har efterhånden et sædskifte tæt på gården, hvor der næsten kun er kløvergræs, dvs. kløvergræsset opløjes og der etableres kløvergræs igen i en vårafgrøde. Hvis der er 'kløvertræthed', kan der være et kløverfrit år inden etablering. Længere væk fra gården er der et mere varieret sædskifte uden så stor andel af kløvergræs. N-udnyttelsen for hele jordtilliggendet vil være lavere ved et sådant 'indmark-udmark' system, idet N-overskuddet i 'indmarken' ikke vil kunne udnyttes så effektivt, som når kløvergræsset indgår i hele omdriftsarealet.

Der findes imidlertid ingen undersøgelser, der belyser, om der er et kvælstofproblem ved dette kløvergræsrigge sædskifte tæt på gården (indmarken), og det vil ikke være muligt at lave simple beregninger på dette N-overskud, idet der er vigtige parametre, som er ukendte. F.eks. kendes kløverens reaktion ikke på disse arealer, hvorvidt fikseringen går ned eller om det på sigt vil være muligt at opretholde en tilfredsstillende kløverandel.

Konklusion

Der er ikke tilstrækkelig viden til at kunne vurdere, hvorvidt opdelingen af omdriftsarealet i to sædskifter, hvoraf det ene næsten kun består af kløvergræs, kan give problemer med N-overskud og dermed N-tab.

Efter ompløjning af kløvergræs

Beskrivelse af tiltaget

Det er almindelig kendt, at der efter ompløjning af kløvergræs er risiko for store N-tab, hvilket bl.a. er vist af Olsen (1995) og Olsen & Djurhuus (1996). Afgrødevalget har derfor stor betydning for N-udnyttelsen ikke alene det første år men også det andet år efter omlægning (Olsen & Djurhuus, 1996). Ved god management ved omlægning af en afgræsset mark, dvs. forårsplojning og isåning af efterafgrøde, har N-udvaskningen imidlertid kunnet begrænses meget (Eriksen & Mogensen, 2001). I dette forsøg er der imidlertid ikke lavet sammenligninger med dårligere management, hvorfor effekten af efterafgrøde og forårsplojning ikke kan kvantificeres. Et tiltag kunne således være at der forårsplojes, og der etableres efterafgrøde i afgrøden, der kommer efter kløvergræs. Et sådant tiltag vil begrænse N-udvaskningen i det første år efter kløvergræs, men kan muligvis øge N-udvaskningen senere i sædskiftet, idet der 'slæbes noget N' videre. Dette er antydnet i et sædskiftforsøg, hvor den anden afgrøde efter afgræsset kløvergræs blev ændret fra vinterhvede til havre. Herved blev udvaskningen reduceret i de to første år efter kløvergræs, men N-udvaskningen blev til gengæld øget i det tredje år, hvor der var foderroer (Eriksen, pers. medd.)

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Udgifter til efterafgrøde (jf. afsnit 'Forskellige typer af efterafgrøde').

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Kløvergræsarealet i omdriften er ca. 220.000 ha. Ca. 90.000 ha ompløjes hvert år under forudsætning af en varighed på ca. 2,5 år. I en mindre del af dette areal, hvor der er et stort kløvergræsindhold i sædskiftet, etableres et nyt kløvergræsudlæg med det samme. Det anslås, at der kan etableres efterafgrøde i yderligere 40.000 ha. Reduktionen i udvaskningen forventes mindst at være af samme størrelsesorden som efterafgrøde i korn generelt, dvs. 25 kg N/ha (jf. afsnit 'Forskellige typer af efterafgrøde'). Reduktionen er sandsynligvis større pga. det større N-overskud, der er på kvægbrug end på planteavlsbrug. Intervallet anslås til 25-50 kg N/ha.

Forårsplojning skal fra i år praktiseres på brug med mere end 1,7 DE/ha, hvilket indbefatter ca. halvdelen af kvægbrugene. For den anden halvdel med færre DE/ha praktiserer der på lerjord noget efterårsplojning. Det anslås, at ændring fra efterårsplojning til forårsplojning derfor kun vil være aktuel for ca. 15.000 ha. I afsnittet 'Pløjetidspunkt' anslås reduktionen generelt at være 10-25 kg N/ha. Den må forventes noget højere efter kløvergræs, hvilket anslås til 25-50 kg N/ha.

Tidshorisont for implementering

Vil kunne implementeres umiddelbart

Barrierer for implementering

Barrierer for implementering kan være lerjordsarealer, hvor forårsplojning kan være vanskelig.

Referencer

- Askegaard, M., Eriksen, J., Søegaard, K. & Holm, S. (1999). Næringsstoffusholdning og planteproduktion i fire økologiske kvægbrugssystemer. DJF-rapport Markbrug nr. 12, 112 pp.
- Conijn, J. G., Velthof, G.L. & Taube, F. (2002). Grassland resowing and grass-arable crop rotations. International Workshop on Agricultural and Environmental issues, Wageningen, 128 pp.
- Cuttle, S.P. & Scholefield, D. (1995). Management options to limit nitrate leaching from grassland. *Journal of Contaminant Hydrology* 20, 299-312.
- Eriksen, J. & Mogensen, J. (2001). Forfrugtsværdi og N-udvaskning efter ompløjning af flerårige græsmarker med forskellige forhistorier. DJF-rapport Markbrug nr. 46, 40 pp.
- Hansen, E.M., Kyllingsbæk, A., Thomsen, I.K., Djurhuus, J., Thorup-Kristensen, K. & Jørgensen, V. (2000). Dyrkning, kvælstofoptagelse kvælstofudvaskning og eftervirkning. DJF rapport nr. 37, Markbrug.
- Høgh-Jensen, H., Lodges, R. Jensen, E.S., Jørgensen, F.J. & Vinther, F. (2002). Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. *Soil Use and management* (Submitted).
- Johnston, A.E., McEwen, J., Lane, P.W., Hewitt, M.V., Poulton, P.R. & Yeoman, D.P. (1994). Effects of one to six year old ryegrass-clover leys on soil nitrogen and on the subsequent yields and fertilizer nitrogen requirements of the arable sequence winter wheat, potatoes, winter wheat, winter beans (*Vicia faba*) grown on a sandy loam soil. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 122. 73-89.
- Kristensen, I.S., Kristensen, T., Vinther, F., Høgh-Hensen, H. & Halberg, N. (2003). Afgrødernes kvælstoffiksering. Omfang og metoder til beregning. DJF rapport under udarbejdelse.
- Mikkelsen, M. (1997). Forsøg med dyrkning af majs. *Oversigt iver landsforsøg 1997*, 260-276.
- Mikkelsen, M. (2002). Dyrkning af majs. *Oversigt over Landsforsøgene 2002*, 303-323.

- Olsen, P. (1995). Nitratudvaskning fra landbrugsjord i relation til dyrkning, klima og jord. SP rapport nr. 15.
- Olsen, P. & Djuurhus, J. (1996). Nitratudvaskning efter ompløjning af kløvergræsmarker. Grøn Viden, Landbrug nr. 164.
- Simmelsgaard, S.E., Kristensen, K., Andersen, H.E., Grant, R., Jørgensen, J.O. & Østergaard. (2000). Empirisk model til beregning af kvælstofudvaskning fra rodzonen. N-LES. DJF-rapport Nr. 32, Markbrug, 67 pp.
- Studielandbrug. (2002). Gårdrapporter 2001. Landbrugers Rådgivningscenter.
- Søegaard, K. (1998). Timing of N-application after defoliation of clover-grass. Ed. G.Nagy & K.Pető. Grassland Science in Europe 3, 979-982.
- Søegaard, K. (2003). Kvælstof til kløvergræs under forskellige benyttelsesformer. Grovfoderseminar 2003. Landbrugets Rådgivningscenter, 15-23.
- Søegaard, K., Lund, P., Vinther, F., Petersen, S. O. & Aaes, O. (2001). Afgræsning med malkekøer. Betydningen af kløveriblanding, PBV- og AAT-niveau i kraftfoder, slæt/afgræsning, ammoniakfordampning og N₂-fiksering for udbytte og N-balancer. DJF-rapport Markbrug nr. 51, 103 pp.

Tablet 33. Effektvurdering af optimering i kvægbrugssædskiftet. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitratudvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniakemission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kr/ha	År	
Efterafgrøde (rajgræs) i majs ¹⁾	Kvægbrug	50.000	0*	25-50***	0***	0 - >0	Udsæd/såning 90-200 kr	0-1 år
Afgræsning: Bedre N-udnyttelse gennem bedre rådgivning ²⁾	Kvægbrug	40.000	Op til 100**	?	?	?	?	0-7 år
Efterafgrøde året efter nedpløjning af kløvergræs	Kvægbrug	40.000	0 - >0	25-50***	0***	0->0	Udsæd/såning 90-200 kr	0-1 år
Forårsplojning af græsmarker i stedet for efterårsplojning	Kvægbrug	15.000	?	25-50***	0***	?	?	0-1 år

* Lille usikkerhed på estimat

** Middel usikkerhed på estimat

*** Stor usikkerhed på estimat

¹⁾ Alm. rajgræs eller hybridrajgræs sået i første halvdel af juni

²⁾ Bedre rådgivning gennem en kombination af brug af eksisterende viden og ny viden

4.1.3.7. Reduceret jordbearbejdning

Elly Møller Hansen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Reduceret jordbearbejdning er en fællesbetegnelse for jordbearbejdningsstrategier, hvor arbejds- og energiomkostninger søges minimeret. I praksis indebærer dette ofte, at afgrøderne etableres uden anvendelse af pløjning. Direkte såning, hvor der ikke foretages nogen form for jordbearbejdning før såning, er den mest vidtgående form for reduceret jordbearbejdning. I øjeblikket er den mest udbredte form for reduceret jordbearbejdning mindre vidtgående, idet pløjning udelades, men der foretages stubbearbejdning forud for såning (Anonym). Visse såmaskintyper kræver en intensiv jordbearbejdning, hvis der efterlades halm på marken (Nielsen et al. 2001). Blandt andet af den grund kan der i praksis være tale om ret intensiv stubbearbejdning inden såning. I det følgende kaldes reduceret jordbearbejdning uden benyttelse af plov for pløjefri dyrkning.

Ved en anden mindre vidtgående form for reduceret jordbearbejdning undlades stubbearbejdning efter høst, mens pløjning bibeholdes (her kaldet ”pløjning uden stubbearbejdning”). Endelig kan jordbearbejdningen reduceres ved at pløje i 10 cm dybde i stedet for 20 cm dybde, men dette benyttes formentlig ikke i praksis.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og -tab kan forventes?

Ved direkte såning er der ofte rapporteret reduceret kvælstofmineralisering i sammenligning med traditionel jordbearbejdning (f.eks. Nyborg og Malhi, 1989). Dette tyder på, at mulighederne for at reducere nitratudvaskningen er større ved reduceret jordbearbejdning end ved pløjning, mens afgrøder dyrket ved reduceret jordbearbejdning kan have behov for mere kvælstofgødning i sammenligning med afgrøder dyrket traditionelt. En eventuel effekt på gødningsbehovet kan dog være relateret til en overgangsperiode, da kvælstofbehovet på lang sigt må forventes at falde (Riley et al., 1994).

Jordbearbejdningens effekt på udvaskningen er under danske forhold kun belyst i begrænset omfang og kun i forsøg med ensidig dyrkning af vårbyg.

Pløjefri dyrkning

Jordbearbejdningens virkning på jordstruktur og omsætning, herunder kvælstofudnyttelse, afhænger af både jordbearbejdningsdybde og -intensitet. Derfor vil der være forskel på, hvorledes forskellige former for pløjefri dyrkning påvirker kvælstofudnyttelsen og dermed risikoen for tab af N ved bl.a. udvaskning. I hidtidige både danske og udenlandske undersøgelser er pløjning oftest sammenlignet med direkte såning, hvor såsæden placeres direkte i ubearbejdet jord. Disse forsøg kan derfor kun i begrænset omfang benyttes til at belyse effekten af den nuværende praksis. Et dansk forsøg på fin sandblandet lerjord (Hansen og Djurhuus, 1997)

har dog vist, at kraftig stubbearbejdning om efteråret kan medføre øget udvaskning i forhold til ubearbejdet jord uden plantevækst. Udvasning ved mindre kraftig eller dyb stubbearbejdning end tidligere praktiseret er ikke belyst i forsøg; men der er netop påbegyndt fastliggende markforsøg til belysning af effekten af stubbearbejdningsdybde i sammenligning med direkte såning og traditionel pløjning. Der findes ingen danske undersøgelser over effekt på udvaskning af pløjefri jordbearbejdning til vinterafgrøder. I ovennævnte nyligt påbegyndte forsøg belyses effekten af reduceret jordbearbejdning i forskellige sædskifter, hvori der bl.a. dyrkes vinterafgrøder som vinterbyg, -hvede og -raps.

Pløjning uden stubharvning

Kraftig stubbearbejdning om efteråret er fundet at kunne have betydning for kvælstofudvaskningen. I et forsøg på fin sandblandet lerjord øgedes udvaskningen ved 1-3 gange kraftig stubbearbejdning om efteråret ved både forårs og efterårspløjning i forhold til ubearbejdet jord uden plantevækst (herbicidbehandlet). I det forårspløjede forsøgsled steg den gennemsnitlige udvaskning med 14 kg N/ha/år som følge af stubbearbejdningen, mens udvaskningen i det efterårspløjede forsøgsled steg med 11 kg N/ha/år (Hansen og Djurhuus, 1997).

Ovennævnte resultat stemmer overens med resultater fra en forsøgsserie ved Jyndevad, Askov, Foulum og Rønhave. I gennemsnit forårsagede 3-4 gange stubbearbejdning i efteråret en forøgelse af nitratindholdet i jorden i november/december med 17 kg N/ha/år i forhold til ubearbejdet jord (Andersen og Olsen, 1993). Stigningen var mest udtalt ved Foulum og Rønhave. Det vides dog ikke om ukrudt og spildfrø i de ikke-stubbearbejdede parceller har bidraget til at mindske nitratindholdet i jorden.

Pløjning i 10 cm dybde

Det vides ikke, hvorledes udvaskningen påvirkes ved pløjning i 10 cm dybde i forhold til pløjning i 20 cm dybde. Formentlig vil effekten være af omtrent samme størrelsesorden som ved gentagne harvninger i 10 cm dybde.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

De fleste skandinaviske forsøg med pløjefri dyrkningssystemer er gennemført i ensidig korn dyrkning. Jordbearbejdningens effekt på gennemsnitsudbytte har været små (Rasmussen, 1999). Lerholdige jorde er generelt bedre egnede til pløjefri dyrkning end sandede jorde, og de bedste resultater er opnået for vintersæd, mens pløjefri dyrkning af vårbyg kan give udbyttetab (Schjønning et al., 2001).

Pløjning i 10 cm dybde

Udbytteeffekten ved 10 cm pløjning i forhold til pløjning i 20 cm dybde er lille, hvis der ikke skal nedmuldes store mængder halm, dog med tendens til et svagt stigende udbyttetab i vinterraps og vinterbyg (Rasmussen et al., 1996; 1998).

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Den væsentligste årsag til den øgede interesse for pløjefri dyrkning er ønsket om at reducere omkostningerne især ved korndyrkning. Foruden et lavere energiforbrug med besparelser på 30 -70% ved omlægning til pløjefri dyrkning er en af gevinsterne et lavere tidsforbrug og dermed lavere arbejdsomkostninger og mindre risiko for spidsbelastningsperioder (Olesen et al., 2002).

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

I Olesen et al. (2002) er der skønnet et areal på 400.000 ha, hvor pløjefri dyrkning umiddelbart vil være relevant. I skønnet er regnet med, at der er 1,3 mio ha beliggende på store landbrug, hvor der vil være en kapacitetsmæssig fordel ved pløjefri dyrkning. Derfra er trukket bedrifter med produktion af grovfoder, økologiske bedrifter, bedrifter med leverance af halm til kraftværker og arealer i det nordlige Jylland, hvor pløjefri dyrkning på grund af de klimatiske forhold vil være vanskelig. Strukturudviklingen mod færre og større bedrifter vil betyde, at arealet, hvor pløjefri dyrkning er relevant, vil øges.

Tidshorisont for implementering

Implementeringen af pløjefri dyrkning kræver udskiftning af plov og såmaskine med maskine til såning i upløjet jord eller leje/maskinfællesskab af en sådan såmaskine. Tidshorisonten afhænger derfor bl.a. af det økonomisk optimale tidspunkt for udskiftning af ploven.

Barrierer for implementering

Reduceret jordbearbejdning er en ny dyrkningsstrategi, som stiller større krav til driftsledelsen end traditionel jordbearbejdning. Derfor vil strategien sandsynligvis kun lykkes for landmænd der interesserer sig for markbrug (Anonym).

Ifølge Olesen et al. (2002) vil pløjefri dyrkning (især direkte såning) formentlig øge pesticidforbruget herunder forbruget af glyphosat og tilsvarende herbicider. Pløjefri dyrkning i kombination med en stor andel af korn i sædskiftet vurderes ligeledes at øge risikoen for en række blad- og akkysygdomme. Men herbicidforbruget kan mindskes ved anvendelse af mere alsidige sædskifter end benyttet i dag. Det er dog usikkert om pløjefri dyrkning vil føre til et stigende fungicidforbrug og om risikoen for pesticidudvaskning vil blive øget.

Referencer

- Anonym. Praktisk vejledning i Reduceret Jordbearbejdning. Landbrugs-Rådgivning Østjylland I/S, 15 pp.
- Andersen, A. & Olsen, C.C. (1993). Rye grass as a catch crop in spring barley. *Acta Agric. Scand. Sect. B* 43, 218-230.
- Hansen, E.M. & Djurhuus, J. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.* 41, 203-219.

- Hansen, E.M., Kyllingsbæk, A., Thomsen, I.K., Djurhuus, J., Thorup-Kristensen, K. & Jørgensen, V. (2000). Efterafgrøder. Dyrkning, kvælstofoptagelse, kvælstofudvaskning og eftervirkning. DJF rapport nr. 37, Markbrug.
- Jørgensen, L.N., Hansen, L.M. & Jørgensen, M.H. (2002). Miljøeffekter af pløjefri dyrkning. DJF rapport, Markbrug nr. 65.
- Nielsen, K.V., Bastholm, K., Høy, J.J. & Sandal, E. (2001). Pløjefri dyrkning med nye typer af såmaskiner. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for bygninger og Maskiner.
- Nyborg, M. & Malhi, S.S. (1989). Effect of zero and conventional tillage on barley yield and nitrate nitrogen content, moisture and temperature of soil in north-central Alberta. Soil Tillage Res. 15, 1-9.
- Olesen, J.E, Schjønning, P., Hansen, E.M., Melander, B., Felding, G., Sandal, E., Fomsgaard, I., Heckrath, G., Axelsen, J. A., Nielsen, V., Jacobsen, O. H., Petersen, S. O., Christensen, B. T. & Rasmussen, K. J. (1999). Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. Soil Tillage Res. 53, 3-14.
- Rasmussen, K.J., Hansen, E.M. & Schjønning, P. (1996). Grønne marker og pløjedybde i et integreret sædskifte med vårsæd på sandjord. Grøn Viden, Landbrug, nr. 172.
- Rasmussen, K. J., Hansen, E. M. & Schjønning, P. (1998). Halm, gylle og pløjedybde til vintersæd på lerjord. Grøn Viden, Markbrug, nr. 189.
- Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E. & Rydberg, T. (1994). Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In: M.R. Carter (Editor), Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers, London.
- Schjønning, P., Jørgensen, P., Olesen, J.E., Rasmussen, G., Munkholm, L. J & Melander, B. (2001). Notat vedrørende forsknings- og udviklingsaktiviteter på området reduceret jordbearbejdning. Internt notat. Danmarks JordbrugsForskning.

Table 34. Effektvurdering af pløjefri dyrkning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres.	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitratudvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorizont for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr./ha	Kr./ha	År
Pløjefri dyrkning	Store planteeavl-/svinebrug	400.000*** ¹⁾	? ²⁾	? ²⁾	?	<0-0 ³⁾	?	?

* Lille usikkerhed på estimat

** Middel usikkerhed på estimat

*** Stor usikkerhed på estimat

- 1) Strukturudviklingen mod færre og større bedrifter vil betyde, at arealet formentlig vil stige.
- 2) Der er i efteråret 2002 påbegyndt forsøg til belysning af effekten under danske forhold.
- 3) Det vurderes at der i vårbyg kan opstå en negativ effekt, som måske er af midlertidig karakter.

4.1.3.8. Pløjetidspunkt

Elly Møller Hansen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Traditionelt er jorden forud for vårafgrøder blevet pløjet om efteråret. Et alternativ hertil kunne være at pløje jorden i løbet af vinteren eller i det tidlige forår.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse- og -tab kan forventes?

I et forsøg med en fin sandblandet lerjord var der en betydelig effekt af pløjetidspunkt på udvaskningen (Hansen og Djurhuus, 1997). Ved at pløje om foråret i stedet for sent om efteråret blev udvaskningen mindsket med 16 kg N/ha/år. I samme forsøgsserie viste resultater fra grovsandet jord derimod, at pløjning forår eller efterår ikke gav signifikant forskel på udvaskningen. I begge tilfælde blev jorden ikke stubharvet om efteråret, men holdt sort ved herbicidbehandling. Spildkorn og ukrudt har således ikke medvirket til lavere udvaskning i de ubearbejdede forsøgsled.

I hele forsøgsperioden var alle vintre milde med gennemsnitstemperaturer over normalen. I år med mere kolde vintre må effekten af jordbearbejdning om efteråret forventes at være mindre. De opnåede resultater på lerblandet sandjord kan derfor være et udtryk for den maksimale effekt på den givne jord. På den grovsandede jord er det muligt, at den manglende effekt af pløjetidspunkt delvis kan forklares med, at jorden de foregående 19 år kun var tilført organisk stof i form af rødder og stub.

Et lysimeterforsøg med fin lerblandet sandjord viste, at udvaskningen blev reduceret med en mængde svarende til 8 kg N/ha ved forårsgravning af jorden (simuleret pløjning) i forhold til gravning tidligt efterår (Thomsen, 2003).

I et forsøg i det sydlige Sverige fandt Stenberg et al. (1999) at udvaskningen blev reduceret med 12 kg N/ha ved at udsætte pløjningen fra tidligt efterår til forår (det usædvanligt tørre vinterhalvår 1995/96 er udeladt af gennemsnittet). En medvirkende årsag til den mindre udvaskning i det forårspløjede forsøgsled var, at en del af kvælstoffet blev optaget i ukrudt og spildkorn, som fungerede som en slags efterafgrøde.

I de to førnævnte forsøg (Thomsen, 2003; Stenberg et al., 1999) blev forårspløjning sammenlignet med tidlig efterårspløjning. Da jorden i det tidlige efterår er varmere end senere på året, må det forventes, at risikoen for udvaskning ved tidlig efterårspløjning er større end ved sen efterårspløjning, som praktiseret i tidligere omtalte forsøg af Hansen og Djurhuus (1997). Resultaterne af de to førstnævnte forsøg viser derfor langt mindre effekt af jordbearbejdning end det sidstnævnte.

Det vides ikke i hvor høj grad det svenske forsøg er repræsentativt for danske jordtyper og klimatiske forhold. Spildfrø og ukrudt kan, som tidligere omtalt, fungere som efterafgrøde på ubearbejdet jord. Idet det forudsættes, at forårsplojede marker ikke jordbearbejdes (kan medføre øget udvaskning, se afsnittet "Reduceret jordbearbejdning") eller herbicidbehandles i løbet af efteråret, anslås det, at pløjning om foråret i stedet for tidligt om efteråret kan reducere udvaskningen med 10-25 kg N/ha (se evt. afsnittet "Efterafgrøder under nuværende praksis"). Dette estimat er lig det tidligere oplyste estimat (Anonym, 2000), da det vurderes, at der ikke er ny forskningsmæssig viden, der kan begrunde en ændring.

Vedrørende effekt af pløjetidspunkt på udvaskningen ved ompløjning af græsmarker henvises til afsnittet "Kvægbrugssædskeer".

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

I danske forsøg med forårs og efterårsplojning har der ikke været udbyttmæssige forskelle (Hansen et al., 1996; Hansen et al., 2003). I det svenske forsøg (Stenberg et al, 1999) faldt udbyttet ved at udsætte pløjningen til om foråret, men dette skyldtes angiveligt problemer med kvik i de forårsplojede parceller. På de fleste jordtyper i Danmark kan pløjning forud for vårsæd udsættes til om foråret uden væsentlige udbyttetab (Anonym, 2000). På lerjord kan forårsplojning dog i nogle tilfælde resultere i et dårligt såbed, men det gælder formodentlig maksimalt 20% af landbrugsarealet med højst lerindhold.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Efter forårsplojning anbefales det især på lerjord at pakke jorden med en furepakke eller tromle. Dette giver en merudgift, som ofte opvejes af en besparelse på 1-2 såbedsharvninger. Der er således ikke økonomisk grund til at foretrække efterårsplojning frem for forårsplojning (Hansen et al., 1996). Da de fleste landmænd foruden vårafgrøder dyrker et betydeligt areal med vinterafgrøder, vil en stigning i det forårsplojede areal formentlig ikke give anledning til spidsbelastninger om foråret.

Opformering af kvik i uplojede parceller i løbet af efteråret gav i det svenske forsøg (Stenberg et al., 1999) problemer med kvik i de forårsplojede parceller. Opformering af ukrudt ved frøspredning (f.eks. enårig rapgræs) kan formentlig ligeledes give problemer ved forårsplojning i forhold til efterårsplojning, hvis ukrudtet ikke hæmmes ved harvning eller herbicidbehandling om efteråret.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Da den nuværende praksis for valg af pløjetidspunkt ikke er kendt, er det vanskeligt at beregne et areal, hvor ændring af pløjetidspunktet fra tidligt efterår til forår kan implementeres. En udsættelse af pløjetidspunktet fra sent efterår til forår vil i de fleste år medføre mindre effekt på udvaskningen end en udsættelse fra tidligt efterår til forår.

Antages det, at pløjetidspunktet kan ændres fra tidligt efterår til forår på ca. 1/3 af landbrugsarealet med vårafgrøder svarer dette til et areal på ca. 300.000 ha, hvilket er lig med det tidligere anslåede areal for tiltaget ”Jordbearbejdning – vårsæd” (Anonym, 2000).

Tidshorisont for implementering

Pløjetidspunktet forud for vårsæd kan ændres fra det ene år til det andet.

Barrierer for implementering

En lang række forhold kan have betydning for valg af pløjetidspunkt heriblandt tradition, mulighed for at undgå spidsbelastning, frygt for opformering af ukrudt og frygt for, at det vil være vanskeligt at opnå et godt såbed i forårsplojet jord.

Ved dyrkning af efterafgrøde på lerjord kan forårsplojning medføre negativ eftervirkning, da efterafgrøden i det tidlige forår kan optage væsentlige mængder kvælstof, som ellers ville kunne udnyttes af den efterfølgende hovedafgrøde (se evt. afsnittet ”Efterafgrøder under nuværende praksis”). For at mindske risikoen herfor bør efterafgrøder på lerjord nedmuldes tidligt forår eller sent efterår/vinter.

Referencer

- Anonym, (2000). Oversigt over muligheder for at opnå en forbedret kvælstofudnyttelse. Arbejdsrapport fra Danmarks JordbrugsForskning og Landskontoret for Planteavl Marts 2000.
- Hansen, E.M. & Djurhuus, J. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil Tillage Res.* 41, 203-219.
- Hansen, E.M., Djurhuus, J. & Rasmussen, K.J. (1996). Jordbearbejdning til vårbyg. – Effekter på udbytter og nitratudvaskning. *Grøn Viden, Landbrug*, nr. 176.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K. & Hansen, M.N. (2003). Udbringning af fast staldgødning. *Grøn Viden, Markbrug*, nr. 274.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. (1999). Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil Tillage Res.* 50, 115-125.
- Thomsen, I.K. (2003). Crop N utilization and leaching losses as affected by time and method of application of litter rich farmyard manure. Under trykning i *Europ. J. Agronomy*.

Tablet 35. Effektvurdering af ændret pløjetidspunkt. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres.	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorizont for ca. 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr./ha	Kr./ha	Ar
Pløjetidspunkt	Forud for vårafgrøder	300.000***	0	10-25***1)	0	0*2)	ingen direkte	0-1 år

* Lille usikkerhed på estimat

** Middel usikkerhed på estimat

*** Stor usikkerhed på estimat

- 1) Ved vurdering af ændring fra efterårspløjning til forårspløjning er det forudsat at forårspløjede marker ikke jordbearbejdes eller herbicidbehandles i løbet af efteråret.
- 2) På meget leret jord er der dog risiko for udbytтетab.

4.1.3.9. Plantebioteknologiske muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og reducere af kvælstofstab

Preben Bach Holm, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Plantebiologi

Mathias Neumann Andersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Jan K. Schjørring, Institut for Jordbrugsvidenskab, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole

Beskrivelse af tiltag

Landbrugsjordens kvælstofbalance vil være bestemt af :

- 1) Tilførsel af kvælstof via organisk gødning, kunstgødning samt dyrkning af ærteblomstrede kvælstoffikserende afgrøder
- 2) Bortfjernelse af kvælstof i form af høst af frø, knolde, halm, afgræsning og slet
- 3) Mineralisering af kvælstof fra residuelle plantedele (rødder, stubbe og nedmuldet halm)
- 4) Afledning via dræn, overfladeafløb, gasformige N-tab (denitrifikation og ammoniakfordampning), brinkerrosion og jordfygning

Ad 1: Tilførsel af kvælstof

Kvælstofindholdet i husdyrgødning og urin er i dag unødvendigt højt grundet en ikke optimal aminosyresammensætning i de basale foderstoffer, primært byg og hvede. Forbedring af planternes aminosyresammensætning vil kunne føre til markante reduktioner i kvælstofudskillelsen. Der forskes for nærværende intenst indenfor dette område og gensplejsede prototyper af majs, hvede og raps er udviklet med en proteinkvalitet, der nærmer sig en fuldfoderkvalitet (se foderafsnit: Preben Bach Holm: Strategier for opnåelse af forbedret proteinudnyttelse i foder, *ibid.*).

Ad 2, 3 og 4: Bortfjernelse af kvælstof, mineralisering og afledning

Nettobortfjernelsen af kvælstof er i høj grad bestemt af et samspil mellem planternes genetiske egenskaber og miljøfaktorer. De følgende genetiske faktorer er essentielle for afgrøders vækst, sundhed og ydeevne og dermed for jordens kvælstofregnskab:

- 1) Tolerance overfor abiotisk stress (tørke, kulde, vandstress, salt, næringsstoffmangel)
- 2) Tolerance overfor biotisk stress (virus, bakterier, svampe, insekter og nematoder)
- 3) Planternes generelle metabolisme, herunder fotosyntesekapacitet
- 4) Øvrige vækstparametre (vækstform, konkurrenceevne, høstindex, rod/skud ratio, blomstringstidspunkt, daglængdeafhængighed)
- 5) Mobilisering af kvælstofreserver fra rødder, blade og stængler til frø og knolde

Disse genetiske egenskaber er helt fundamentale forædlingsparametre og genstand for en omfattende plantebioteknologisk forskning og udvikling. På det forskningsmæssige plan er man nået langt i forståelsen af genetikken og de genetiske mekanismer bag ovennævnte parametre, og den nye viden anvendes i udstrakt grad indenfor såvel den konventionelle forædling som

forædling via gensplejsning. Det er imidlertid kun muligt at vurdere udviklingen i detaljer på det forskningsmæssige plan samt indenfor gensplejsede afgrøder, idet der kun i meget begrænset omfang er detaljerede data til rådighed for eventuelle nye eller forbedrede egenskaber i de konventionelt forædlede afgrøder.

Forbedret tolerance mod abiotisk stress

Der er ved hjælp af gensplejsning fremstillet en række prototyper i forskellige afgrøder, der har en væsentlig forbedret tolerance overfor tørke og salt. I dansk landbrug vil særlig vinterfæstethed og tørketolerance være af relevans. Med hensyn til tørkeresistente afgrøder, er der udviklet transgene planter med øget optag af natrium og kalium i vakuolerne (Gaxiola et al., 2001), som giver en forbedret modstandsdygtighed overfor tørke. Ligeledes foregår der et arbejde med at karakterisere genetikken bag og årsagerne til abortionen af frø under tørke (Zinselmeier et al., 1999; Andersen et al., 2002), som på sigt vil kunne forbedre indlejringen af kvælstof i frø under tørke. Det er dog tvivlsomt om der vil blive markedsført afgrøder med disse egenskaber af relevans for dansk landbrug indenfor den kommende 10-års periode.

Forbedret tolerance mod biotisk stress

En lang række virussygdomme kan i dag kontrolleres ved hjælp af gensplejsning, og der er markedsført virusresistente sorter af squash og papaya. Der er ligeledes gode fremskridt indenfor resistens mod gulmosaikvirus i byg og hvede, Rhizomania i sukkerroer samt mod forskellige kartoffel- og ærtevira.

Der er en omfattende international forskning og gode fremskridt indenfor forøget tolerance mod bakterier. I dansk landbrug vil problemet særligt være relevant for bakterieråd i kartofler og andre rod- og knoldafgrøder.

Der er udviklet gensplejsede prototyper med en formodet bedre tolerance mod Fusarium og Septoria i hvede. Der synes ligeledes at være gode fremskridt i en forbedring af tolerancen mod kartoffelskimmel. I den konventionelle forædling foregår der i dag en omfattende forskning og udvikling rettet mod at identificere DNA markører for de kendte resistensgener mod en række svampesygdomme.

Insektresistent majs og bomuld dyrkes i stort omfang udenfor Europa (I Spanien dyrkes ca. 25.000 ha.). En række andre afgrøder med insektresistens er under udvikling. Det er dog tvivlsomt om insektresistente afgrøder vil være af stor relevans for dansk landbrug.

Nematoderesistensgener er isoleret fra en række afgrøder og det må forventes, at der kan udvikles resistente afgrøder via gensplejsning indenfor en overskuelig årrække. Der foregår også en omfattende DNA markørbaseret forædling for forbedret nematoderesistens.

Planters generelle metabolisme

Det må forventes, at den omfattende forskning i planters generelle metabolisme og næringsoptagelse, herunder kvælstoffiksering i de ærteblomstrede afgrøder, vil kunne føre til en væsentlig højere produktivitet og dermed en forøget evne til at bortfjerne kvælstof. Eksempelvis forskes der indgående i at kunne overføre majsens meget effektive fotosyntetiske egenskaber under høje lysintensiteter til andre kulturplanter.

Øvrige vækstparametre

Der er opnået en omfattende viden om de genetiske mekanismer bag planters vækstform og vækstparametre, herunder blomstring. Det må forventes, at der indenfor en overskuelig år-række vil kunne udvikles helt nye plantesorter med et bedre rodnet, bedre konkurrenceevne mod ukrudt via tidlig og omfattende vegetativ vækst, bedre vækst under danske klimatiske forhold (majs), reduceret blomstring i afgræsningsafgrøder etc.

Mobilisering af kvælstofreserver til frøet

Der foregår en meget omfattende forskningsindsats rettet mod at optimere kvælstofudnyttelse og i særdeleshed mobilisering af næringsstoffeserverne fra planternes vegetative dele til frøene under planternes modning. De anvendte strategier omfatter bl. a. en forlængelse af vækst- og næringsstoffmobiliseringsperioden samt en optimering af næringsstoffmobiliseringen fra blad til kerne. Begge strategier har vist deres anvendelighed i fremstillede prototyper.

Effekter på kvælstofudnyttelse og –tab

Ad 1: Tilførsel af kvælstof:

Ved anvendelse af såkaldt højlysinbyg er det muligt at reducere kvælstofindholdet i gyllen med 10-20% (Munck, 1992). Denne byg er imidlertid endnu ikke økonomisk lønsom grundet et 10% mindre udbytte. Der er imidlertid via konventionelle forædlingsteknikker udviklet såkaldt Quality Protein majs (QPM), der har en væsentlig forbedret aminosyresammensætning og et normalt udbytte (Prasanna et al., 2001). I sammenlignende fodringsforsøg er der observeret mere end en halvering af proteinindholdet i gødning ved anvendelse af QPM (Crows Hybrids Corn Company). QPM anvendes både til kvæg- og svinefoder samt til human ernæring i mange lande.

Ad 2, 3 og 4: Bortfjernelse af kvælstof, mineralisering og afledning

Under normale dyrkningsbetingelser optager vore afgrøder op til ca. 70% af det kvælstof, som er blevet tilført med handelsgødning i samme vækstsæson, se tabel 36.

Af tabel 36 ses, at raps har en dårligere omlejringssevne fra halm til frø end kornsorterne (lave N-høstindex). N-høstindekset kan påvirkes både genetisk og dyrkningsmæssigt. F.eks. optager vårbyg mere N ved delt gødskning, og da omlejringsen til kerne ikke er synderligt påvirket heraf, resulterede dette i en større N-mængde i høstet kerne ved samme N-dosis (Søegaard, 1986).

Tabel 36. Optag i frø og residuelle plantedele i forskellige afgrøder angivet i procent af tilført N og beregnet som gennemsnit af en række forsøgsår og behandlinger. Resultater beregnet på grundlag af ¹⁵N-mærkning af det tilførte N eller efter differensmetoden (forskellen i N-optag mellem gødede og ugødede planter divideret med tilført N mængde). Resultater fra Andersen et al. 1996; Beretningen fra Landskontoret for Planteavl 1996 og 1999; Schjørring et al. 1993 og 1995; Schjørring og Mattsson 2001.

Afgrøde	Kvælstofindhold i de afhøstede plantedele (frø) i % af tilført	Kvælstofindhold i residuelle plantedele (halm) i % af tilført	N-høstindeks*
Hvede	30-50%	10-20%	0,80 – 0,89
Byg	30-40%	15 % 10-20%	0,79-0,87
Raps	45-55% (vandet) 30% (uvandet)	10-20%	0,63-0,77
Kartofler	40-50%	10-15%	
Frøgræs (engsvingel)	15-20%		

N-høstindeks = N indholdet i frø målt i forhold til totalmængden af N i de overjordiske plantedele

En suboptimal plantevækst grundet biotisk stress og højt ukrudtspres kan føre til meget markante udbyttetab. I Tabel 37 er angivet det kumulative tab for en for sen såning, sygdomsangreb, og ukrudt under et 0 pesticid scenarium (Lise Nistrup Jørgensen: Optimeret plantebeskyttelse, *ibid*). For kornarterne kan dette føre til et tab i størrelsesordenen 10-30 kg N pr. ha.

Tabel 37. Estimerede tabsprocenter i udbyttet som følge af skadegørere m.m. i forskellige afgrøder i et 0-pesticid scenarium.

	Hvede	Vårbyg	Vinterbyg	Vinter-rug	Ærter	Vinter-raps	Vårraps	Sukker-roer	Kløver-frø	Frø-græs	Kar-tofler	Græs	Majs
Tab (%)	29	19	21	12	21	7	23	14	75	50	42	3	16

Under danske landbrugsforhold vil tørke på de lettere jorde være en markant abiotisk stressfaktor, der ofte medfører store udbyttetab og dermed reduceret N-udnyttelse. Dyrkning af mere tørkeresistente afgrøder vil kunne resultere i en øget indlejring af N i høstede produkter og vil kunne praktiseres med effekt på jordtyperne JB1-JB4, der omfatter mere end halvdelen (1.6 mill ha) af det danske landbrugsareal. Årsagen til mindsket N-indlejring under tørke er først og fremmest, at mange afgrøder aborterer en ganske betydelig del af deres frøanlæg, hvis vandforsyningen ikke er optimal i blomstringsperioden. Dermed nedsættes indlejringsmulighederne i frøfyldningsfasen. F.eks. mindskedes indlejrningen i rapsfrøene fra 69 til 25 % af den optagne N-mængde ved manglende vanding i forsøg i 1993 (Andersen et al. 1996).

Det er givet, at der indenfor en overskuelig tidshorisont vil blive udviklet plantesorter, der via en forbedret stress tolerance og produktivitet kan optage mere kvælstof fra jorden samt via

vinterfasthed, tørketolerance og en tidligere og mere omfattende vegetativ vækst reducere udvaskningen. For gensplejsede afgrøder er tidsrammen sandsynligvis af størrelsesordenen 10 år. Det er givet, at mange af disse forædlingsmål indgår i de konventionelle forædlingsprogrammer under anvendelse af de nye genetiske teknikker. Tidsrammen er her muligvis kortere, men er grundet manglende information om forædlingsprogrammerne vanskelig at fastsætte.

Det bør nævnes, at herbicidresistente gensplejsede afgrøder, som raps, roer og majs, der er færdigudviklede til det danske landbrug potentielt set vil kunne være med til at reducere kvælstofudvaskningen. Disse afgrøder muliggør, at ukrudtet får lov at udvikle sig under de tidlige stadier af afgrødens udvikling, hvorefter de bortsprøjtes, når de er ved at tage overhånd. Der eksisterer imidlertid, så vidt vides, ingen data for en sådan potentiel beskyttelse mod kvælstofudvaskning.

Effekter på udbytte og kvalitet

Ad 1: Tilførsel af kvælstof

Eksemplet med QPM majs viser, at det er muligt at opnå et normalt udbytte selvom proteinsammensætningen er ændret.

Ad 2, 3 og 4: Bortfjernelse af kvælstof, mineralisering og afledning

Ud fra de hidtidige erfaringer med gensplejsede afgrøder kan det konkluderes, at disse afgrøder i mange tilfælde giver et højere udbytte. I det industrialiserede landbrug ligger udbytteforøgelsen typisk i størrelsesorden 10%. I afgrøder som insektresistent bomuld er udbytteforøgelser i størrelsesordenen 80% blevet rapporteret fra Indien og virusresistente søde kartofler i Kenya giver et ca. 4 gange højere udbytte. De første sorter af herbicidresistente sojabønner viste en udbyttenedgang på i størrelsesordenen 5%, men dette tilskrives at de første sorter der blev udviklet ikke hørte til blandt elitesorterne. Det er ligeledes klart, at de herbicidresistente afgrøder har en højere kvalitet grundet mindre ukrudtsindblanding og at f.eks. insektresistent majs har væsentligt færre svampeinfektioner grundet færre insektgnav i frøene.

Den konventionelle forædling frembringer til stadighed nye forbedrede sorter. Disse sorter er ikke konkurrencedygtige såfremt de giver et mindre udbytte og/eller en lavere kvalitet. Udbyttenuiveauet er således stadig et problem i højlysinbyg, medens dette dilemma synes løst i nyere sorter af Quality Protein majs.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Konventionelt eller genetisk modificerede afgrøder med de skitserede forbedrede egenskaber vil have en højere såsædspris og skal segregeres fra andre afgrøder. For byg og hvede vil udgifterne til segregering dog være minimale. Afgrøderne skal prismæssigt skulle konkurrere med andre strategier (tilsætning af sojaprotein og mikrobielt eller syntetisk fremstillede aminosyrer, kemisk bekæmpelse etc.). På sigt vil disse afgrøder imidlertid kunne yde et meget

væsentligt bidrag til etablering af lønsomt landbrug, der kan udøves med minimal effekt på det omgivende miljø.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Det er sandsynligt, at disse nye og forbedrede afgrøder vil afløse de hidtil anvendte afgrøder i det konventionelle jordbrug og på længere sigt også i det økologiske landbrug.

Tidshorisont for implementering

Sorter af højlysinbyg og Quality Protein majs er kommercielt tilgængelige. Tidshorisonten for kommercialisering af andre foderafgrøder med en forbedret proteinsammensætning er i størrelsesordenen 5-10 år.

For herbicidresistente afgrøder er majs, raps og roer klar til markedsføring og dyrkning i Danmark

For de øvrige afgrøder er tidshorisonten 5-10 år.

Barrierer for implementering

Dyrkning af de nye afgrøder kræver en omfattende reorganisering af såvel dyrkning og efterfølgende håndtering for sikring af adskillelse. Disse rutiner er imidlertid allerede implementeret for en række specialprodukter, herunder den økologiske produktion. Det er imidlertid en forudsætning, at omkostningerne til monitoring og segregering ikke overstiger den potentielle merværdi i disse afgrøder.

For gensplejsede afgrøder vil en implementering være afhængig af accept.

Referencer

- Andersen, M.N., Heidmann, T. & Plauborg, F. (1996). The effects of drought and nitrogen on light interception, growth and yield of winter oilseed rape. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46. 55-67.
- Andersen, M.N., Asch, F., Wu, Y., Jensen, C.R., Næsted, H., Mogensen, V.O. & Koch, K.E. (2002). Soluble invertase expression is an early target of drought stress during the critical, abortion-sensitive phase of young ovary development in maize. *Plant Physiology* 130. 591-604.
- Crows Hybrids Corn Company (http://www.crowsrsch.com/research_abstract.htm)
- Gaxiola, R.A., Li, J., Undurraga, S., Dang, L.M., Allen, G.J., Alper, S.L. & Fink, G.R. (2001). Drought- and salt-tolerant plants result from overexpression of the AVP1 H⁺-pump. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98. 11444-11449.
- Munck, L. (1992). The Case of High-lysine Barley Breeding, I: Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology, ed. P.R. Shewry, CAB International. 573-601.
- Poulsen, H.D., Lund, P., Fernández, J.A. & Holm, P.B. (2003). Notat vedrørende muligheder for at reducere husdyrgødningens indhold af kvælstof via fodringen. Rapport til VMP III.
- Prasanna, B.M., Vasal, S.K., Kassahun, B. & Singh, N.N. (2001). Quality protein maize. *Current Science* 81. 1308-1319.

- Schjørring, J.K., Kyllingsbaek, A., Mortensen, J.V. & Byskov-Nielsen, S. (1993). Field investigations of ammonia exchange between barley plants and the atmosphere. I. Concentration profiles and flux densities of ammonia. - *Plant, Cell Environ.*, 16. 161-167.
- Schjørring, J.K., Bock, J.H.G., Gammelvind, L., Jensen, C. R. & Mogensen, V. O. (1995). Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oil-seed rape as affected by rate of nitrogen application and irrigation. - *Plant and Soil*, 177. 255-264.
- Schjørring, J.K. & Mattsson, M. (2001). Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere. Measurements over two complete growth cycles of wheat, oilseed rape, barley and pea. - *Plant and Soil* 228. 105-115.
- Søgaard, K. (1986). Deling af kvælstofgødning til vandet byg. Tidsskr. Planteavl, beretning S 1859, 110 pp.
- Zinselmeier, C., Jeong, B.R. & Boyer, J.S. (1999). Starch and the control of kernel number in maize at low water potentials. *Plant Physiol* 121. 25-35.

4.1.3.10. Forbedret vandingsstyring

Mathias N. Andersen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Vanding af landbrugsafgrøder praktiseres på omkring 400.000 ha fortrinsvis sandjord (JB1-JB3) og påvirker N-udvaskning primært via to mekanismer:

- 1) En positiv effekt af vanding på afgrødernes udbytte og N-indlejring i høstede produkter
- 2) En negativ effekt pga. øget afstrømning fra rodzonen

I det følgende vurderes mulighederne for at mindske N-udvaskningen ved forbedret vandingsstyring. De høje omkostninger ved etablering af vandingsanlæg bevirker, at en betydelig udvidelse af det vandede areal ikke er realistisk også fordi vandingens effekt aftager med stigende jordbonitet.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Vanding forbedrer afgrødernes mulighed for N-optagelse fra jorden. Denne foregår dels ved massetransport af hovedsagelig nitrat opløst i jordvandet frem til rødderne dels ved diffusion af nitrat. Begge processer er hæmmet under tørke/lavt indhold af vand i jorden. Der er følgende tale om korttidseffekter, medens vanding ikke forventes at have betydelige langtidseffekter (over flere år). Datamateriale fra vandingsforsøg i DJF-regi omfattende de fleste landbrugsafgrøder vil kunne anvendes til at kvantificere dette sammen med modelsimuleringer. I det følgende vil blive anvendt et forsøg med vinterraps i perioden 1991-93 (Petersen et al., 1995; Andersen et al., 1996; Jørgensen & Hansen, 1997) til at eksemplificere dette.

Tabel 38 viser, at vanding i 1993 forøgede optaget af N i afgrøden med 100 kg/ha i forhold til uvandet ved en tildeling på 200 kg/ha. Ud over dette forøgede vanding også indlejringen i frøene fra 25 % til 69 % af den optagne N-mængde. Ved optimal vanding var indlejringen omkring 70 % af den optagne N-mængde i begge år og ved alle N-tilførselsniveauer. Årsagen til mindskede N-indlejring under tørke er først og fremmest, at afgrøder i blomstringsperioden aborterer en ganske betydelig del af sine frøanlæg, hvis vandforsyningen ikke er optimal (Andersen et al., 2002). Dermed nedsættes indlejringsmulighederne i frøfyldningsfasen. Både 1992 og 1993 var usædvanligt tørre år og de anførte resultater angiver således ekstreme værdier, men det bemærkes, at selv korterevarende tørke i den følsomme blomstringsfase nedsatte såvel N-optaget i afgrøden som –og især - N-indlejringen i frø.

Tabel 38. N-optagelse i afgrøde og frø af vinterraps i vandingsforsøg på JB1. For N-optaget i afgrøden er udnyttelsesgraden angivet som % af N-tilførsel; og for N i frø som % af N-optaget i afgrøden. (Andersen et al., 1996. mod.)

		Vanding							
		År	N tilførsel (kg/ha)	Optimalt vandet		Uvandet		Uvandet blomstring	
				(kg/ha)	%	(kg/ha)	%	(kg/ha)	%
N-optag i afgrøde		1992	0	44	-	40	-	-	-
			100	88	88	63	63	-	-
			200	115	58	86	43	84	42
		1993	100	123	123	75	75	110	110
			200	192	96	91	46	138	69
		N i frø		1992	0	33	75	23	58
100	65				74	33	52	-	-
200	81				70	27	31	44	52
1993	100			82	67	23	31	47	43
	200			132	69	23	25	54	39

Fra forsøget gennemført i 1992 foreligger målinger af N-udvaskning i vandede og uvandede parceller (Tabel 39) efter Jørgensen og Hansen (1997). Det fremgår heraf, at vanding reducerede N-udvaskningen ved alle tre N-tilførselsniveauer og at reduktionen svarede godt og vel til det forøgede plante-optag som følge af vanding (jf. Tabel 38).

Tabel 39. N-udvaskning i vandingsforsøg med vinterraps på JB1. Summerede værdier for perioden 1.10.91 – 1.4.93.

		Vanding			
		År	N tilførsel (kg/ha)	Optimalt vandet	Uvandet
				(kg/ha)	(kg/ha)
N-udvaskning fra vinterraps		1992	0	100	112
			100	105	128
			200	140	185

En mere generel vurdering af betydningen af vanding for reduktion af N-udvaskning kan opnås ved model-simuleringer. Børgesen et al. (2001) beregnede N-udvaskningen for en række type-landbrug ved hjælp af modellen DAISY under vandede og uvandede forhold ved samme gødningsniveau. Disse resultater blev endvidere skaleret op til regionalt og lands-niveau. For alle typer af brug fandtes en formindsket udvaskning på omkring 16 kg N/ha ved vanding på sandjord. For bedre jorde var forskellen minimal. Flere simuleringer-resultater foreligger i dataform (Børgesen og Heidmann, 2002).

På de sandjorde, der kan vandes (400.000 ha af hovedsagelig JB1+JB3), kan der ikke forventes en så stor formindskelse af N-udvaskningen, som resultater af forsøg og simuleringer af forskellen mellem vandet og uvandet viser. Effekten må forventes at være betydeligt mindre og afhængig af hvor godt styring af vandingen foregår i praksis. Det gælder her om at tilføre de optimale vandmængder på optimale tidspunkter i dyrkningsæsonen, idet der groft set kan skitseres følgende to scenarier:

1. For lidt vand → udbyttetab → N-udvaskning
2. For meget vand → N-udvaskning → udbyttetab

Scenarie (1) er givetvis det hyppigst forekommende, da de fleste landbrug ikke har kapacitet til optimal vanding i spidsbelastningsperioder. Med hensyn til scenarie (2) må det påregnes, at vanding næsten altid vil bevirke en større afdræning fra rodzonen. Selv ved optimal vandingsstyring, hvor der tages hensyn til nedbørsprognoser, kan der forekomme uforudsete nedbørshændelser. Under Planteinfo er der udviklet et internet-baseret værktøj til vandingsstyring på bedriftsniveau, hvor der tages hensyn til nedbørsprognoser, jord, klima og plantevækst. Det er formentlig kun et mindre antal landmænd, der bruger dette system eller andre eksisterende styringsredskaber. Såfremt det accepteres, at bortførelsen af N med høstet afgrøde kan tages som udtryk for forskelle i N-udvaskning vil en gennemgang af historiske vandingsforsøg med suboptimal vandtildeling i enkelte af afgrødernes vækstfaser kunne give et estimat for effekten af forbedret vandingsstyring.

For de sandjorde, der ikke kan vandes (400.000 ha af JB1+JB3 samt 800.000 ha JB2+JB4), er der af Plantedirektoratet fastsat lavere N-gødningsnormer end for de tilsvarende vandede jordtyper (http://www.pdir.dk/vejled/godn_02/tab01.htm). Dette vil begrænse N-udvaskningen, men ikke fjerne risikoen, jf. scenarie 1 ovenfor, i ekstremt tørre år.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

En god vandingsstyring har generelt stor positiv betydning for udbyttet og N-optagelsen på sandjorde. Som beskrevet kan der generelt forventes en sammenhæng mellem de to størrelser, og vanding efterlader derfor mindre N i jorden til udvaskning. Kvaliteten af produkter til langt de fleste formål påvirkes ligeledes positivt af god vandingsstyring.

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Der er en arbejdsomkostning forbundet med god vandingsstyring, der kræver løbende beregning af jordvandsunderskud i markerne og minutios planlægning og flytning af vandingsmaskiner. Vandingsstyringsmodulet "Vandregnskab" under Planteinfo forudsiger det økonomiske merudbytte for hver enkelt vanding, således at en uøkonomisk indsats i vid udstrækning kan undgås.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Det drejer sig om ca. 400.000 ha, hvor vandingsstyring kan forbedres.

Tidshorisont for implementering

Kan implementeres på forholdsvis kort tid.

Barrierer for implementering

Manglende uddannelse, tidspres, dårlige internetforbindelser. DJF arbejder på at forbedre beslutningsstøtteprogrammet "Vandregnskab" især mht. brugervenlighed. Der er således implementeret en SMS-dialog, så landmænd kan indberette nedbør og vanding til computersystemet og få vandingsforslag tilbage på deres mobiltelefon - direkte i marken. Endvidere arbejdes på automatisk overførsel af mark- og jordtype-input til Vandregnskab fra databaser.

Referencer

- Andersen, M.N., Heidmann, T. & Plauborg, F. (1996). The effects of drought and nitrogen on light interception, growth and yield of winter oilseed rape. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 46. 55-67.
- Andersen, M.N., Asch, F., Wu, Y., Jensen, C.R., Næsted, H., Mogensen, V.O. & Koch, K.E. (2002). Soluble invertase expression is an early target of drought stress during the critical, abortion-sensitive phase of young ovary development in maize. *Plant Physiology* 130. 591-604.
- Børgesen, C.D., Djurhuus, J. og Kyllingsbæk, A. (2001). Estimating the effect of legislation on nitrogen leaching by upscaling field simulations. *Ecological Modelling* 136. 31-48.
- Børgesen, C.D. & Heidmann, T. (2002). Landsberegninger af kvælstofudvaskningen fra landbruget med SKEP/DAISY og SIM IIIB modellerne. DJF rapport nr. 62 Markbrug. Danmarks Jordbrugsforskning, Foulum, 61 pp.
- Jørgensen, U. & Hansen E.M., (1997). Nitrate leaching from *Miscanthus*, willow, grain crops and rape. In: Woergetter, M., & Jørgensen, U. (eds). *Proceedings of the International Workshop on Environmental Aspects of Energy Crop Production*, Brasimone, Italy, 208-218.
- Petersen, C.T. Jørgensen, U. Svendsen, H. Hansen, S. Jensen, H.E. & Nielsen, N.E. (1995). Parameter assessment for simulation of biomass production and nitrogen uptake in winter rape. *Eur. J. Agron.* 4(1), 77-89.

Oversigtsopgørelse for forbedret N-udnyttelse

Skønnet for forbedret vandingsstyring er baseret på de ovennævnte forhold, der omfatter: at kun en mindre andel af landbrugene styrer vanding optimalt, at korterevarende vandmangel giver moderate nedgange i afgrødernes udbytte og N-optagelse samt at dette resulterer i en forøget N-udvaskning, som numerisk er en smule større end reduktionen i N-optag. Skønnet omfatter ikke: en eventuel udvidelse af det areal, der kan vandes; manglende vandressourcer; eller manglende vandingskapacitet i lange tørkeperioder.

Table 40. Effektvurdering af forbedret vandingsstyring. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. uændret gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. uændret gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorison for ca 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr /ha	Kr/ha	År
Forbedret Vandingsstyring	Brug på sandjord med vandingsanlæg	400.000	3-5	4-6		+ 1,8-3,0 hkg/ha i korn	50-150	3-5 år

4.1.3.11. Optimering af gødningsdosering til juletræer og pyntegrønt

Lars Bo Pedersen, Claus J. Christensen og Per Gundersen, Skov & Landskab, KVL

Beskrivelse af tiltaget

I skovmæssig sammenhæng må tiltag til nedbringelse af N-belastningen indenfor netop pyntegrøntdyrkning regnes for en god investering. Pyntegrøntarealet er formodentlig den mest kvælstofbelastende produktiongren indenfor skovbruget. Samtidig foregår den på et begrænset areal, som på den ene side kan lette sådanne tiltag. På den anden side er produktionen økonomisk set langt den største nicheproduktion indenfor skovbruget med en omsætning, der næsten svarer til hele det vedproducerende skovbrug. Derfor kan eventuelle tiltag have stor økonomisk betydning for et økonomisk tynget skovbrug.

På nuværende tidspunkt regnes især følgende fire mulige tiltag til nedbringelse af kvælstofbelastning som realistiske:

- Udstrækning af perioden med punktgødsning
- Gentilplantning/Uensaldrende kulturer
- Optimering af ukrudtsbekæmpelsesmetoder
- Anvendelse af gylle eller andre organiske gødningstyper

Tiltagene vedrører især produktionen af juletræer, men vil også i et ukendt omfang være relevant for produktionen af klippegrønt. Tiltagene vedrører produktionen af pyntegrønt (juletræer og klippegrønt) med træarterne nordmannsgran og nobilis i skov og på tidligere landbrugsjord og således ikke juletræsproduktionen med rødgran, hvor der kun anvendes sparsomme eller slet ingen gødningsmængder.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Juletræer og klippegrønt er stort set den eneste arealanvendelse, hvor der bruges gødning i væsentlige mængder i skove. Ligesom for andre afgrøder er der i forbindelse med Vandmiljøplan II indført gødningsnormer og krav om gødningsregnskaber. Gødningsnormen for juletræer og klippegrønt er 75 kg N/ha/år (Plantedirektoratet, 2001). Det gælder dog som et maksimalt gennemsnit for arealer hos den enkelte skovejer. Dvs. at der er mulighed for at omfordele kvælstofgødning mellem arealer indenfor samme ejendom og reducere tildelingen til små træer ved punktgødsning og udnytte den sparede mængde til at "farvegødske" salgsklare juletræer (Christensen, 2001).

Risikoen for nitratudvaskning er størst i forbindelse med juletræer, fordi omdriften er kort. Høj udvaskning gælder især, hvor juletræer er plantet på tidligere landbrugsjord, der som udgangspunkt er velgødet. Derimod vil udvaskningen fra ældre klippegrøntsbevoksninger formentlig være begrænset ved den tilladte gødningsmængde på 75 kg N/ha/år. Denne mængde kan være lavere end den mængde kvælstof, der bliver fjernet fra arealet i form af klippegrønt

(Christensen og Pedersen, 2001). Der mangler helt viden om nitratkoncentrationer under klippegrønt.

Tidligere gødningspraksis har givetvis på grund af manglende viden medført meget høj nitratudvaskning fra juletræskulturer især på landbrugsjord. I nogle tilfælde har udvaskningen måske været større end ved almindeligt agerbrug. Dokumentation af udvaskningen i forsøg med forskellige gødningsmængder (Pedersen et al. 2000) har dog ført til ændret gødningspraksis de senere år og dannet grundlag for de indførte gødningsnormer. Med den nuværende praksis er den gennemsnitlige nitratkoncentration i vand der forlader rodzonen under 4-10 årrige juletræskulturer på skovjord i de fleste tilfælde forhøjede, men under 50 mg/l. Derimod tyder de hidtil udførte forsøg på, at koncentrationen under bredgødskede 4-10 årrige juletræer på tidligere landbrugsjord er omkring 50 mg/l, men varierende fra 25 til 100 mg/l. Udvasningen efter afdrift og i forbindelsen med nyetablering af kulturer til en alder på ca. 4 år kendes ikke.

Gødsknings- og dyrkningsmetoder påvirker nitratudvaskningen betydeligt. Den anbefalede gødskningspraksis i juletræsbevokninger er søgt tilpasset kulturens kvælstofoptag og -behov (Christensen og Pedersen, 2002): På sandjord gødskes således ikke i det første år efter plantning, mens der punktgødskes med 4-8 g N pr. plante de følgende 4 år (svarende til 20-40 kg N/ha/år). På lerede jorde gødskes ofte ikke de første 5 år. I resten af omdriften (ca. 5 år) bredgødskes med gødningsnormen på 75 kg N/ha/år på både sand- og lerjorde. Ovennævnte nitratkoncentrationer mellem 25 og 100 mg/l fra forsøg repræsenterer denne fase. Ud fra undersøgelserne er der beregnet en gennemsnitlig udvaskning på 37 kg N/ha/år (korrigeret for spor) over denne sidste halvdel af omdriften. Den manglende eller reducerede gødsning i de første leveår antages at give anledning til en mindre udvaskning i størrelsesordenen 10-15 kg N/ha/år, mens perioden i forbindelse og efter afdrift let kan føre til svagt forhøjede udvaskningsmængder. Set over en hel 9-10-årrig omdrift kan udvaskningen på typiske juletræsarealer således anslås til mellem 25 og 35 kg N/ha/år afhængig af plantetæthed, sporbredde, gødningsfordeling samt jordtype. Udtaget af kvælstof med den høstede biomasse andrager typisk mellem 400 og 500 kgN/ha (Christensen et al, 2001, Pedersen, unpubl.).

Udstrækning af perioden med punkt-gødsning

Ved punkt-gødsning gives der mindst ligeså meget gødning pr. plante som ved bredgødsning, men der doseres på et langt mindre areal. Derfor er kvælstofbelastningen alt andet lige mindre fra punkt-gødsning end fra bredgødsning og en udstrækning af perioden med punkt-gødsning vil derfor alt andet lige føre til mindsket udvaskning af kvælstof. Imidlertid vanskeliggøres punkt-gødningen jo større træerne bliver. Der er igangsat forsøg på én sandjordslokalitet, der peger på næsten en halvering nitratkoncentrationerne i den nedsivende jordvæske, men der savnes yderligere dokumentation og der mangler helt viden om mulighederne på lerjorde ligesom udvikling af nye tekniske tiltag kan lette udstrækningen af punkt-gødsningsperioden.

Punktgødskning kan muligvis delvist substitueres af langtidsvirkende gødninger, der sikrer en langsommere frigivelse af næringsstoffer, der er mere afstemt til træernes forbrug til langt ind i efteråret. Der findes ingen viden på området.

Gentilplantning/Uensaldrende kulturer

Normalt afdrives hele juletræsbevokninger indenfor en periode på 1-3 år. Metoder baseret på kontinuert drift med flere aldersklasser vil ligesom i andre skovbevoksninger reducere udvaskningen af kvælstof. Der findes sparsom viden på området, og intet med relation til miljøpåvirkning.

Optimering af ukrudtsbekæmpelsesmetoder

De metoder og den intensitet der vælges i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse påvirker også udvaskningen af kvælstof (Pedersen et al. 2002). I forsøg på gammel skovjord medførte mekanisk ukrudtsbekæmpelse i perioder nitratkoncentrationer over 50 mg/l, mens herbicid-sprøjtning medførte noget mindre koncentrationer og slåning/ubehandlet de lavest koncentrationer (20 mg/l). Det er sandsynligt at optimering af ukrudtsbekæmpelsesmetoder på en gang kan reducere forbruget af herbicider og udvaskningen af kvælstof. Kombination af eksisterende ukrudtsbekæmpelsesmetoder, herunder fåregræsning, er oplagte muligheder, men der mangler viden både på drifts- og miljøområdet.

Anvendelse af gylle eller andre organiske gødningstyper

Igangværende forsøg på gammel skovjord tyder på at brug af organiske gødninger kan føre til en væsentlig nedsættelse af udvaskningen af kvælstof fra juletræsarealer. Således giver behandlinger med 75 kg N på skovjord i form af mineralsk NPK 23-3-7 anledning til op mod 10 gange højere nitratkoncentrationer i jordvandet under rodzonen end ved gødskning med gylle (75 kg N), formodentlig pga. en langsommere frigivelse af N til et veludviklet rodsystem, der er aktivt til langt hen på året.

Mindsket udvaskning fra juletræsarealer gennem anvendelse af gylle, evt. set i kombination med genanvendelse af flisaske fra varmefkraftværkerne, må anses som en meget vigtig udfordring for såvel landbrugsproduktionen som juletræsproduktionen. Det kan vise sig at være banebrydende både i økonomiske og miljømæssig henseende, hvis det er muligt at udvikle en sammensat pelleteret gødning af flisaske og den kvælstofholdige del af gyllen. Endelig indebærer anvendelse af slam/overskudsfibre (måtter) med og uden indlejrede næringsstoffer også et potentiale til nedbringelse af kvælstofbelastning. Der vil formentlig forekomme en vis ammoniakfordampning ved sådanne anvendelser af gylle eller anden organisk gødning. Det vides ikke om den vil være forskellig fra anvendelse i andre afgrøder.

Summering

Der synes at være mulighed for yderligere at reducere udvaskningen fra juletræskulturer gennem udvikling og optimering af gødsknings- og plejemetoder. Et væsentligt aspekt, hvor der mangler viden, er udvaskningen over en hel omdrift ved forskellig dyrkningspraksis. Udvas-

ningen ved afdrift, jordbearbejdning og gentilplantning kan være af stor betydning for den samlede udvaskning over en omdrift idet denne fase udgør en stor del af omdriften.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Udstrækning af perioden med punktgødskning: Overordnet set ingen påvirkning

Gentilplantning/Uensaldrende kulturer: Ukendt

Optimering af ukrudtsbekæmpelsesmetoder: Ukendt

Anvendelse af gylle eller andre organiske gødningstyper: Overordnet set ingen påvirkning

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Udstrækning af perioden med punktgødskning: Ukendt, men både mulighed for stigende henholdsvis faldende omkostninger samt stigende henholdsvis faldende gevinster.

Gentilplantning/Uensaldrende kulturer: Ukendt, men formodentlig stigende omkostninger og faldende gevinster.

Optimering af ukrudtsbekæmpelsesmetoder. Ukendt. Samtidig optimering af herbicid- og gødningsforbrug antyder en vigtig samfundsmæssig gevinst.

Anvendelse af gylle eller andre organiske gødningstyper: Ukendt. Mulighed for mindskede omkostninger og stigende gevinster. Stort potentiale for afledte gevinster for landbrug og varmeforbruger

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Det samlede areal med juletræer og klippegrønt udgør ca. 32.000 ha. (Christensen, 2003). Nordmannsgran udgør ca. 22.700 ha og nobilis 9.200 ha. af den samlede pyntegrøntproduktion. Langt den største del af arealet med træarten nobilis ligger på gammel skovjord, hvor produktionen især er klippegrønt. For nordmannsgran anslås det at 75% af arealerne, ca. 17.000 ha. ligger på tidligere landbrugsjord (Christensen, 2003) med produktion af juletræer for øje. De resterende ca. 5.000 ha med nordmannsgran ligger i skov.

Alt i alt er juletræsarealet fordoblet fra 2 til 5 pct. af skovarealet fra 1989 til 1999, en forøgelse der for langt den største del (11.000 ha) er sket på tidligere landbrugsjord. Dvs. at juletræer har fortrængt andre landbrugsafgrøder, der ofte har højere nitratudvaskning end juletræer.

Tidshorisont for implementering

Hidtidigt er forskningsresultater indenfor dyrkning af juletræer hurtigt blevet omsat i praksis. Det må derfor vurderes at ovennævnte tiltag let kan blive almindelig praksis 3 – 10 år (produktionens omdriftstid påvirker), alt afhængig af de specifikke tiltag.

Barrierer for implementering

Der synes at være betydelige muligheder for yderligere at reducere udvaskningen fra juletræskulturer gennem udvikling og optimering af gødnings- og plejemetoder. Et væsentligt aspekt, hvor der mangler viden, er udvaskningen over en hel omdrift ved forskellig dyrkningspraksis. Udvasningen ved afdrift, jordbearbejdning og gentilplantning kendes ikke,

men kan være af stor betydning for den samlede udvaskning over en omdrift idet denne fase udgør en stor del af omdriften. Et andet væsentligt aspekt vedrører produktionen af nobilis, hvor miljøpåvirkningen slet ikke er kendt. Optimering af produktionen hvor både økonomi, klippekvalitet og miljø inddrages udgør således også et væsentligt aspekt, hvor der mangler viden.

Manglende forskning og udvikling udgør betydelige fælles barrierer for de fire foreslåede tiltag. Det skal dog pointeres, at indenfor anvendelse af gylle i juletræsdyrkingen vil etablering af et samarbejde mellem juletræsproducenter, landbrugere og varmekraftværker være af stor betydning for implementeringsprocessen.

Etablering af demonstrationsforsøg og –anlæg må også vurderes som vigtige tiltag, ikke mindst indenfor integration af juletræsdyrking med færehold.

Referencer

- Christensen, C.J. (2001). Kvælstofnormer for skov- og pyntegrøntkulturer. Videnblade skovbrug, 4.8-1. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2 pp.
- Christensen, C.J. & Pedersen, L.B. (2001). Næringsstoffer i nobilisklippegrønt – en syntese af gamle anbefalinger. Videnblade Pyntegrønt, 5.9-21. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2 pp.
- Christen, C.J., Ingerslev, M., Pedersen, L.B. & Bräuner Nielsen, U. (2001). Gødningsrespons hos nordmannsgranprovenienserne Ambrolauri og Langesø afd. 6. Pyntegrøntserien, 17, 64.
- Christensen, C.J. & Pedersen, L.B. (2002). Gødningsstrategier for nordmannsgran. Skov & Landskabskonferencen 2002, Center for Skov, Landskab og lanlægning, 85-91.
- Christensen, B. (2003). Juletræets miljøprofil – fup eller fakta. PS Nåledrys 43, 33-40.
- Pedersen, L.B., Christensen, C.J. & Ingerslev, M. (upubl). Næringsstofkredsløb og –puljer i juletræsbevoksninger.
- Pedersen, L.B., Christensen, C.J. & Ingerslev, M. (2000a). Næringsstoffer og stofkredsløb, Kvælstof (N) – 1. Kredsløb. Videnblade Pyntegrønt, 5.9-15. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm, 2 pp.
- Pedersen, L.B., Riis-Nielsen, T., Ravn, H.P., Dreyer, T., Krag, M., Nielsen, A.O., Matkowski, A. & Sunde, P.B. (2000b). Alternativer til pesticidesprøjtning i skovkulturer. SKOVEN 8/2000. 355-359.
- Pedersen, L.B., Riis-Nielsen, T., Ravn, H.P. & Christensen, C.J. (2002). Traditionel ukrudts-sprøjtning og alternative behandlingsstrategier i juletræskultur på skovjord - Effekt på vækst, kvalitet, naturindhold og miljø. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. Under udgivelse.
- Plantedirektoratet (2001). Bekendtgørelse nr. 169 af 15 marts 2001 om kvælstofprognosen for 2001, Plantedirektoratet.
- Riis-Nielsen, T., Pedersen, L. B., Ravn, H. P. & Dreyer, T. (2001). Naturindhold og udvaskning i juletræ- og løvtræskulturer ved traditionel pesticidbehandling og alternative behandlingsstrategier. Intern rapport *Skov & Landskab* (FSL), 33 sider.

Table 41. Effektvurdering af optimeret gødsning i juletræer og pyntegrønt. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003. Det skal bemærkes, at værdier kan være additive, men der mangler megen viden på området.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. gødsning til gældende norm	Reduktion af nitratudvaskning v. gældende norm	Reduktion af ammoiakemission v. gældende norm	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr /ha	Kr/ha	År
Udstrækning af periode med punkt-gødsning et år	Pyntegrønt på sandede jordtyper	4.500 ¹	2-5 ²	4 ²	?	Ingen	?	Ca.3-10 år afhængig af dokumentation fra forsøg
Gentilplantning/uensaldrende kulturer	Pyntegrønt, alle jordtyper	4.000 ³	Betydelig	Betydelig	?	?	Stigende	Ca.3-10 år afhængig af dokumentation fra forsøg
Optimering af ukrudtbekæmpelse	Pyntegrønt, alle jordtyper	21.000 ⁴	?	2-5	?	?		Ca.3-10 år afhængig af dokumentation fra forsøg
Anvendelse af gylle el. andre org. Gødninger	Pyntegrønt, alle jordtyper	28.000 ⁵	Betydelig	2-15	?	Ingen	Forventes mindsket	Ca.3-10 år afhængig af dokumentation fra forsøg

- 1) Kan anvendes i 2 år ud af en middelomdrift på 9 år (32.000 ha/9*2).
- 2) Anslået og bygger på reduceret tildeling, dvs. decideret faldende N-forbrug.
- 3) Potentielt kan 1/9 af arealet omlægges pr år indtil hele arealet drives på denne måde.
- 4) Det antages at ukrudtbekæmpelse foretages på 2/3 af arealet.
- 5) Kan anvendes over hele omdriften, dog gødes ej det første år.

4.2. Ændring i arealanvendelsen

4.2.1. Omlægning til økologisk mælkeproduktion - konsekvenser for kvælstofomsætning, -udnyttelse og -tab.

*Ib Sillebak Kristensen, Troels Kristensen og Anders Højlund Nielsen
Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø*

Konklusion

Med udgangspunkt i repræsentative regnskabsdata fra 1999 blev beregnet bedrifts N-overskud ved konventionel og økologisk mælkeproduktion. Ved økologisk mælkeproduktion blev der fundet 73 kg lavere bedrifts N-overskud per ha sammenlignet med konventionel produktion. Det svarer til en mindre udvaskning på 63 kg N ha^{-1} . Ses der udelukkende på gruppen af konventionelle kvægbedrifter med under $1,4 \text{ DE ha}^{-1}$ var der en forskel i udvaskningen på 53 kg N ha^{-1} . Ved at indføre de skærpede VMP II krav i det samme datasæt blev de konventionelle malkekvægsbedrifters forventede bedriftsbalance i 2003 forbedret fra 178 til $154 \text{ kg N-overskud ha}^{-1}$, og forskellen til økologiske bedrifter indsnævredes til 52 kg N ha^{-1} .

De økologiske bedrifter har også forbedret deres N-balance, som følge af kravet om 100% økologisk fodring. Under antagelse af at rapskage i 1999 er ombyttet med 18% proteinholdigt kraftfoder i 2003 vil forskellen øges til 50 kg N ha^{-1} mindre udvaskning på økologiske malkekvægsbedrifter.

Følsomhedsanalyser for højere N-fiksering, lavere andel afgræsning, lavere N-effektivitet i besætning, højere N-indhold i grovfoder, højere nettoudbytter og forskelle i dybstrøelsesandel viste udsving i N-balancerne fra -15 til 17 kg N ha^{-1} . Antages der samme usikkerhed indenfor de to systemer vil forskellen mellem de to driftsformer kun blive ændret $2-6 \text{ kg N ha}^{-1}$, undtagen ved 25% lavere fiksering, der medførte at forskellen i N-udvaskning blev 11 kg mindre mellem økologisk og konventionel mælkeproduktion.

Ved omlægning af 200.000 ha konventionelle malkekvægsbedrifter med under $1,4 \text{ DE ha}^{-1}$ kan der opnås en forventet mindre udvaskning på $53 \text{ kg N ha}^{-1} = 10.600 \text{ ton N}$, når beregningerne laves på det sidst opdaterede datasæt for 1999. Anvendes fremskrivningerne til 2003 af såvel konventionel (VMP II krav og under $1,4 \text{ DE ha}^{-1}$) og økologisk (100% fodring) reduceres forskellen i udvaskningen til $46 \text{ kg N ha}^{-1} = 9.200 \text{ ton N}$. Såfremt der anvendes udelukkende en fremskrivning af den konventionelle produktion vil det betyde en mindre udvaskning på $36 \text{ kg N ha}^{-1} = 7.200 \text{ ton N}$ ved omlægning til økologisk produktion.

Baggrund

Kapitlet er udarbejdet med henblik på at belyse mulighederne for at opnå forbedret N-udnyttelse på bedriftsniveau og dermed formindsket N-tab ved mælkeproduktion og herudover at dokumentere eventuelle forskelle mellem konventionel og økologisk mælkeproduktion.

På kvægbedrifter er der i forhold til den samlede N-omsætning et stort internt N-flow, med stor vekselvirkning mellem besætning og mark via foderafgrøder, herunder afgræsning og husdyrgødskning. Det er derfor vanskeligt at kvantificere næringsstofomsætning på afgrøde- og markniveau, og det er ofte mere sikkert at belyse effekten på bedriftsniveau, hvor de interne N-flow poster ikke har afgørende betydning (Kristensen et al., 2002; Kristensen et al., 2003a). Efterfølgende kan en markbalance beregnes ud fra bedriftsbalance minus N-tab i stald og lager.

Økologisk landbrugsproduktion i Danmark er dels mælkeproduktion (godt 3% af landbrugsarealet i 1999-2001, Berntsen et al., 2004), samt et lige så stort areal med andre økologiske produktionsformer, fortrinsvis planteavlbedrifter, Anon. (2001a). De økologiske regler medfører en begrænset import af husdyrgødnings- og foder-N til bedrifterne, hvilket blandt andet medfører en høj udnyttelse af tilført husdyrgødning og af mineraliseringen fra jordens N-pulje (Kristensen et al., 2003a). Til supplement af den begrænsede N-import benytter økologerne bælgplanter, der selv kan fikserer kvælstof. I analyser af bedriftsdata er der tidligere fundet lavere N-overskud (forskul mellem total input, inklusiv fiksering og output) på økologiske bedrifter sammenlignet med konventionelle kvægbedrifter (Kristensen og Kristensen, 1992; Halberg, 1999).

Metode

Ved Fødevarerøkonomisk Institut (FØI) er der indsamlet repræsentative regnskabsdata. I 1999 indgår i alt 2.239 regnskaber fra private bedrifter som er anvendt i denne analyse. Disse bedrifter er inddelt i 31 bedriftstyper. Regnskaberne tager udgangspunkt i driftsregnskaber udarbejdet i lokale rådgivningscentre og samlet på Landbrugets Rådgivningscenter. Regnskaberne kontrolleres, rettes og godkendes inden de indgår i den repræsentative regnskabsdatabase, se Anon. (2001b). Dette muliggør en opskalering til nationalt niveau ved at multiplicere antallet af regnskaber i hver gruppe med det antal bedrifter i alt, som typen repræsenterer. De beregnede opskalerede tal kan sammenlignes med nationale data, f.eks. Danmarks Statistik. (Kristensen et al., 2003b)

I data fra 1999 er der 350 med konventionel mælkeproduktion og 149 med økologisk mælkeproduktion opdelt i otte bedriftstyper. Sammenlignes med Danmarks Statistik repræsenterer data 86% af de danske årskøer efter opskalering. Malkekvægsholdet udgør 35% af danske dyreenheder (DE) og produktionen foregår på 23% af Danmarks landbrugsareal, heraf 85% på sandjord. I det følgende fokuseres på forholdene omkring beregningerne, der er knyttet til kvægbedrifterne. For mere generel information og resultater fra andre bedriftstyper henvises til www.lcafood.dk.

Beregningerne per bedriftstype er foretaget med udgangspunkt i regnskaberne oplysninger vedrørende arealfordeling, høstudbytter i kerneafgrøder, husdyrbestand, mælkeydelse, salg af afgrøder m.v. I regnskaberne fremgår der ikke mængder og næringsindhold i indkøbt foder, indkøbt handelsgødning og hjemmeavlet grovfoder. For at kunne opstille en N-balance er det derfor nødvendigt at beregne disse poster.

Husdyrenes foder- og kvælstofbehov er beregnet ud fra produktionsniveau på de enkelte bedriftstyper og ved brug af nøgletal fra Poulsen et al. (2001) og Østergaard (1989). Protein behov i foder er beregnet i overensstemmelse med Poulsen et al. (2001) til 22% N-effektivitet hos malkekøer af stor race. Der er regnet med samme effektivitet i økologiske og konventionelle besætninger, da der ikke er fundet forskel mellem de to bedriftstyper blandt studielandbrugsværterne i 1997-2002. Der er anvendt 1999-dyreenheder (Anon., 1998a), altså én ko af stor race = 1,18 DE.

Grovfoderudbytte er fastsat ud fra et gennemsnit af studielandbrug og helårsforsøgsbedrifter fra 1989-2001, se tabel 42.

Tabel 42. Nettoudbytte og råprotein i grovfoderafgrøder på konventionelle og økologiske bedrifter.

System:	Konventionel			Økologisk		
	FE ha ⁻¹	Kg TS ha ⁻¹	% Råprotein af TS	FE ha ⁻¹	Kg TS ha ⁻¹	% Råprotein af TS
Afgrøder						
Kløvergræs, ensilage	6500	8020	16,3	5500	6820	16,3
Kløvergræs, afgræsset	6500	6820	23,0	5500	5730	23,0
Varig græs	2320	2433	23,0	2000	2098	23,0
Helsæd ¹⁾	5000	6760	10,4	3700	5430	10,4
Majs	9200	10000	8,7	5500	7000	8,7
Fodersukkerroer	10900	10900	7,4			

1) Eksklusiv græs høstet i efteråret, udlægsudbytte er inklusiv i kløvergræs.

Nettoudbytte i varig græs hos konventionelle er ansat lavere end registreringer til 2320 FE ha⁻¹. Og der er overført 25% ha fra varig græs til sædskiftegræs for at få Danmarks areal med sædskiftegræs i overensstemmelse med Danmarks Statistik.

Ud fra oplyste udbytter i kerneafgrøder og de i tabel 42 angivne nettoudbytter kan hjemmeavlet foder beregnes ud fra arealerne. Resten af besætningernes foderbehov indkøbes som proteinrigt tilskudsfoder og korn, så dyrenes FE- og N-behov kan opfyldes, hvilket betyder at N-ab dyr er lig normen (Poulsen et al., 2001), undtagen når stor mængde sommerafgræsning ikke kan afstemmes med proteinfattigt tilskudsfoder. En høj afgræsningsmodel medfører således en højere N-udskillelse. Der er forudsat minimal anvendelse af proteinrigt tilskudsfoder på 150 FE soja årsko⁻¹. De herved beregnede mængder af indkøbt foder er i rimelig overensstemmelse med de i regnskaberne oplyste udgifter til indkøbt foder på ca. 2.331 kr. DE⁻¹ ved konventionel mælkeproduktion, og

2.220 kr. DE⁻¹ ved økologisk mælkeproduktion lig 1,05 og 1,35 kr. FE⁻¹ indkøbt (soja + korn) hos henholdsvis konventionelle og økologiske mælkeproducenter.

Husdyrgødningsproduktionen beregnes som forskel mellem foder-N optagelse og N-produktion i mælk og kød. Der sælges husdyrgødning fra bedriftstyper, som har for høj belægningsgrad set i forhold til harmonikravene anno 1999 (Anon., 1998b), men set på tværs af alle bedriftstyper er der balance mellem eksport og import. Udveksling af husdyrgødning på økologiske bedrifter stammer fra et gennemsnit af Plantedirektoratets gødningskontrol i 2001 og 2002 (Kristensen, 2004). Den beregnede nettoudveksling af husdyrgødning er i rimelig overensstemmelse med data fra gødningskontrollen (Kristensen, 2004).

Fra regnskaberne er alene oplyst gødningsudgiften, hvorfor kg indkøbt N i handelsgødning er beregnet indirekte. Det er antaget at tildeling af kvælstof til afgrøder i form af handels- og husdyrgødning er udført i henhold til kvælstofnormer fra Plantedirektoratet for året 1998/1999 (Anon., 1998b), herfra trækkes gødningsværdien af udbragt husdyrgødning med de i 1999 gældende udnyttelseskrav til husdyrgødning. Med disse antagelser manglede stadig 11% af handelsgødnings-N forbruget. For at afstemme til Danmark Statistik er alle afgrøders N-behov derfor øget med 11%, og herefter er dette grundlag anvendt til beregning af gødningsforbruget. Den totale mængde handelsgødning opsummeret over alle 31 bedriftstyper er således afstemt med det nationale forbrug. Sædskiftegræs og vedvarende græs gødskes også under normen. Konventionel sædskiftegræs tilføres kun 136 kg kvælstofhandelsgødning ha⁻¹. I 1999 kunne der tildeles 207-233 kg N ha⁻¹ til kløvergræs med under 50% kløver (Anon., 1998b). Tildeling af 136 kg N per ha er fastsat på grundlag af en modelleret sammenhæng mellem N-gødsning og en visuel bestemt kløverprocent, hvor kløverindholdet i de konventionelle bedriftstyper er fastsat til 30% visuel ud fra analyseresultater fra 15.641 græsprovers kløverindhold i 1998 og 1999 (Thøgersen, 2000). På studielandbrug er der ligeledes anvendt 146 kg handelsgødnings-N per ha i perioden 1997-2002, uden tendens til fald i perioden. Vedvarende konventionelle græsmarker tildeles 80 kg N ha⁻¹ i handelsgødning. Udlægsmarker blev gødet med 50% af N-normen (Anon., 1998b) i overensstemmelse med gennemsnitlig gødsning på studielandbrug. Bedrifternes udgift til indkøbt gødning stemmer med beregnet gødningsudgift baseret på de beregnede mængder indkøbt gødning og standardpriser på 2,8; 12 og 3 kr. per kg N-, P- og K-handelsgødning. For yderligere oplysninger om forudsætninger for beregninger henvises til Dalgaard et al. (2003), Larsen (2003) og www.lcafood.dk.

Fikseringen er ansat til 150 kg N ha⁻¹ i sædskiftegræs hos økologer ved 42% visuel kløver og 103 hos konventionelle ved 30% visuel kløver efter Kristensen et al. (2004b). Fiksering er beregnet på basis af visuel bedømmelse af kløverindhold i kløvergræs (Kristensen et al., 1995; Kristensen, 1999). Bedømmelserne er på økologiske bedrifter sket årligt i 5-15 marker på 10-20 bedrifter i perioden 1989-2002 med 1-3 bedømmelsesdatoer og 3-5 stikprøvebedømmelser per mark ved 5-8 personer per år. På konventionelle bedrifter stammer bedømmelserne alene fra 1989-1993 (Kristensen og Halberg, 1995). Beregningen af fikseringen i de enkelte marker er usikker, men gennem den lan-

ge årrække er der bedømt et årligt gennemsnitsniveau på 41-47% visuel kløverindhold i økologisk kløvergræs, med et overordnet gennemsnit på 42% visuel kløverindhold (Kristensen, 1999). Sammenlignende beregninger (Kristensen et al., 2004b) viser dog samme gennemsnitlige fiksering ved ovenstående metode sammenlignet med Høgh-Jensen et al. (2004), når mark-, lager- og udfodringsstab sættes til 20% for konserverede afgrøder og 40% ved afgræsning.

Resultater

En stor fordel ved FØI's datamaterialet er, at det er udvalgt til at repræsentere praksis i danske landbedrifter, således at de enkelte driftsformer kan sammenlignes direkte. I det efterfølgende er der således opstillet typiske N-kredsløb for malkekvægsbedrifter på sand- og lerjord. Typerne kan anvendes til vurdering af de enkelte landbrugsbedrifter, og kan opfattes som et referencegrundlag til vurdering af målte mark-, besætnings- og bedriftsbalancer fra studielandbrug, samt til bedriftsbalancerne beregnet med grønne regnskaber. I Kristensen et al. (2003a) og Kristensen et al. (2003b) kan ses uddybende balancer på andre bedriftstyper end malkekvæg.

- Teknisk omsætning på bedriftstyper med malkekvæg

Gennemsnit for seks ud af otte bedriftstyper med malkekvæg er vist i tabel 43. Bedrifter med over 2,3 DE ha⁻¹ er ikke medtaget i tabellen, da de kun udgjorde godt 5% af stikprøven og er domineret af mælkeproduktion baseret på mange biprodukter. De viste gennemsnitstal kan derfor ikke beregnes ud fra de seks viste bedriftstyper, idet bedrifter med høj belægning også er med i gennemsnittet. De økologiske bedrifter havde i gennemsnit 82 årskøer per bedrift, 20 stk. højere end de konventionelle malkekvægsbedrifter. Belægningsgraden hos økologer er knap 1,30 DE ha⁻¹ landbrugsareal (dyrket, brak og varig græs), mens de konventionelle i gennemsnit har 1,46 DE ha⁻¹, se tabel 43. De økologiske mælkeproducenter sælger dobbelt så mange spædkalve per årsko som de konventionelle, henholdsvis 0,37 solgt spædkalv årsko⁻¹ hos økologerne og 0,21 hos konventionelle mælkeproducenter. Tilsvarende opfeder konventionelle 0,29 slagtekalv årsko⁻¹ i forhold til kun 0,10 hos økologerne. Mælkeydelsen hos økologer er 7% lavere end ved konventionelle, og der opfodres 2.850 FE grovfoder per DE mod 2.584 FE hos konventionelle.

Økologerne har omkring det dobbelte areal med sædskiftegræs. Ved de viste sædskifter og udbytter avles der 23% lavere udbytte på sædskiftearealet hos økologiske landmænd sammenlignet med konventionelle malkekvægsbrugere, 57 a.e. per ha ved konventionel mod 44 a.e. ved økologiske. Proteinindholdet per FE er 17,5% i de økologiske afgrøder mod kun 13,2 i de konventionelle, hvilket udelukkende skyldes forskelle i sædskifte og udbytte, idet der er forudsat samme koncentration i de enkelte afgrøder på tværs af de to produktionsformer.

- N-balance på bedriftsniveau

I tabel 44 er vist bedrifternes N-balancer. På de økologiske malkekvægsbedrifter udgør fikseringen knap halvdelen af N-input. Foderimporten er beregnet til knap 30% af totalt N-input hos økologer, mens den for konventionelle i gennemsnit er 40%. Økologiske kvægsbrugere udfører 16 kg N ha⁻¹ i

husdyrgødning (Kristensen, 2004). Det antages at husdyrgødningen overføres til nærliggende økologiske planteavlere (Berntsen et al. 2004), hvorved den økologiske planteproduktion medvirker til væsentlig formindskelse af kvægbrugernes miljøbelastning.

På økologiske bedrifter var der et N-overskud på 102 kg N ha^{-1} , hvilket er 76 kg N ha^{-1} lavere end konventionel malkekvæg, som dog har lidt højere gennemsnitlig belægningsgrad.

Tablet 43. Karakteristik af forskellige bedriftstyper med malkekvæg i vækståret 1999.

	Jordtype Driftsform Gruppe	Sandjord		Lerjord		Gennemsnit	
		Økolog		Økolog		Konv	Økol
		DE < 1,4	DE 1,4-2,3	Konventionel	Økolog		
	Enhed						
Antal. regnskaber i stikprøve	Antal. bedrifter	83	182	23	32	350	149
Antal. regnskaber i population	Antal. bedrifter	1912	4004	432	849	7794	810
Landbrugsareal	1000 ha i DK	156	261	43	43	530	81
Besætning							
Årskøer (% jersey)	Årskøer/bedrift	48(8)	67(10)	56(15)	55(24)	61,3(12)	81,9 (8)
Dyreenheder	DE/bedrift	81	109	87	84	99	128
Arealgrundlag							
Landbrugsareal	Ha/bedrift	81	65	99	50	68	100
Varig græs	Ha/bedrift	7	6	8	3	6	8
Brak	Ha/bedrift	6	4	6	2	4	5
Korn til modenhed	Ha/bedrift (%) ¹⁾	33(47)	12(23)	45(53)	16(36)	20(34)	15(16)
Majs + helsæd	Ha/bedrift (%) ¹⁾	13(20)	21(41)	13(19)	11(31)	18(31)	28(31)
Sædskiftegræs	Ha/bedrift (%) ¹⁾	13(22)	16(32)	12(18)	11(27)	15(27)	39(42)
Belægningsgrad	DE/ha landbrugsareal	0,99	1,67	0,88	1,66	1,46	1,28
Markproduktion							
Korn	Ae./ha	52	49	57	55	51	41
Gns af sædskifte	Ae/ha	56	57	56	58	57	44
Gns. protein i foderafgrøder	% protein af FE	11,8	14,5	10,8	13,3	13,2	17,5
Animalsk produktion							
Mælkeleverance	Kg mælk/årsko	7431	7429	7227	7288	7373	6855
Foderbehov							
I alt besætning	FE/DE	4776	4758	4814	4782	4764	4459
-heraf grovfoder	FE/DE	2822	2738	2650	2256	2584	2850
-heraf egen korn	FE/DE	1194	333	1328	639	582	307
Gns. protein af alt foder	% råprotein af FE	18,1	18,6	18,1	18,9	18,5	18,5

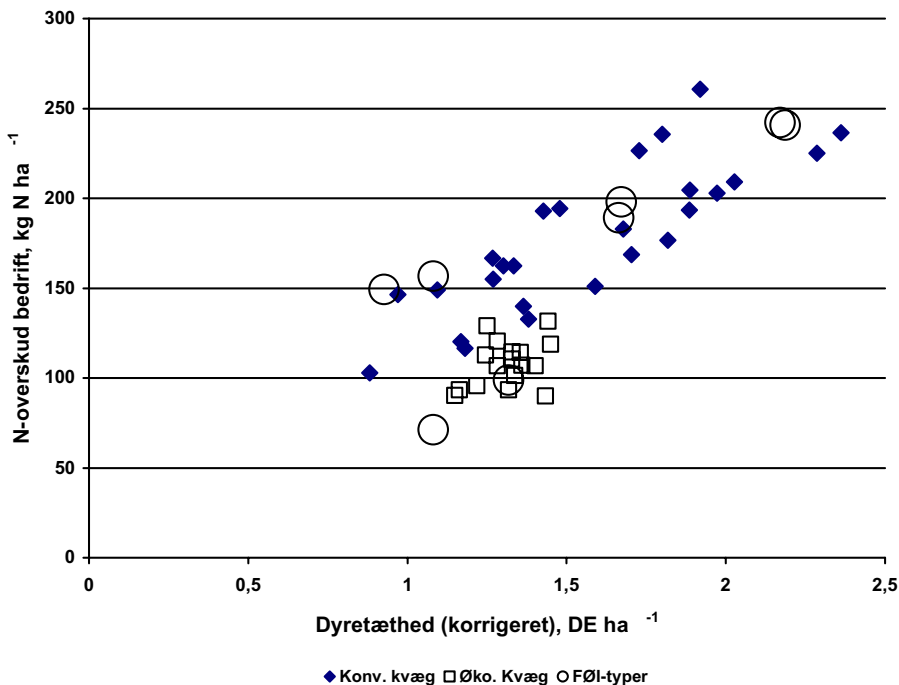
1) % af dyrket areal. Hos økologer er brak inklusiv i dyrket ha, idet "grønbrak" kan gødeskes og udnyttes til foder. Hos konventionelle er brak eksklusiv i dyrket ha.

Tabel 44. N-omsætning på danske malkekvægsbedrifter i vækståret 1999. Kg N ha⁻¹ år⁻¹.

	Jordtype		Sandjord		Lejrjord		Gennemsnitlig	
	Bedriftstyper		Økolog		Økolog		Konv	Økol
	DE ha ⁻¹	Konventionel	DE 1,4-2,3	Økolog	Konventionel	DE 1,4-2,3		
Input								
Handelsgødning	0,99	1,67	1,32	1,32	0,88	1,66	1,46	1,28
Fiksering	105	88	0	0	110	81	93	0
Købte dyr	24	34	70	70	23	28	28	69
Organisk gødning, import	1	1	1	1	1	1	1	1
Tilskudsfoder og korn	8	0	22	22	5	0	2	21
Nedbør	46	108	49	49	45	123	95	48
Total input	200	247	158	158	200	249	235	155
Output								
Mælk	-24	-42	-31	-31	-22	-44	-36	-29
Kød	-7	-10	-6	-6	-8	-10	-9	-6
Salgsafgrøder	-14	-4	-2	-2	-20	-7	-8	-2
Organisk gødning, eksport	0	0	-14	-14	0	0	-3	-15
Total output	-45	-56	-53	-53	-50	-61	-57	-52
Bedriftsbalance	155	191	105	105	150	188	178	102
Følsomhed på bedriftsbalance								
- ved 25% højere N-fiksering	+5	+8	+17	+17	+3	+7	+6	+17
- ved 50% lavere afgræsning	-4	-5	0	0	-3	-4	-4	0
- ved 10% lavere N-eff. i foder ¹⁾	+4	+12	+15	+15	+3	+13	+10	+15
- ved 10% højere N i grovfoder	-8	-12	-12	-12	-5	-10	-10	-12
- ved 10% højere netto-FE	-8	-10	-15	-15	-7	-9	-11	-14

1) Lig højere N-koncentration i indkøbt foder.

Belægningsgraden hos konventionelle har stor indflydelse på bedriftens N-overskud, hvilket er illustreret i figur 9, hvor FØI typerne er vist ved cirkler med stigende belægningsgrad. Målte data fra studielandbrug i 1997-2002 er vist til sammenligning. Kun bedrifter med data fra mindst tre år er medtaget, og er i figuren vist ved én gennemsnitsværdi per bedrift typologi. De økologiske bedrifter ligger markant lavere end de konventionelle ligesom fundet tidligere af Kristensen og Kristesen (1992) og Halberg (1999). Det fremgår, at bedriftstyperne ligger indenfor variationsområdet af målte bedriftsbalancer. Økologiske studielandbrug er helt overvejende repræsenteret på sandjord, og FØI-typer for sandjord ligger indenfor det målte variationsområde. Ligesom Kristensen og Kristensen (1992) ligger økologiske bedrifter med entydigt lavere bedrifts N-overskud end konventionelle mælkeproducenter. Studielandbrug er kun repræsenteret fra omkring 1 DE ha⁻¹, mens typebedrifterne ved under 1,4 DE ha⁻¹ inkluderer mange bedrifter under 1 DE ha⁻¹, og som gennemsnit ligger de to konventionelle bedriftstyper ved 0,93 og 1,08 DE ha⁻¹ (på henholdsvis ler og sand) i den øvre ende af de få registrerede data, men de to økologiske bedriftstyper ligger i den nederste ende af de registrerede.



Figur 9. Bedriftsoverskud på specialiserede malkekøvgstyper i 1999 (FØI) og på studielandbrug fra 1997 til 2002 ved stigende dyretæthed. DE er korrigeret for købt/solgt husdyrgødning (100 kg N = 1 DE).

Indflydelsen af fem vigtige forudsætninger for beregningerne; fiksering; afgræsningsandel; N-effektivitet i besætning og grovfoderudbyttet på N-overskuddet er belyst ved følsomhedsanalyser nederst i tabel 44. Henholdsvis 25% højere fiksering; 50% lavere afgræsningsandel af græsmarksudbyttet; 10% lavere N-effektivitet i fodringen; 10% højere proteinindhold i grovfoderet og 10% højere nettoudbytte i grovfoderafgrøderne.

De beregnede følsomheder medfører ændringer i bedriftsbalancen fra -15 til + 17 kg N ha⁻¹, med de største ændringer hos økologer, idet disse anvender størst mængde grovfoder. Den øgede fiksering mindsker forskellen mellem økologer og konventionelle med 11 kg N ha⁻¹. De øvrige følsomheder ændrer kun forskellen i bedriftsoverskuddet mellem konventionelle og økologer med 2-6 kg N ha⁻¹, såfremt den samme usikkerhed antages at påvirke begge typer ens. Begge typer påvirkes således næsten lige meget.

- Fordeling af overskud på tab

De beregnede bedrifts N-overskud fordeler sig mellem luftformige tab, udvaskning og ændringer i jordens N-pulje. Bortset fra ændringer i jordens N-pulje betragtes N-overskuddene derfor som et samlet udtryk for bedriftenes langsigtede miljøbelastning. I tabel 45 er anført ammoniaktabene beregnet efter Andersen et al. (1999) og Illerup et al. (2003). Tab ved denitrifikation er estimeret efter Vinther et al. (2004), med denne nye beregning er denitrifikation i afgræsningsmarker og fra husdyrgødning øget væsentligt i forhold til tidligere estimater. På landsniveau akkumulerer denitrifikationen til 40.000 ton N. Den høje denitrifikation på økologiske mælkekvægsbedrifter på lerjord medfører at kun 16 kg af N-overskuddet ikke er fordelt på luftformige N-tab. Resten af overskuddet er nitratudvaskning og ændring i jordpuljen. Både økologiske og konventionelle mælkeproduktionsbedrifter har en væsentlig andel græsmarker i sædskiftet og anvender kvæghusdyrgødning med en høj andel organisk stof. Det er vanskeligt at vurdere om der stadig foregår N-opbygning på kvægbedrifter, men der er ikke grund til at tro at der skulle være en væsentlig forskel mellem økologiske og konventionelle bedrifter. De konventionelle har højere belægningsgrad, mens økologerne har dobbelt så høj andel kløvergræsmarker i sædskiftet. Antages at jorden er i N-balance kan udvaskningen beregnes som en differens mellem bedriftsoverskuddet og de luftformige tab.

Fordelingen af N-overskuddet på tabsposter er vist i tabel 45. Den estimerede udvaskning hos økologiske mælkeproducenter er på 54 kg N ha⁻¹ mod 117 kg N på konventionelle. Forskellen i udvaskning er således lavere end forskellen i bedriftsoverskuddet, hvilket skyldes at tabene fra lager og udbringning øges med belægningsgraden.

I økologiske kvægsædskifter, hvor N-udvaskning er målt via sugecelleteknik (Askegaard et al., 1999, Askegaard et al., 2003 og Eriksen, 2003) er der ligeledes for hele sædskiftet målt beskedne gennemsnitlige udvaskninger på omkring 40 kg N ha⁻¹.

Tabel 45. Estimerede N-tab på danske malkekvægsbedrifter i vækståret 1999, Kg N ha⁻¹ år⁻¹.

Jordtype	Sandjord			Lerjord			Gennemsnit	
	Konventionel		Økolog	Konventionel		Økolog	Konventionel	Økolog
	DE < 1,4	DE 1,4-2,3	DE < 1,4	DE 1,4-2,3	DE < 1,4	DE 1,4-2,3		
Bedriftsbalance	155	191	105	150	188	76	178	102
Amm. tab stald og lager	-11	-20	-14	-10	-21	-11	-17	-13
Denitrifikation, HG-lager ¹⁾	-2	-3	-4	-2	-3	-3	-3	-4
Markbalance	142	168	87	138	164	62	158	85
Amm. tab husdyrgødn. & min. N	-11	-16	-9	-10	-17	-8	-14	-10
Amm. tab afgrøder	-4	-4	-2	-4	-4	-2	-4	-2
Denitrifikation ²⁾	-15	-20	-16	-38	-48	-36	-23	-19
Udvaskning ved differens³⁾	112	128	60	86	95	16	117	54
Do ved 2003 amm. tab ⁴⁾	-1	-1	0	0	-1	0	-1	0
Ved 50% dybstrøelsesstalde								
Øget halmimport			+5			+5		+5
Øget amm. tab			-6			-5		-6
Mindre amm. tab udbringning			+8			+6		+7
Udvaskning ved differens³⁾			67			22		60

1) Efter Poulsen et al. (2001).

2) Vithner et al. (2004)

3) Udvaskning = markbalance – amm. tab – denitrifikation. For eksempel økologisk malkekvæg på sandjord: 87 -9 -2 -16 =60 kg N ha⁻¹. Udvaskning ved differens inkluderer ændring i jordpulje, der antages at være i balance indenfor systemet, altså =0.

4) Illerup et al. (2002)

Tablet 46. Bedrifts N-omsætning på danske malkekvægsbedrifter. Kg N ha⁻¹ år⁻¹.

Driftsform	Konventionel			Økologisk			
	1989-90 ¹⁾	1994-97 ²⁾	1997-2001 ³⁾	1999 ⁴⁾	1994-97 ²⁾	1997-2001 ³⁾	1999 ⁴⁾
År				(P-dir ⁵⁾)			(P-dir ⁵⁾)
Antal bedrifter	16	5	28	350 (17670)	14	10	149 (1537)
DE ha ⁻¹	1,76 ⁶⁾	1,7 ⁶⁾	1,67	1,46 (1,06)	1,24 ⁶⁾	1,26 ⁶⁾	1,35 (1,0)
Input	161	100	87	93 (91)	0	0	0
Handelsgødning							
Fiksering	29	45	38 ⁷⁾	28	87	89	75 ⁷⁾
Org.gødning, imp	0	0	7	3 (12)	9	14	22
Tilskudsfoeder	77 ⁸⁾	129	94 ⁸⁾	96	39 ⁸⁾	47	29 ⁸⁾
Nedbør ¹⁰⁾	16	16	16	16	16	16	16
Total input	283	290	242	235	151	166	142
Output							
Mælk	-47	-39	-44	-36	-32	-28	-29
Kød		-18	-10	-10		-6	-6
Salgsafgøder	0 ⁸⁾	-22	0 ⁸⁾	-8	0 ⁸⁾	-4	-2
Org.gødning, eks	0 ⁸⁾	-21	0 ⁸⁾	-3 ¹¹⁾	0 ⁸⁾	0	-15 ¹¹⁾
Total output	-47	-100	-54	-57	-32	-38	-52
Bedriftsbalance	236	190	188	178	119	128	102
Spredning	52	50	54		19	35	19
				Forskel til konventionel	-117	-61	-76
				Forskel til konventionel ved ens belægningsgrad (DE ha⁻¹)	-85 (1,51)	-61(1,50)	-65⁹⁾

1) Kristensen og Kristensen (1992)

2) Halberg (1999).

3) Nielsen, 2003.

4) Tabel 43-45

5) Gødningskontrol i 1999, Anon. (2000)

6) Gamle dyreenheder * 1,18

7) Beregnet fra N-gødsning efter Kristensen et al. 2004b

8) Salgsafgøder og gødningseksport fratrukket import

9) Beregnet ud fra ligninger til figur 9.

10) Justeret til samme niveau 16 kg N ha⁻¹.

11) Kristensen (2004)

Ammoniaktabene er blevet formindsket en smule siden 1999 (Illerup et al., 2002), som følge af bedre opbevaring af husdyrgødning og teknik ved spredning af husdyrgødning. I tabel 45, ses at betydningen heraf er meget begrænset, selv på bedrifterne med højest belægning.

Der antages væsentlige forskellige tab afhængig af om gødningen er som gylle eller dybstrøelse. Hos økologer er der flere dybstrøelsesstalde end hos konventionelle, hvor der antages at være 6% af kørne på dybstrøelse (Andersen et al., 1999). Ved dybstrøelse importeres ekstra halm, der tabes mere ammoniak under kompostering, mens udbringningsstabene bliver mindre end ved gyllesystemer. Med henblik på at belyse disse modsatrettede effekter er økologisk mælkeproduktion gennemregnet ved 50% af kørne på dybstrøelse. Posterne er vist nederst i tabel 45, og det ses at udvaskningen beregnet ved differens stiger 6-7 kg.

- Udvikling over tid i N-overskud

I tabel 46 er vist bedrifts N-balancer fra denne undersøgelse i sammenligning med tidligere undersøgelser. De enkelte poster kan ikke sammenlignes direkte pga. forskelle i beregningsmetoderne, men bedriftsbalancerne er sammenlignelige, idet der i alle undersøgelser indgår de samme input og output poster. Da data fra 1989-90 og 1997-2001 er vist som nettoimport af foder-N, hvor plantesalg er fratrukket. I data fra studielandbrug (1997-2001) er fikseringen beregnet alene ud fra N-gødsning og udbytte (Kristensen et al., 2004b).

Økologernes N-balancer ligger på samme niveau i alle undersøgelser. Hos de konventionelle landmænd er N-overskuddet faldet siden 1989-1990 primært som følge af et markant lavere handelsgødningsinput, der dog også har medført en stigende fiksering. De økologiske og konventionelle kvægbedrifter er ikke direkte sammenlignelige, da belægningsgraden varierer. I de tre undersøgelser, hvor dette er undersøgt, er der fundet signifikant sikker forskel mellem konventionelle og økologiske bedrifter i bedrifts N-overskuddet ved samme belægningsgrad, trods en betydelig variation mellem de enkelte bedrifter, på 15-30% af middelværdien. I nederste linie af tabel 46 er forskellen mellem konventionel og økologisk mælkeproduktion vist ved samme belægningsgrad. Det fremgår at forskellen er indsnævret fra 85 kg N ha⁻¹ i undersøgelsen fra 1989-90 til 50-65 kg N ha⁻¹ ved 1,5 DE ha⁻¹ i de tre seneste undersøgelser.

I regnskabsdata anvendt i denne undersøgelse er eksport og import af husdyrgødning antaget alene at ske på bedrifter med harmoniproblemer, og tager altså ikke hensyn til udveksling af husdyrgødning på bedrifter uden harmoniproblemer, eller til større salg af husdyrgødning end foreskrevet i harmonireglerne. Plantedirektoratet får årligt indberettet køb og salg af såvel handels- og husdyrgødning (Anon., 2000). Disse data er i tabel 46 anført i parentes efter balancen udledt i denne undersøgelse. Import af handelsgødning rammer samme niveau som i beregningerne. Definitionen af kvægbedrifter hos plantedirektoratet inkluderer flere kvægbedrifter (ammekøer m.v.) end i regnskabsdata, hvor kun landbrug med væsentlig indtægt er medtaget. Plantedirektoratets kvægbedrifter

har derfor lavere belægningsgrad, men har til gengæld en højere nettoimport af husdyrgødning hos både konventionelle og økologer.

Fremskrivning til 2003

Siden 1998 er der introduceret flere væsentlige ændringer i kvæglandbrugets omsætning af især N i gødning og foder. Udnyttelseskrav til N i husdyrgødning er øget og gødningsnormer for N i handelsgødning er reduceret. De økologiske mælkeproducenter er i vid udstrækning overgået til at fodre udelukkende med økologisk produceret foder. For at afspejle konsekvenserne af disse ændringer er der både for de konventionelle og økologiske typebedrifter foretaget en fremskrivning fra 1999 til 2003 (se tabel 47).

Der er lavet fremskrivning for følgende elementer:

- A. *Lavere normer for tildeling af N i handelsgødning generelt og øgede krav for udnyttelse af N i husdyrgødning (1999-2003).*
- B. *Ændret indkøb af proteinfoder til økologiske besætninger som følge af 100% økologisk fodring*

Ad A: Lavere normer for tildeling af N i handelsgødning generelt og øgede krav for udnyttelse af N i husdyrgødning (1999-2003)

Afgrødernes N-norm er justeret ned og husdyrgødningens nytteværdi op til 2003-niveau, Anon. (2002). Kerneudbyttet er reduceret 5% ved den lavere gødsning. Alle øvrige forudsætninger er holdt konstant. Ved denne fremskrivning til 2003-norm falder N-indkøb i handelsgødning hos konventionelle til 68 kg N ha⁻¹. Bedrifts N-balancen blev 154 kg N ha⁻¹, 34 kg lavere end i 1999, og kun 52 kg højere end økologerne ved samme forudsætninger som 1999. På otte kvægbedrifter blandt studielandbrugene faldt handelsgødningsforbruget fra 104 til 57 kg N ha⁻¹ (minus 47 kg N ha⁻¹) fra 1997 til 2002 og N-overskuddet faldt i samme periode fra 194 til 157 kg N ha⁻¹ (minus 37 kg N ha⁻¹). Den differensberegnete udvaskning ved konventionel mælkeproduktion reduceres med 23 kg N ha⁻¹ til 94 kg N ha⁻¹, hvilket er 40 kg N højere end for økologisk mælkeproduktion i 1999.

Tabel 47. Bedrifts N-omsætning på danske malkekvægsbedrifter efter forskellige fremskrivninger . Kg N ha⁻¹ år⁻¹ .

Driftsform	Konventionel		Økologisk	
	1999 ¹⁾	VMP II-2003 ²⁾	VMP II-2003 ²⁾	VMP II-2003 100% øko fodring ⁴⁾
Gruppe Belægning, HG-DE ⁵⁾ ha ⁻¹	Alle 1,46	Alle 1,46	< 1,4 DE ha ⁻¹ 1,03	Alle 1,35
Input				
Handelsgødning	93	68	87	0
Fiksering	28	28	24	69
Org.gødning, imp	3	2	7	21
Tilskudsforer	96	96	47	33
Nedbør	16	16	16	16
Total input	235	210	181	139
Output				
Mælk	-36	-36	-23	-28
Kød	-10	-10	-8	-6
Salgsafgrøde	-8	-7	-14	-2
Org.gødning, eks	-3	-3	0	-15
Total output	-57	-56	-45	-52
Bedriftsbalance	178	154	136	87
Denitrifikation HG-lager ⁶⁾	-3	-3	-2	-3
Amm. tab stald og lager ⁷⁾	-17	-17	-11	-12
Markbalance	158	134	123	72
Amm. tab ^{6 & 7)}	-18	-18	-14	-11
Denitrifikation ⁸⁾	-23	-22	-19	-17
Udvaskning ved differens⁹⁾	117	94	90	44

1) Tabel 44 - 46.

2) Fremskrevet til 2003 med gødningsregler fra Anon.(2002) og 25 kg N ha⁻¹ til kløvergræs i stedet for 136.

3) Import og eksport af husdyrgødning er omregnet med 100 kg N = 1 DE.

4) Efter Andersen et al. 1999 og Illerup et al 2002.

5) Udvaskning = markbalance - amm. tab - denitrifikation. For eksempel økologisk malkekvæg i 1999; 102 - 4 - 13 - 12 - 19 = 54 kg N ha⁻¹. Udvaskning ved differens inkluderer ændring i jordpulje, der antages at være i balance indenfor systemet, altså = 0.

6) Fremskrevet til 2003 med gødningsregler fra Anon. (2002).

7) Suppleringsfoder ændret fra 35% råprotein af TS i 1999 til 18% råprotein af TS.

8) Efter Poulsen et al. 2001.

9) Beregnet med SIMDEN, Vinther et al. 2004

Ad B: Ændret indkøb af proteinfoder til økologiske besætninger som følge af 100% økologisk fodring

Også økologisk mælkeproduktion kan antages at have udviklet sig siden 1999, blandt andet på grund af kravet om 100% økologisk fodring. Det har typisk medført, at konventionel dansk produceret rapskage er blevet erstattet af mere kornrige tilskudsfoderblandinger med tilsat importeret økologisk proteinfoder. I eksemplet er rapskage i 1999 blevet erstattet af A 5 kraftfoder med 18% råprotein af tørstof i forhold til rapskage med 35% råprotein (Møller et al., 2000). Herved kommer AAT og PBV på minimums anbefalet niveau (88 g AAT og 1 g PBV FE^{-1} i typevinterration). Ved den lave proteinforsyning kan det være vanskeligt for alle kvægbrugere at opretholde fuld mælkeproduktion, og der kan forventes 2,6% (175 kg) lavere mælkeydelse per årsko. Scenariet medfører 16 kg mindre N-import i tilskudsfoder og en reduktion i overskuddet på 15 kg $N\ ha^{-1}$. I forhold til det fremskrevne konventionelle situation betyder det et lavere N-overskud på 87 kg $N\ ha^{-1}$.

Opskalering: Potentiale ved omlægning til økologisk mælkeproduktion

For at beregne potentialet for at reducere N-udvaskningen på nationalt niveau gennem yderligere omlægning til økologiske mælkeproduktion tages udgangspunkt i det nuværende areal med konventionel mælkeproduktion. Erfaringer har vist, at det ikke er realistisk at omlægge kvægbedrifter med over 1,4 DE ha^{-1} . Kvægbedrifter med højere belægningsgrad antages kun at kunne omlægges ved samtidig at indgå aftaler om dyrkningsfællesskab med plantebedrifter.

I 1999 var der ifølge FØI's regnskabsdata 199.000 ha med kvægbedrifter med under 1,4 DE ha^{-1} , som altså umiddelbart kan omlægges til økologi uden væsentlige strukturelle ændringer. Regnes med 200.000 ha til økologisk omlægning og en skønnet reduktion i N-udvaskning på 53 kg ha^{-1} (107 = konventionel mælkeproduktion i 1999 ved under 1,4 DE ha^{-1} – 54 = økologisk mælkeproduktion i 1999) vil der kunne opnås en reduktion i N-udvaskning på 10.600 tons $N\ år^{-1}$.

Kombineres de 331.000 ha (kvægbedrifter med over 1,4 DE ha^{-1}) med plantebedrifter er der yderligere mulighed for omlægning af større arealer. Herved bliver landbrugsstrukturen ændret og det er ikke muligt at lave en simpel opskalering af konsekvensen uden at inddrage andre bedriftstyper, ligeledes er der komplicerede økonomiske afledte konsekvenser (Anon., 1999). Sandsynligvis kan der opnås en formindsket udvaskning, men størrelsen er ikke søgt beregnet.

En fremskrivning til 2003, hvor alle konventionelle mælkeproducenter kun importerer 68 kg $N\ ha^{-1}$ i handelsgødning og hvor økologiske mælkeproducenter kun importerer proteinfattigt økologisk godkendt kraftfoder i stedet for rapskage, medfører 67 kg $N\ ha^{-1}$ lavere N-overskud hos økologer sammenlignet med konventionelle og en mindre udvaskning på 50 kg $N\ ha^{-1}$. Med de ovenfor 200.000 ha nyomlægning til økologisk mælkeproduktion, svarer det til en reduktion i nitratudvaskningen på 9.200 ton N. Endvidere kan det ses at såfremt den økologiske produktion ikke reducerer udvaskningen ved overgang til 100% fodring vil der kun være en

forskel på 36 kg N ha⁻¹ til den VMP II fremskrevne situation for konventionel, svarende til 7.200 ton N ved omlægning af 200.000 ha.

Økonomiske konsekvenser af omlægning

Ifølge den økonomiske midtvejsevaluering af VMP II (Jacobsen, 2000) var den årlige statslige omkostning pr. ha for omlægning til økologisk drift 780 kr. for mælkeproducenter. Ved omlægning af 200.000 ha konventionelle mælkeproducenter til økologi kan ved denne forudsætning forventes en årlig omkostning på 156 mio. kr. Der er ikke heri medregnet eventuelle forskelle i det økonomiske driftsresultat.

Diskussion og konklusion

Repræsentative bedrifter fra FØI's regnskabsdatabase stemmer godt overens med statistiske data med hensyn til dyrehold, arealanvendelse, produktion af animalier og afgrøder, og repræsenterer således Danmarks landbrugsproduktion i 1999. Ved opsummering af centrale input-output parametre og karakteristika for alle de 31 typer til nationalt niveau stemmer data godt overens med hensyn til arealanvendelse, dyrehold, gødsning og udbytter fra Danmarks Statistik (2001). Der er således opstillet sammenlignelige og afstemte input – output N-balancer per bedriftstype i forhold til foderbehov, indkøbt mineralisk gødning, produktion af animalier, planteprodukter m.m.

På private bedrifter (Helårsforsøgsbedrifter og Studielandbrug) med beregning af bedrifts N-overskud er der sket en markant nedgang i N-overskuddet på konventionelle malkekvægsbedrifter fra 240 til omkring 180 kg N-overskud ha⁻¹ fra begyndelsen til slutningen af 90'erne. Det skyldes dels en næsten halvering af N-gødsningen med handelsgødning, og dels en forbedret N-udnyttelse. På økologiske bedrifter er der kun målt en beskedent forbedring i samme periode.

Opgørelsen baseret på repræsentative regnskaber viser 76 kg mindre N-overskud per ha hos økologiske malkekvægsbedrifter i forhold til konventionelle. Det mindre overskud skyldes primært et lavere N-input hos økologiske mælkeproducenter. Ved analyse af overskuddet ved samme belægningsgrad er der i tre undersøgelser fundet signifikant mindre N-overskud hos økologer sammenlignet med konventionelle malkekvægsbedrifter, henholdsvis 85, 61 og 50 kg mindre N-overskud ved økologisk produktion. De fundne generelle forskelle mellem de to systemer er således rimeligt stabile. Men det er også tydeligt, såvel ud fra spredningen angivet i tabel 46, samt ud fra figur 9, at der er en stor forskel i overskuddet mellem bedrifter indenfor de to systemer.

Hvis man antager samme ændring i jordpulje-N på konventionelle og økologiske kvægbedrifter er den differensberegnete N-udvaskning lavere ved økologisk mælkeproduktion sammenlignet med konventionel malkekvægsproduktion. Flere målinger af bedrifts N-balancer viser således samme resultat, hvilket styrker konklusionen om at økologisk malkekvægsproduktion

op gennem i halvfemserne havde et lavere N-overskud på bedriftsniveau, og dermed lavere udvaskning.

I denne undersøgelse er regnskaber fra en stor gruppe repræsentative økologiske malkekvægsbedrifter i 1999 anvendt til beregning af bedrifts N-balancer. En følsomhedsanalyse viste, at en højere N-fiksering end antaget vil formindske forskellen i N-overskud mellem konventionel og økologisk mælkeproduktion, mens øvrige forudsætninger for beregningerne (N-fodring og grovfoderudbytter af FE og N) ikke ændrer væsentligt på konklusionen. Såfremt det antages, at der ikke er forskel i jordens indlejring af N mellem de konventionelle og økologiske bedrifter, kan forskellen i N-udvaskningen beregnes som differens mellem bedriftsoverskud minus luftformige tab (ammoniak og denitrifikation). Der er beregnet en N-udvaskning hos økologer, der er 63 kg N mindre end konventionelle malkekvægsbedrifter i 1999. Ved vurdering af differensberegnet N-udvaskning skal huskes at usikkerhed og fejlantagelser også er inkluderet i differensen. Sammenlignes med konventionelle bedrifter med under 1,4 DE ha⁻¹ (med gns 0,97 DE ha⁻¹) er forskellen i udvaskning reduceret til 53 kg N ha⁻¹.

Udførsel af 15 kg N ha⁻¹ i husdyrgødning fra økologiske kvægbrug til nærliggende økologiske plantebrug (Berntsen et al., 2004) medfører en væsentlig formindskelse af N-overskud og N-tab på økologiske kvægbrug og tilsvarende øgning på plantebrug. På økologiske plantebrug er der beregnet samme nitrat udvaskning som hos konventionelle kornproducenter (Berntsen et al., 2004).

Der er lavet en fremskrivning af 1999-data til 2003 med de sidst implementerede gødningsregler (højere forfrugtsvirkning efter kløvergræs, lavere N-normer, højere nytteværdi af husdyrgødning). Disse forudsætninger halverer knapt de konventionelle bedrifters import af handelsgødning, og forskellen mellem N-overskuddet hos økologiske og konventionelle malkekvægsbedrifter halveres i forhold til 1999 data. Differensberegnet udvaskning hos økologer bliver 40 kg N ha⁻¹ mindre end alle konventionelle kvægbedrifter i 2003 ved fuld implementering af VMP II. Justeres de økologiske bedrifter til 100% økologisk foder i 2003 øges forskellen til 50 kg lavere udvaskning ved økologisk sammenlignet med konventionel mælkeproduktion fremskrevet til fuld implementering af VMP II i år 2003.

Data for 2002 vil snarest blive bearbejdet, hvorved aktuelle data kun anvendes i stedet for fremskrivningen.

Usikkerheder/vurderinger af forskelle

Under forskellige forudsætninger er der en forskel i beregnet udvaskning på 36-73 kg mindre N-udvaskning ved økologisk sammenlignet med konventionel mælkeproduktion. Flere biologiske forhold understøtter den beregnede forskel. I kløvergræs substitueres N fra handelsgødning med fikseret N med et forhold fra 0,3 til 0,6 kg ekstra fikseret N ved udeladelse af et kg handelsgødning. Det skyldes dels en mere effektiv N-udnyttelse af urin pletter (0 fiksering indtil urin-N er omsat til græsvækst), og bedre udnyttelse af buskgræs i kløvergræs. Hos øko-

loger med 50% korn i sædskiftet kan forfrugtsvirkningen efter kløvergræs udnyttes effektivt i svagt N-gødet korn. Flere forsøg viser ligeledes højere N-udnyttelse i systemer baseret på fiksering.

Effekt af omlægning til økologi på nationalt niveau

Med udgangspunkt i de 200.000 ha med konventionel malkekvægsproduktion med under 1,4 DE ha⁻¹ kan der med udgangspunkt i de repræsentative bedrifter i 1999 beregnes en mindre udvaskning på 53 kg N ha⁻¹ ved overgang fra konventionel til økologisk mælkeproduktion, svarende til 10.600 tons mindre udvaskning. Fremskrevet til 2003 med fuld implementering af VMP II og 100% økologiske fodring reduceres forskellen til 46 kg mindre N-udvaskning = 9.200 ton N. Effekten er primært at konventionelle kvægbedrifter med de strammere krav til udnyttelse af husdyrgødning og forfrugtsvirkning forventes at købe væsentlig mindre handelsgødning end i 1999. På studielandbrug købes der i 2002 64 kg handelsgødnings-N ha⁻¹, hvilket indikerer at fremskrivningerne er rimelige.

Litteraturliste

- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. and Poulsen, H.D. (1999). Emission af ammoniak fra landbruget - status og kilder. Ammoniakfordampning - redegørelse nr. 1, Danmarks JordbrugsForskning. 1-63.
- Anon. (1998a). Bekendtgørelse nr. 877 af 10. dec 1998.
- Anon. (1998b) Vejledning og skemaer 1998/99. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Plantedirektoratet.
- Anon. (1999). Økologiske scenarier for Danmark. Rapport fra den tværvidevidenskabelige økologigruppe under Bichel-udvalget, 1-98. Miljøstyrelsen. Sekretariat for Pesticidudvalget.
- Anon. (2000). Gødningsregnskaber. Fysisk kontrol. Statistik 1998/99, 1-49. Plantedirektoratet.
- Anon. (2001a). Økologisk jordbrugsbedrifter 2000. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Plantedirektoratet.
- Anon. (2001b). Økonomien i landbrugets driftsgrene 1999. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. Rapport. [Serie B, nr 84], 1-146.
- Anon. (2002). Vejledning og skemaer 2002/03, 1-99. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Plantedirektoratet.
- Askegaard, M., Eriksen, J., Søegaard, K. and Holm, S. (1999). Næringsstofhusholdning og planteproduktion i fire økologiske kvægbrugssystemer. Danmarks JordbrugsForskning. Rapport. Markbrug 12, 1-112.
- Askegaard, M., Olesen, J.E. and Rasmussen, I.A. (2003). Økologiske sædskifter til kornproduktion, år 2001. <http://www.agrsci.dk/pvj/plant/croprot/pdf/dk2002.pdf>, 1-12.
- Berntsen, J., Petersen, B.M., Kristensen, I.S. and Olesen J.E. (2004). Nitratudvaskning fra økologiske og konventionelle planteavlsbedrifter - simuleringer med FASSET bedriftsmodellen. DJF Rapport (under udarbejdelse).
- Dalgaard, R., Halberg, N., Kristensen, I.S. & Larsen, I. (2003). An LCA inventory based on representative and coherent farm types. Working paper from "4th International Confer-

- ence on life Cycle Assessment in the Agri-food sector”, Horsens, Denmark, October 6-8, 2003.
- Danmarks Statistik (2001). Landbrug 2000. Statistik om landbrug, gartneri og skovbrug. Danmarks Statistik, 1-287.
- Eriksen, J. (2003). Kløvergræssets forfrugtsvirkning og udvaskning af næringsstoffer. Bilag til FØJO-workshop. Forskningscenter Foulum, 13. januar 2002.
- Halberg, N. (1999). Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers. *Agric Ecosyst Environ* 76, 17-30.
- Høgh-Jensen, H., Loges, R., Jensen, E.S., Jørgensen, F.V. and Vinther, F.P. (2004). Empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in leguminous crops. Accepted. *Agricultural Systems* <http://www.orgprints.org/>, 1-31.
- Illerup, J.B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkerne, S., Bruun, H.G., and Fenhann, J. (2002). Projektion Models 2010. Danish emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. NERI Technical. Report 414, 1-195.
- Illerup, J.B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkerne, S., Bruun, H.G., and Fenhann, J. (2003). Annual Danish Emission Inventory Report to the UNECE-CRLTAP.
- Jacobsen, B.H. (2000). Vandmiljøplan II – Økonomisk midtvejsevaluering. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, December 2000. 78 s.
- Kristensen, I.S. (1999). Forudsætninger for planteproduktion på forskellige bedriftstyper. Workshop: "Plantebeskyttelse i økologisk jordbrug". Forskningscenter Flakkebjerg, 9. december 1998. FØJO-rapport 4, 29-40.
- Kristensen, E.S., Høgh-Jensen, H. and Kristensen, I.S. (1995). A simple model for estimation of atmospherically-derived nitrogen in grass-clover systems. *Biological. Agriculture and Horticulture* 12[3], 263-276.
- Kristensen, E.S. and Kristensen, I.S. (1992). Analyse af kvælstofoverskud og -effektivitet på økologiske og konventionelle kvægbrug. Statens Husdyrbrugsforsøg. Beretning 710, 1-59.
- Kristensen, I. T. 2004: Arealfordeling, dyrehold og gødsning på konventionelle og økologiske brug i 2001-2002, efter DFFE's Centrale LandbrugsRegister (CLR), Det Central HusdyrRegister (CHR), Kort- og Matrikelstyrelsens adressekoordinater og Plantedirektoratets økologi- og gødningskontrol.
- Kristensen, I.S., Dalgaard, R.L. and Kristensen, T. (2002). Kvælstofbalancer på landbrugsbedriften - status og perspektiv. Intern Rapport, Danmarks JordbrugsForskning. 157, 3-12. Kvælstofbalancer på landbrugsbedriften - status og perspektiv.
- Kristensen, I.S. and Halberg, N. (1995). Markens nettoudbytte, næringsstofforsyning og afgrødetilstand på økologiske og konventionelle kvægbrug. (ed. E.S. Kristensen, Økologisk landbrug med udgangspunkt i kvægbedriften.). Intern Rapport 42, 33-49.
- Kristensen, I.S., Halberg, N., Nielsen, A.H., Dalgaard, R. and Hutchings, N. (2003a). Nutrient turnover on Danish mixed dairy farms. Workshop: "Nutrient management on farm scale: how to attain European and national policy objectives in regions with intensive dairy farming?". 23-25 June 2003. Quimper, France., 1-21.
- http://www.agrsci.dk/jbs/isk/DK_country_report_partII.pdf

- Kristensen, I. S., Kristensen, I. T., Halberg, N., and Kristensen, T. 2003b: Estimering af N-balancer og -tab fra landbrugsbedrifter i et sammenhængende område ved anvendelse af registerdata og typebedrifter . Illustration af metoden anvendt i Mariager Fjord opland. Vandmiljøplan III. Rapport fra teknisk undergruppe:
http://www.vmp3.dk/Files/Filer/Rap_fra_t_grupper/teknisk-undergr-Mariager_Fjord_final.pdf, 1-39.
- Kristensen, I.S., Kristensen, T., Vinther, F.P. og Høgh-Jensen, H. (2004b). Afgrødernes kvælstoffiksering. Omfang og metoder til beregning. Udkast til DJF-rapport, Husdyrbrug, 1-34.
- Larsen, I. 2003: Økonomien i landbrugets driftsgrene 1999-2001. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut.Rapport.
- Møller, J., Thøgersen, R., Kjeldsen, A.M., Weisbjerg, M.R., Søgaard, K., Hvelplund, T. and Børsting, C.F. (2000). Fodermiddeltabel. Rapport nr. 91, 1-52.
- Nielsen, A.H. 2003: N-effektivitet på studielandbrug med mælkeproduktion, 1997-2001.
- Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. and Sommer, S.G. (2001). Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning - normal. 2000. DJF-rapport, Husdyrbrug 36, 1-152.
- Thøgersen, R. (2000). Dataudtræk af ensilageanalyser ved Steins Laboratorium.
- Vinther, F.P., Hansen, S. and Børgesen, C.D. (2004). SIMDEN - En simpel model til kvantificering af denitrifikation. Sammenligning med Daisy-simuleringer og beregninger på landsplan. Danmarks JordbrugsForskning. Rapport. Markbrug, 1-3.
- Østergaard, V. (1989). Økonomisk virkning af alternativt avlssvalg i mælkeproduktionen. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 660, 126-154.

Table 48. Effektvurdering af omlægning til økologisk mælkeproduktion. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitratudvaskning v. omlægning	Reduktion af ammoniakemission v. omlægning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
	Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Økologisk malkekvægsproduktion	200.000		36-46	0		780	?

4.2.2. Udtagning af landbrugsjord

Uffe Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Der er tale om fuldstændig udtagning af landbrugsjord fra landbrugsmæssig udnyttelse, og der tilføres således ingen gødning. Under den nuværende MVJ-ordning (Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2003) gives der tilskud på 2.950-4200 kr/ha til udtagning af omdriftsjord og 540-1320 kr/ha for udtagning af ekstensive græsarealer i 5-10 år. Det er en forudsætning, at arealet er udpeget som SFL-areal. Der skal etableres et græsdekke på arealet, eller man kan med amtets tilladelse lade selvetableret plantedække brede sig. Som udgangspunkt forventes ingen landbrugsmæssig udnyttelse af udtaget jord. Amterne kan dog i forbindelse med de nuværende udtagninger kræve forskellige plejeforanstaltninger, herunder ekstensiv afgræsning (med givne regler for omfanget af tilskudsforbrug).

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Nitratudvaskning fra udtaget landbrugsjord med vedvarende plantedække forventes at ligge mellem 10 og 20 kg N/ha årligt (Waagepetersen, 1992; Grant, 2002). Størrelsen må forventes at afhænge noget af tiden siden landbrugsudnyttelsens ophør. Der er fundet en hurtig nedgang i udvaskning efter udtagning (Magid et al., 1994; Gundersen et al. 2001), men det er usikkert, hvorvidt der sker en senere stigning i udvaskningen. Få år efter udtagning kan udvaskningen være så lav som 1-9 kg/ha (Gundersen et al., 2001; Christensen et al., 1990).

Effekten på kvælstoftabet fra et areal ved udtagning fra omdrift afhænger af, hvilken driftstype udtagningen erstatter. Udtaget jord kan anvendes til at opfylde brakforpligtelsen og kan således erstatte rotationsbrak, der antages at have en udvaskning på 40-60 kg N/ha (Waagepetersen, 1992; Iversen et al., 1998). Udtagning af brakjord vil således reducere udvaskningen med 20-50 kg N/ha ((40-60)-(10-20)).

Udtagning kan også erstatte jord i omdrift. Det forventes, at den gennemsnitlige udvaskning ved fuldt implementeret VMP II vil være 66 kg N/ha (se afsnit om rammebetingelser). Udtagning af en gennemsnitlig omdriftsjord vil således reducere udvaskningen med 46-56 kg N/ha. Baseret på udvaskningstal for sand- og lerjord i Børgesen et al. (1997) vurderes den gennemsnitlige udvaskning på sandjord at være ca. 76 kg N/ha. Udtagning af gennemsnitlig omdriftsjord på sand vil således reducere udvaskningen med 56-66 kg N/ha.

Hvis udtagning af landbrugsjord reducerer arealet i omdrift, vil det i første omgang være mest sandsynligt, at der vil blive tale om arealer gødsket med handelsgødning, da der ellers skal ske en tilsvarende reduktion i husdyrproduktionen med betydeligt større omkostninger til følge. Udvasningen ved gødskning med handelsgødning er mindre end ved gødskning med husdyrgødning (se afsnit om rammebetingelser). Ved antagelse af, at 35% af ændringen i handelsgødningstilførslen giver sig udslag i en reduktion i nitratudvaskningen på sandjord (se

fig. 5 i afsnit 2.), vil der ske en reduktion på 49 kg N/ha ved ophør af gødskning med 140 kg N/ha.

Udtagning kan have særlig interesse i ådale, hvor det kan være med til at skabe sammenhængende naturarealer (Wilhelmudvalget, 2001; Rapport fra Naturintegrationsgruppen under VMP III). I ådalene findes humusjorde, som er bygget op gennem flere tusinde år. Humusjorde bliver i vid udstrækning udnyttet til korndyrkning. Der findes ikke en landsdækkende opgørelse, men for humusjordene i omegnen af Bjerringbro-Hvorslev anvendes godt 70 % til korndyrkning (Nielsen, 2001). Udvasning af næringsstoffer fra dræned lavbundsarealer i omdrift kan være ganske betydelig, især når det drejer om tørvejord (Pedersen, 1985; Hansen et al., 1990).

Heidmann & Søgård, 2002 vurderer, at der årligt mineraliseres i størrelsesordenen 135 kg N/ha ved afbrænding af humus på dræned humusjorde, og hvis der samtidigt gødes efter de gældende generelle N-normer må nitratudvasningen formodes at være betydelig. Der findes dog ikke særlig god viden til at kunne kvantificere reduktionen af nitratudvasning ved udtagning af omdrifts jord på humusjord. Størrelsen vil også afhænge af, i hvor høj grad dræning sløjfes og af hvilken vandstandsstigning, det medfører. Ved grundvandsstigning og oversvømmelse kan opnås en yderligere fjernelse ved denitrifikation – se afsnittet om udtagning af lavbunds jord af omdrift.

Det kan også være relevant at sikre en N-fjernelse ved slæt eller ekstensiv afgræsning efter udtagning af meget næringsrig lavbunds jord (Lisbeth Nielsen, personlig kommentar), men det kan være vanskeligt at gennemføre hvis dræning sløjfes.

Erstatning af ugødet omdriftsbrak med længevarende ugødet udtagning vil ikke påvirke ammoniakfordampningen under forudsætning af samme fordampning fra plantedækket (Andersen et al., 1999).

Ved erstatning af et handelsgødet areal med et antaget gødningsniveau på 140 kg N/ha vil ammoniakfordampningen reduceres med 3,1 kg N/ha under antagelse af, at 2,2% af tilførslen fordamper (Illerup et al., 2002). Endvidere vurderes det, at der sker en reduktion i ammoniakfordampningen fra plantedækket på ca. 4 kg N/ha ved at gå fra en gødet omdrifts afgrøde til ugødet plantedække (Andersen et al., 1999).

Ved erstatning af et gennemsnitligt omdriftsareal antages dette at have været tilført 70 kg N i handelsgødning og 100 kg total-N = 70 kg udnytteligt N tilført som husdyrgødning. Ved tilførslen af 100 kg N i husdyrgødning ab lager forventes ca. 17 kg at være fordampet i stald og lager og ca. 10 kg at fordampe ved udbringning (Mette Hjorth Mikkelsen, personlig meddelelse baseret på Illerup et al., 2002). Som ved handelsgødsugning forventes en reduktion i fordampning fra plantedækket på 4 kg N/ha ved udtagning. Da det antages at udtagning af et husdyrgødet areal skal medføre en reduktion i husdyrproduktionen forventes fordampningsta-

bet i stald og lager også fjernet ved udtagning. I alt reduceres ammoniakfordampningen således med ca. 31 kg/ha.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Ikke relevant

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Der gives et ganske betydeligt tilskud (540-4.200 kr) til udtagning af landbrugsjord indenfor MVJ-ordningen. Det svarer nogenlunde til bortforpagtning af jorden, og hvis ikke arealet er af betydning for bedriftens harmonisammenhæng og aflønning af personale, vil landmanden holdes skadesløs. Arealet kan også indgå som en del af brakforpligtelsen, hvilket på tilsvarende vis er uden økonomisk omkostning. Det kan det dog blive på længere sigt, idet tvangsbrakordningen kan blive fjernet eller nedreguleret med tiden, således at landmanden igen ville få udvidet sit omdriftsareal, hvis ikke det var udtaget. Ved udtagning af husdyrgødet areal og tilsvarende reduktion i husdyrbestanden vil opstå en øget omkostning. Udtagning af husdyr-arealer betyder dog også at produktionen måske skal reduceres grundet harmonikravene.

Såfremt bedriften ligger på harmonigrænsen vil en reduktion i arealet på 1 ha betyde, at der kan produceres 1,4 DE (svin) eller 1,7/2,3 DE (køer) mindre. Dette svarer igen til et tab i DB på 14.000 kr. pr. ha og 17.000/23.000 kr. pr. ha der udtages (ved dækningsbidrag på 10.000 kr. pr. DE fra husdyrproduktionen, svarende til DB fra 1 so + smågrise og slagtesvin eller fra 0,85 årsko (Brian Jacobsen, personlig kommentar)). Hvis bedriften ikke ligger på harmonigrænsen betyder udtagning ikke noget på kort sigt.

Imidlertid skal der fra dækningsbidraget trækkes en række "faste" omkostninger som ville falde bort hvis produktionen blev reduceret omfanget her variere meget fra bedrift til bedrift. Når alle udgifter er afholdt har den gennemsnitlige husdyrproducent ikke det store overskud, der kan anvendes i marken. I relation til jordkøb antages det, at nogle svineproducenter har et årligt overskud (efter alt er betalt) på 1-2.000 kr. pr. ha til at finansiere jordkøb. De kan derfor betale 25-50.000 kr. pr. ha mere end den rene planteavl.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Ud fra et landbrugsmæssigt synspunkt vil det være mest relevant at udtage de mindst produktive jorde med den største risiko for nitratudvaskning. Der er således anført en udtagning af 5% af sandjordsarealet svarende til ca. 81.000 ha.

Det kan også være relevant at udtage lavbundslande i ådale, men datagrundlaget for kvantificering heraf er svagt.

Tidshorisont for implementering

Udtagning af landbrugsjord kræver ikke investering i ny teknologi eller oplæring i nye metoder. Bortset fra barrierer i form af reduceret harmoniareal og mindskede indtægter ved jordbrugsmæssig udnyttelse vil tiltaget kunne implementeres ganske hurtigt.

Barrierer for implementering

Den primære barriere er tiltagets permanente karakter, som indskrænker landmandens råderet og fremtidige fleksibilitet. Udtagning af landbrugsjord mindsker harmoniarealet for husdyrbrug, det således kan få strukturproblemer. Endeligt er det spørgsmålet, hvorfra finansieringen af det temmelig omkostningstunge tiltag skal komme fra – midlerne i den nuværende MVJ-ordning er ikke tilstrækkelige.

Referencer

- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. & Poulsen, H.D. (1999). Emission af ammoniak fra landbruget – status og kilder. Danmarks JordbrugsForskning, 71 pp.
- Børgesen, C.D., Kyllingsbæk, A. & Djurhuus, J. (1997). Modelberegnet kvælstofudvaskning fra landbruget. SP rapport nr. 19, 66 pp.
- Christensen, N., Jørgensen, F., Ernstsén, V. & Vinther, F.P. (1990). Næringsstofomsætning i marginaliseret landbrugsjord. Npo-forskning fra Miljøstyrelsen Nr. A13, 65 pp.
- Grant, R. (2002). Genberegning af effekten af Vandmiljøplan I og II. Teknisk notat, Danmarks Miljøundersøgelser, 15 pp.
- Gundersen, P. Friis, E. & Hansen, K. (2001). Nitratudvaskning fra skovrejsning og vedvarende græsningsarealer 1998-2001 – Drastrup Projektet. Ålborg Kommune og FSL, 30 pp.
- Hansen, B., Hansen, A.C., Hoffmann, C.C. & Nielsen, H. (1990). Vand- og stofbalance på lavbundsjord. Npo-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. C14.
- Heidmann, T. & Søegaard, K. (2002). Ændring i jordens N-indhold. Baggrundnotat for VMP II, DJF.
- Illerup, J.B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkerne, S., Bruun, H.G. & Fenhann, J. (2002). Projection Models 2010. Danish Emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. NERI technical report no. 414. National Environmental Research Institute, 192 pp.
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skoop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffman, C.C., Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D. & Kristensen, V.F. (1998). Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, 44 pp.
- Magid, J., Christiansen, N. & Skop, E. (1994). Vegetation effects on soil solution composition and evapotranspiration – potential impacts of set-aside policies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 49, 267-278.
- Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, (2003). Bekendtgørelse om tilskud til miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger i særligt følsomme landbrugsområder. Bekendtgørelse 187 af 20/3 2003.

- Nielsen, A.L. (2001). Natur og landbrug på engarealer. I: Hels, T., Nilsson, K., Nørregaard Frandsen, J., Fritzbøger, B., & Olesen, C.R. (red.), Grænser i landskabet, 59-74.
- Pedersen, E.F. (1985). Drænvandsundersøgelser på marsk- og dyb tørvejord 1971-84. Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. 1797.
- Waagepetersen, J. (1992). Braklægnings betydning for N-udvaskning fra landbrugsarealer. Statens Planteavlsforsøg, Beretning nr. S 2224, 37-44.
- Wilhelmudvalget, (2001). En rig natur i et rigt samfund. Skov- og Naturstyrelsen.

Table 48. Effektvurdering af udtagning af landbrugsjord. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. ophør af gødsning	Reduktion af ammoniak-emission v. ophør af gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Udtagning af landbrugsjord	5% af sandjordsarealet	81.000	-	20-50 ¹ 45-50 ² 56-66 ³	0 7 31 ⁴		Se tekst	2-4 år

1. Ved erstatning af rotationsbrak med udvaskning på 40-60 kg N/ha
2. Ved erstatning af et handelsgødet areal tilført ca. 140 kg N/ha.
3. Ved erstatning af gennemsnitligt omdriftsareal på sandjord med udvaskning på 76 kg N/ha. Det forudsættes, at husdyrbestanden dermed reduceres
4. Der er regnet med ophør af gødsning med 140 kg N/ha, emission af 2,2 % fra handelsgødning og ca. 27 % fra husdyrgødning (inkluderer stald- og lagertab)

4.2.3. Ophør af omdrift på lavbundsarealer

Carl Christian Hoffmann og Ruth Grant, Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. f. Ferskvandsøkologi

Beskrivelse af tiltaget

Forudsætninger: Dræn og grøfter er sløjfede, gødskning ophørt, vandløbsbund i naturligt leje og vandløbets dimensioner naturlige.

Ekstensivering af lavbundsarealer i omdrift (vandløbsnære arealer, ådale) medfører en række ændringer både mht. vand- og stoftransport og omsætning og udvaskning af næringsstoffer.

Der kan skelnes mellem effekter forårsaget af de ændringer, der er sket på selve lavbundsarealet og udefra kommende effekter, der skyldes ændret påvirkning af lavbundsarealet fra opland og/eller vandløb

Lavbundsarealet

1. Hævet vandstand som følge af sløjfning af dræn og drænggrøfter
2. Ændret udvaskning af næringsstoffer som følge af i) sløjfning af dræn og drænggrøfter, ii) ophør af gødskning og iii) ændrede redoxforhold som følge af pkt. 1

Vandløbet (ændret påvirkning på lavbundsarealet)

1. Periodiske oversvømmelser af nogle lavbundsarealer som følge af ændringer i vandløbets fysiske dimensioner og dets beliggenhed
2. Oversvømmelse af disse lavbundsarealer vil medføre sedimentation af suspenderet stof og omsætning af opløste næringsstoffer

Oplandet (ændret påvirkning på det nedenfor liggende ekstensiverede lavbundsareal):

1. Overfladenært og eventuelt dybere liggende grundvand fra oplandet vil strømme gennem lavbundsarealet som følge af sløjfning af dræn og drænggrøfter
2. Opløste næringsstoffer kan omsættes under grundvandets passage gennem lavbundsarealet
3. Afskæring af dræn og drænggrøfter på grænsen mellem opland og lavbundsareal vil i lighed med pkt. 1 og 2 medføre at overfladevand fra oplandet med dets indhold af næringsstoffer vil strømme over eller gennem lavbundsarealet og give mulighed for omsætning af næringsstoffer

Opmærksomheden skal i øvrigt henledes på en netop udviklet metode til klassificering af ådale i typeområder ud fra geologiske og ådals-morfologiske principper (Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 10, 2003). Metoden er udviklet som led i implementeringen af EU's vandrammedirektiv i dansk lovgivning, og skal anvendes af de ansvarlige myndigheder til at gruppere forekomster af grundvand med henblik på at bedømme grundvandets risiko for at påvirke vandløb, søer og kystvande negativt.

Effekter på kvælstofudvaskning

Udvaskning af næringsstoffer fra dræned lavbundsarealer i omdrift kan være ganske betydelig, især når det drejer om tørvejord (Pedersen, 1985; Hansen et al., 1990). For dyb tørvejord kan udvaskning af kvælstof via dræn i visse tilfælde nå op på 100 – 200 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Variationen mellem de undersøgte arealer er dog ganske betydelig og spænder fra 21 – 230 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (Pedersen, 1985; Hansen et al., 1990).

Viden om udvaskning af kvælstof fra vedvarende græsningsarealer på drænet tørvejord er meget sparsom. Fra Gjern å systemet foreligger målinger fra to lokaliteter, der viser at koncentrationerne af kvælstof i drænene ligger i intervallet 0.95 – 8.79 mg N l⁻¹ for det ene område, og i intervallet 0.04 - 0.69 mg N l⁻¹ for det andet område (Ruth Grant, DMU, upubliceret). Den gennemsnitlige koncentration af total kvælstof i drænene fra de to arealer er henholdsvis 2.3 og 0.3 mg N l⁻¹. Ved anvendelse af nettonedbøren for 1994 på 459 mm (data fra DMI, kvadrant 40016) på de to arealer fås en udvaskning via dræn på henholdsvis 10.6 kg N ha⁻¹ og 1.3 kg N ha⁻¹.

I våde enge kan netto N-mineraliseringen stige 5-10 gange, som følge af dræning (Grootjans et al., 1985), og heraf følgende øget ilttilgang til de øvre jordlag. Nedbrydningen af tørven via øget mikrobiel aktivitet medfører en ændring af tørvens struktur, tørven synker sammen eller sætter sig. Pedersen (1978) fandt f.eks. for Store Vildmose, at mineraliseringen alene fjernede 1 cm tørvelag per år i perioden 1930-1974, herudover skete der en mekanisk sammensynkning af tørvelaget på yderligere 176 cm.

Lavbundsarealet - Ændret afvanding

I midtvejsevalueringen af Vandmiljøplan II (Grant et al., 2000) regnes med en udvaskningsreduktion på 8 – 300 kg N ha⁻¹ år⁻¹, med et gennemsnit på 80 kg N ha⁻¹ år⁻¹, ved ændret afvanding. Opgørelsen bygger på svar fra amterne vedrørende effekterne af ændret afvanding i forbindelse med MVJ ordningen.

Lavbundsarealet – Ingen gødskning

Ingen gødskning af lavbundsarealet, men med afsætning af 70 kg N ha ved afgræsning: Type-tal beregnet med N-LES modellen viser en udvaskning fra rodzonen på afgræsset høj-bundsjord på:

35-45 kg N ha⁻¹ år⁻¹, på sandjord

25-35 kg N ha⁻¹ år⁻¹, på lerjord

En oplandsundersøgelse af udvaskningen af kvælstof med dræn fra dræned vedvarende græsarealer på tørvejord, der ikke gødes, men afgræsses, viser at udledningen af kvælstof til vandmiljøet varierer betydeligt (Hoffmann & Ovesen, 2003). Ved Fussingø er to vedvarende græsningsarealer på tørvebund undersøgt. Det ene areal (50 ha skov og 59 ha eng) havde en udvaskning på 6.3 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tre års gennemsnit) til det nærliggende vandløb, mens ud-

vaskningen fra det andet område (122 ha lavbund, 70 ha landbrug, 95 ha skov heraf 28 ha på lavbund) lå på 15.0 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tre års gennemsnit). I sidstnævnte tilfælde tydede både jordbundsforholdene, samt drænvandets og grundvandets kvælstofindhold på, at udvaskningen fra det drænedede og græssede lavbundsareal var dominerende, hvilket reelt betyder at udvaskningen fra lavbundsarealet lå på 24 – 40 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Til sammenligning ligger udvaskningen af kvælstof til vandløb og søer fra landbrugsoplande i overvågningsprogrammet som gennemsnit for de sidste 6 år (1995-2000) på 17.6 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (Brian Kronvang, pers. komm.).

Oversvømmelse og denitrifikation

Der er kun lavet få undersøgelser af næringsstofomsætning på lavbundsarealer, der oversvømmes med vandløbsvand. Det er især kvantificering af, hvor meget opløst stof der tilbageholdes/omsættes på lavbundsarealet, der er vanskelig at foretage. Det skyldes den indbyggede dynamik der er i en oversvømmelseshændelse samt afgrænsningen af hændelsen i tid og rum, der er af stokastisk natur.

Forsøg med simulerede oversvømmelseshændelser, dvs. med kontrolleret arealstørrelse, hydraulisk belastning og næringsstofbelastning, har vist, at tilført nitrat hurtigt reduceres (denitrificeres). Under antagelse af oversvømmelse 60 dage om året kunne det beregnes, at der blev denitrificeret mellem 30 og 196 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ år⁻¹ (Hoffmann, 1998a, 1998b). Variationen skyldes alene ændringer i nitratkoncentrationen, og dermed også nitratbelastningen.

I forbindelse med vandmiljøplan II er der foretaget overvågning af et vådområde ved Horsens (Egebjerg enge, 34 ha), der oversvømmes af den nærliggende Store Hansted å. Der er forsøgt opstillet en massebalance for området, der med nogen usikkerhed viser, at der fjernes ca. 52 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ år⁻¹ (95% af belastningen). Det skal bemærkes, at Egebjerg enge også modtager nitratholdigt drænvand fra oplandet og at dette udgør ca. 60 % af den samlede belastning (Hoffmann, 2003). Det skal endvidere bemærkes, at der ved retableringen af Egebjerg enge kun blev fjernet en mindre del af diget ud mod Store Hansted å, og derved har oversvømmelsesdynamikken været meget begrænset, idet vådområdet blot har fungeret som et kar, der blev fyldt op. Det oversvømmende vand har stuvet bag den resterende del af diget og hindret at vandet kunne strømme frit på det oversvømmede areal og derved også hindret ny tilførsel af kvælstof. Denitrifikationsprocessen blev også undersøgt ved Egebjerg enge. Under *in situ* lignende forhold blev processen undersøgt i laboratoriet med ¹⁵N-teknik (Jacobsen, 2002). Ud fra målingerne var det muligt at opstille et udtryk for både denitrifikationshastigheden og nitratfluxen (i.e. den samlede mængde nitrat, der forsvinder per tidsenhed), som er vist nedenfor.

Denitrifikation: $f([\text{NO}_3^-], T) = 0.019(\pm 0.008) * [\text{NO}_3^-] * 1.76^{*(T/10)}$,

hvor temperaturen, T, angives i grader celsius og nitratkoncentrationen i f.eks. g m³. Konstanten 0.019 har enheden m dag.

Nitratflux: $f([\text{NO}_3^-], T) = 0.128(\pm 0.01) * [\text{NO}_3^-] * 2.4^{**}(T/10)$,

hvor temperaturen, T, angives i grader celsius og nitratkoncentrationen i f.eks. g m^3 . Konstanten 0.128 har enheden m dag.

Anvendt på de målte koncentrationer og temperaturer i den oversvømmede del af Egebjerg enge, der varierer mellem 4 og 24 ha, giver de to formler henholdsvis en denitrifikation på $72 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ og en nitratflux på $688 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Hoffmann, 2003).

En lignende undersøgelse af denitrifikationsprocessen på oversvømmede enge i Gjern å systemet gav følgende ligninger for denitrifikation og nitratflux (Jacobsen, 2002):

Denitrifikation: $f([\text{NO}_3^-], T) = 0.024(\pm 0.014) * [\text{NO}_3^-] * 1.76^{**}(T/10)$

Nitratflux: $f([\text{NO}_3^-], T) = 0.112(\pm 0.013) * [\text{NO}_3^-] * 2.4^{**}(T/10)$

Det ses, at de to ligningssæt fra henholdsvis Gjern å og Egebjerg enge er meget lig hinanden.

Tilførsel af kvælstof fra oplandet

Grundvand

Den måde grundvandsmagasin og vandløb udveksler vand og stof på via ådalsmagasinet varierer betydeligt fra det ene område til det andet. Som nævnt ovenfor er der netop udviklet en metode til typologisering af grundvand-overfladevand interaktion (Nilsson et al., 2003). Ideen i typologien går ud på at inddele udvekslingszonen (ådalsmagasinet) mellem grundvand og overfladevand i rumlige elementer, der har ensartede geokemiske og hydrologiske karakteristika.

Grundvand – overfladevand interaktions typerne (GOI-typer) er defineret således at parameterverdier – hydrauliske og stofomsætningsmæssige – der er bestemt for en given type kan anvendes på områder med tilsvarende karakteristika. Klassifikationen tager hensyn til, om ådalen er upåvirket eller i en tilstand med menneskeskabte forstyrrelser f.eks. i form af afvanding. Metoden aftesttes i løbet af 2003, men det vides dog allerede nu, at der er behov for yderligere testning, validering og operationalisering (Nilsson et al., 2003).

Selvom det er muligt at type-inddele de indtil nu foretagne danske undersøgelser af danske ådale i GOI-typer, kan man endnu ikke tildele en bestemt type en absolut parameterverdi mht. kvælstoffjernelse.

Kvælstoffjernelse via denitrifikation af nitratholdigt grundvand, der tilføres udrænedede ånære arealer fra oplandet, er meget effektiv, idet 50 – 100 % af den tilførte nitrat fjernes (se tabel 49).

Tabel 49. Oversigt over nitratfjernelse i forskellige vådområder, hvor nitratholdigt grundvand løber gennem området og fjernes med stor effektivitet.

Lokalitet	Kg NO ₃ ⁻ -N ha ⁻¹ år ⁻¹	%	Reference
Stevns å, eng	57	97	Hoffmann et al. 1993
Rabis bæk, eng	398	56	Brüsch & Nilsson, 1990
Gjern å:			
A, eng	140	67	Hoffmann, 1998b
B, mose (1993)	2100	97	Hoffmann, 1998b
B, mose (5 års målinger)	1079	97	Hoffmann, 1998b
C, eng (5 års målinger)	541	96	Hoffmann, 1998b
D, eng (5 års målinger)	398	97	Hoffmann, 1998b
E, eng *	10.4	100	Andersen, 2003
Brede å,	92	71	Hoffmann et al. 1998
Storskala enge (63 ha)			
Gudenåens Kilder,	8.4	57	Hoffmann et al. 2000a
Storskala enge (57 ha)			

* hertil kommer et bidrag på 52.7 kg N ha⁻¹ år⁻¹ fra oversvømmelse.

Der er ingen sammenhæng mellem belastningens størrelse og den relative fjernelse. Derimod har nogle af undersøgelserne vist, at der skal være et vist minimumsindhold af organisk kulstof – ca. 3% - førend der er en målelig nitratfjernelse (Hoffmann et al., 2000; Nilsson et al., 2003). Det organiske kulstof er nødvendigt, idet det tjener som energikilde for de bakterier der denitrificerer nitrat til atmosfærisk kvælstof, N₂. I visse miljøer kan pyrit, FeS₂, ”erstatte” organisk kulstof, men processen er begrænset til områder hvor der træffes pyrit, dvs. såkaldte okkerpotentielle områder.

Overrisling

Ved tilførsel af kvælstofholdigt overfladevand til ånære arealer sker der en markant kvælstoffjernelse. Den største procentuelle fjernelse opnås, når det tilførte vand infiltreres, fuldstændig og strømmer i jordmatrix i stedet for at strømme på overfladen. Det sker på engene ved Stevns å (Hoffmann et al. 1993; tabel 50).

Ved Stor å på Fyn er en genskabt våd eng, der modtager drænvand fra de omkringliggende marker, løbende undersøgt fra starten i vinterhalvåret 1990-91 og frem til i dag (Ann Fuglsang, Fyns amt, pers. komm.). I de første 10 år 1990-91 til 1999-2000 har den gennemsnitlige kvælstoffjernelse ligget på 35% med en variation fra 18 – 65%. I år med stor hydraulisk belastning og stor kvælstofbelastning er den procentuelle kvælstoffjernelse mindre, mens år med lille belastning har vist stor procentuel kvælstoffjernelse. Den gennemsnitlige kvælstoffjernelse for 10-års perioden er 426 kg N ha⁻¹ (Ann Fuglsang, Fyns amt, pers. komm.).

Table 50. Oversigt over nitratfjernelse ved overrislingsforsøg med drænvand eller åvand. Ved opgørelsen er der taget højde for, at drænvandet ikke løber hele året.

Lokalitet	Kg NO ₃ ⁻ -N ha ⁻¹ år ⁻¹	%	Reference
Glumsø, rørskov§	520	65	Hoffmann, 1985, 1986
Glumsø, rørskov§	975	62	Hoffmann, 1985, 1986
Glumsø, rørskov§	2725	54	Hoffmann, 1985, 1986
Glumsø, fuldskala	569	94	Gervin et al., 1990
Stevns å, eng*	350	99	Hoffmann et al. 1993
Stevns å, eng med gammelt drænrør§	-	99	Hoffmann et al. 1993
Syv bæk, eng	300	72	Ambus & Hoffmann, 1990
Stor å, genskabt eng	530	48	Fuglsang, 1994
Ulleruplund, VMP2-vådområde£	133	67	Nielsen, 2003

* Korttidsforsøg ; § kun koncentration

§ Forskellig hydraulisk belastning og forskellig nitratbelastning.

£ Hertil kommer nedgang i udvaskningen på 37 kg N ha⁻¹ år⁻¹, som følge af ændring fra landbrugsareal i omdrift til vådområde.

Vurdering af potentielt omfang og samlet effekt

Amterne har i perioden 1998-2000 udpeget 118.000 ha, som er egnede til vådområder (Naturrådet, 2000).

Som det fremgår af den ovenstående faglige gennemgang, er der overordentlig stor variation i N-fjernelsen mellem forskellige arealtyper, afhængigt af hydrologiske forhold og N-tilførslen. I forbindelse med Scenariegruppens scenarieforslag baseret på udtagning har Jens Møller Andersen antaget en gennemsnitlig N-fjernelse på 100 kg N/ha ved udtagning af jord i ådale. Ved udtagning af 118.000 ha vil ved anvendelse af denne værdi totalt fjernes 11.800 ton N/år.

Omkostningerne ved ophør af omdrift på disse arealer kan vurderes på baggrund af omkostninger til ordningen 'ophør af dræning' under MVJ-ordningerne, hvor det gennemsnitlige tilskud pr. ha i 1997-1999 var 3.161 kr (Jacobsen, 2000). Det må dog forventes, at omkostningerne vil være større ved udtagning af større arealer, og her regnes derfor med en årlig omkostning på 4.000 kr/ha. Totalt vil omkostningen på 118.000 ha blive 472 mio. kr/år.

Referencer

- Ambus, P. & Hoffmann, C.C. (1990). Kvælstofomsætning og stofbalance i ånære områder. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. C13, 65 pp.
- Andersen, H.E. (2003). Hydrology, nutrient processes and vegetation in floodplain wetlands. PhD thesis, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole og Danmarks Miljøundersøgelser.

- Brüsch, W. & B. Nilsson. (1990). Nitratomsætning og vandbevægelse i et vådområde. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. C15.
- Fuglsang, A. (1994). De våde enge kan tilbageholde kvælstof. Vand og Jord, no 1.
- Gervin, L., Ipsen, S & Nicolaisen, P. (1990). Kvælstof og fosfor massebalancer i en rørskov belastet med drænvand. Specialerapport, Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium.
- Grant, G., Blicher-Mathiesen, G., Jørgensen, V., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D., Børsting, C., Jørgensen, J.O., Schou, J.S., Kristensen, E.S., Waagepetersen, J., & Mikkelsen, H.E. (2000). Vandmiljøplan II – midtvejsevaluering. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser.
- Grootjans, A.P., Schipper, P.C. & Van der Windt, H.J. (1985). Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. Acta (Ecologica / (Ecologica Plantarum, Vol. 6(20) no. 4, 403-417.
- Hansen, B., Hansen, A.C., Hoffmann, C.C. & Nielsen, H. (1990). Vand- og stofbalance på lavbundsjord. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, nr. C14.
- Hoffmann, C.C. (1985). Fosfor og kvælstof dynamik under kontrollerede hydrauliske betingelser i en rørsump ved Glumsø sø. Specialerapport, Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium.
- Hoffmann, C.C. (1986). Nitrate reduction in a reedswamp receiving water from an agricultural watershed. Proc. 13th Nordic Symp. on Sediments, Aneboda, Sweden, 1985. 41-61.
- Hoffmann, C.C. (1998a). Nitrate removal in a regularly flooded riparian meadow. Verh. Internat. Verein. Limnol. 26, 1352-1358.
- Hoffmann, C.C. (1998b). Nutrient retention in wet meadows and fens. PhD thesis, University of Copenhagen, Freshwater Biological Institute, and National Environmental Research Institute, Department of streams and Riparian Areas, 134 pp.
- Hoffmann, C.C. (2003). Overvågning af Egebjerg enge, VMPII-vådområde. Arbejdsrapport fra DMU (under færdiggørelse).
- Hoffmann, C.C., Dahl, M., Kamp-Nielsen, L. & Stryhn, H. (1993). Vand- og stofbalance i en natureng. Miljøprojekt nr. 231. Miljøstyrelsen.
- Hoffmann, C.C., Pedersen, M.L., Kronvang, B.K. & Øvig, L. (1998). Restoration of the Rivers Brede, Cole and Skerne: A joint Danish and British EU-LIFE demonstration project, IV - Implications for nitrate and Iron transformation. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 8, no 1, 223-240.
- Hoffmann, C.C., Pedersen, M.L. & Laubel, A.L. (2000a). Headwater restoration of the river Gudenå – 2. Implications for nutrients in riparian areas. Verh. Internat. Verein. Limnol. 27 Vol. 1, 602-609.
- Hoffmann, C.C., Rysgaard, S. & Berg, P. (2000b). Denitrification rates in riparian fens predicted by $^{15}\text{NO}_3^-$ microcosm studies, *in situ* measurements, and modeling. J. Environ. Qual.
- Hoffmann, C.C. & Ovesen, N.B. (2003). Næringsstofomsætning og -tab ved ekstensiv græsning på lavbundsarealerne ved Fussingø. I: Hald, A.B., Hoffmann, C.C. og Nielsen, L.

(Eds.) Ekstensiv afgræsning af ferske enge – botanisk diversitet, småpattedyr, miljø og produktion. DjF rapport Markbrug nr. 91.

Jacobsen, B.H. (2000). Vandmiljøplan II – Økonomisk midtvejsevaluering. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, December 2000. 78 s.

Jacobsen, J.P. (2002). Denitrifikation i vådområder. Specialrapport, Århus Universitet.

Naturrådet, (2000). Vådområdestrategien under Vandmiljøplan II – konsekvenser og muligheder for naturen. Arbejdsrapport fra Naturrådet nr. 1. 2000.

Nielsen, S.B. (2003). Overvågningsresultater for VMPII-projektet ”Ulleruplund – tilløb til Brøns Å”. Dataindberetning fra Sønderjyllands amt til DMU, 17 marts 2003.

Nilsson, B., Refsgaard, J.C., Dahl, M., Møller, I., Kronvang, B., Andersen, H.E., Hofmann, C.C., Christensen, S., Langhoff, J.H. & Rasmussen, K.R. (2003). Hydrokemisk interaktion mellem Grundvand og Overfladevand (HYGRO) - En metode til klassificering af ådale i typeområder. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 10.

Pedersen, E.F. (1978). Tørvelagets sammensynkning og mineralisering i Store Vildmose. Statens Planteavlsvforsøg, Beretning nr. 1425.

Pedersen, E.F. (1985). Drænvandsundersøgelser på marsk- og dyb tørvejord 1971-84. Statens Planteavlsvforsøg, Beretning nr. 1797.

Table 51. Effektvurdering af udtagning af lavbundsjord. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Øget N-udnyttelse v. uændret gødsning	Reduktion af nitrat-udvaskning v. ophør af gødsning	Reduktion af ammoniakemission v. ophør af gødsning	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved implementering af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
	Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Hkg/kr/ha	Kr/ha	År
Udtagning af lavbundsjord	118.000		100		?	4.000	?

4.2.4. Skovrejsning på tidligere landbrugsjord

Per Gundersen, Karin Hansen, Signe Anthon & Lars Bo Pedersen, Skov & Landskab, KVL

Lavt forbrug af pesticider og gødning i skovbruget har medført stigende interesse for grundvand under skove. Skovrejsning indgår som instrument i arbejdet med grundvandsbeskyttelse (Skov- og Naturstyrelsen, 1999), og der er et politisk ønske om at øge skovarealet fra 12% til 20-25% i dette århundrede. Vandværker i flere større byer deltager nu også i projekter om skovrejsning til beskyttelse af grundvandsressourcer. Et yderligere aspekt der er væsentligt for vandværkerne er den retslige beskyttelse af arealanvendelse til skov (fredskovpligten), der bliver pålagt disse arealer og som dermed på langt sigt er sikret mod genopdyrkning.

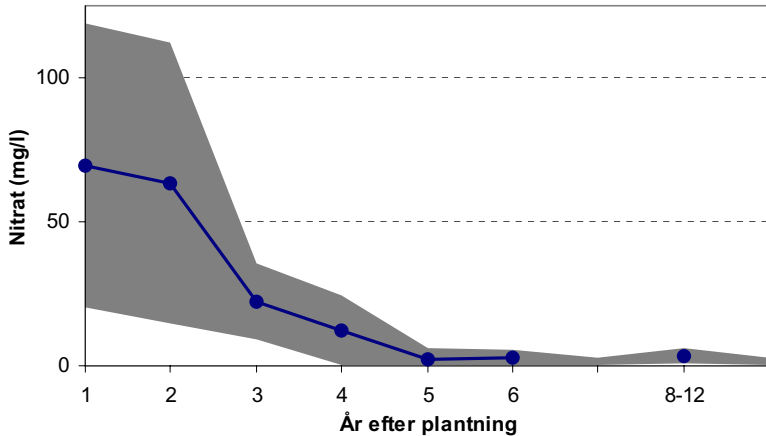
Kvælstofudvaskningen fra det skovbevoksede areal er som gennemsnit under 5 kgN/ha/år (Callesen et al., 1996), men for skovrejsning på landbrugsjord er jordbundsforholdene anderledes end i skov. Dette resulterer i en ændret kvælstofbalance i forhold til gammel skov, dels i kulturfasen, dels når den nye skov bliver ældre end 20-30 år.

Effekter på kvælstoftab (set ift. landbrugsmæssig omdrift)

Kulturfasen (på kort sigt)

Landbrugsjord indeholder meget kvælstof fra tidligere gødskning, der de første år efter tilplantning kan omsættes til nitrat og udvaskes. Udvasningen afhænger især af hvordan og hvor hurtigt ny vegetation (ukrudt så vel som træer) bliver etableret på et skovrejsningsareal. For at beskrive variationen i nitratkoncentrationen efter tilplantning på agerjord har vi samlet resultaterne fra 9 arealer i figur 10. Heri indgår i) fem lokaliteter fra Kvadratnettet, der blev tilplantet indenfor perioden 1986-93, hvor nitratkoncentrationen blev målt; ii) forsøgsarealer i Drastrup ved Aalborg og i Nørager vest for Hobro; samt iii) nyplantninger der indgår i tidserier fra Vestskoven ved København og i Gejlvang øst for Vorbasse. Fra forsøgsarealerne i Drastrup og Nørager er anvendt måledata fra dybdepløjede (reolpløjede) arealer, da dette i praksis er den mest udbredte etableringsmetode på lettere jorde.

Ændringen i nitratkoncentrationen efter skovrejsning varierede fra en hurtig reduktion inden for det første år til en forøgelse af nitratkoncentrationen i forhold til før tilplantning. For flere af arealerne kendes nitratniveauet før tilplantning dog ikke. Høje koncentrationer over 50 mg/l forekommer kun de første 2 år og koncentrationen falder til et lavt niveau efter 5 år (figur 1). Otte til tolv år efter skovrejsning, hvor kulturerne var i god vækst, var nitratkoncentrationerne faldet til 4-10 mg/l, hvilket er indenfor niveauet i uforstyrret gammel skov. Det tager således maximum 5 år afhængig af jordbund, anlægs- og renholdelsesmetode, tidligere anvendelse m.v. før nitratkoncentrationen er faldet til de lave niveauer, man normalt finder under skov.



Figur 10. Forløbet af nitratkoncentrationen i jordvand efter skovrejsning på tidligere landbrugsjord, gennemsnit og standardafvigelse af 2-9 lokaliteter (år 1&2: n=9; år 3: n=7; år 4: n=5; år 5&6: n=2; år 8-12: n=3). Der er anvendt forskellige kulturmetoder og der indgår både løv-og nåletræer (Gundersen et al., 2003).

I kulturer på landbrugsjord udgør ukrudtskonkurrence et problem for overlevelse, vækst og kvalitet af de nyplantede træer, men hvis denne konkurrence reduceres ved mekanisk eller kemisk ukrudtsbekæmpelse, stiger kvælstofudvaskningen. Hidtil har vi kun haft lidt viden om nitratudvaskning i forhold til kultur- og renholdelsesmetoder ved skovrejsning. Dette er nu belyst i to forsøg på sandjord, hvor nitratkoncentrationen er blevet fulgt efter tilplantning i Drastrup (Gundersen, 2001) og i Nørager (Pedersen et al., 2000; Riis-Nielsen et al., 2001). Resultaterne fra de første to år viste entydigt følgende rangordning med hensyn til udvaskning: intens mekanisk renholdelse (>100 kg N/ha/år) > dybdepløjning (50-100kg N/ha/år) > landbrugspløjning, moderat renholdelse med pesticid eller ingen renholdelse (40 kg N/ha/år). Men de seneste tal fra et af forsøgene (Nørager) peger på at forskellene mellem behandlinger udjævner sig når man ser det over flere år.

Dybdepløjning (eller reolpløjning som det ofte kaldes), hvor pløjelaget bliver lagt ned under et 10-20 cm tykt lag mineraljord, er en udbredt teknik ved forberedelse af et kulturareal til skovrejsning (eller plantning af juletræer) på sandede jorde. Det giver en meget sikker kultur-etablering, først og fremmest pga. lavt ukrudtstryk og nedsat fordampning. Men metoden er blevet kritiseret fordi den sletter arkæologiske kulturspor.

Det er især intensiteten af jordbearbejdningen og mængden af ukrudt, der har betydning for udvaskningen på kort sigt. Det er således vigtigt at finde den rette balance mellem tilstrækkelig renholdelse til etablering af skovkulturen og et passende planteoptag af kvælstof i ukrudt (urter, græs) og træer. Dækafgrøder som f.eks. rug kan anvendes mellem rækkerne af træer til

at regulere ukrudtskonkurrencen, men der findes ikke dokumentation af dækafgrøders effekt på udvaskningen.

Metoder baseret på såning eller kombinationer af tilplantning og naturlig succession er andre lovende muligheder for at minimere nitratudvaskningen, hvis man kan vente lidt længere på at få etableret skoven. I Drastrup faldt udvaskningen til nær nul over bare 2 år ved braklægning (hvilket vil svare til såning af eg eller naturlig succession).

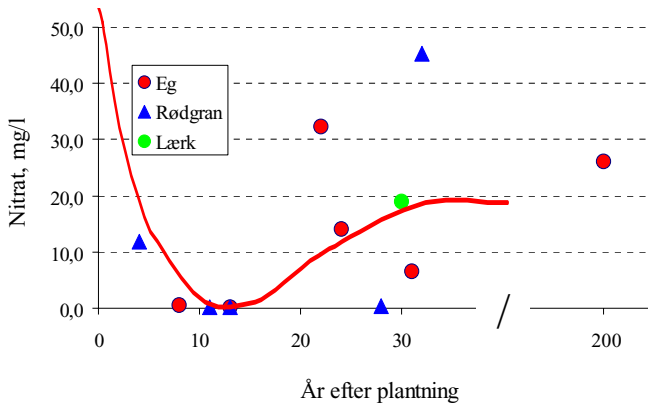
De nye skove (på langt sigt)

Efter kulturfasen er træernes kvælstofbehov stort (20-30 kgN/ha/år) indtil kronetaget lukker efter ca. 20 år. I perioden indtil dette tidspunkt vil de nye skove kunne optage alt tilgængeligt kvælstof og træerne vil formentlig i perioder være kvælstofbegrænsede. På det lidt længere sigt kan der imidlertid blive overskud af kvælstof igen på grund af den forholdsvis høje kvælstofdeposition i Danmark (15-40 kgN/ha/år i skov (Bak et al., 1999)). Kvælstoforbruget til vedtilvækst i ældre skove udgør kun 5-10 kgN/ha/år, hvor 5 kgN/ha/år gælder for de ringere jorde og 10 kgN/ha/år for de bedre jorde.

Hvis den tidligere landbrugsjord stort set ikke kan akkumulere mere kvælstof, må et kvælstofoverskud fra depositionen nødvendigvis udvaskes som nitrat. Med en nedsvivning på ca. 200 mm kan man ud fra en massebalance for kvælstof forudsige at nitratkoncentrationen vil nå op på 20-40 mg/l i den ældre skov (udvaskning af 10-20 kgN/ha/år). I Danmark er mange skove plantet på jord, der har været opdyrket på et tidspunkt, men kun skove plantet efter 1970 har været pløjet, gødsket og kalket i et omfang der blot med tilnærmelse ligner omfanget for nutidens landbrugsjorde. Det er derfor svært at undersøge hvorvidt forudsigelsen om kvælstofudvaskning fra fremtidens nye skove er korrekt. Vestskoven ved København er dog et område hvor der siden 1969 gradvist er tilplantet på god leret landbrugsjord. Ved at måle nitratindholdet i jordvand i bevoksninger af eg, rødgran og lærk med forskellig tilplantningsår har det været muligt at undersøge udviklingen i nitratkoncentrationen på længere sigt (figur 11). Foreløbige resultaterne fra Vestskoven viser klart at nitratkoncentrationerne er lave i de unge bevoksninger efter kulturstadiet, men efter 20-årsalderen stiger koncentrationerne i 5 ud af 6 bevoksninger. Der er stor variation, men som gennemsnit omkring de 20 mg/l, der var beregnet for lav deposition som må forventes i Vestskoven. Den 200-årige egebevoksning har karakter af naturskov dvs. tilvæksten er nær nul. Ældre skov på kvælstofrig landbrugsjord kan således ikke tilbageholde kvælstof ved ophobning i jorden. Der har heller ikke kunnet påvises nogen ophobning af organisk stof op til 30 år efter tilplantning i lerjorden fra Vestskoven (Vesterdal et al. 2002).

Tilsvarende målinger af kvælstofudvaskningen findes fra rødgranbevoksninger på sandjord i Gejlvang ved Randbøl Hede (K. Hansen, upubliceret). Her stiger nitratkoncentrationerne ligeledes med alderen men til et meget lavere niveau (3 mg nitrat/l). Den ældste bevoksning er dog fra 1960 og kan derfor ikke være gødet i så stort omfang i forbindelse med det daværende

landbrug. Her kunne der påvises en vis ophobning af organisk stof i jorden (L. Vesterdal, upubliceret), hvorfor overskydende kvælstof kan være ophobet i jorden.



Figur 11. Nitrat i jordvand (90 cm dybde) i 11 bevoksninger fra Vestskoven 2000/01 med forskellig alder efter tilplantning på landbrugs- og gartnerijord. Den 200 år gamle egebevoksning ligger tæt på Vestskoven og er også plantet på jord, der har været opdyrket. Kurven er en forudsigtelse ud fra en beregnet kvælstofbalance (Gundersen et al., 2003).

Sammenfattende har vi givet nogle typiske udvaskningstal for ny skov på landbrugsjord over en omdrift (tabel 52). Den gennemsnitlige udvaskning fra skovrejsning over en hel omdrift er stort set den samme som udvaskningen i den ældre skov (>30 år), idet høj udvaskning i de første år bliver opvejet af en periode med lav eller ingen udvaskning. Den største usikkerhed ligger således i estimatet for udvaskningen på langt sigt, idet det ikke er muligt at måle udvaskningen fra ældre skov plantet på moderne landbrugsjord. Grundlaget er en simpel langsigtet kvælstofbalance for skov med uændret luftforureningsniveau. Der er således regnet med, at kvælstofophobningen i jordens organiske stof vil være ubetydelig på gammel landbrugsjord, som observeret i undersøgelserne på lerjord fra Vestskoven. Det er sandsynligt, at der kan forekomme en vis akkumulering af kvælstof i mere sandede jorde som illustreret fra ældre mindre gødskede arealer ved Randbøl Hede. I så fald vil udvaskningen fra en ny skov blive mindre end angivet i tabel 52.

Reduktionen i udvaskning på langt sigt ved udtag af landbrugsjord til skovrejsning afhænger af, hvilken arealanvendelse der bliver fortrængt. Ved en gennemsnitsbetragtning, hvor landbrugsjord ved fuldt implementeret VMPII antages at udvaske 66 kgN/ha/år (se metodeafsnit) bliver reduktionen $66 - 12 = 54$ kgN/ha/år.

Tabel 52. Beregningsgrundlag for skovrejsningens effekt på kvælstofudvaskning på kort og langt sigt. Tallene udgør et konservativt estimat for skovrejsningens effekt på udvaskningen (dvs. det er sandsynligt at udvaskningen bliver lavere), idet der fx på sandede jorde kan være forhold der tillader yderligere ophobning af kvælstof. Udvasningen på det lange sigt gælder for det nuværende luftforureningsniveau med kvælstof. Ved beregning af faktoren for skovrejsning set i forhold til fortsat landbrugsdrift er der for det lange sigt regnet med udvaskning af 66 kgN/ha/år for landbrugsdrift.

År i forhold til plantning	1-2	3	4	5	6-20	21-30	31-100	Gennemsnit for omdrift
Udvaskning (kgN/ha/år)	50-100	20-40	10-20	5-8	<5	5-10	10-15	12
Faktor skovrejsning/landbrug	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,1	0,2	0,18

På baggrund af udviklingen i faktoren for skovrejsning i f.t. landbrug i tabel 52 er det muligt at beregne den kortsigtede effekt af et skovrejsningsprogram, hvor der indgår arealer med forskellig alder efter skovrejsning.

Der er mulighed for yderligere at reducere (formentlig halvere) udvaskningen i kulturfasen ved at anvende mere ekstensive etableringsmetoder (såning, langtidsbrak med naturlig succession). Lavere udvaskning på længere sigt kan opnås ved at øge biomasseudnyttelsen (flisning af heltræer), og/eller ved med tiden at omdanne bevoksningerne så de indeholder flere aldersklasser (uensaldrende bevoksninger), hvilket kan øge bevoksningens samlede kvælstofbehov.

Foryngelsen af de nye skov (i slutningen af dette århundrede) må forventes at foregår efter naturære principper, som er ved at blive implementeret i skovbruget, dvs. uden renafdrift af bevoksningen. Derved kan man formentlig reducere kvælstofudvaskningen fra den næste skovgeneration i størrelsesordenen 2-3 kg N/ha/år. Hvis gentilplantning sker efter renafdrift forekommer der en betydelig udvaskning (30-150 kg N/ha/år) i 1-2 år, hvorefter udvaskningen klinger af over i alt 3-5 år (Weis et al. 2001; Gundersen et al., 2003) tilsvarende som det sker ved skovrejsning (Figur 10). Dette bliver dog efterfulgt af en periode (ca. 20 år) med meget lav udvaskning, og udviklingen i udvaskning over tid kan derfor antages blive som i tabel 52.

Omkostninger

Direkte omkostninger (driftsøkonomi)

Kulturomkostninger ved traditionel plantning og behandling i de første 10 år (Dansk Skovforening 1999):

- Løvtræer: 60.000 kr/ha for Bøg og 55.000 kr/ha for Eg
- Nåletræer: 30.000 kr/ha for Rødgran, højere for mere vanskelige træarter.

Metoder baseret på såning (eg) kan reducere omkostningerne til 10-15.000 kr/ha. Ved naturlig succession, hvor arealet lægges i permanent brak må omkostningen antages at være 0 kr/ha. Dertil kommer køb af landbrugsjord, hvor prisen kan være variable 40-100.000 kr. pr. ha. Til privat skovrejsning ydes et tilskud på 25.000 kr. til løvskov og 16.000 kr. til nåleskov. Dette skal dække kulturomkostningerne. Derudover gives tilskud til pesticidfri anlæg og pleje, skånsom jordbehandling og opsætning af hegn. For at kompensere landmanden for hans tabte indtjening på landbrugsjorden, gives indkomskompensation i de første 10 år. Ved modtagelse af tilskud pålægges jorden fredskovpligt.

I den økonomiske midtvejsevaluering af VMP II vurderedes den gennemsnitlige årlige statslige omkostning ved skovrejsning til 1.160 kr/ha ved en realrente på 4 % (Jacobsen, 2000). Det dækker over at en del af den private skovrejsning skete uden tilskud. Ved etablering af så stort et areal som den planlagte fordobling af skovarealet må forventes stigende omkostninger.

Cost-benefit

Der er gennemført cost-benefit analyser for to skovrejsningsprojekter True Skov ved Århus og Bakkely Skov ved Korsør (Anthon & Thorsen, 2002). Data herfra anvendes i det følgende. Beregningen af den rekreative værdi knytter sig til de to bynære skove, mens estimerne for omkostninger og de øvrige benefits er generelle.

Ændringen i arealanvendelse giver et samfundsøkonomisk tab ved at opgive landbrugsjorden. Det er ca. 5500 kr.pr. ha pr. år svarende til en nutidsværdi på 75.000 – 80.000 kr. pr. ha (Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske institut, 2002). På langt sigt vil der komme nogle indtægter ved skovdrift, men i nutidsværdi vil disse højst kunne udligne kulturomkostningerne. I en samfundsøkonomisk analyse regner man ikke køb af jord med i omkostningerne, da der udelukkende er tale om en overførsel af penge fra en person i samfundet til en anden.

Som benefits er der regnet på den rekreative værdi og miljøværdier. I begge projekter ligger den rekreative værdi alene (estimeret fra husprisanalysen) på 200.000 – 400.000 kr.pr ha. Denne rekreative værdi opnås kun hvis skoven er bynær (større boligkvarter umiddelbart op af den nye skov) og hvis der ikke er andre væsentlige rekreative muligheder i nærheden og hvis der er tale om en større sammenhængende skov med væsentlige rekreative muligheder. Derudover kommer værdien af sikring af grundvand, biodiversitet, lagring af CO₂, mindsket nitrat i overfladevand og indirekte miljøkonsekvenser af ophør af landbrugsdrift. Disse er i alt estimeret til 15-20.000 kr. pr. ha. Der er dog tale om et usikkert skøn.

Arealmæssigt omfang af skovrejsning

Folketinget vedtog i 1989 et nationalt mål om at fordoble det danske skovareal over en periode på 80 - 100 år, hvilket nås med en årlig tilplantning af ca. 4.500 ha landbrugsjord. Hidtil har den faktiske tilplantning dog været noget mindre, i alt ca 30.000 ha. Skovrejsningen i 1989-99, der ikke var med juletræer, var ca. 15.000 ha (Larsen og Johannsen, 2002), d.v.s. kun 1500 ha/år. Skovrejsningsmålet er stadig en integreret del af den danske skov-, natur- og

miljøpolitik (Miljøministeriet, 2002), og skovrejsning indgår som instrument i arbejdet med grundvandsbeskyttelse (Skov- og Naturstyrelsen, 1999b).

I VMPII perioden 1998-2002 har den private skovrejsning med tilskud været 8.400 ha (1680 ha/år). I 2003 forventes at blive givet tilsagn om støtte til 1.500-1.600 ha (K.Jørgensen, Skov- og Naturstyrelsen). Omfanget af privat skovrejsning uden tilskud kendes ikke præcist, men antages at være ca. 400 ha/år, hvilket også forventes i 2003 (K.Jørgensen, Skov- og Naturstyrelsen). Den statslige skovrejsning ved Skov- og Naturstyrelsen var på ca. 1.100 ha i 1998-2002 (220 ha/år). I 2003 forventer Skov- og Naturstyrelsen at etablere ca. 400 ha ny statsskov. (L. Trier, Skov- og Naturstyrelsen). Endvidere foretager andre offentlige myndigheder (kommuner, forsvaret o.a.) skovrejsning af en størrelsesorden på ca. 100 ha/år.

Den samlede skovrejsning i perioden 1998-2002 var således på ca. 12.000 ha (2.400 ha pr. år). I 2003 forventes etableret i alt ca. 2.500 ha ny skov.

I de statslige skovrejsningsområder er der i gennemsnit herudover etableret ca. 30 % med åbne arealer; enge, søer, moser etc. i naturlig sammenhæng med de tilplantede arealer. I tilknytning til de private arealer er der ligeledes etableret ca. 8 % med tilsvarende åbne arealer. I alt udgør dette i 1998-2002 ca. 1.100 ha åbne arealer, som ligger integreret i de nye skove (ca. 220 ha/år). Arealet med etablering af nye "skovlandskaber" har således været ca. 2600 ha/år de seneste år.

Tidshorisont for implementering

For privat skovrejsning med tilskud er det et krav, at projektet gennemføres indenfor 2 år fra tilsagn om tilskud er givet. Der har været ansøgninger til et større areal end der har været afsat midler til.

For større offentlige skovrejsningsprojekter ved Skov- og Naturstyrelsen er det et lovkrav i Naturbeskyttelsesloven, at staten ejer jorden og at arealerhvervelserne ske frivilligt, d.v.s. uden anvendelse af ekspropriation. Et typisk statsligt skovrejsningsprojekt er af størrelsen 200-600 ha og har mellem 20-100 lodsejere i området. Det er en erfaring, at ejendomme kommer til salg minimum hvert 20.-30. år, hvilket derfor er tidshorisonten for et projektets færdiggørelse. Der er udpeget ca. 100 områder til "særlige indsatsområderne for statslig skovrejsning" i 1999, indenfor disse områder har Skov- og Naturstyrelsen fået tilbudt flere arealer, end der har været Finanslovsmidler til at købe for.

Der er således et potentiale for at øge implementeringen ud over de nuværende 2500 ha/år.

Barrierer for implementering

Når tilplantningsraten er væsentligt under de 4500 ha/år, der ville opfylde den politiske målsætning om at fordoble skovarealet skyldes det formentlig 1) en skærpet arealkonkurrence i forhold til husdyrbrug med harmoniproblemer (og dermed høje priser på jord), 2) at de afsatte midler til formålet ikke har været tilstrækkelige til at opnå så stor en tilplantning som målsætningen kræver.

Tilskudspuljerne til privat skovrejsning de senere år har medført en årlig tilplantning af ca. 1700 ha, mens de afsatte midler til statslig skovrejsning har været tilstrækkelige til tilplantning af godt 200 ha/år.

Privat skovrejsning uden tilskud (ca. 400 ha/år) sker oftest med henblik på ophævelse af landbrugspligten - og dermed bopælspligten på et areal. Landbrugsloven anfører, at landbrugspligten kan ophæves på et areal på over 35 ha, hvis der i stedet tinglyses fredskovspligt på arealet. Hvis 35 ha-grænsen i Landbrugsloven blev nedsat fra 35 ha til f.eks. 20 ha, vil det give anledning til en betydelig øgning af denne type skovrejsning. Denne vil dog ikke nødvendigvis foregå med de naturmæssige og landskabelige hensyn, der er karakteristisk for skovrejsning med tilskud private og for statslige skovrejsning.

Anvendelsen af alternative kulturmetoder der indebærer lavere udvaskning i kuturfasen, fx såning og naturlig succession eller metoder med begrænset eller ingen jordbearbejdning er meget lidt udbredte. Barrieren for anvendelse af disse billigere kulturmetoder er nok især ønsket om hurtigt at se et resultat af et skovrejsningsprojekt. Der kan også være element af tradition, der hænger sammen med manglende viden om og dokumentation af disse metoder. Der er behov for udvikling og demonstration af disse metoder med hensyn til teknik, økonomi, overlevelse, skovbillede, naturindhold, N-udvaskning mv. Mindre intensive metoder kan dog begrænse træartsvalget til pionertræarter, hvilket kan være et problem i forbindelse med bynære skove, hvor man ønsker bøg eller andre vanskeligere træarter introduceret hurtigt.

Hurtige resultater, lavere etableringsomkostninger og lavere udvaskning på kort sigt i et skovrejsningsprojekt kunne opnås ved at tilplante en del af arealet med traditionelle metoder og anvende billige etableringsformer på resten af arealet. Derved kan man alligevel hurtigt opnå den rekreative funktion, der er vigtig i bynære skove.

Referencer

- Anthon, S. & Thorsen, B. J (2002). Værdisætning af statslig skovrejsning. En husprisanalyse. Arbejdsrapport nr. 35, 2002. Skov og Landskab (FSL), Miljøministeriet.
- Bak, J., Tybirk, K., Gundersen, P., Jensen, J.P., Conley, D. & Hertel, O. (1999). Natur- og miljøeffekter af ammoniak. Ammoniakfordampning - redegørelse nr. 3. Danmarks Miljøundersøgelser, 66 s.
- Callesen, I., Thormann, A., Raulund-Rasmussen, K., Stryhn, H. & Østergaard, H.S. (1996). Nitrat-koncentrationen i jordvand under danske skove. Dansk Skovforenings Tidsskrift 81. 73-94.
- Dansk Skovforening, (1999). Skovøkonomisk Tabelværk.
- Gundersen, P., Friis, E. & Hansen, K. (2001). Nitratudvaskning fra skovrejsning og vedvarende græsarealer 1998 - 2001. Drastrup projektet. Ålborg Kommune og Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 30 pp., <http://www.aalborg.dk/serviceomraader/energi+og+miljoe/vand/jordvand01.pdf>

- Gundersen, P., Schmidt, I.K., Hansen, K., Pedersen, L.B. & Vesterdal, L. (2003). Nitrat i vand under skove. I: Raulund-Rasmussen, K. & Hansen, K. (Red.), 2003. Grundvand fra skove * muligheder og problemer. Skovbrugsserien nr. 34, Skov & Landskab, Hørsholm, side 31-60.
- Jacobsen, B.H. (2000). Vandmiljøplan II – Økonomisk midtvejsevaluering. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, December 2000. 78 s.
- Larsen, P.H. & Johannsen, V.K. (2002). Skove og Plantager 2000. Danmarks Statistik, Skov & Landskab, Skov- og Naturstyrelsen ISBN 87-501-1287-2, 171 sider.
- Miljøministeriet, (2002). Danmarks nationale skovprogram, <http://www.sns.dk/udgivelser/2002/87-7279-452-6/default.htm>.
- Pedersen, L.B., Riis-Nielsen, T., Ravn, H.P., Dreyer, T., Krag, M., Nielsen, A.O., Matkowski, A. & Sunde, P.B. (2000b). Alternativer til pesticidsprøjtning i skovkulturer. SKOVEN 8/2000: 355-359.
- Riis-Nielsen, T., Pedersen, L.B., Ravn, H.P. & Dreyer, T. (2001). Naturindhold og udvaskning i juletræ- og løvtrækulturer ved traditionel pesticidbehandling og alternative behandlingsstrategier. Intern rapport *Skov & Landskab* (FSL), 33 sider.
- Skov- og Naturstyrelsen, (1999). 'Planlægning af skovrejsning i regionplaner' <http://www.sns.dk/skov/vejplanl.htm>
- Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske institut (2002). Landbrugsregnskabsstatistik 2001. Serie A nr. 86. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

Table 53. Effektvurdering af skovrejsning. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. gødsning til gældende norm	Reduktion af nitrat-udvaskning v. gødsning til gældende norm	Reduktion af ammoniak-emission v. gødsning til gældende norm	Effekt på udbytterne og kvaliteten	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorizont for ca 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr/ha	Kr/ha	Ar
Skovrejsning på landbrugsjord		4.500 ha/år ¹		54 ²	3-5 ³		1.200 ⁴	ej relevant, her regnes med en årlig implem. Se ¹

- Den årlige tilplantning, hvis skovarealet skal fordobles i dette århundrede. Den forventede årlige tilplantning med de midler der de senere år har været afsat er 2.500 ha/år, se tekst.
- Den vurderede langsigtede effekt (se tekst).
- Vurderet pba. standardemissionsværdier for gødede arealer (Andersen et al., 1999), der udtages ved skovrejsning.
- Statslige omkostninger, baseret på den økonomiske midtvejsevaluering af VMPII (Jacobsen, 2000). Etableringsomkostninger og vedligehold første 10 år kan være fra 0-60.000 kr/ha afhængig af kulturtype.

4.2.5. Dyrkning af flerårige non-food afgrøder

Uffe Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

For at opfylde energi- og CO₂-målsætninger i Energi 21 og i Kyoto-aftalen har Danmark udbygget kraftigt med biomasseudnyttelse til energi. Indtil videre har det været muligt at udnytte eksisterende biomasseressourcer såsom træflis og halm. Sidstnævnte udnyttelse sker ifølge Biomasseaftalen, som forventes fuldt implementeret i år 2005. Det er ikke sandsynligt, at det herefter vil være rentabelt med væsentligt øget udnyttelse af halm, og en analyse af kulstofbalancer i markbruget har også stillet spørgsmålstegn ved, om større udnyttelse er bæredygtigt (Christensen, 2002).

Europas træressourcer er under stigende udnyttelse, og en analyse af den forventede fremtidige produktion og forbrug antyder, at en mangelsituation med stigende priser kan imødeses indenfor en kort tidshorizont (Dielen et al., 2000). Det er en del af baggrunden for, at virksomheden Novopan på Djursland satser på at starte en kontraktavl af pil med lokale landmænd med et mål om plantning af 100 ha i 2003 og 1600 ha i alt. Foreløbigt er kun etableret ca. 900 ha flerårige non-food afgrøder i Danmark.

I Energi 21's scenarier er indlagt et bidrag på 45 PJ fra energiafgrøder, hvilket svarer til dyrkning på 2-300.000 ha. Som en del af Energi 21 gennemførte regeringen et energiafgrødeprogram, der gennemgik muligheder og begrænsninger for en række mulige afgrøder (Gylling, 2001). Det konkluderedes, at pil og energikorn forholdsvis let vil kunne dyrkes, høstes og fyres med kendt teknologi. Energikorn (fx triticale) er nemmest for landmanden at inddrage i sit sædskifte og vil kunne dyrkes med reduceret N-tilførsel. Størst reduktion i udvaskningen kan dog forventes med flerårige energiafgrøder, som tillige synes at kunne udnytte organiske gødninger uden øget udvaskning sammenlignet med handelsgødskning (Gylling, 2001).

Pil er blevet udviklet som landbrugsafgrøde i Sverige igennem flere årtier, og der dyrkes knap 20.000 ha pil i Sverige. Der har været skuffende lave udbytter i en periode bl.a. pga. høje tilskud til etablering og ringe incitament til driftsøkonomisk optimering. I løbet af de seneste 5-10 år er der efter et omfattende forædlingsprogram i Svalöf Weibull blevet markedsført nye kloner med rustresistens og et udbytte på op til 63% over referenceklonen (www.agrobransle.se).

Elefantgræs er en anden mulig flerårig energiafgrøde i Danmark. Ved DJF er gennemført forsøg siden 1983, og marken fra 1983 følges stadig. Bortset fra et mindre demonstrationsprojekt på Samsø er der dog endnu ikke erfaringer med elefantgræs i kommerciel skala, og der er stadig behov for optimering af plantemetoden (Jørgensen, 2003). Til gengæld er høst og lagring af elefantgræs forholdsvis nem og kan ske med eksisterende maskiner (Kristensen, 2001).

Flerårige energiafgrøder forventes pga. fraværet af jordbearbejdning at bidrage til kulstofop-hobning i jorden. Sammen med en lav lattergasemission bidrager det til, at der ved dyrkning af en given energimængde i flerårige energiafgrøder kan forventes opnået en betydeligt større drivhusgasfortrængning end ved dyrkning af samme energimængde i energikorn (Olesen et al., 2001).

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Ved etablering af flerårige energiafgrøder på intensiv agerjord sker en betydelig nitratudvaskning i 1-2 år (Mortensen et al., 1998), hvilket er parallelt til ved skovrejsning på landbrugsjord (se afsnittet om skovrejsning). Det er dog muligt at begrænse udvaskningen ved brug af dækafgrøder mellem rækkerne (Jørgensen, 2003). Efter etableringsperioden er der målt meget lav udvaskning fra pil og elefantgræs, oftest mellem 1 og 15 kg N/ha (Jørgensen & Mortensen, 2000). En vurdering af den gennemsnitlige udvaskning på sandjord over en 20-årig rotation, hvilket forventes at være økonomisk fornuftigt, er på 15-30 kg N/ha ved gødskning efter normen med 75 kg N/ha (Jørgensen & Mortensen, 1997).

Effekten på kvælstoftabet fra et areal ved omlægning til flerårige energiafgrøder afhænger af, hvilken driftstype udtagningen erstatter. Non-food afgrøder må dyrkes på brakarealer og kan således erstatte rotationsbrak, der antages at have en udvaskning på 40-60 kg N/ha (Waagepetersen, 1992; Iversen et al., 1998). Non-food afgrøder som erstatning for rotationsbrak vil således reducere udvaskningen med 10-45 kg N/ha. Ved erstatning af flerårig brak (5-20 årig udtagning), som forventes at have en udvaskning på 10-20 kg N/ha (Waagepetersen, 1992; Grant, 2002), vil udvaskningen kunne øges med op til 20 kg N/ha.

Flerårige non-food afgrøder kan også erstatte jord i almindelig omdrift. I EU's landbrugspolitiske plan for de kommende år, Agenda 2000, lægges der op til, at non-food afgrøder kan dyrkes på lige fod (samme arealtilskud) med reformafgrøder. Det forventes, at den gennemsnitlige udvaskning fra et omdriftsareal ved fuldt implementeret VMP II vil være 66 kg N/ha (se metodeafsnit). Baseret på Børgesen et al. (1997) vurderes den gennemsnitlige udvaskning på sandjord da at være ca. 76 kg N/ha. Dyrkning af non-food afgrøder på gennemsnitlig omdrifts jord på sand vil således reducere udvaskningen med 46-61 kg N/ha.

Pil og elefantgræs har en N-norm på 75 kg N/ha og kan gødes udelukkende med husdyrgødning, hvorfor det vil være relevant at forvente fortrængning af en gennemsnitlig omdrifts jord og ikke primært af et handelsgødet areal (se diskussion i afsnittet om udtagning).

Ved erstatning af brak med flerårige non-food afgrøder forventes tilført ca. 107 kg total-N = 75 udnytteligt N i husdyrgødning ved en udnyttelsesprocent på 70. Ved udbringning af de 107 kg N i husdyrgødning forventes ca. 11 kg at fordampe ved udbringning (Mette Hjorth Mikkelsen, personlig meddelelse baseret på Illerup et al., 2002). Hvis det antages, at dyrkning af non-food afgrøder på brakarealer medfører en øget husdyrproduktionen bør fordampningstabet i stald og lager også medregnes – i alt øges ammoniakfordampningen dermed med ca. 28

kg/ha. Hvis det antages, at dyrkningen ikke ændrer omfanget af husdyrgødningproduktionen, vil den dog heller ikke medføre en ændring af den samlede ammoniakemission. Det er uvist, om der kan forventes en ændring i fordampning fra plantedækket ved erstatningen.

Ved erstatning af et gennemsnitligt omdriftsareal med dyrkning af flerårige energiafgrøder antages erstattet et gødningsniveau på 140 kg N/ha, som antages at have været tilført som 65 kg N i handelsgødning og 75 kg udnytteligt N i husdyrgødning. Ved erstatningen undlades gødsning med 65 kg N i handelsgødning, hvorved ammoniakfordampningen vil reduceres med 1,4 kg N/ha under antagelse af, at 2,2 % af tilførslen fordamper (Illerup et al., 2002). Det er uvist, om der kan forventes en ændring i ammoniakfordampning fra plantedækket ved erstatningen.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Ikke relevant

Omkostninger og gevinster ved udnyttelse

Der er gennemført en række analyser af økonomien i dyrkning af flerårige non-food afgrøder (Parsby & Rosenqvist, 1999; Gylling, 2001; Graversen & Gylling, 2002). Der endnu findes endnu kun få fuldskala erfaringer, ligesom produktions-, høst- og håndteringsteknik stadig er under udvikling. Det er derfor vanskeligt at give en præcis vurdering af økonomien. Samtidig er det stadig usikkert, præcist hvorledes non-food afgrøder ender med at blive stillet i den fremtidige landbrugspolitik, som følge af den reform, som er vedtaget i juni 2003. Ifølge reformteksten (se <http://register.consilium.eu.int/pdf/dk/03/st10/st10961da03.pdf>) kan non-food afgrøder stadig dyrkes på brakarealer, og der er samtidig vedtaget et særligt 'Kyoto-tilskud' til energiafgrøder på 45 €, men kun når energiafgrøder dyrkes på ikke braklagt areal.

I en konservativ analyse vurderer Gylling (2001), at pil på sandjord giver et bedre dækningsbidrag end vårbyg, men dog stadig mindre end arealtilskuddet. Det betyder, at det vil være en underskudsforretning for landmanden at dyrke pil på brakarealer. Ved anvendelse af de seneste erfaringer indenfor dyrkningsteknik og indførelse af nye højtydende kloner i forbindelse med dyrkning af pil til Novopan på Djursland vurderer FØI og Landscenteret, at der kan opnås et dækningsbidrag *før arealtilskud* på 1269 kr/ha ved samme råvarepris (32 kr/GJ), som i Gylling (2001) (Irene Wiborg, personlig meddelelse). Det vurderes på baggrund heraf, at omkostningen ved dyrkning af flerårige energiafgrøder kan ligge på +/- 1000 kr/ha afhængig af driftsledelse, dyrkningsteknik og klonvalg.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Flerårige non-food afgrøder har formodentlig størst konkurrenceevne overfor almindelige landbrugsafgrøder på sandjord (Gylling, 2001), hvor der også er den største nitratudvaskning fra omdriftsarealer. Der er således i tabellen anført en omlægning af 5% af sandjordsarealet svarende til ca. 81.000 ha. I tilfælde af, at brakordningen fortsætter, kan det dog også være relevant at dyrke flerårige non-food afgrøder på bedre jorder. Pil gror bedst på fugtige lav-

bundsjord, bedre sandjord eller på lerjord, mens elefantgræs også kan dyrkes på grovsandede jord.

Tidshorizont for implementering

Som anført i rapporten fra Energiafgrødeprogrammet (Gylling, 2001) er der nu behov for demonstrationsprojekter i en større skala (500-1000 ha) for at kunne videreudvikle dyrkningsteknik, høst og håndtering. Samtidigt viser svenske erfaringer, at det er en længere proces at lære landmændene at dyrke en helt ny afgrøde (Venendaal et al., 1997). Det vurderes derfor, at selv med en ambitiøs handlingsplan for implementering af flerårige non-food afgrøder vil det tage 10-15 år at etablere 50% af de 81.000 ha.

Barrierer for implementering

- Den permanente karakter af tiltaget, som indskrænker landmandens fleksibilitet i sædskiftet.
- Biomasseforbrænding giver ifølge regeringens beregninger ikke den billigste CO₂-fortrængning sammenlignet med internationale muligheder for kvotekøb. I de gennemførte beregninger er dog ikke medregnet værdien af mulige reduktioner i drivhusgasemission som følge af kulstoflagring i jord ved dyrkning af flerårige energiafgrøder og en mulig reduktion i lattergasemissionen ved omlægning af omdrifts jord.
- Pil høstes med 3-4 års interval og opnår en betydelig størrelse, som gør at afgrøden har en landskabsmæssig indflydelse. Specielt i ådale kan det være et problem. Dyrkning af rørgræs med en højde på 1-1,5 m kan her være et alternativ.
- Mangel på signaler om, at energiafgrøder er ønskede i Danmark, og at der vil blive sikret langsigtet stabilitet har været en betydelig barriere (Jørgensen, 2000). Der har således ikke været tilskyndelse til at etablere en 20-årig afgrøde, som var direkte afhængig af en usikker brakordning. I England og Sverige er flerårige energiafgrøder inkluderet i landbrugspolitikken for at fremme deres etablering.

Referencer

- Børgesen, C.D., Kyllingsbæk, A. & Djurhuus, J. (1997). Modelberegnet kvælstofudvaskning fra landbruget. SP rapport nr. 19, 66 pp.
- Christensen, B.T. (red.), (2002). Biomasseudtag til energiformål – konsekvenser for jordens kulstofbalance i land- og skovbrug. DJF-rapport - Markbrug 72, 75 pp.
- Dielen, L.J.M., Guegan, S., Lacour, P-A-, Mäki, P.K., Stolp, J.A.N. & Rytkönen, A. (2000). EU energy policy impacts on the forest-based industry. Report from AFOCEL to the European Commission, 152 pp.
- Grant, R. (2002). Genberegning af effekten af Vandmiljøplan I og II. Teknisk notat, Danmarks Miljøundersøgelser, 15 pp.
- Graversen, J. & Gylling, M. (2002). Energiafgrøder til fastbrændselsformål – produktionsøkonomi, håndteringsomkostninger og leveringsplaner. FØI, Working Paper 7/02, 44 pp.
- Gylling, M. (2001). Energiafgrødeprogrammet – hovedrapport. FØI, Rapport nr. 131, 78 pp.

- Illerup, J.B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkærne, S., Bruun, H.G. & Fenhann, J. (2002). Projection Models 2010. Danish Emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. NERI technical report no. 414. National Environmental Research Institute, 192 pp.
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skoop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffman, C.C., Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D. & Kristensen, V.F. (1998). Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, 44 pp.
- Jørgensen, U. (2000). Fra Energi 21 til Jens Hansens bondegård. Dansk Bioenergi 54, 6-8.
- Jørgensen, U. (2003). Combined production of biomass for energy and clean drinking water - A miscanthus demonstration project on the 'Renewable Energy Island' Samsø. In: (Jørgensen, U. & Verwijst, T. eds.) Proceedings of the IEA Bioenergy Task 30 meeting in Foulum, Denmark 22-25 September 2001. DIAS Report, Plant Production 86, 35-40.
- Jørgensen, U. & Mortensen, J. (1997). Perennial crops for fibre and energy use as a tool for fulfilling the Danish strategies on improving surface and ground water quality. In: Olesen, S.E. (ed). Proceedings of the NJF-seminar Alternative Use of Agricultural Land. SP-report 18, 12-21
- Jørgensen, U. & Mortensen, J. (2000). Kombination af energiafgrødeproduktion og grundvandsbeskyttelse. Seminar 12. marts 1999 i Foulum. I: Jørgensen, U. (red.). Har energiafgrøder en fremtid i Danmark? DJF rapport, Markbrug nr. 29, 97-104.
- Kristensen, E.F. (2001). Teknik til høst af miscanthus (elefantgræs). DJF rapport - Markbrug, 55, 46 pp.
- Mortensen, J.V., Nielsen, K.H. & Jørgensen, U. (1998). Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilisation levels. Biomass and Bioenergy 15(6), 457-466.
- Olesen, J.E., Andersen, J.M., Jacobsen, B.H., Hvelplund, T., Jørgensen, U., Schou, J.S., Gravensen, J., Dalgaard, T. & Fenhann, J. (2001). Kvantificering af tre tiltag til reduktion af landbrugets udledning af drivhusgasser. DJF rapport, Markbrug nr. 48, 81 pp.
- Parsby, M. & Rosenqvist, H., (1999). Energiafgrødernes produktionsøkonomi – med særlig fokus på pil. SJFI, Working Paper 3/1999, 94 pp.
- Venendaal, R., Jørgensen, U. & Foster, C.A. (1997). European energy crops: A synthesis. Biomass and Bioenergy 13 (3), 147-185 pp.
- Waagepetersen, J. (1992). Braklægningens betydning for N-udvaskning fra landbrugsarealer. Statens Planteavlsvforsøg, Beretning nr. S 2224, 37-44.

Table 54. Effektvurdering af flerårige non-food afgrøder. Værdierne er vurderet på basis af gødningsregler m.m. ved fuldt implementeret VMPII og ved gældende prisniveau i år 2003.

Beskrivelse af tiltag	Hvor er tiltaget relevant	Areal hvor tiltaget kan implementeres	Øget N-udnyttelse v. gødsning til gældende N-norm	Reduktion af nitratudvaskning v. gødsning til gældende N-norm	Reduktion af ammoniak-emission v. gødsning til gældende N-norm	Effekt på udbytte og kvalitet	Omkostning ved impl. af tiltag	Tidshorisont for ca 50% implementering
		Ha	Kg N/ha	Kg N/ha	Kg N/ha	hkg/kr /ha	Kr/ha	År
Dyrkning af flerårige non-food afgrøder	5% af sandjordsarealet	81.000	-	-20-5 ¹ 10-45 ² 46-61 ³	0 ⁴ 0 ⁴ 1,4	-	-1000-600 -1000-600 +/-1000	10-15 år

- 1) Ved erstatning af flerårig græsbrak med udvaskning på 10-20 kg N/ha
- 2) Ved erstatning af rotationsbrak med udvaskning på 40-60 kg N/ha
- 3) Ved erstatning af gennemsnitligt omdriftsareal på sandjord med udvaskning på 76 kg N/ha
- 4) Under antagelse af, at tiltaget ikke ændrer omfanget af husdyrgødningsproduktionen

4.3. Ændringer i regelsættet for gødskning, harmoni m.m.

4.3.1. Gødningsnormer, krav til udnyttelse af N i husdyrgødning og harmonikrav

Jens Petersen og Peter Sørensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Beskrivelse af tiltaget

Generelle reguleringer vedrørende N-normer, udnyttelse af N i husdyrgødning og harmoni mellem husdyrproduktion og jordtilliggende blev implementeret under VMP I og ”Handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget”, og under VMP II blev der foretaget en skærpelse af disse reguleringer. Reguleringerne af N-normer og krav til udnyttelse af N i husdyrgødning er for 2003 udmøntet i Plantedirektoratets bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2002/2003 (BEK nr. 609 af 18 juli 2002), mens kravet om harmoni mellem udbragt husdyrgødning og areal er reguleret i Fødevarerministeriets bekendtgørelse om husdyrhold og arealkrav m.v. (BEK nr. 824 af 2 oktober 2002). Her vurderes det, hvilke effekter en *yderligere* skærpelse af disse regler vil have. Indledningsvis bestemmes det, hvilken effekt hvert af de tre tiltag vil have på forbruget af handelsgødning på landsplan.

N-normer

Til vurdering af effekten af ændrede N-normer kræves fastlæggelse af afgrødernes samlede N-norm behov (N-kvote). Dette kan ske på grundlag af gødningsregnskaber for 2000 (metode 1, se tekstboks), hvor VMP II ikke er fuldt implementeret, eller ved fremskrivning af fuldt implementeret VMP II (metode 2). Da det er usikkert i hvilket omfang fuld implementering af VMP II vil have på gødningsregnskaberne efter 2002, benyttes i det følgende den samlede N-norm bestemt ved metode 2. For sæsonen 2003 er den på landsplan samlede N-norm således bestemt til 347.000 ton N.

Ved fuldt implementeret VMP II, hvor N-normen er 90% af afgrødens økonomisk optimale behov, og der samtidig skal realiseres en høj udnyttelse af husdyrgødningen, regnes der med, at *yderligere* stramning i N-normen vil slå igennem i forbruget af handelsgødning i forholdet 1:1. Ved uændret sædskifte og ved 90% af optimalt gødningsniveau samt ved anvendelse af de 347.000 ton N, vil forbruget af handelsgødning reduceres med 38.500 ton N ($347.000/0.9*10\%$) ved en *yderligere* reduktion af N-normen med 10%-point. Dette er samme størrelsesorden som ved vurderinger forud for VMP II (Iversen et al., 1998).

Boks 1. Metoder til bestemmelse af afgrødernes N-behov på landsplan

Metode 1:

Behovet for kvælstof er, efter implementering af 90% normer, på landsplan opgjort til 373.000 ton N i 1999/2000 (Anonym, 2002). Dette er baseret på bedriftenes indberetninger af gødningsregnskaber til Plantedirektoratet, og skal derfor korrigeres for N-prognosen og eftervirkningen af husdyrgødning, som i 2000 var henholdsvis -7.500 (Østergaard & Knudsen, 2002) og $+21.000$ ton N, hvorved det normaliserede N-behov kan beregnes til 386.500 ton N (G. Blicher-Mathiasen og L. Knudsen, pers. komm.). Det forventes, at afgrødernes samlede N-behov vil være mindre efter fuld implementering af VMP II, idet mulighederne for individuel vurdering af græsmarkernes N-behov er strammet med virkning fra 2002. Det bemærkes, N-kvoten på 373.000 ton N blev ikke udnyttet fuldt ud i 2000, idet den tilførte mængde effektivt kvælstof blev opgjort til 333.000 ton (Anonym, 2002).

Metode 2:

Tages der, som i VMP II-arbejdet, udgangspunkt i de enkelte afgrøders N-behov vægtet efter deres fordeling jf. Danmarks Statistik, findes der efter implementering af reglen om gødskning til 90% af afgrødernes N-norm (årene 1999-2002) på landsplan et gennemsnitlig N-behov på 347.000 ton N (G. Blicher-Mathiasen og L. Knudsen, pers. komm.). Der har i perioden kun været små udsving i landbrugsarealets størrelse og arealanvendelse, og etablering af vådområder og skovrejsning i 2003 forventes ikke at påvirke behovet væsentligt i forhold til de betragtninger, der skal gøres her.

Krav til udnyttelse af N i husdyrgødning

Til vurdering af en skærpelse af dette tiltag tages der udgangspunkt i den samlede mængde N i husdyrgødning og et estimat for forbruget af handelsgødning i 2003 (Tabel 55). I forbindelse med beregninger af ammoniakemissionen fra landbruget foretager Illerup et al. (2003) på grundlag af normtallene i Poulsen et al. (2001) en fremskrivning af husdyrproduktionen og for 2003 estimeres 236.000 ton N i husdyrgødning ab lager (Mikkelsen, pers. komm.), hvilket er samstemmende med Andersen & Poulsen (2001), der beregner 197.000 ton N i husdyrgødning ab lager plus en afsætning på 32.000 ton N ab dyr på græs. Knudsen (2003) har opgjort forbruget af N i handelsgødning i 2001/02 til 210.800 ton. I samme dyrkningssæson viste kvælstofprognosen et mer-behov på 9.000 ton N (Østergaard & Knudsen, 2002), og forbruget af N i handelsgødning i et normalår kan derfor beregnes til 202.000 ton N. Herfra skal desuden trækkes effekten af stramning på 5%-point i kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning fra 2002 til 2003, som antages at slå fuldt igennem på forbruget af handelsgødning. Denne stramning vil reducere det forventende forbrug af N i handelsgødning med $236.000 \times 5\% \text{-point} = 11.800$ ton N ved fuld implementering af VMP II til 190.000 ton N. Tilsvarende er der i beregninger i Tabel 55 antaget, at øget udnyttelse af N i husdyrgødning vil fortrænge handelsgødning i forholdet 1:1 ved *yderligere* skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning. Herved vil en skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning på 10 og 20%-point reducere forbruget af N i handelsgødning til henholdsvis 166.400 og 142.800 ton N.

Samspil mellem N-normer og krav til udnyttelse af N i husdyrgødning

Effekten af skærpede N-normer og øgede krav til udnyttelse af N i husdyrgødning på forbruget af handelsgødning vurderes at være additiv, og den samlede udbragte N-mængde for et vilkårligt niveau af de to tiltag kan beregnes med nedenstående formel:

$$\begin{aligned} \text{N-udbragt} = & \text{Forbruget af N i handelsgødning} \\ & - (\text{Mængden af N i husdyrgødning}) \times X/100 \\ & - (\text{Afgroernes N behov ved økonomisk optimal gødsning}) \times Y/100 \\ & + \text{Mængden af N i husdyrgødning} \end{aligned}$$

Ved indsætning af værdier (1.000 ton N) kan formlen for 2003 skrives som:

$$\text{N-udbragt} = 190 - 236 \times X/100 - (347/0.9) \times Y/100 + 236$$

Hvor X er procent-point *yderligere* stramning i kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning, mens Y er procent-point *yderligere* stramning af N-normen, begge i forhold til gældende regler. Ved division med det samlede landbrugsareal på 2.7 mio. ha (Pedersen, 2002) kan gødningsmængden beregnes på hektar-basis.

Harmonikrav

I modsætning til N-normer og krav til udnyttelse af N i husdyrgødning påvirker en skærpelse af harmonikravet hverken afgroernes samlede N-behov eller det samlede forbrug af handelsgødning. Harmonikravet påvirker alene tildeling af husdyrgødning og relaterer sig grundlæggende til forholdet mellem antallet af dyr, ikraft af den producerede mængde husdyrgødning, og areal.

Da reglerne vedr. krav til harmoni er baseret på et gennemsnit for bedriften, er det ikke klart, om en skærpelse af harmonikravet vil påvirke den udbragte mængde husdyrgødning pr. hektar på den enkelte mark. En mulighed er, at skærpelse af harmonikravet vil medføre, at husdyrgødningen ikke tilføres de samme arealer hvert år, men følger bestemte afgrøder i sædskiftet. Herved kan husdyrgødningen tilføres de afgrøder, hvor der opnås den bedste gødningsvirkning, frem for at alle afgrøder tildeles husdyrgødning.

Medfører en skærpelse af harmonikravet behov for tilpasning af bedriften, enten ved en udvidelse af jordtilliggende eller ved en reduktion af besætningens størrelse, vil den miljømæssige effekt i høj grad være bestemt af bedriftens muligheder for tilpasning i forhold til landbrugsstrukturen i lokalområdet. Dette betyder samtidig, at det ikke er tilstrækkeligt blot at vurdere effekten af skærpede harmonikrav på bedriftsniveau.

Table 55. Kvælstof til rådighed i 2003 ved stigende krav til udnyttelse af N i husdyrgødning ved uændret arealanvendelse.

	Ton N	Ton N (2003)	Ton N ved +10%-point øget udnyttelse af N i husdyrgødning	Ton N ved +20%-point øget udnyttelse af N i husdyrgødning
Total-N i husdyrgødning ab lager 2003 (Illerup et al., 2002)		236.000	236.000	236.000
Forbrug af N i handelsgødning 2001/02 (Knudsen, 2003)	210.800			
Fratrukket øget forbrug i 2002 pga. af N-prognose (Østergaard & Knudsen, 2002)	-9.000			
Stramninger på 5%-point i udnyttelsen af husdyrgødning fra 2002 til 2003 jf. fuld implementering af VMP II antages, at reducere handelsgødningsforbruget med samme mængde (5% af 236.000)	-11.800			
Forventet forbrug af N i handelsgødning 2003 ved fuld implementering af VMP II	= →	190.000		
Tiltag, hvor krav til udnyttelse af N i husdyrgødningen strammes <i>yderligere</i> 10%-point i forhold til VMP II	-23.600			
Forventet forbrug af handelsgødning ved tiltag (+10%-point) i forhold til VMP II	= →		166.400	
Tiltag, hvor krav til udnyttelse af N i husdyrgødningen strammes <i>yderligere</i> 10%-point, i alt 20%-point i forhold til VMP II	-23.600			
Forventet forbrug af handelsgødning ved tiltag (+20%-point) i forhold til VMP II	= →			142.800
Samlet N-mængde (total-N) til udbringning ved 90% N-norm		426.000	402.400	378.800
Gennemsnitlig N-tilførsel [kg total-N/ha]		158	149	140

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

Ammoniakfordampning

Det forventes, at ammoniakfordampningen fra husdyrgødning vil reduceres, idet reducerede N-normer og skærpede krav til udnyttelse af N i husdyrgødning vil give incitament til en ændret adfærd, hvor der sker en frivillig implementering af tidligere beskrevne enkelttiltag (jf. afsnit 4.1.2.) f.eks. øget omfang af direkte nedfældning af gylle. Effekt af de enkelte tiltag på ammoniakfordampningen fremgår af beskrivelserne, mens den samlede effekt på ammoniakfordampningen afhænger af omfang og udbredelse af tiltagene. Det vurderes, at alene en skærpelse af harmonikravet ikke vil give incitament til frivillig implementering af tiltag vedrørende håndtering af husdyrgødningen, der vil påvirke ammoniakfordampningen.

Medfører en skærpelse af de tre generelle reguleringer derimod ingen adfærdsændringer men alene, at husdyrgødningen fordeles på et større areal, vil den samlede ammoniakfordampning fra husdyrgødningen ikke ændres, da faktorerne for ammoniakemission udtrykkes som en procentdel af tilført N jf. Andersen et al. (1999). Derimod vil ammoniakemissionen reduceres proportionalt med reduktionen i handelsgødningsforbruget, idet 2,2% af N-indholdet i handelsgødningen ville være fordampet som ammoniak (Illerup et al., 2002). Fortrænges 38.500 ton N i handelsgødning ved en reduktion af N-normerne med 10%-point vil det reducere ammoniakemissionen med 850 ton N, mens fortrængning af 23.600 ton N i handelsgødning ved skærpelsen af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning med 10%-point vil give en reduktion i ammoniakemissionen på 520 ton N. Da skærpelse af harmonikravet ikke fortrænger N i handelsgødning vil dette tiltag ikke påvirke ammoniakemissionen.

Kvælstofudvaskning

I de følgende afsnit illustreres effekten af tiltag vedrørende N-normer og krav til udnyttelse af N i husdyrgødning på to niveauer for at vise, at effekten af tiltagene på N-udvaskningen ikke er lineær. Det kan diskuteres, hvorvidt de valgte niveauer for tiltag er realistiske. En sådan diskussion foretages ikke her, hvor der blot vurderes hvilke effekter tiltagene vil have. Effekten af skærpede harmonikrav illustreres ved to eksempler.

N-normer

I kornrige sædskifter gødet med handelsgødning har Petersen & Djurhuus (2004) foretaget en sammenstilling af resultater fra udvaskningsforsøg ved Danmarks JordbrugsForskning, med henblik på at vurdere hvorledes posterne i N-balancen ændres ved ændret N-tilførsel. For kornafgrøder omkring et normalt N-gødskningsniveau ændres N-udvaskningen med 0,25-0,35 kg N pr. kg tilført N (se figur 5 i afsnit om Rammebetingelser), mens N-optagelsen i kerne plus halm ændres med 0,60 kg N pr. kg tilført N (se figur 4 i afsnittet om Rammebetingelser). Således kan der redegøres for 85-90% af ændringen i N-tilførslen, og der resterer kun 10-15% til ændring i N-balancens øvrige poster: N-denitrifikation og N-tab fra afgrøden, samt ændring i jordens N-pulje. Særlig interesse knytter sig til ændringer i jordens N-pulje, som i langvarige forsøg med anvendelse af handelsgødning og fjernelse af halmen nedslides med

20-30 kg N/ha/år. Det vurderes, at denne generelle nedslidning ikke påvirkes målbart af ændringer i N-tilførslen i det interval, der diskuteres her. En reduktion i N-normen på 10 kg/ha vil således reducere afgrødens N-optagelse med 6 kg/ha og N-udvaskningen med 2,5-3,5 kg N/ha. Da ændringen i N-udvaskningen ikke er lineær, vil effekten af reducerede N-normer på N-udvaskningen reduceres ved lavere gødskningsniveau.

Det vurderes, at stramminger i N-normen vil give en anden fordeling af husdyrgødningen, men at denne ændring i fordelingen samlet set vil være neutral mht. udvaskning af N fra husdyrgødningen. Dette skyldes, at en mindre udvaskning fra et areal vil modvirkes af øget udvaskning fra andre arealer. Effekten af skærpede N-normer på N-udvaskningen beregnes derfor på grundlag af den mængde handelsgødning, der fortrænges ved tiltaget.

Her benyttes faktorer på 0,3 for de første 10% reduktion i N-normen i forhold til VMP II's 90%-norm, og 0,27 for yderligere 10% reduktion (jf. figur 5 i afsnittet om Rammebetingelser). Disse er ikke væsentlig forskellig fra tidligere anvendte faktorer, idet der ved tilsvarende beregninger forud for VMP II anvendtes en faktor på 0,25 (Iversen et al., 1998), mens der ved genberegning af VMP I og VMP II angives, at udvaskningen reduceres med 27-34% af reduktionen i forbruget af handelsgødning (Grant, 2002).

Skærpelse af N-normen med 10%-point vil fortrænge 38.500 ton N, hvilket vil give en reduktion i N-udvaskningen på 11.550 ton N ($38.500 \text{ ton N} \times 0,3$) eller godt 4 kg N/ha. Det skønnes, at en *yderligere* reduktion i N-normen på 10%-point vil give en *yderligere* reduktion i N-udvaskningen på 10.400 ton N ($38.500 \text{ ton N} \times 0,27$). En skærpelse af N-normen med i alt 20%-point vil svare til en gennemsnitlig reduktion N-udvaskningen på i alt 8 kg N/ha.

Effekten på udvaskningen ved reducerede N-normer er her estimeret på grundlag af handelsgødningsforbruget. Dette forbrug kan imidlertid påvirkes af afgrødevalget, idet N-normen for bælglplanter er nul. Der kan tænkes to modsatrettede scenarier for udviklingen i brugen af bælglplanter ved reducerede N-normer. På planteavlbrug kan kvælstoffikserende bælglplanter benyttes til at skaffe mere N med henblik på opretholdelse af produktionen. På kvægbrug, der benytter bælglplanter i kløvergræsblandinger, kan N-normen blive for lav og dermed begrænse mulighederne for udbringning af husdyrgødning. Overgang til rene græsblandinger vil øge afgrødens N-norm, hvorved der bliver plads til husdyrgødningen. Denne problematik fremgår af ulighed (2) senere i dette afsnit. Den gennemsnitlige effekt på N-udvaskningen ved ændringer i afgrødevalget som følge af reducerede N-normer anses imidlertid for at være beskedent, men kan være af lokal/regional betydning.

Krav til udnyttelse af N i husdyrgødning

Da mængden af N på landsplan for tiden stort set er den samme i både husdyrgødning og handelsgødning, vil en skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning på et givet antal procentpoint kun have omkring den halve effekt i forhold til reduktion af N-normerne med samme antal procentpoint. Således vil stramning af krav til udnyttelse af N i husdyrgødning

med 20%-point have ca. samme gennemsnitlige effekt på N-udvaskning og N-udnyttelse som reduktion af N-normen med 10%-point. Foretages tilsvarende betragtninger som for reducerede N-normer, vil fortrængning af 23.600 ton N ved 10%-point forøgelse i kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning give en reduktion i udvaskningen på 7.100 ton N eller omkring 2,5 kg N/ha ($23.600 \text{ kg N} \times 0,3 / 2,7 \text{ mio. ha}$). Det skønnes, at *yderligere* forøgelse i kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning på 10%-point vil give en *yderligere* reduktion i N-udvaskningen på 6.375 ton N ($23.600 \times 0,27$) for forøgelse i kravet fra 10 til 20%-point svarende til i alt 5 kg N/ha. I modsætning til en normreduktion, der vil påvirke alle brugstyper, vil krav om øget udnyttelse af N i husdyrgødning kun påvirke brug, hvor der anvendes husdyrgødning.

Med hensyn til udnyttelse af N i husdyrgødning kan kravet til værdien af N i husdyrgødningen vurderes på grundlag af værdital for kvælstof i husdyrgødning opnået i forsøg (f.eks. Birkmose, 2001). Ved bedste udbringningsmetode (direkte nedfældning af gylle) blev der i årene 1989-2001 i vinterhvede og vårbyg opnået gennemsnitlige værdital i intervallerne 57-89 henholdsvis 69-72 (Birkmose, 2001). Der er her ikke vurderet hvilken effekt øget foderudnyttelse vil have på andelen af ammonium-N i gylle og dermed på hvilket værdital der kan opnås, men øget foderudnyttelse kan reducere værdien af gylle som næringsstofkilde, hvilket kan begrunde en lempelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning. Reduceret proteinniveau i svinefoder som følge af optimeret aminosyresammensætning i foderet medfører en lavere mængde udskilt N i husdyrgødningen pr dyr. Den ændrede gødningssammensætning som følge af reduceret protein indhold synes dog at have minimal indflydelse på svinegyllens kvælstofvirkning (Sørensen & Fernandez, 2003). Derimod medfører øget indhold af fibre med lav forgærlighed (halm) i foderet en reduceret tilgængelighed af kvælstof i svinegylle (Sørensen & Fernandez, 2003). Kvælstofvirkningen af kvæggylle falder både ved faldende indhold af protein og stigende indhold af træstof i foderet (Sørensen et al., 2003).

Harmonikrav

Effekten af dette tiltag belyses med to eksempler. Det første antager, at der er tilstrækkeligt areal til rådighed for fordelingen af husdyrgødningen, mens det andet eksempel antager en reduktion i husdyrgødningsproduktionen til opfyldelse af harmonikravet.

Ved tilstrækkeligt areal, f.eks. ved mulighed for eksport af husdyrgødning til nabobedrifter, kan man forestille sig en hektar gødet med x kg total-N i husdyrgødning og en hektar gødet med y kg N i handelsgødning. Alternativt kunne hver af de to hektar tildeles $x/2 + y/2$ i husdyr- og handelsgødning. Der haves ikke forsøgsmæssigt grundlag for at vurdere, hvorledes den gennemsnitlige udvaskning for denne ligelige fordeling vil være i forhold til en beregnet gennemsnitlig udvaskning for en hektar gødet med x kg total-N i husdyrgødning og en hektar gødet med y kg N i handelsgødning. De tildelte mængder, x og y , antages at være omkring normalgødningsniveauet, og der bortses fra over/undergødningsituationer.

I tilfælde af, at en skærpelse af harmonikravet vil medføre en reduktion i antallet af husdyr, enten i et lokalområde eller på landsplan, vil den udbragte mængde husdyrgødning pr. arealenhed også reduceres. For at kompensere for den reducerede N-tilførsel antages det, at forbruget af handelsgødning øges tilsvarende med henblik på opretholdelse af planteproduktionen. Krav om 70% udnyttelse af N i husdyrgødning betyder, at tilførslen af total-N ved anvendelse af husdyrgødning er større end ved anvendelse af handelsgødning. Effekten på N-udvaskningen ved reduktion af husdyrgødningsanvendelsen kan derfor beregnes på reduktionen i mer-tilførslen i forhold til handelsgødning. Skærpes harmonikravet f.eks. fra 1,4 DE/ha til 1,0 DE/ha á 100 kg N/DE kan gødningsvirkningen af 40 kg total-N i husdyrgødning erstattes af 28 kg N/ha i handelsgødning ($40 \text{ kg N/ha} \times 0,7$). Ved anvendelse af udvaskningsfaktoren jf. afsnittet om Rammebetingelser kan reduktionen i N-udvaskningen i dette eksempel derfor beregnes til $(40-28 \text{ kg N/ha}) \times 0,3 = 4 \text{ kg N/ha}$.

Hvilke effekter på udbytte og kvalitet kan forventes?

Effekten på udbyttet kan vurderes ved anvendelse af de i afsnittet om Rammebetingelser viste merudbyttefunktioner for stigende N-tilførsel. Beregningerne er således alene baseret på førsteårseffekten, jf. afsnittet om Rammebetingelser. Effekten af reduceret N-norm er angivet for vinterhvede og vårbyg i Tabel 56. I vårbyg antages merudbyttefunktionen ikke at være påvirket af forfrugten, mens dette er tilfældet for vinterhvede. Derfor er udbytteeffekten af reduceret N-norm i vinterhvede angivet ved to forskellige forfrugter (Tabel 56). Også mht. udbyttet vil en forøgelse i krav til udnyttelse af N i husdyrgødning på 20%-point have sammen gennemsnitlige effekt som en reduktion i N-normen på 10%-point. Der kan således forventes en gennemsnitlig udbyttereduktion på omkring 1 hkg/ha ved en forøgelse i kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning på 10%-point.

Tabel 56. Forventet gennemsnitlig udbyttetab for vinterhvede og vårbyg ved reduktion af N normer til 80 og 70% af det økonomisk optimale i forhold til den nuværende N norm på 90% af det økonomisk optimale, baseret på merudbyttefunktionerne for stigende N-tilførsel (Figur 2 og 3 i afsnit 2 om Rammebetingelser).

N-norm	Vinterhvede efter korn		Vinterhvede efter raps/ærter		Vårbyg	
	N-tilførsel [kg N/ha]	Ændring i udbytte i forhold til 90% norm [hkg/ha]	N-tilførsel [kg N/ha]	Ændring i udbytte i forhold til 90%norm [hkg/ha]	N-tilførsel [kg N/ha]	Ændring i udbytte i forhold til 90% norm [hkg/ha]
Økonomisk optimal (Knudsen & Østergaard, 2002)	189		150		130	
90% norm	170		135		117	
80% norm	151	-2.3	120	-1.9	104	-1.5
70% norm	132	-5.3	105	-4.2	91	-3.3

En reduktion i N-tilførslen på 10 kg N/ha vil desuden give en reduktion i kvælstofindholdet i kerne af korn på omkring 0.03-0.04 %-point, svarende til 0.18-0.25 %-point protein. Den økonomiske konsekvens af dette afhænger af afregningspriser, herunder prisen for indkøb af erstatningsprotein i foder.

Den udbyttedmæssige effekt af skærpede harmonikrav afhænger af udgangspunktet. Ved kombination af lige dele husdyr- og handelsgødning fandt Petersen (1996) en reduktion i udbyttet på 3-6 hkg/ha i forhold til anvendelse af hver gødningstype for sig. Dvs. anvendelse af enten den ene eller anden gødningstype gav højere udbytte end kombinationen, hvilket kan betegnes som en 'hængekøje'-effekt. Denne 'hængekøje' kunne også ses i resultaterne for N-optagelse, mens der kun var en svag 'hængekøje' med hensyn til proteinindholdet i kerne. Årsagen skal formentlig søges i forholdet mellem let tilgængeligt kvælstof i handelsgødningen og let tilgængeligt kulstof tilført som organisk stof med husdyrgødningen. Afhængig af de aktuelle betingelser kan der ved omsætning af det organiske stof i husdyrgødningen ske enten en immobilisering af handelsgødningskvælstoffet eller en denitrificering af handelsgødningskvælstoffet tilført som nitrat. De miljø- og produktionsmæssige effekter af kombineret anvendelse af husdyrgødning og handelsgødning har imidlertid ikke været genstand for stor forskningsmæssig bevågenhed.

Omkostninger og gevinster ved implementering af tiltag

Sættes afregningsprisen for korn til 80 kr/hkg, vil en yderligere reduktion i N-normen med 10%-point medføre et indkomstab på 120-180 kr/ha. Reduceres N-normen med 20%-point i

forhold til fuldt implementeret VMP II, vil indkomsttabet blive 260-420 kr/ha. Hertil kommer værdien af forringet kvalitet, som varierer mellem landsdele og år. Ved en gennemsnitlig reduktion i proteinprocenten på 0,5%-point, vurderer Jacobsen (2000), at kornprisen falder med 0,75 kr/hkg hvede og 0,50 kr/hkg byg. Den udbyttmæssige konsekvens er kun vurderet for to kornafgrøder, men til gengæld dækker disse halvdelen af de 2,3 mio. ha af landbrugsarealet, der er i omdrift (Pedersen, 2002).

I den økonomiske midtvejsevaluering af VMP II (Jacobsen, 2000) vurderedes den samlede omkostning for erhvervet ved den gennemførte normreduktion at være på 125 mio. kr. Dette var lavere end oprindeligt antaget i forbindelse med iværksættelsen af VMP II, idet det ved midtvejsevalueringen vurderedes, at ikke alle bedrifter ville blive ramt fuldt ud af reduktionen. En yderligere reduktion af N-normen med 10%-point kan forventes at ville ramme en langt større andel af bedrifterne, hvorved den samlede omkostning for erhvervet antages at kunne blive dobbelt så stor som ved VMP II.

Omkostningerne i forbindelse med reduktion af N-normerne knytter sig primært til indkomsttab, hvorimod omkostninger i forbindelse med både skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning og harmonikravet i højere grad betinges af øgede udgifter til håndtering af husdyrgødningen. Disse udgifter afhænger i høj grad af bedriftens aktuelle situation og hvilke valg, der træffes til at imødekomme de skærpede krav. Såfremt bedriften har tilstrækkelig jordtilliggende, vil tiltag, der medfører, at husdyrgødningen fordeles på et større areal, øge omkostningerne til udbringning, idet husdyrgødningen skal transporteres over længere afstande, hvorimod tidsforbruget pr. hektar til selve udbringningen ikke ændres. Afhængig af mulighederne for naboaftaler eller tilkøb af mere jord, vil bedrifter uden tilstrækkeligt jordtilliggende have omkostninger ved tilvejebringelse af tilstrækkeligt areal. Alternativt vil bedriften skulle afholde omkostningerne til teknisk forarbejdning af husdyrgødningen, med henblik på eksport af næringsstoffer fra bedriften. Krav om udbringning på et større areal vil kunne begrænse mulighederne for udvidelse af bedriften, og i visse tilfælde medføre, at husdyrproduktionen må reduceres.

Arealmæssigt omfang af udnyttelse

Skærpelse af N-normer vil kunne implementeres på hele landbrugsarealet, dog bortset fra arealer, der dyrkes med afgrøder uden N-norm, eller som er underlagt udtagningsordninger (f.eks. brak og Miljøvenlige Jordbrugsforanstaltninger). Dvs. i alt omkring 2,3 mio. ha vil blive påvirket af ændringer i N-normerne. Regnes der med en gennemsnitlig tilførsel på 140 kg N/ha i husdyrgødning, vil den samlede mængde N i husdyrgødning skulle fordeles på 1,65 mio. ha. Dvs. over halvdelen af landbrugsarealet vil blive påvirket af skærpede krav til udnyttelse af N i husdyrgødning.

I forbindelse med Plantedirektoratets fysiske kontrol af gødningsregnskaber afgiver bedrifterne oplysninger, der kan danne grundlag for en vurdering af hvilket areal, der vil blive påvirket af en skærpelse af harmonikravene (H. Poulsen, Plantedirektoratet, pers. komm.). Et sådant

dataudtræk er imidlertid ikke foretaget i forbindelse med denne rapport. Da effekterne af skærpede harmonikrav er vanskelige at kvantificere og formentlig uden væsentlig betydning, er der ikke her givet en vurdering af det arealmæssige omfang.

Tidshorisont for implementering

Tiltagene kan implementeres fra den førstkomende dyrkningssæson, da tiltagene blot er administrative regler. På den enkelte bedrift vil tiltagene imidlertid afføde tekniske og adfærdsmæssige ændringer, som vil kræve en implementeringsperiode, formentlig 2-5 år.

Barrierer for implementering

I ovenstående er tiltagene beskrevet i rækkefølgen: N-normer, udnyttelse af N i husdyrgødning og harmonikrav. Dette skyldes, at effekten af ændrede N-normer er relativt lettere at kvantificere og, at de to andre tiltag delvist kan kvantificeres ved at drage parallel til effekter af ændrede N-normer. Imidlertid vil tiltagene på den enkelte bedrift virke i den modsatte rækkefølge, idet harmonikravet bestemmer husdyrgødningsmængden, der kan udbringes, mens kravet om udnyttelse af N i husdyrgødning bestemmer hvor meget N, der kan indkøbes i handelsgødning til opfyldelse af N-normerne. Der er således et samspil mellem virkningen af de tre generelle tiltag. Dette samspil kan bedst udtrykkes ved uligheder, som er afgørende for, hvilke barrierer der er på den enkelte bedrift, og hvilke adfærdsmæssige ændringer barriererne eventuelt vil afføde.

Harmonikravet, som begrænser mængden af husdyrgødning, der kan udbringes på en landbrugsbedrift, kan udtrykkes ved ulighed (1), hvor der foretages en vægtning på grundlag af de enkelte markers størrelse. De bagvedliggende faktorer, der har indflydelse på denne ulighed, er besætningens størrelse og bedriftens jordtilliggende. Kan harmonikravet ikke opfyldes, må der ske tilpasninger i form af øget jordtilliggende (tilkøb eller forpagtning), eksport af næringsstoffer fra bedriften eller reduktion af husdyrproduktionen. Sådanne tilpasninger er ofte forbundet med betydelige økonomiske omkostninger og udgør derfor en væsentlig barriere.

Harmonikrav, DE / ha >

$$\frac{1 \text{ DE}}{100 \text{ kg N}} \sum_{\text{mark}=1}^n \left(\left(\frac{\text{kg N i husdyrgødning}}{\text{hektar}} \right)_{\text{mark}} \times \text{Areal}_{\text{mark}} \right) / \sum_{\text{mark}=1}^n \text{Areal}_{\text{mark}} \quad (1)$$

Summeret over hele bedriftens areal skal den udbragte mængde N i husdyrgødning multipliceret med kravet om udnyttelse af N i husdyrgødningen være mindre end den summerede N-norm, begge vægtet efter de enkelte markers størrelse, jf. ulighed (2).

$$\sum_{\text{mark}=1}^n \left(\left(\frac{\text{kg N i husdyrgødning}}{\text{hektar}} \right)_{\text{mark}} \times \text{Areal}_{\text{mark}} \times (N - \text{udnyttelse})_{\text{mark}} \right) < \left(\sum_{\text{mark}=1}^n (N - \text{norm})_{\text{mark}} \times \text{Areal}_{\text{mark}} \right) \quad (2)$$

Gælder ulighed (2) vil besætningsstørrelsen være bestemmende for tilførsel af husdyrgødning, mens krav til udnyttelse af N i husdyrgødning vil bestemme hvor meget handelsgødningskvælstof, der er plads til. Så længe ulighed (2) er opfyldt vil de økonomiske konsekvenser af skærpede N-normer i hovedtræk kunne beskrives ved reduktion i udbytte og kvalitet.

Kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning vil påvirke adfærden mht. anvendelse af husdyrgødning. Sættes kravet til udnyttelse af N i husdyrgødningen for højt, vil det vanskeliggøre husdyrbrugenes muligheder for afsætning af husdyrgødning til planteavlbrug, idet planteavleren ikke kan kompensere for den manglende gødningsvirkning. En skærpelse af kravet til udnyttelse af N i husdyrgødning vil, sammen med en lang række lokale forhold, reelt komme til at virke som en skærpelse af harmonikravet, og dermed få konsekvenser for husdyrbrugerne jf. ulighed (1).

Såfremt ulighed (2) ikke gælder vil N-normen være begrænsende for tilførslen af husdyrgødning. Bedriften er nødsaget til at skaffe sig en øget N-norm, og ændring i afgrødevalget er en umiddelbar mulighed, f.eks. valg af vintersæd, der har en højere N-norm end vårbyg. Det kan imidlertid ikke udelukkes, at sådanne ændringer i afgrødevalget kan have negativ effekt på N-udvaskning og ammoniakfordampning. Kan bedriftens samlede N-norm ikke øges, så husdyrgødningen kan afsættes indenfor bedriftens jordtilliggende (ulighed (2) opfyldes), vil skærpede N-normer ligesom skærpelse af harmonikravet (ulighed (1)), nødvendiggøre eksport af næringsstoffer eller en reduktion af husdyrproduktionen.

Tiltagene vil ikke påvirke på samme måde på forskellige brugstyper (Tabel 57). Reducerede N-normer vil påvirke svinebrug og planteavlbrug mest direkte, mens kvægbrug bedre kan kompensere ved brug af græsblandinger med kvælstoffikserende egenskaber samt ændringer i sædskiftet. Skærpede krav til udnyttelse af N i husdyrgødning vil selvfølgelig ikke påvirke planteavlere, der ikke modtager husdyrgødning. Det skønnes, at planteavlbrug, der modtager husdyrgødning, anvender denne i afgrøder, hvor gødningsvirkningen er høj, og derfor vil en skærpelse af kravene til udnyttelse af N i husdyrgødning have en relativ lille effekt på denne brugstype. Modsat betinger sædskifterne på kvægbrug, at husdyrgødningen udbringes i situationer, hvor det kan være vanskeligt at opnå en høj gødningsvirkning, f.eks. udbringning til græs og afgræsning. Derfor vil skærpede krav til udnyttelse af N i husdyrgødning have en relativ stor effekt på kvægbrug. Grundlæggende er kvægbrug afhængig af egenproduktion af grovfoder, og derfor ofte i besiddelse af store jordtillæggende, mens svineproduktion i højere grad kan baseres på import af foder. Derfor vurderes det, at svinebrug generelt vil påvirkes

over gennemsnittet ved en skærpelse af harmonikravene, men for den enkelte bedrift vil effekten i meget høj grad vil være afhængig af lokale forhold. En skærpelse af harmonikravene anses for at ville have en relativ lille betydning på planteavlsbrug, der importerer husdyrgødning.

Tabel 57. Skematisk fremstilling af på hvilke brugstyper de generelle tiltag vil virke. Effekten af tiltagene er skønnet relativ mellem brugstyperne.

	Skærpelse af N-norm	Øget krav til udnyttelse af N i husdyrgødning	Skærpelse af harmonikrav
Kvægbrug	•	•••	••
Svinebrug	••	••	•••
Planteavlsbrug, der aftager husdyrgødning	•••	•	•
Planteavlsbrug, der ikke aftager husdyrgødning	•••	o	o

- Tiltaget vil have virkning under gennemsnittet
- Tiltaget vil have en gennemsnitlig virkning
- Tiltaget vil have en virkning over gennemsnittet
- o Tiltaget er ikke relevant for brugstypen

Referencer

- Andersen, J.M. & Poulsen, H.D. (2001). Husdyrgødning på landsplan. I: Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. & Sommer, S.G. (red.) *Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normal 2000*. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport nr. 36 husdyrbrug, p140-148.
- Anonym, (2002). Gødningsregnskaber Fysisk kontrol Statistik 1999/2000. Plantedirektoratet Oktober 2002. <http://www.plantedir.dk/>
- Birkmose, T.S. (2001). Husdyrgødning. I: C.Å. Pedersen, Oversigt over Landsforsøgene 2001. Landsudvalget for Planteavl, Scanprint as 2001, 190-198.
- Grant, R. (2002). Genberegning af effekten af Vandmiljøplan I og II. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser, November 2002.
- Grant, R., Paulsen, I., Jørgensen, V. & Kyllingsbæk, A. (2002). Vandmiljøplan II – baggrund og udvikling. Danmarks Miljøundersøgelser & Danmarks JordbrugsForskning. 56pp.
- Illerup, J. B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkærne, S., Bruun, H.G. & Fenhann, J. (2002). Projection Models 2010. Danish emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. Neri Technical Report No. 414, 192 pp.
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffmann, C.C. Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D. & Kristensen, V.F. (1998). Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 44 pp.

- Jacobsen, B.H. (2000). Vandmiljøplan II – Økonomisk midtvejsevaluering. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, December 2000. 78 p.
- Knudsen, T. (2003). Forbruget af handelsgødning i 2001/02. Meddelelse GØ-1/03, Plantedirektoratet.
- Pedersen, C.Å. *Oversigt over Landsforsøgene 2002*. Jydsk Centraltrykkeri A/S.
- Petersen, J. (1996). Fertilization of spring barley by combination of pig slurry and mineral nitrogen fertilizer. *J. Agric. Sci., Camb.* 127, 151-159.
- Petersen, J. & Djurhuus, J. (2004). Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødning, kornrige sædskifter. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Markbrug nr. 102, januar 2004, 61pp.
- Sørensen, P.; Fernández, J.A. (2003). Dietary effects on the composition of pig slurry and on the plant utilization of pig slurry nitrogen. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 140, 343-35.
- Sørensen, P.; Weisbjerg, M.R.; Lund, P. (2003). Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 141, 79-91.
- Østergaard, H.S. & Knudsen, L. (2002). Bestemmelse af kvælstofbehov. I: Pedersen, C.Å. *Oversigt over Landsforsøgene 2002*. Jydsk Centraltrykkeri A/S, 170-172.

4.3.2. Grønne marker

Elly Møller Hansen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø, Kristian Thorup-Kristensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Havebrugsproduktion og Johannes Ravn Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Plan-tebiologi

Beskrivelse af tiltaget

Ifølge bekendtgørelse nr. 655 af 9 oktober 1987 skal 65% af den enkelte bedrifts areal være udlagt som grønne marker fra og med 1990. Ved grønne marker forstås jordbrugsarealer udlagt med en eller flere af afgrøderne nævnt i tabel 58. Arealer med græsmarksafgrøder, frøafgrøder og efterafgrøder må tidligst ompløjes 20. oktober. Endvidere kan nedmuldning af halm fra korn eller raps på 1,6 ha erstatte 1 ha grønne marker.

Tabel 58. Afgrøder, der kan indgå i grønne marker (efter ”Bekendtgørelse om grønne marker, sædskifte- og gødningsplaner samt gødningsregnskaber i jordbruget” nr. 655).

Type	Afgrøder
Vintersæd	Vinterhvede, -rug, -byg og -triticale
Græsmarksafgrøder	Græs- og kløverarter i græsmarksblandinger, vedvarende græsarealer, lucerne og italiensk rajgræs til foder
Rodfrugter	Roer, fabriks- og industrikartofler
Majs	Fodermajs
Frøafgrøder	Frøgræs, bælgseedsfrø, vinterraps, solsikke, roefrø, kommen, havfrø og medicinplanter
Grønt, frugt og bær	Sildige frilandsgrønsager samt frugt- og bærkulturer
Juletræer og pyntegrønt	Kulturer under 10 år
Efterafgrøder	Alle dyrkede afgrøder med vækst om efteråret, der anvendes som mellemafgrøde, og som nedvisnes eller nedpløjes. Etablering af efterafgrøder skal ske efter normale driftmæssige principper, således at efterafgrøden kan udvikle sig bedst muligt
Andre afgrøder	Afgrøder, der kan sidestilles med de ovenfor anførte

I praksis er opfyldelse af bestemmelsen om grønne marker hovedsagelig foregået ved, at landmænd har skiftet fra vårsæd til vintersæd, mens muligheden for at benytte efterafgrøder kun er blevet udnyttet i begrænset omfang (se endvidere afsnittet ”Efterafgrøder under nuværende praksis”).

Overordnet set kan grønne marker opdeles i ”vinterafgrøder”, der sås om efteråret og høstes sidst på sommeren (f.eks. vinterhvede og vinterraps) og ”afgrøder med lang vækstsæson” der sås om foråret, men fortsætter væksten længe om efteråret (f.eks. græs og roer).

Afgrødevalget på den enkelte bedrift er betinget af 1) jordbunds- og klimaforhold, 2) tilstedeværelse af husdyrbesætning og 3) tekniske og økonomiske forhold.

Jordbunds- og klimaforhold bestemmer egnetheden af forskellige plantearter samt muligheden for at placere de valgte afgrøder i et rimeligt sædskifte. Der foreligger desuden en regional tilpasning af afgrødevalget. Produktion af hvede, frøgræs og kløver foregår primært på Øerne og i Østjylland, hvor der overvejende er lerjord og klimaet er relativt tørt. I Vest- og Midtjylland samt Vendsyssel er klimaet mere fugtigt, køligt og blæsende og jorden mere sandet end i Østjylland og på Øerne, hvilket medfører, at der dyrkes mere rug, græs og kartofler end i resten af landet. Ligeledes begunstiger den relativt store nedbørsmængde i Sønderjylland græsdyrkning.

Tilstedeværelsen af en kvægbesætning har stor indvirkning på afgrødevalget på bedriften (afsnittet "Kvægbrugssædskifter"), mens der på svinebedrifter ofte indgår forskellige salgsafgrøder, f.eks. raps, ærter eller kartofler i et ellers ofte korndomineret sædskifte.

Tekniske og økonomiske forhold har endvidere betydning for afgrødevalget. Et ensidigt afgrødevalg giver arbejdsmæssige spidsbelastninger og risiko for sædskiftemæssige problemer, men medfører til gengæld en god udnyttelse af maskiner og tekniske anlæg. Afsætningsmuligheder og -priser på salgsafgrøder er desuden vigtige for afgrødevalget på rene planteavlslug og til dels på svinebrug, mens interne priser på produceret grovfoder har betydning for afgrødevalget på kvægbrug.

Hvilke effekter på kvælstofudnyttelse og –tab kan forventes?

En umiddelbar fordel ved vinterafgrøder er, at de i modsætning til efterafgrøder, fortsætter væksten i den efterfølgende vækstsæson. Størstedelen af det optagne kvælstof er effektivt bundet i organiske forbindelser og beskyttet mod udvaskning også i det tidlige forår. Den optagne mængde kvælstof kommer derfor direkte afgrøden til gode.

Udvaskningen fra hovedafgrøder hørende under begrebet grønne marker er mangelfuldt belyst. Afgrødernes udvaskningsbegrænsende effekt er hovedsagelig vurderet ud fra deres optagelse af kvælstof, som ofte udelukkende er bestemt for overjordisk plantemateriale, da det er vanskeligt og tidskrævende at bestemme kvælstofindhold i rodmassen. Ved vurdering af afgrødernes udvaskningsreducerende effekt på baggrund af overjordisk kvælstofoptagelse skal det tages i betragtning, at forskellige arter kan have forskelligt forhold mellem overjordisk og underjordisk kvælstofoptagelse (afsnittet "Efterafgrøder under nuværende praksis"), ligesom der kan være forskel på rod/top-forholdene på ler- og sandjord. I f.eks. byg på sandjord fandt Andersen (1986) 29-40% af det optagne kvælstof i rodmassen, mens det på lerjord drejede sig om 15-17%.

Ikke blot rodmængden, men også rodtybden kan have indflydelse på, hvor effektivt en afgrøde fungerer med hensyn til at reducere udvaskningen. Planternes rodudvikling afhænger af

deres genetiske egenskaber og af jordens fysiske og kemiske forhold. I Andersen (1986) refereres undersøgelser, som viser, at der må være et minimum af 'rodledende' stof (fælles betegnelse for ler og organisk stof) i jorden for at opnå rodvækst, hvilket også stemmer overens med Madsen (1978).

Planternes rodvækst er imidlertid påvirket af mange faktorer foruden jordtype, bl.a. nedbørs-mængde og -fordeling, jordens struktur, herunder tilstedeværelse af revner, sprækker og regnormegange samt gamle rodkanaler.

Rodudviklingen hos bl.a. vinterafgrøder i løbet af efteråret er undersøgt på lerjord efter grønsagsproduktion (Thorup-Kristensen, 1993; 2001), hvor formålet med vinterafgrøderne var at fungere som efterafgrøde. Alle afgrøder blev sået 1. august, og dermed væsentligt tidligere end normalt for de pågældende afgrøder. Resultaterne viste, at vinterraps havde betydeligt flere rødder under 50 cm dybde end rug og vinterbyg. I referenceparceller uden afgrøde blev der målt store mængder mineralisk kvælstof i slutningen af november, mens alle afgrøderne havde reduceret kvælstofindholdet væsentligt. Forsøgene tyder på, at de pågældende vinterafgrøder er i stand til at reducere udvaskningen betydeligt ved tidlig såning, især vinterraps. Så-tidspunktet har dog stor indflydelse på vinterafgrødernes udvikling og optagelse af kvælstof (se afsnittet "Tidlig såning af vintersæd").

Vinterkornarterne har en mere begrænset rodudvikling om efteråret end senere i vækstsæsonen (Böhm, 1978; Gregory et al., 1979; Barraclough og Leigh, 1984). Det betyder, at kvælstof, der er nedvasket om efteråret, evt. vil kunne optages i den følgende vækstsæson. Vinterafgrødernes udvaskningsbegrænsende effekt (vurderet ud fra planteoptag eller udvaskningsmålinger om efteråret) kan derfor underestimeres, hvis disse afgrøder er i stand til at optage væsentlige mængder kvælstof fra større dybde end hidtil antaget. Hvis jorden er drænet, vil kvælstof, der i løbet af efteråret udvaskes gennem dræn, dog være tabt. På grovsandet jord er ovennævnte problematik ikke aktuel pga. manglende mulighed for dyb rodudvikling. Det meste af den mængde kvælstof der befinder sig under ca. 60 cm dybde må derfor betragtes som tabt.

I det følgende gennemgås de væsentligste af afgrøderne under betegnelsen "grønne marker" (tabel 58) med undtagelse af efterafgrøder, der behandles i afsnittet "Efterafgrøder under nu-værende praksis".

Græs og kløvergræs

Græsmarker er i stand til at mindske nitratindholdet i jorden om efteråret i forhold til udyrket bar jord (f.eks. Bennetzen, 1978; Søegaard, 1988). Så længe jorden er plantedækket, og der ikke er blevet tilført mere kvælstof end planterne kan udnytte, er der ringe risiko for udvaskning om efteråret (vedrørende effekt af afgræsning om efteråret henvises til afsnittet "Kvægbrugssædskifter"). Tilføres der mere kvælstof end afgrøden kan udnytte som følge af sygdom

eller tørke, stiger udvaskningen, mens sundt græs, der ikke mangler vand, kan udnytte store kvælstofmængder, uden at det medfører forøget udvaskningen (Simmelsgaard, 1985).

Ved ompløjning af græsmarker kan udvaskningen øges kraftigt (afsnittet "Kvægbrusssædskifter"). Olsen (1995) konkluderer på baggrund af måling af udvaskningen på 17 arealer, at de største tab af kvælstof skete efter omlægning af kløvergræs og efter dyrkning af ærter, og at det efter ompløjning af kløvergræs er nødvendigt at holde jorden plantedækket i to vintre efter omlægning. Yderligere konkluderes det, at vintersæd (primært vinterhvede) langt fra var i stand til at opsamle de meget store kvælstofmængder, der blev frigjort efter ærter og omlægning af kløvergræs. Ligeledes viste Klausen (1987) ud fra lysimeterforsøg, at hvede sået efter ompløjning af græs ikke kunne udnytte de store mængder kvælstof, der blev mineraliseret om efteråret. Simmelsgaard et al. (1994) anfører ligeledes, at vinterhvede burde ligge et andet sted i sædskiftet end efter kløvergræs og græs for at reducere kvælstofudvaskningen.

Vintersæd

Udvaskning af kvælstof om efteråret under vintersæd som hovedafgrøde er mangelfuldt be-lyst. I gennemsnit over tre år, hvor arter af vintersæd blev sået 10. september i Sønderjylland (Rønhave og Jyndevad) blev udvaskningen reduceret med 4-8 kg N/ha ved dyrkning af vinter-rug i stedet for vinterhvede (Andersen et al., 1994). Ved dyrkning af vinterbyg (kun på Røn-have) var reduktionen af samme størrelse, som ved dyrkning af vinterrug. Udvaskningen blev i gennemsnit reduceret med 59% ved dyrkning af vintersæd i forhold til dyrkning af vårbyg med forudgående efterårsplojning (Jørgen Djurhuus, personlig meddelelse, 2003). Dette er væsentlig mere end bestemt i lysimeterforsøg (Kjellerup, 1991), hvor man blot fandt en gen-nemsnitlig reduktion på 10-16% ved dyrkning af vinterbyg eller -rug efter ærter til konsum eller modenhed. I sidstnævnte forsøg er tidspunkt for jordbearbejdning forud for vårsæd ikke oplyst, men resultaterne er i overensstemmelse med Thomsen et al. (2001), som konkludere-de, at vinterhvede sået 23. september efter ærter ikke var i stand til at reducere udvaskningen signifikant i sammenligning med ubevokset jord i efterårs- og vintermånederne. I forsøget blev jorden i alle lysimetre efterårsbearbejdet på samme tidspunkt (Ingrid K. Thomsen, per-sonlig meddelelse, 2003). Forskellene mellem forsøgene kan hænge sammen med vintersæ-dens såtidspunkt og evt. jordbearbejdningstidspunkt, men vejrforholdene i efteråret kan også have haft betydning for vintersædens udvikling og kvælstofoptagelse.

På baggrund af kvælstofoptagelse i overjordisk biomasse konkluderer Andersen et al. (1994), at vinterrug var mere effektiv til at optage kvælstof i de tidlige vækststadier end vinterhvede, og Andersen et al. (1986) konkluderer, at vinterrug og -byg optog mere kvælstof i overjordisk biomasse om efteråret end vinterhvede. I de to rapporter var mindste til største optagelse på lerjord i vinterhvede 7-21 kg N/ha, i vinterbyg 15-25 kg N/ha og i vinterrug 18-26 kg N/ha. Værdierne fra Andersen et al. (1994) er gennemsnit for såning 10. september og 1. oktober, mens værdierne fra Andersen et al. (1986) er ved såning 15-16 september. I både vinterrug og -byg fandt Andersen et al. (1994) mindre kvælstofoptagelse på sandjord end på lerjord: 7-12 kg N/ha i vinterhvede og 8-15 kg N/ha i vinterrug.

I ovennævnte forsøg er vinterkornarterne sået på samme tidspunkt, mens såtidspunktet i praksis varierer med arten, idet f.eks. vinterbyg sædvanligvis sås før vinterrug. Dette forhold har indflydelse på, hvor meget kvælstof en given art er i stand til at optage i overjordisk biomasse i løbet af efteråret og vinteren (se afsnittet ”Tidlig såning af vintersæd”). Der er formentlig også andre forhold, der kan have betydning for kornarternes kvælstofoptagelse, f.eks. kan der være forskel på, hvor længe væksten fortsætter om efteråret. Ud fra den viden, der findes om kvælstofoptagelse i vinterkornarterne, er det derfor ikke muligt at rangere vinterkornarterne i forhold til deres udvaskningsbegrænsende effekt.

Generelt må det antages, at udvaskningen om efteråret efter etablering af vintersæd er mindre end ved dyrkning af vårsæd, hvor jorden ikke er plantedækket om efteråret. Pløjning eller anden kraftig jordbearbejdning forud for såning af vintersæden kan dog på visse jordtyper medføre en øget mineralisering (Hansen og Djurhuus, 1997), som yderligere skal optages i vintersæden for at udvaskningen begrænses i forhold til ubearbejdet, bar jord. Endvidere antages det sædvanligvis, at vinterafgrøder ikke har effekt på mængden af kvælstof, der mineraliseres i jorden under afgrødernes vækst. Men resultater tyder på, at denne antagelse kan være forkert, idet mineraliseringen er fundet at være mindre ved tilstedeværelse af planter end uden planter (Sparling et al., 1982; Reid and Goss, 1982).

Torstensson et al. (1996) har gennemgået eksperimenter foretaget i det centrale og sydlige Sverige, hvor både kvælstofoptagelse og udvaskning blev bestemt (såtidspunkter ikke oplyst). De fandt at vinterkornarterne var mindre effektive til at reducere udvaskningen end efterafgrøder og græsmarker, men at vinterrug tilsyneladende var mere effektiv end vinterhvede og -byg. Specielt efter indarbejdning af afgrøderester med højt kvælstofindhold var kornarternes udvaskningsbegrænsende effekt ikke tilstrækkelig, og Torstensson et al. (1996) bemærkede, at der syntes at være et maksimum for kornarternes kvælstofoptagelse i overjordisk biomasse på 20-25 kg N/ha for vinterhvede og 30-40 kg N/ha for vinterrug til trods for tilstedeværelse af store mængder mineralisk N.

Som det fremgår af ovenstående, er det vanskeligt at kvantificere effekten af vintersædsarterne på udvaskningen i praksis. Visse resultater tyder dog på, at vintersædsarter har mindre kapacitet til at reducere udvaskningen end efterafgrøder og græsmarker. Desuden omsættes der visse steder i sædskiftet store mængder planterester med et relativt stort kvælstofindhold, hvilket kan medføre et højt kvælstofindhold i jorden om efteråret, f.eks. efter kløvergræs (Olsen og Djurhuus, 1996) og ærter (Kjellerup, 1991; Andersen et al., 1994; Thomsen et al., 2001). I disse tilfælde vil en afgrøde med større kapacitet til kvælstofoptagelse end vinterhvede være at foretrække ud fra udvaskningsbegrænsende betragtninger (Klausen, 1987; Simmelsgaard et al., 1994; Olsen, 1995).

Vinterraps

Vinterraps sås sædvanligvis forholdsvis tidligt (midt i august) sammenlignet med de øvrige vinterafgrøder. Vinterraps er i stand til at optage store mængder kvælstof i løbet af efteråret, hvor der er målt kvælstofoptagelser af størrelsesordenen 80 kg N/ha i overjordisk biomasse (Torstensson et al., 1996; Schultz, 1972). Torstensson et al. (1996) nævner dog, at såtidspunkt og udvikling i efteråret er kritisk for kvælstofoptagelsen. I overensstemmelse med stor kapacitet for kvælstofoptagelse i vinterraps fandt Augustinussen (1993 og 1994) et fald i jordens indhold af nitrat fra ca. 60 kg N/ha i ubevokset jord til omkring 10 kg N/ha under vinterraps sået midt i august, uanset om vinterrapsen ved såning blev tilført 30 kg N/ha eller ej.

Roer

Det er almindeligt antaget, at roer fortsætter væksten til langt hen på efteråret, hvor faldende temperaturer og lysintensitet efterhånden bevirker, at væksten aftager. Larsen (1965) viste, at der skete en nydannelse af blade så sent som i oktober/november. Ligeledes viste forsøgene, at ca. halvdelen af den totale kvælstofoptagelse fandt sted efter 1. august og ca. 25% efter 1. september. Således blev der optaget 28 kg N/ha fra 25/9 til 15/10. Resultaterne viser, at roer har en væsentlig kvælstofoptagelse relativt sent i vækstperioden, hvilket stemmer med engelske resultater (Shepherd og Lord, 1996). Denne viden er i overensstemmelse med Klausen (1987) og Mitchell et al. (2001) samt resultater af et forsøg i Skåne, hvor der blev målt ringe udvaskning efter sukkerroer, når toppen blev fjernet (Hessel et al., 1998). Efterlades toppen på marken, kan en betydelig del af toppens kvælstofindhold tabes ved udvaskning (Thomsen og Christensen, 1999; Mitchell et al., 2001), men det er ikke altid tilfældet (Andersen et al., 1994; Shepherd and Lord, 1996).

Majs

Majs høstes relativt sent om efteråret, men der savnes danske forsøg til belysning af majafgrøders evne til at optage kvælstof i efteråret inden høst. Schröder et al. (1996) refererer udenlandske forsøg, som viser, at majs kan efterlade store mængder kvælstof ved høst, og at overgødskning kun er en del af forklaringen herpå. Af medvirkende årsager nævnes, at majs stopper kvælstofoptagelsen tidligt, og at den sås på stor rækkeafstand samtidig med, at den har begrænset horisontal rodudvikling. Ved dyrkning af majs er der dog gode muligheder for efterfølgende at mindske udvaskningen af kvælstof ved isåning af en efterafgrøde først på sommeren (afsnittet "Kvægbrugssædskifter"). Der findes ingen efterafgrøder, som kan udvikles tilstrækkeligt ved såning efter høst af majs.

Kartofler

Kartoflesorter inddeles i klasser efter deres tidlighed. De tidlige og middeltidlige benyttes til spisebrug. Middeltidlige sorter benyttes ligeledes til fremstilling af chips og pommes frites, mens sent modnende sorter oftest benyttes til stivelsesproduktion dvs. kartoffelmel (Andersen, 1994).

Knolddannelsen begynder i juni og fortsætter i juli og august. Bach og Nielsen (1985) fandt dog, at den sildige industrikartoffelsort Dianella havde stigende knoldudbytte i september måned i modsætning til to andre industrikartoffelsorter. Ved vækstperiodens slutning visner toppen ned og knoldene modnes. Denne vækststandsning kan fremskyndes af skimmelangreb og tørke (Andersen, 1994). Tidlige sorter modner allerede først i august, mens de sildige modner omkring 1. oktober, men væksten afbrydes ofte vha. nedvisningsmidler eller aftopning evt. kombineret med nedvisningsmidler eller gasbrænding.

Kartoflernes effekt på udvaskning af nitrat må formodes at hænge sammen med lænden af deres vækstperiode og optagelsestidspunkt. Som ”grønne marker” indgår kun fabriks- og industrikartofler, da disse sædvanligvis har længere vækstperiode end spisekartofler. Kartofflers effekt på udvaskningen er ikke belyst i danske forsøg, og i udenlandske forsøg fremgår det ofte ikke, hvilken type kartofler, der er dyrket (f.eks. Delgado et al., 2000; 2001). I et engelsk forsøg fandt Mitchell et al. (2001) ved dyrkning af tidlige kartofler, at der i september var 100 kg mineralsk N/ha mere i jorden end efter roer. Hvor meget mere effektive sildige fabriks- og industrikartofler er i forhold til tidlige kartofler mht. til at optage kvælstof i efteråret er uvist og afhænger som ovenfor beskrevet af flere faktorer, heriblandt måske af sorten.

Halmnedmuldning

Christensen (1987) refererer danske undersøgelser, hvor udvaskningen blev reduceret med 3 til 25 kg N/ha ved nedmuldning af halm. Værdierne viser således en stor variation mellem de enkelte år. Som en gennemsnitlig værdi for effekt af halmnedmuldning angiver Kyllingsbæk (1987) en reduktion i udvaskningen på 15 kg N/ha.

Samlet vurdering

På baggrund af ovennævnte resultater er det vanskeligt at kvantificere effekten på udvaskningen af efterårssåede kornafgrøder hørende under ”grønne marker”, men resultaterne tyder på, at effekten af kornarterne er mindre end effekten af vinterraps. For afgrøder med lang vækstsæson er rækkefølgen formentlig græs/kløvergræs > roer > majs > kartofler. Der er speciel stor mangel på viden om majs og kartoflers effekt på udvaskningen. Men for alle afgrøder gælder det, at deres udvaskningsbegrænsende effekt kun er målt direkte i få tilfælde, men vurderet ud fra kvælstofoptagelse i overjordisk biomasse. Det betyder, at forskelle i fordelingen mellem N i rod og top samt forskelle i rodtybde kan medføre, at effekten af en afgrøde over- eller undervurderes i forhold til andre afgrøder.

Referencer

- Andersen, A. (1986). Rodvækst i forskellige jordtyper. Tidsskr. Planteavl. Beretning nr. S 1827.
- Andersen, A., Haar, V. & Sandfær, J. (1986). Det tidsmæssige forløb af stofproduktion og næringsoptagelse i vinter- og vårformer af kornarter. Tidsskr. Planteavl. Beretning nr. S 1854.

- Andersen, A., Olsen, C.C. & Djurhuus, J. (1994). Dyrkning af overvintrende kornarter efter forskellige forfrugter og med forskellig såtid. SP. rapport nr. 22.
- Andersen, S. (1994). Landbrugsplanterne. DSR Forlag. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København.
- Augustinussen, E. (1993). Såtid og kvælstofoptagelse i vinterraps. Grøn Viden, Landbrug nr. 114.
- Augustinussen, E. (1994). Kvælstofoptagelse hos vinterraps i efterårsperioden. SP rapport nr. 21.
- Bach, Aa & Nielsen, S. (1985). Vækstanalyse i kartofler 1981-83. Tidsskr. Planteavl 89, 215-224.
- Barraclough, P.B. & Leigh, R.A. (1984). The growth and activity of winter wheat roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of high-yielding crops. J. agric. Sci., Camb. 103, 59-74.
- Bennetzen, F. (1978). Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion, 3. del. Modeller og resultater. Tidsskr. Planteavl 82, 173-189.
- Böhm, W. (1978). Untersuchungen zur Wurzelentwicklung bei Winterweizen. Z. Acker- und Pflanzenbau 147, 264-269.
- Christensen, B.T. (1987). Omsætning af halm. I: Christensen, B.T. og Schjøning, P. (eds) Nedmuldning af halm. Tidsskr. Planteavls Specialserie S1911, 56-94.
- Delgado, J.A., Follett, R.F. & Shaffer, M.J. (2000). Simulation of nitrate-nitrogen dynamics for cropping systems with different rooting depths. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, 1050-54.
- Delgado, J.A., Riggensbach, R.R., Sparks, R.T., Dillon, M.A., Kawanabe, L.M. & Ristau, R.J. (2001). Evaluation of nitrate-nitrogen transport in a potato-barley rotation. Soil Sci. Soc. Am. J. 65, 878-83.
- Gregory, P.J., Crawford, D.V. & McGowan, M. (1979). Nutrient relations of winter wheat 2. Movements of nutrients to the root and their uptake. J. agric. Sci., Camb. 93, 495-504.
- Hansen, E.M. & Djurhuus, J. (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil Tillage Res. 41, 203-219.
- Hessel, K., Aronsson, H., Lindén, B., Stenberg, M., Rydberg, T. & Gustafson, A. (1998). Höstgrödor – Fanggrödor – Utlakning. Kvævedynamik och kväve-utlakning på en moränlättlera i Skåne. Ekohydrologi 46.
- Klausen, P.S. (1987). Nitratnædvaskning fra landbrugsjord ved gødskning med gylle og handelsgødning. Grøn Viden, Landbrug nr. 10.
- Kjellerup, V. (1991). Kvælstofudvaskning efter ærtedyrkning på sandjord. Grøn Viden, Landbrug, nr. 90.
- Kyllingsbæk, A. (1987). Resume af Notat vedrørende efterafgrøder og kvælstofudvaskning af 16. februar 1987. Statens Planteavlsforsøg.
- Larsen, A. (1965). Vækstanalytiske undersøgelser af tre bederoestammer 1960-62. Tidsskr. Planteavl., 69, 1-18.
- Madsen, B.M. (1978). Bygs rodudvikling i relation til fysiske parametre i naturlig lejret jord. Tidsskr. Planteavl. 82, 335-342.

- Mitchell, R., Webb, J. & Harrison, R. (2001). Crop residues can affect N leaching over at least two winters. *Europ. J. Agronomy* 15, 17-29.
- Olsen, P. (1995). Nitratudvaskning fra landbrugsjord i relation til dyrkning, klima og jord. SP Rapport nr. 15.
- Olsen, P. & Djurhuus, J. (1996). Nitratudvaskning efter ompløjning af kløvergræsmarker. Grøn Viden, Landbrug, nr. 164.
- Reid, J.B. & Goss, M.J. (1982). Suppression of decomposition of ^{14}C -labelled plant roots in the presence of living roots of maize and perennial ryegrass. *J. Soil. Sci.* 33, 387-395.
- Schultz, J.E.R. (1972). Undersøgelser af vinterrapsens (*Brassica napus* L.) tørstofproduktion og næringsstofoptagelse gennem vækstperioden. *Tidsskr. Planteavl* 76, 415-435.
- Shepherd, M.A. & Lord, E.I. (1996). Nitrate leaching from a sandy soil: the effect of previous crop and post-harvest soil management in an arable rotation. *J. Agric. Sci. Camb.*
- Simmelsgaard, S.E. (1985). Vandbalance og kvælstofudvaskning på 4 jordtyper. III. Kvælstofkoncentration, -udvaskning og -balance. *Tidsskr. Planteavl* 89, 133-154.
- Simmelsgaard, S.E., Skovborg, E.B., Møller, E. & Ohlsson, C. (1994). Næringsoptagelse og kvælstofudvaskning i to sædskifter ved Silstrup i 1988-1992. SP Rapport nr. 18.
- Sparling, G.P., Cheshire, M.V. & Mundie, C.M. (1982). Effect of barley plants on the decomposition of ^{14}C -labelled soil organic matter. *J. Soil Sci.* 33, 89-100.
- Søegaard, K. (1988). Nitratudvaskning fra sandjord – hvad betyder sædskifte og vandforsyning? Grøn Viden, Landbrug, nr. 22.
- Thomsen, I.K. & Christensen, B.T. (1999). Availability to subsequent crops and leaching of nitrogen in ^{15}N -labelled sugarbeet tops and oilseed rape residues. *J. Agric. Sci. Camb.* 126, 191-199.
- Thomsen, I.K., Kjellerup, V. & Christensen, B.T. (2001). Leaching and plant offtake of N in field pea/cereal cropping sequences with incorporation of ^{15}N -labelled pea harvest residues. *Soil Use Manage.* 17, 209-216.
- Thorup-Kristensen, K. (1993). The effect of nitrogen catch crops on the nitrogen nutrition of a succeeding crop. I. Effects through mineralization and pre-emptive competition. *Acta Agric. Scand. Sect. B* 43, 74-81.
- Thorup-Kristensen, K. (2001). Are differences in root growth of nitrogen catch crops important for their ability to reduce soil nitrate-N content, and how can this be measured? *Plant Soil* 230, 185-195.
- Torstensson, G., Aronsson, H. & Lindén, B. (1996). Winter crops as green cover crops – Nitrogen uptake capacity and effects on nitrogen leaching. Teknisk rapport 22. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

4.4. Reduktion i husdyrproduktionen

Jens Petersen og Uffe Jørgensen, Danmarks Jordbrugsforskning, Afdeling for Jordbrugsproduktion og Miljø

Grundlaget for arbejdet i VMP III Kvælstofgruppen baserede sig på opdrag givet i begyndelsen af år 2003. I juni blev gruppen tillige bedt om at foretage en vurdering af ændringer i miljøbelastningen på markniveau med ammoniak og nitrat ved ændringer af den husdyrproduktion til brug ved nationale og regionale vurderinger. Nærværende afsnit er i det store og hele baseret på det udarbejdede svar på dette spørgsmål, men er udbygget med nye vurderinger af effekten af organisk bundet N, fremkommet ved slutevalueringen af VMP II (Waagepetersen, 2003). Afsnittet omfatter alene en vurderingen af effekter i marken og omfatter således *ikke* en vurdering af ændringer i ammoniakemissionen fra stald og lager.

Beskrivelse af tiltaget

Ved en reduktion i husdyrproduktionen antages det, at afgrødernes gødningsbehov i stedet skal dækkes ved anvendelse af handelsgødning. Da kvælstof i husdyrgødningen skal tillægges omkring 68% værdi i forhold til handelsgødning (krav til udnyttelse af N i husdyrgødning vægtet efter mængde af N i husdyrgødning for dyrearter og gødningstype jf. Anonym, 2003 og Andersen & Poulsen, 2001), kan forskellen i kvælstoftilførsel beregnes som: N-mængde i husdyrgødning $\times (1 - 0,68)$. I de nationale skøn tages der for 2003 udgangspunkt i de 236.000 ton N i husdyrgødning afsat i stald som Illerup *et al.* (2002) anvender, fremskrevet på grundlag af normtallene for husdyrgødning jf. Poulsen *et al.* (2001) (Mikkelsen, pers. komm.).

I beregningerne for ammoniakemissionen foretaget af Illerup *et al.* (2002) indgår i 2003 endvidere en afsætning af 33.000 ton N på græs (Mikkelsen, pers. komm.). Afsætning fra kvæg udgør 85% af afsætningen på græs, mens 10% hidrører fra heste (Mikkelsen, pers. komm.). Da det er usikkert hvorledes en eventuel reduktion i husdyrbestanden vil udmønte sig indenfor de enkelte dyrearter, er der her ikke foretaget en særskilt vurdering af effekten af eventuelt ændret afsætning på græs på ammoniakemission og kvælstofudvaskning. Det skal blot anføres, at Illerup *et al.* (2002) benytter en emissionsfaktor på 0,07 for husdyrgødning afsat på græs.

Kravet til udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning varierer afhængig af dyreart og gødningstype (Anonym, 2003). For gødningstyper med et krav lavere end det vægtede gennemsnit (f.eks. dybstrøelse) vil ændringen i miljøbelastningen ved en reduktion i husdyrbestanden være større end estimeret nedenfor, mens det omvendte vil gøre sig gældende for gødningstyper med et højere krav (f.eks. svinegylle).

Effekter på kvælstoftab

Ammoniakemission i marken

Ammoniakemissionen efter udbringning af husdyrgødning i marken er proportional med den udbragte mængde N i husdyrgødning. For 2003 kan den vægtede ammoniakemissionskoefficient beregnes til 10,2% ved sammenstilling af de aggregerede emissionskoefficienter for fast og flydende husdyrgødning (Illerup *et al.*, 2002) med mængden af N i disse gødninger (Andersen & Poulsen, 2001). Dette er noget højere end de gennemsnitlige 6,5%, der på lignende vis kan beregnes på grundlag af sammenstilling af tidligere opgørelser i Andersen *et al.* (1999) og Andersen & Poulsen (2001). Årsagen til forskellen skyldes revision af beregningsgrundlaget, specielt ændret antagelse vedrørende håndtering af husdyrgødningen (Illerup *et al.*, 2002).

Andersen *et al.* (1999) angiver emissionsfaktorer for forskellige typer handelsgødning, og vægtet efter forbruget af de enkelte gødningstyper findes en gennemsnitlig emissionsfaktor på 2,2%. Samme emissionsfaktor benytter Illerup *et al.* (2002). Herved kan effekten af en regional eller national reduktion i husdyrproduktionen på ammoniakemissionen skønnes således:

$$\begin{aligned} \text{Ændring i ammoniakemission} = \\ \text{N-mængde i husdyrgødning} \times [1 \times 0,102 - 0,68 \times 0,022] \times \text{Tilpasningsfaktor} \quad (1) \end{aligned}$$

Tilpasningsfaktoren er $-0,1$ og $-0,25$ for en reduktion i husdyrproduktionen på henholdsvis 10% og 25%. Anlægges der en alt andet lige betragtning, kan effekten på ammoniakemissionen fra udbringning af gødning i marken af en national reduktion i husdyrproduktionen, på grundlag af (1), skønnes til henholdsvis 2.050 og 5.100 ton N. Dette svarer til en reduktion i ammoniakemission i marken på knap 9 kg N pr. DE, der sættes ud. Bevirker tiltaget en ændring i udbringningspraksis således, at udbringning under mindre gunstige betingelser reduceres, vil der kunne forventes en større reduktion i ammoniakemissionen.

Kvælstofudvaskning

For kvælstof udvaskning kan der opstilles en tilsvarende ligning:

$$\begin{aligned} \text{Ændring i kvælstofudvaskningen} = \\ \text{N-mængde i husdyrgødning} \times (1 \times U_1 - 0,68 \times U_2) \times \text{Tilpasningsfaktor} \quad (2) \end{aligned}$$

Udvaskningsfaktorerne, U_1 (for husdyrgødning) og U_2 (for handelsgødning), udtrykker, hvor meget udvaskningen vil ændres ved en ændring i kvælstoftilførslen. Ved anvendelse af disse differentialkvotienter kan effekten af en reduktion i husdyrgødningsproduktionen på kvælstofudvaskningen beregnes uden kendskab til den aktuelle udvaskning. Det bemærkes, at udvaskningsfaktorerne *ikke* udtrykker andelen af totalt tilført kvælstof, der udvaskes, og som Mikkelsen & Gyldenkerne (2003) har beregnet til 36%.

I Iversen et al. (1998) angives udvaskningsfaktoren U_2 for handelsgødning til 'ca. 0,25'. I forbindelse med genberegning af VMPI og II angiver Grant (2002) et interval, 0,27-0,34, på grundlag af den relative udvaskningsmodel (Simmelsgaard & Djurhuus, 1998). Dvs. *udvaskningen reduceres med 27-34% af reduktionen i forbruget af handelsgødning, afhængig af udgangspunktet for udvaskningen* (Grant, 2002). Tilsvarende finder Petersen & Djurhuus (2004) et interval på 0,25-0,35. På dette grundlag anvendes der i denne rapport en gennemsnitlig udvaskningsfaktor på 0,3 (jf. afsnit om Rammebetingelser) gældende både for handelsgødning og husdyrgødning, dvs. $U_1=U_2$.

Ved ændringer i jordens organisk bundne N-pulje vurderedes det i forbindelse med slutevalueringen af VMPII, at 40-50% af ændringen vil slå igennem som ændring i N-udvaskning (Waagepetersen, 2003). Det antages, at ændringer i jordens N-pulje som affødes af tilført organisk kvælstof i husdyrgødning vil have en tilsvarende effekt på N-udvaskningen. Således kan udvaskningsfaktoren for organisk kvælstof i husdyrgødning anslås til 0,45. Samtidig antages det, at udvaskningsfaktoren for det mineralske kvælstof i husdyrgødning svarer til udvaskningsfaktoren for handelsgødning, U_2 . Udvasningsfaktoren for husdyrgødningskvælstof, U_1 , må således vægtes efter forholdet mellem mineralsk og organisk kvælstof i husdyrgødningen. Til denne vægtning benyttes det gennemsnitlige krav til udnyttelse af N i husdyrgødning (0,68) som et forsimplet udtryk for andelen af mineralsk N i husdyrgødningen, mens resten antages at være som organisk kvælstof. Udvasningsfaktoren for husdyrgødning kan således beregnes:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (\text{Mineralsk andel af husdyrgødnings-N}) \times U_2 \\
 &+ (1 - (\text{Mineralsk andel af husdyrgødnings-N})) \times 0,45 \\
 &= 0,68 \times 0,30 + 0,32 \times 0,45 \\
 &= 0,35
 \end{aligned}$$

Ved denne beregning er der ikke taget højde for en større denitrifikation og ammoniakfordampning fra husdyrgødning end fra handelsgødning. Indregning af disse effekter vil reducere størrelsen af U_1 , så den nærmer sig U_2 .

Effekten af regional eller national tilpasning af husdyrproduktionen på N-udvaskningen skønnes således:

$$\begin{aligned}
 &\text{Ændring i kvælstofudvaskningen} = \\
 &\text{N-mængde i husdyrgødning} \times (1 \times 0,35 - 0,68 \times 0,30) \times \text{Tilpasningsfaktor} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Anlægges en alt andet lige betragtning, kan effekten på N-udvaskningen af en national reduktion i husdyrproduktionen på 10% og 25%, på grundlag af (3), skønnes til henholdsvis 3.400 og 8.600 ton N. Dette svarer til en reduktion i N-udvaskningen på 14 kg N pr. DE, der sættes ud. Det skal bemærkes, at udvasningsfaktoren for organisk N i husdyrgødning (0,45) er anslået ved en indirekte metode baseret på dels modelsimuleringer på planteavlsbedrifter og dels

forsøg med efterafgrøder (Waagepetersen, 2003). Der er således behov for mere viden om størrelsen af U_1 og U_2 og deres variation. Såfremt $U_1=U_2=0,30$, kan der beregnes en effekt af reduceret husdyrhold på ca. 10 kg N pr. DE, svarende til 2.250 og 5.650 tons N på landsplan ved reduktion i husdyrproduktionen på henholdsvis 10 og 25%.

Ovennævnte skøn gælder for kornrige sædskifter og under forudsætning af uændret afgrødevalg. Skønnet vil kunne påvirkes af foranstaltninger, der følger af en reduceret husdyrproduktion. F.eks. vil udsætning af en kvægbesætning formentlig betyde, at afgrødevalget i højere grad vil blive domineret af kornafgrøder. Dette vil ikke nødvendigvis reducere kvælstofudvaskningen, og der foreligger endda risiko for, at udvaskningen vil øges, når hele sædskiftet betragtes (Thomsen *et al.* 1993).

Ved anvendelse af husdyrgødning tilføres både organisk og uorganisk kvælstof. Mens det uorganiske kvælstof i husdyrgødning kan tillægges en førsteårsvirkning svarende til handelsgødning, bidrager det organiske kvælstof til en langsigtet vedligeholdelse af jordens kvælstofpulje, som er grundlaget for mineraliseringspotentiallet. Ved en reduktion af mineraliseringspotentiallet kan der på længere sigt blive behov for at kompensere for dette ved et øget forbrug af handelsgødning med deraf følgende forøgelse i udvaskningen. Også dette vil reducere den ovenfor beregnede effekt på N-udvaskningen af en reduktion i husdyrproduktionen.

Referencer

- Andersen, J.M. & Poulsen, H.D. (2001). Husdyrgødning på landsplan. I: Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B & Sommer, S.G. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normalt 2000. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport nr. 36, Husdyrbrug, p. 140-148.
- Andersen, J.M., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Kristensen, V.F. & Poulsen, H.D. (1999). Emission af ammoniak fra landbruget – status og kilder. Danmarks JordbrugsForskning, Ammoniakfordampning – redegørelse nr. 1. 71pp.
- Anonym (2003). Bekendtgørelse om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2003/2004. Plantedirektoratets bekendtgørelse nr. 676 af 16. juli 2003.
- Grant, R. (2002). Genberegning af effekten af Vandmiljøplan I og II. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser, November 2002.
- Illerup, J. B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H., Winther, M., Gyldenkærne, S., Bruun, H.G. & Fenhann, J. (2002). Projection Models 2010. Danish emissions of SO_2 , NO_x , NMVOC and NH_3 . Neri Technical Report No. 414, 192 pp.
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffmann, C.C. Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D. & Kristensen, V.F. (1998). Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 44 pp.
- Mikkelsen, M.H., DMU, Personlig kommunikation.
- Mikkelsen, M.H. & Gyldenkærne, S. (2003). Reduktionspotentiallet for landbrugets emissioner ved reduktion af husdyrproduktionen. Notat fra VMPIII-F11 vedr. Samspil mellem jordbrug og klima, DMU. 11p.

- Petersen, J. & Djurhuus, J. (2004). Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødede, kornrige sædskifter. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Markbrug nr. 102, januar 2004, 61pp.
- Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B & Sommer, S.G. (2001). Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normal 2000. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport nr. 36, Husdyrbrug, p. 140-148.
- Poulsen, H.D., Lund, P., Fernández, J.A., & Holm, P.B. (2003). Notat vedr. muligheder for at reducere husdyrgødningens indhold af kvælstof via fodringen (1. udkast). Danmarks JordbrugsForskning, 40 p.
- Simmelsgaard, S.E. & Djurhuus, J. (1998). An empirical model for estimating nitrate leaching as affected by crop type and the long-term N fertilizer rate. *Soil Use and Management* **14**, 37-43.
- Thomsen, I.K., Hansen, J.F., Kjellerup, V. & Christensen, B.T. (1993). Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer leaching from a sandy loam. *Soil Use and Management* **9**, 53-58.
- Waagepetersen, J. (2003). Notat om merudvaskning ved tilførsel af organisk N til jorden. Vurdering til slutevaluering af VMPII.

Bilag 1

Struktur for det forberedende arbejde til Vandmiljøplan III.

