



Baggrundsnotat til Vandmiljøplan III - midtvejsevaluering

Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning

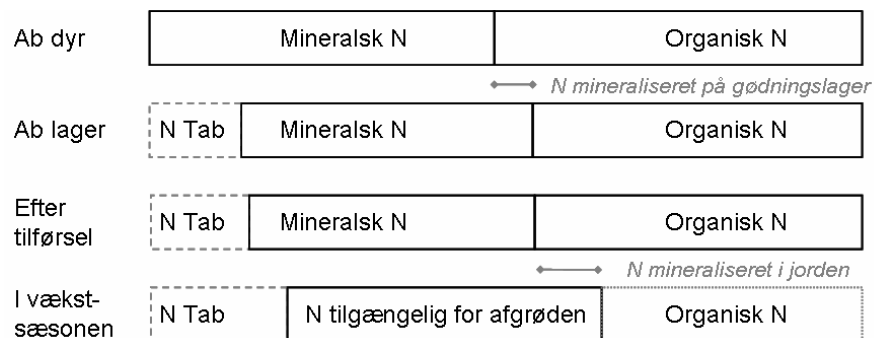
Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav

Jens Petersen
Peter Sørensen
*Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet
Aarhus Universitet*

December 2008

Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning – Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav

Fertilizer value of nitrogen in animal manures –
Basis for determination of a legal substitution claim



Jens Petersen & Peter Sørensen
Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø
Der Jordbrugsvidenskabelige Fakultet
Aarhus Universitet

Forord

Denne rapport er udarbejdet til brug for belysning af spørgsmålet om, hvorvidt det substitutionskrav (populært kaldet udnyttelseskrav), der stilles til kvælstof i husdyrgødning, kan skærpes i forbindelse med 2008-evalueringen af VMPIII. For at besvare spørgsmålet har vi fundet behov for en bredere og sammenhængende beskrivelse af emnet, idet rammebetingelserne er afgørende for grundlaget for fastlæggelse af substitutionskravet, herunder også mulighederne for at skærpe substitutionskravet. Denne bredere beskrivelse giver indsigt i tankegangen bag og det faglige grundlag for fastlæggelse af substitutionskravet. Den anvendte systematik gør det endvidere langt lettere fremover at indplacere både nye resultater og resultater fra andre gødninger.

Vi håber, at den bredere behandling af emnet betyder, at rapporten vil have interesse for en større kreds, bl.a. for elever og studerende på jordbrugsfaglige uddannelser, men også for andre, der enten praktisk, administrativt eller teoretisk beskæftiger sig med husdyrgødning.

Ruth Grant, Danmarks Miljøundersøgelser, og Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning Landscentret, takkes for konstruktive kommentarer til rapporten. Endvidere takkes Karina Christensen for korrekturlæsning og assistance ved den tekniske bearbejdning af rapporten.

Rapporten vil efterfølgende blive udgivet som DJF-rapport.

Forfatterne

Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Forskningscenter Foulum,
November 2008

Indhold

1	Indledning	6
2	Mængden af produceret husdyrgødning	7
2.1	Gødningstype og dyreart	7
2.2	Udvikling i husdyrholdet	8
2.3	Interesse for bearbejdning af husdyrgødning	10
3	Regulering af anvendelsen af kvælstof i husdyrgødning	13
3.1	Historisk oversigt over handlingsplaner til regulering af landbrugets miljøpåvirkning	13
3.2	Regler vedrørende husdyrgødning	14
3.3	Udvikling i og gældende substitutionskrav for kvælstof i husdyrgødning	15
4	Omsætning, tab og gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning	17
4.1	Kvælstoffer i husdyrgødning	18
4.2	Kvælstof mineraliseret i stald og gødningslager	19
4.3	Tab af kvælstof fra stald og lager	19
4.4	Tab af kvælstof i forbindelse med forårsudbringning	21
4.5	Kvælstof mineraliseret i jorden første vækstsæson	22
4.6	Langsomt omsættelig kvæstoffraktion - Eftervirkning af N i husdyrgødning	23
5	Driftsmæssige forhold i stald og lager	25
5.1	Fodring	25
5.2	Andre driftsmæssige forhold	26
5.3	Ændringer under lagring af gylle	26
6	Bearbejdning af gylle	27
6.1	Bearbejdningsformerne generelt	28
6.1.1	Tilsætning af stoffer	28
6.1.2	Separering	29
6.1.3	Forbrænding	29
6.1.4	Andre forhold af betydning for valg af bearbejdningsteknologi	30
6.2	Fire konkrete bearbejdningsteknologier	31
6.2.1	Afgasning i biogasanlæg	31
6.2.2	Mekanisk separering	34
6.2.3	Højteknologisk opkoncentrering	39
6.2.4	Forsuring af gylle	40
6.3	Implikationer ved bearbejdning af gylle	42
7	Gylle og udbringningsmetoder	43
7.1	Udvikling i brugen af direkte nedfældning	44
7.2	Effekt af rumlig fordeling og afstand til planterækken på kvælstofoptagelse	45
7.3	Køreskader ved udbringning i afgrøde	47
7.4	Effekt af direkte nedfældning på planteproduktionen	47
8	Målt gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning	48
8.1	Datagrundlag	49
9	Gødningsvirkning af N i husdyrgødning	54
9.1	Fremgangsmåde ved vurdering	55
9.2	Gødningstyper og udbringningsmetoder	57
9.2.1	Gylle	57
9.2.2	Fast gødning og ajle	60
9.2.3	Dybstrøelse	63
9.3	Bearbejdet husdyrgødning	66

9.3.1	Afgasset gylle.....	66
9.3.2	Separeret gylle.....	68
9.3.3	Forsuret gylle	70
9.4	Samlet vurdering af gødningsvirkning af N i husdyrgødning.....	72
10	Miljøeffekter	74
10.1	Effekt på nitratudvaskningen ved skærpelse af substitutionskrav	74
10.2	Nitratudvaskning ved bearbejdning af husdyrgødning	76
10.2.1	Nitratudvaskning ved reduceret ammoniakemission	76
10.2.2	Nitratudvaskning ved påvirkning af organisk stof i husdyrgødning.....	77
10.3	Effekt på drivhusgasemission	79
11	Referencer	80
11.1	Referencer til handlingsplaner, direktiver, love, bekendtgørelser og vejledninger	80
11.2	Øvrige referencer	81
12	Appendiks A. Prøvetagning og analyse	90
13	Appendiks B. Metoder til bestemmelse af gødningsvirkning af N i husdyrgødning.....	92
13.1	Gødningsvirkning bestemt ved brug af én gødningstype - margineffekt.....	92
13.2	Gødningsvirkning målt i forhold til en reference.....	93
13.3	Responsvariable og begrænsninger i estimeret gødningsvirkning af N.....	95
14	Appendiks C. Vejledende førsteårgødningsvirkning af husdyrgødning i den aktuelle udbringningssituation vurderet af Dansk Landbrugsrådgivning.....	98

Sammendrag

Ved gennemførelsen af handlingsplan for bæredygtig udvikling i landbruget har der siden vækstsæsonen 1988 været krav om obligatoriske sædskifte- og gødningsplaner. Ved anvendelse af husdyrgødning stilles minimumskrav til den andel af kvælstof i husdyrgødning, der skal inddrages i gødningsregnskabet. Dette substitutionskrav kaldes populært for udnyttelseskrav, og kravet er flere gange blevet skærpet. I forbindelse med 2008-evalueringen af Vandmiljøplan III skal det vurderes, om der er grundlag for yderligere skærpelse af substitutionskravet.

Denne rapport indledes med en beskrivelse af mængden af husdyrgødning og af udviklingen i husdyrholdet. Omkring halvdelen af det samlede forbrug af kvælstof i planteproduktionen hidrører fra husdyrgødning, hvor kvæg- og svinegylle udgør $\frac{3}{4}$ af den samlede mængde kvælstof i husdyrgødning.

Gødningsvirkningen af kvælstof i husdyrgødning afhænger af, hvorvidt kvælstoffet findes på mineralsk (uorganisk) eller organisk form, samt risikoen for tab fra disse puljer og omsætningen dels under lagring og dels i jorden efter udbringning, jf. figur på omslagets forside. Udgangspunktet er, at indholdet af mineralsk kvælstof (ab lager) svarer til plantetilgængeligt kvælstof i husdyrgødning. Tab af kvælstof ved ammoniakemission og denitrifikation vil imidlertid reducere gødningsvirkningen. Modsat vil mineralisering af organisk bundet kvælstof øge andelen af plantetilgængeligt kvælstof. Mineralisering forløber hele året og derfor bliver vækstsæsonens længde af betydning både for gødningsvirkningen i den første vækstsæson efter udbringning og ved beregning af eftervirkningen i de følgende årtier.

Både driftsmæssige forhold og bearbejdning af husdyrgødning kan påvirke gødningsværdien af kvælstof. Plantetilgængeligheden af kvælstof i husdyrgødningen kan påvirkes ved fodringen, men indenfor de seneste år synes ændring i fodringen ikke at have været så væsentlig, at det kan give grundlag for en forventning om ændring i gødningsvirkningen af kvælstof i husdyrgødning.

Gennem de seneste år er der opstået interesse for bearbejdning af gylle, hvilket bl.a. har indflydelse på gødningsvirkningen af kvælstof i husdyrgødningen. Ved bearbejdning af husdyrgødning, primært gylle, tilstræbes en bevidst påvirkning af en række parametre, primært tørstof, kvælstof og fosfor, der i et vist omfang er korrelerede. Generelt kan gylle bearbejdes kemisk ved tilsætning af stoffer, ved separering og ved processering med forbrænding af det organiske stof (herunder afgangning), enten som selvstændige bearbejdninger eller i kombination. Bearbejdning af gylle kan øge andelen af plantetilgængeligt (mineralsk) kvælstof på to måder: 1) Reducere gasformige tab af kvælstof eller 2) påvirke forholdet mellem mineralsk og organisk kvælstof, jf. figur på omslaget. Bearbejdning foretages ikke nødvendigvis af hensyn til næringsstoffudnyttelse, men ofte med henblik på afsætning af næringsstoffer udenfor husdyrbrugsbedriften. Ved afgangning af gylle, der her omtales som bearbejdning, men i lovgivningen betegnes forarbejdning, omsættes organisk

bundet kvælstof til mineralsk kvælstof, hvorved der kan forventes en højere gødningsvirkning. Dette forudsætter dog, at der ved udbringning tages højde for det forøgede potentiale for ammoniakemission forårsaget af et højt pH i den afgassede gylle. Separering af gylle er en fysisk proces, hvor partikler skilles fra væsken. Der sker således ingen kemiske ændringer, men alene en opdeling i en tørstofrig fiberfraktion og en flydende fraktion med kun få procent tørstof. Gødningsvirkningen af kvælstof i væskefraktionen er høj og kan anvendes som ubearbejdet gylle. Derimod byder fiberfraktionen på væsentlige problemer. Dels kan der ske betydelig emission af ammoniak og drivhusgasser under oplagringen, og dels er gødningsvirkningen af N ofte lav. Forsuring af gylle er den eneste bearbejdningsmetode, der direkte sigter på at fastholde N i husdyrgødningen, idet ammoniakemissionen reduceres i stald, lager og ved udbringning. Herved kan der forventes en højere gødningsvirkning af kvælstof i forsuret gylle. De omtalte former for bearbejdning har også ulemper, hvilket bør inddrages i overvejelserne inden teknologierne implementeres.

Denne rapport foretager en sammenstilling af forsøg, hvor førsteårgødningsvirkningen er bestemt indirekte i forhold til handelsgødning for de væsentligste kombinationer af gødningstype, afgrøde, udbringningsmetode og udbringningstidspunkt. Den samlede gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning beregnes ved summering af 1) førsteårvirkningen, 2) tillæg for virkningen af mineraliseret kvælstof for afgrøder med lang vækstsæson plus 3) den akkumulerede eftervirkning. Førsteårgødningsvirkning er baseret på en række markforsøg, mens eftervirkningen er modelberegnet for en tidshorisont på 10 år. For gylle, fast staldgødning og dybstrøelse vægtes den samlede gødningsvirkning efter sandsynlige udbringningsmetoder og tidspunkter, mens der for bearbejdet gylle tages hensyn til egenskaberne, specielt risikoen for emission af ammoniak. For hver gødningstype gives en vurdering af samlet gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning, som herefter kan danne grundlag for fastlæggelse af substitutionskravet (Tabel 15). Den samlede gødningsvirkning af kvælstof er i forhold substitutionskravene vurderet til at være:

- uændret for kvæg- og svinegylle, samt for væskefraktionen fra separeret gylle, hvor fiberfraktionen afbrændes,
- højere for ajle, dybstrøelse og minkgylle,
- lavere for fast staldgødning,
- højere for fast staldgødning og dybstrøelse fra fjerkræ, idet gødningsvirkningen af kvælstof for disse typer fjerkrægødning klart adskiller sig fra de tilsvarende gødningstyper fra pattedyr, og
- for afgasset gylle og forsuret gylle vurderes en selvstændig samlet gødningsvirkning af kvælstof.

Der afsluttes med en vurdering af, hvilken effekt en skærpelse af substitutionskravet kan have på nitratudvaskningen. En tilsvarende vurdering foretages for metoder til bearbejdning af husdyrgødning, og der suppleres med en beskrivelse af hvilken kompleksitet bearbejdning af husdyrgødning kan have for emission af drivhusgasser.

1 Indledning

På baggrund af regeringens handlingsplan for bæredygtig udvikling i landbruget, blev der i 1992 introduceret bestemmelser om obligatoriske sædskifte- og gødningsplaner. Ved udarbejdelse af det årlige gødningsregnskab skal jordbrugere medregne forbruget af kvælstof (N) i husdyrgødning med nærmere fastsatte andele (senest Gødskningsbekendtgørelsen, 2008). Dette kaldes populært udnyttelseskrav for kvælstof i husdyrgødning, men kan mere præcist betegnes som et substitutionskrav, idet N i husdyrgødning substituerer N i handelsgødning ved opfyldelse af afgrødens N behov.

Denne rapport udspringer af aftalen af 2. april 2004 mellem regeringen og forligspartierne om Vandmiljøplan III (VMPIII; Anonym, 2004). Af aftalens punkt 4 fremgår det, at *kravene til udnyttelse af kvælstof i husdyrgødningen (skal) skærpes med 4,5-5%-point i takt med, at forskningen skaber grundlag herfor* og, at dette vurderes ved evalueringerne af VMPIII i 2008 og 2011. Opgaven er således at beskrive grundlaget for, at der i forbindelse med reglerne for gødningsregnskaber i bekendtgørelsesform kan fastsættes et substitutionskrav for N i husdyrgødning, jf. §12 stk.1. i Gødskningsloven (2006), hvorefter *Ministeren for fødevarer, landbrug og fiskeri fastsætter for hver husdyrgødningstype den andel af total mængde kvælstof i husdyrgødning, som skal anvendes ved beregning af forbruget af kvælstof i husdyrgødning.*

Indledningsvis beskrives udviklingen i mængden af produceret husdyrgødning (Kapitel 2), hvorefter udviklingen i substitutionskravet og gældende regler beskrives (Kapitel 3). Dernæst følger en principiel gennemgang af kvælstofformer og omdannelser i husdyrgødning (Kapitel 4), hvilket danner basis for de efterfølgende tre kapitler. Først gives en kort beskrivelse af faktorer i stald og på lager, der kan påvirke husdyrgødningen af lager (Kapitel 5). Dernæst gives i kapitel 6 en beskrivelse af, hvorledes forskellige bearbejdningsformer indvirker på kvælstofindholdet og sammensætningen af husdyrgødning, hvilket er centralt for denne rapport. Endvidere gives i kapitel 7 en beskrivelse af udbringningsmetodens betydning for tab og omsætning under og efter udbringning.

Med udgangspunkt i metoder, hvor den biologiske gødningsvirkning af N i husdyrgødning beregnes i forhold til en referencegødning, opsummeres resultater fra dyrkningsforsøg, der kan belyse gødningsvirkningen af N i husdyrgødning, primært forsøg med svine- og kvæggylle, men også forsøg med afgasset og bearbejdet gylle (Kapitel 8). På grundlag af foreliggende resultater for opnået førsteårsvirkning, plus et mindre tillæg for lang vækstsæson samt tillagt eftervirkning beregnet for en 10 års horisont, fremkommer den forventede gødningsvirkning af N i husdyrgødning (Kapitel 9). Denne forventede gødningsvirkning sammenholdes med gasformige tab af N, hvorefter det vurderes, om der er grundlag for en skærpelse af substitutionskravet og i givet fald i hvilken udstrækning. Afslutningsvis beskrives det i kapitel 10, hvilken miljøeffekt en

skærpelse af substitutionskravet forventes at have på specielt nitratudvaskningen, samt hvilke miljøeffekter bearbejdning af husdyrgødning kan have.

Rapporten er endvidere suppleret med tre appendiks i kapitel 12-14. En væsentlig forudsætning for vurdering af gødningsvirkningen er repræsentativ prøvetagning og pålidelige analysemetoder (Appendiks A). Beregning af gødningsvirkning kan foretages ved brug af forskellige metoder og forskellige variable, hvilket har betydning for, hvorledes estimatet for gødningsvirkningen kan fortolkes. I Appendiks B defineres en række metoder til beregning af gødningsvirkning af N i husdyrgødning. De faktiske omstændighederne ved udbringning af husdyrgødning har betydning for gødningsvirkningen i den givne situation. Med henblik på at skønne den aktuelle førsteårsvirkning af N i husdyrgødning, bl.a. for at vurdere behovet for supplerende tildeling af N i handelsgødning, har Dansk Landbrugsrådgivning opstillet vejledende værdier for gødningsvirkning i en række tabeller, der er gengivet i Appendiks C.

2 Mængden af produceret husdyrgødning

På grundlag af 2005-normtallene for husdyrgødning er den samlede mængde husdyrgødning og kvælstof heri beregnet (H.D. Poulsen, personlig meddelelse) efter principperne i Poulsen et al. (2001). Resultaterne af disse beregninger for kombinationer af gødningstype og husdyrart er vist i Tabel 1. De beregnede mængder er imidlertid ikke i sig selv væsentlige ved fastlæggelsen af substitutionskravet, men kan benyttes til at indkredse de kombinationer, der er af størst betydning, og derfor fordrer en relativ præcis fastlæggelse af substitutionskravet. Modsætningsvis kan beregningerne benyttes til at udpege de kombinationer af gødningstype og husdyrart, hvor der kan afsættes færre ressourcer til fastlæggelse af substitutionskravet, og for denne restgruppe af kombinationer fastsættes et generelt substitutionskravet i form af en opsamlingsbestemmelse.

2.1 Gødningstype og dyreart

Det helt afgørende grundlag for differentiering af substitutionskravet er husdyrgødningens egenskaber, typisk beskrevet for kombinationerne af gødningstype og husdyrart. Disse egenskaber kan påvirkes ved såvel biogasproduktion på basis af husdyrgødning som ved andre former for bearbejdning af husdyrgødning, og herved skabes grundlag for yderligere differentiering af substitutionskravet for kvælstof i bearbejdet husdyrgødning. Omkring 4% af husdyrgødningen, primært gylle, passerer i dag biogasanlæg, hvortil der kan være knyttet bearbejdningsanlæg, mens mængden af husdyrgødning, der alene bearbejdes, antages at være beskeden. En beskrivelse af udviklingen i husdyrholdet og dermed mængden af husdyrgødning for de enkelte dyrearter, giver grundlaget for forståelsen af, hvilke faktorer, der driver interessen for bearbejdning af husdyrgødning.

Tabel 1. Gødningsmængde og mængde af kvælstof i husdyrgødning fordelt på husdyrgruppe og gødningstype i 2005 (H.D. Poulsen, personlig meddelelse).

Husdyrgødning fordelt på husdyrgrupper og gødningstype [1000 tons gødning]

	Fast stald-gødning	Ajle	Dybstrøelse	Gylle	I alt	Procent
Kvæg	826	777	1.952	9.978	13.534	41
Svin	216	700	451	16.982	18.350	55
Fjerkræ	87	0	299	30	417	1
Pelsdyr	78	94	0	725	896	3
Heste	0	0	112	0	112	0
Får og geder	0	0	28	0	28	0
I alt	1.207	1.571	2.842	27.716	33.336	100
<i>Procent</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>9</i>	<i>83</i>	<i>100</i>	

Kvælstof i husdyrgødning fordelt på husdyrgrupper og gødningstype [tons N]

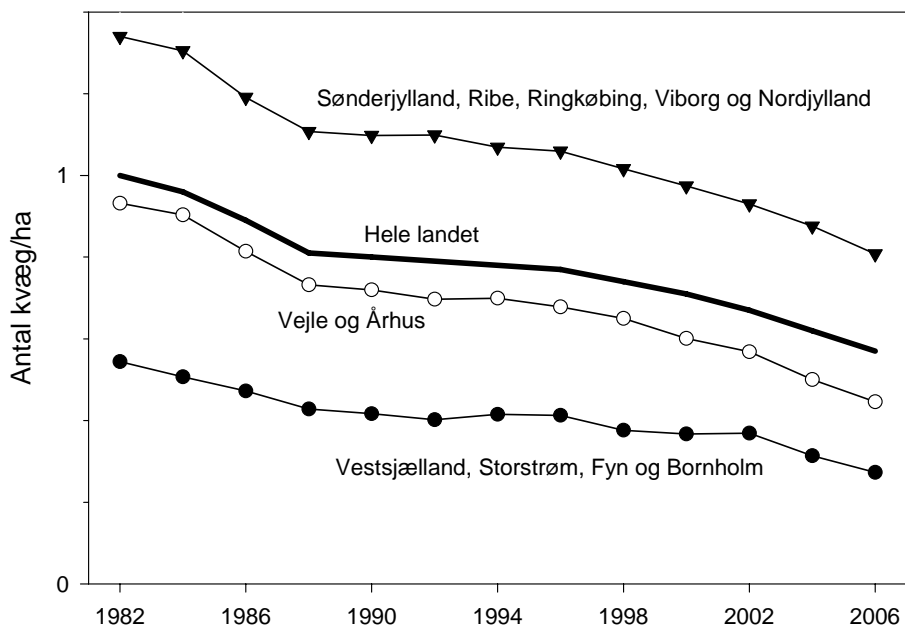
	Fast stald-gødning	Ajle	Dybstrøelse	Gylle	I alt	Procent
Kvæg	4.619	4.277	18.413	54.591	81.901	43
Svin	1.822	2.840	4.844	82.214	91.721	49
Fjerkræ	1.578	0	6.469	209	8.257	4
Pelsdyr	806	94	94	4.716	5.709	3
Heste	0	0	899	0	899	0
Får og geder	0	0	343	0	343	0
I alt	8.826	7.211	31.062	141.731	188.830	100
<i>Procent</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>16</i>	<i>75</i>	<i>100</i>	

2.2 Udvikling i husdyrholdet

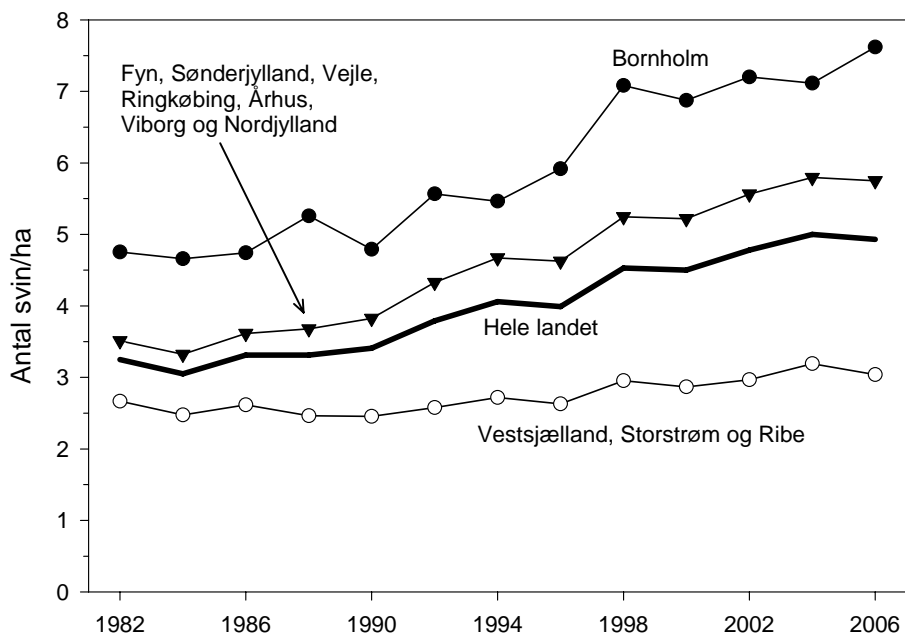
På landsplan er svineholdet øget med knap 45% i perioden 1982-2006, mens kvægholdet næsten er halveret i samme periode. Der er imidlertid væsentlige regionale forskelle, både med hensyn til udgangspunktet i 1982 og med hensyn til ændringen i perioden. Kvægbruget har i hele perioden være koncentreret på de sandede jorde i Vest- og Nordjylland, hvor der er op til 3 gange så meget kvæg/ha som på Øerne (Figur 1). Det relative fald i tætheden af kvæg er 50% på Øerne og i Østjylland, mens det er lidt mindre, 40%, i de kvægbrugsintensive egne. Det tidligere Ribe amt er det område med den absolut højeste tæthed af kvæg.

De regionale forskelle i svineholdet deler sig på anden måde og med betydelige regionale forskelle i tætheden. Allerede i 1980'erne havde Bornholm den højeste tæthed af svin, og denne er øget med 0,14 svin/ha/år svarende til 60% for perioden 1982-2006 (Figur 2). Specielt efter 1990 har udviklingen taget fart, idet tætheden er øget med 0,17 svin/ha/år for perioden 1990-2006. I modsætning hertil var der på Sjælland og i Ribe amt i 1982 kun den halve svinetæthed sammenlignet med Bornholm, og tætheden udviklede sig med kun 0,03 svin/ha/år i perioden, svarende til en samlet forøgelse i tætheden på knap 20%. Den svage udvikling i Ribe amt hænger (formodentlig) sammen med den høje tæthed af kvæg. I resten af landet er svinetætheden steget med 0,11 svin/ha/år svarende til en 65% forøgelse af tætheden i 2006 sammenlignet med 1982 med

den kraftigste udvikling i Fyns amt. Fra 2007 til 2008 er svinebestanden reduceret med 8% (Danmarks Statistik, 2008) svarende til et fald fra knap 5,0 til 4,6 svin/ha.



Figur 1. Udvikling i antal kvæg pr. ha for de tidligere amter og for hele landet. For overskuelighedens skyld er amterne grupperet. Beregnet efter Danmarks Statistik (Statistikbanken, tabellerne AFG og HDYR).



Figur 2. Udvikling i antal svin pr. ha for de tidligere amter og for hele landet. For overskuelighedens skyld er amterne grupperet. Beregnet efter Danmarks Statistik (Statistikbanken, tabellerne AFG og HDYR).

Den generelle udvikling i husdyrholdet er her beskrevet med antal dyr pr. ha dyrket areal og ikke ved udviklingen i antal dyreenheder (DE) pr. ha. Det skyldes, at antal dyr pr. ha direkte afspejler udviklingen i produktionen, mens DE/ha er afledt som et produkt af produktionen og fodereffektiviteten, der er udtrykt gennem normtal for husdyrgødning. Ændringer i normtallene vil derfor bidrage til at sløre billedet af udviklingen i produktionen. Desuden blev dyreenhedsbegrebet redefineret i 2003, hvilket giver manglende sammenlignelighed før og efter redefineringen, og hovedreglen er nu, at 100 kg N i husdyrgødning svarer til 1 DE. Endvidere kan DE/ha beregnes på to forskellige måder. På grundlag af Danmarks Statistik kan antal DE/ha på bedriftsniveau opgøres og her ligger gennemsnittet på landsplan for kvægbrug på 1,5 DE/ha, mens det for svinebrug er 1,8 DE/ha. Disse størrelser har været nogenlunde konstante i perioden 1990-2006 og på tværs af amter. Dette peger på at husdyrbrugenes arealtilliggende har udviklet sig i takt med udvidelsen af husdyrproduktionen. I modsætning hertil opgør Plantedirektoratet (2007) husdyrtætheden på baggrund af gødningsregnskaberne 2003/04 og finder i gennemsnit på landsplan for kvægbrug en tæthed på 1,2 DE/ha, mens tætheden for svinebrug ligger på 1,3 DE/ha. Beregningen på grundlag af data fra Danmarks Statistik er baseret på virksomhedens ejerskab af jordtilliggende, mens Plantedirektoratets opgørelse er justeret for tilforpagtede arealer og afsætning af husdyrgødning via naboaftaler. Plantedirektoratets opgørelse er derfor et bedre udtryk for dyretætheden i relation til landbrugsarealet, men Plantedirektoratets tidsserie er kun ganske kort (5-6 år) og kan derfor endnu ikke benyttes til beskrivelse af den langsigtede udvikling, mens Danmarks Statistik dækker en længere periode, der imidlertid ikke giver tilstrækkelig præcis information.

Netop hensynet til en fuldstændig tidsserie har været afgørende i denne oversigtlige præsentation af udviklingen i husdyrproduktionen, og derfor er opgørelse på amtsbasis valgt frem for regionsopdeling. Endvidere giver regionsopdeling ikke et tilstrækkeligt differentieret grundlag, da udviklingen f.eks. indenfor Region Syddanmark er meget forskellig, idet Sønderjyllands og Ribe amter adskiller sig væsentligt fra Fyns amt, ligesom der er væsentlige forskelle på øst og vest i Region Midtjylland.

Ud over ændringer i husdyrholdet vil ændringer i produktiviteten også påvirke mængden af husdyrgødning. Uden der skal gøres nærmere rede for ændringen i produktiviteten skal det blot nævnes, at udskillelsen af N fra kvæg er øget pga. øget produktivitet, mens udskillelsen fra svin er reduceret pga. øget effektivitet. Disse ændringer er indregnet i den samlede opgørelse af kvælstof i husdyrgødning (Tabel 1).

2.3 Interesse for bearbejdning af husdyrgødning

Husdyrproduktionen er også koncentreret på færre brug, både absolut og relativt (Tabel 2). I perioden 1990-2006 er den gennemsnitlige kvægbedrift øget fra 38 til 65 ha, mens den gennemsnitlige svinebedrift er øget fra 40 til 109 ha. Variationen på landsplan skal ikke beskrives

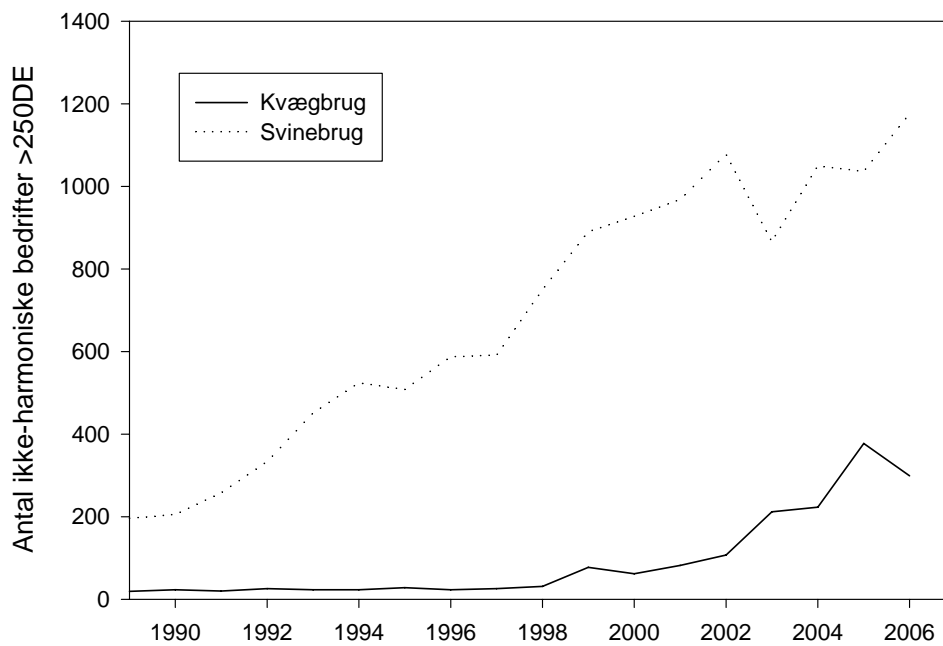
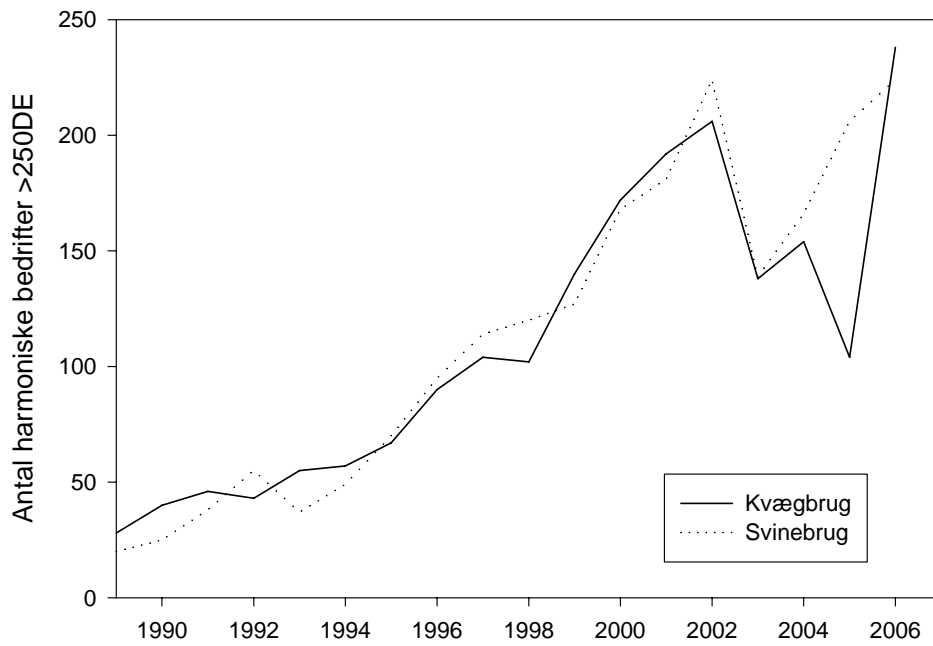
nærmere her, men det konstateres blot, at husdyrproduktionen i perioden ikke alene er koncentreret på færre men også på større brug.

Tabel 2. Udviklingen i bedriftsstrukturen udtrykt ved absolut og relativt ved antal bedrifter med henholdsvis svine- og kvægbesætninger (Danmarks Statistik, flere årgange og Statistikbanken, tabel KOMB).

	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2002	2004	2006
Svinebesætninger [1000 stk.]	172	120	68	30	21	13	12	10	8
Procent af alle bedrifter	88	86	57	38	31	24	23	22	17
Kvægbesætninger [1000 stk.]	170	103	61	36	30	23	21	18	16
Procent af alle bedrifter	87	74	51	46	44	42	41	39	34

Dette har ført til en betydelig stigning i antallet af store brug (>250DE) både de harmoniske (Figur 3) og specielt i de ikke-harmoniske svinebrug (Figur 3), der i 2006 udgjorde 15% af samtlige svinebrug. Med henblik på overholdelse af harmonikravene har disse forhold ført til et kraftigt pres for afsætning af DE udenfor husdyrbrugsbedriften.

Netop presset på overholdelse af harmonikravene er et incitament til bearbejdning af husdyrgødning, der kan lette afsætningen. Det gælder for såvel de brug, der allerede i dag kan betegnes som ikke-harmoniske, som de brug, der vil blive det, dels ved udvidelse af husdyrproduktionen og dels ved lokalt skærpede harmoniregler i forbindelse med miljøgodkendelse af udvidelsen. Bearbejdningsteknologier, der kan løse dette problem, har derfor den største interesse blandt husdyrproducenterne, mens bearbejdningsteknologier, der kan forbedre gødningsvirkningen af kvælstof i husdyrgødning ikke ofres samme opmærksomhed, selvom planteproduktionen herved kan tildeles mere N, både på egen bedrift og på nabobedrifter, der aftager husdyrgødning. Det er således et spørgsmål om teknologien ønskes anvendt til overholdelse af harmonireglerne (DE/ha) eller har relation til reglerne vedrørende gødningsregnskab (kvælstof kvote). I forbindelse med biogasproduktion på basis af husdyrgødning, der i øvrigt ikke lovgivningsmæssigt henregnes til bearbejdning af husdyrgødning, kommer der også et økonomisk aspekt i form af salg af energi. Ved gennemgangen af de forskellige bearbejdningsteknologier er det nyttigt at have disse sondringer for øje. Endvidere skal teknologiernes rentabilitet sammenholdes med de alternativer, der foreligger for den enkelte bedrift, hvilket imidlertid ligger uden for emnet af denne rapport. I det følgende kapitel 3 gives et overblik over reglerne for anvendelse af husdyrgødning, mens bearbejdningsteknologierne beskrives i kapitel 6.



Figur 3. Udvikling i antal bedrifter større end 250 DE der overholder (harmoniske) eller overskrider (ikke-harmoniske) harmonikravet (Danmarks Statistik, Statistikbanken, tabel BRUG3)

3 Regulering af anvendelsen af kvælstof i husdyrgødning

Som følge af udviklingen i husdyrholdet, jf. kapitel 2, indtager de gødnings- og miljømæssige forhold vedrørende anvendelse af plantenæringsstofferne i husdyrgødningen i dag en langt mere fremtrædende plads end tidligere. Dette har bl.a. medført en række handlingsplaner, love og bekendtgørelser, der sigter på at sikre en gødningsmæssig anvendelse af næringsstofferne i husdyrgødningen.

3.1 Historisk oversigt over handlingsplaner til regulering af landbrugets miljøpåvirkning

Landbrugets anvendelse af husdyrgødning var ureguleret indtil 1985, hvor Folketinget vedtog NPO-handlingsplanen (Anonym, 1985), der bl.a. fastlagde rammer for anvendelse og opbevaring af husdyrgødning, og i 1987 Vandmiljøplanen (Anonym, 1987), der iværksatte en yderligere indsats for at nedbringe udledningen af kvælstof, fosfor og organisk stof fra industrien, landbruget og de kommunale renseanlæg. Reduktionen i udledningen af kvælstof skulle hovedsageligt opnås ved en bedre gødningsvirkning af N i husdyrgødningen, en systematisk gødningsplanlægning og etablering af vintergrønne marker. I maj 1990 konstateredes det, at landbruget indtil da havde opfyldt kravene i Vandmiljøplanen, men til trods herfor fandtes der ikke holdepunkter for at antage, at målene om halvering af kvælstofudledningen kunne nås i 1992. Derfor besluttede regeringen, at Landbrugsministeriet skulle udarbejde en samlet handlingsplan for en bæredygtig udvikling i landbruget. Regeringens handlingsplan forelå i april 1991 og omfattede yderligere restriktive tiltag vedrørende udbringning og anvendelse af husdyrgødning samt bestemmelser om obligatoriske sædskifte- og gødningsplaner, herunder minimumskrav (substitutionskrav) ved beregning af N tilført med husdyrgødning. Disse skærper indebar bl.a., at flydende husdyrgødning primært skal udbringes om foråret. Endvidere skal opgørelsen af afgrødernes kvælstofbehov ved udarbejdelse af sædskifte- og gødningsplaner baseres på Plantedirektoratets kvælstofnormer. Udover minimumskrav ved beregning af substitution for N i husdyrgødningen blev der efterfølgende fastsat regler om indregning af husdyrgødningens eftervirkning i sædskifte- og gødningsplanerne.

I 1998 vedtog Folketinget Vandmiljøplan II (VMPII) efter politisk aftale (Anonym, 1998). Denne plan foreskriver skærpelse af harmonikravene, stramning af substitutionskravet for N i husdyrgødning, reduktion af Plantedirektoratets gødningsnormer med ca. 10% under det økonomisk optimale, krav om efterafgrøder samt en række støtteordninger til miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger (MVJ-ordninger). Ved Midtvejsevalueringen af VMPII i 2000 aftalte forligspartierne yderligere stramninger i substitutionskravet for N i husdyrgødning (Anonym, 2000). Desuden blev der foretaget mindre justeringer af VMPII, bl.a. krav om, at kvælstof optaget i efterafgrøder skal indregnes i gødningsregnskabet, reduktion af gødningsnormen til græs samt reduktion i ekstra kvælstof til brødhvede.

Ammoniakhandlingsplanen (Anonym, 2001) fra 2001 indeholder forbud mod bredspredning af gylle, krav om nedmuldning af gylle udbragt på sort jord inden for 6 timer, krav om overdækning af

markstakke samt støtteordning for begrænsning af ammoniaktab fra stalde. Endvidere giver Ammoniakhandlingsplanen planlægningsmyndigheder mulighed for at begrænse udvidelse af husdyrbrug i følsomme områder.

Hidtil har vandmiljøplanerne i høj grad sigtet mod begrænsning af kvælstoftab fra landbruget, men med Vandmiljøplan III (VMPIII) introduceres i 2004 tiltag, der begrænser tab af fosfor. Endvidere indeholder VMPIII yderligere krav om efterafgrøder, samt skærpelse af substitutionskravet for N i husdyrgødningen i takt med den teknologiske udvikling og viden herom opnås. VMPIII løber frem til 2015 og skal ifølge den politiske aftale (Anonym, 2004) evalueres i 2008 og 2011.

Tiltagene i Ammoniakhandlingsplanen og VMPIII er fuldt indarbejdet i lovgivningen fra 2007. Mikkelsen et al. (2005) giver en oversigt over handlingsplanerne og udviklingen i miljøtilstanden siden 1985.

3.2 Regler vedrørende husdyrgødning

Begrænsning af forurening og gener fra dyrehold, herunder produktion, opbevaring og anvendelse af husdyrgødning og ensilage, reguleres i Husdyrgødningsbekendtgørelsen (2006). Denne bekendtgørelse indeholder harmoniregler, der er en implementering af Nitratdirektivet (1991). Til beregning af harmonien mellem husdyrproduktionen og arealtilliggende benyttes antal dyreenheder (DE), hvortil bekendtgørelsen angiver beregningsmetode. Kravene til anvendelse indebærer, at husdyrgødningen skal anvendes til gødskning af afgrøder og der fastsættes krav til udbringningsmetoder og tidspunkter. Disse regler i Husdyrgødningsbekendtgørelsen har hjemmel i Miljøbeskyttelsesloven (2006).

Med henblik på begrænsning af nitratudvaskningen fastsættes minimumskrav for udnyttelsen af kvælstof i husdyrgødning (substitutionskrav), samt krav om udarbejdelse af gødningsregnskaber. Plantedirektoratet udsteder med hjemmel i Gødskningsloven (2006) to bekendtgørelser forud for vækstsæsonen. Gødskningsbekendtgørelsen (2008) fastlægger substitutionskrav for husdyrgødning og behovet for tilførsel af kvælstof til de enkelte afgrøder, samt stiller krav om udarbejdelse af sædskifte- og gødningsplaner samt gødningsregnskaber for bedriften. Den årlige kvælstofprognose (senest 2008) foretager en generel korrektion af niveauet for afgrødernes kvælstofnorm afhængig af jordens indhold af mineralsk kvælstof ved udgangen af vinteren.

Endvidere begrænser Arealkravsbekendtgørelsen (2006) husdyrbrugenes maksimale størrelse, samt indeholder et progressivt krav om ejerskab til en vis andel af det areal husdyrbruget anvender til udbringning af husdyrgødning. Ved separering af gylle med opkoncentrering af næringsstofferne kvælstof og fosfor i en eller flere fraktioner, kan jordbrugskommissionen efter ansøgning tillade reduktion i arealkravet med 25% eller 50% afhængig af opkoncentreringsgraden. Endvidere regulerer denne bekendtgørelse transport af husdyrgødning over længere afstande.

Arealkravsbekendtgørelsen har hjemmel i Landbrugsloven (1999), som imidlertid er ophævet ved Landbrugsloven (2004), med undtagelse af lige netop de bestemmelser (1999-lovens §7, stk. 3 og stk. 5, nr. 1 og 2.), der ligger til grund for bekendtgørelsen. I forhold til Arealkravsbekendtgørelsen (2002) er progressionen i ejerkravet lempet og kravet regnes nu på bedriftsniveau mod tidligere på ejendomsniveau (Arealkravsbekendtgørelsen, 2006).

Disse tre regelsæt er tæt forbundne. Således benyttes beregning af DE i Husdyrgødningsbekendtgørelsen også til opgørelse af arealkravet i Arealbekendtgørelsen. Endvidere skal anvendelsen af husdyrgødning efter reglerne i Husdyrgødningsbekendtgørelsen (2006) ske i henhold til normer for de enkelte afgrøder jf. Gødskningsbekendtgørelsen (2008). Bekendtgørelserne er i dag integreret i bl.a. internet-baserede styrings- og rapporteringsværktøjer (www.landbrugsindberetning.dk).

I 2006 blev Gødskningsloven ændret således, at barriererne for forbrænding af husdyrgødning til energiformål blev fjernet på Fødevarerministeriets område. Kvælstofindholdet i den husdyrgødning, der afbrændes, kan herved udgå af bedriftens gødningsredskab. Parallelt hermed blev Miljøministeriets Husdyrgødningsbekendtgørelse justeret med krav om, at forbrænding af husdyrgødningen skal ske i godkendte anlæg, samt at der føres regnskab over den forbrændte mængde.

Ovenstående regelsæt er generelle nationale reguleringer. Endvidere må såvel regionale, lokale og individuelle reguleringer af husdyrproduktionen imødeses i forbindelse med implementering af EU's Vandrammedirektiv og krav om miljøgodkendelse ved udvidelse af husdyrbrug. Samspillet mellem den generelle og individuelle miljøregulering som følge af Husdyrbrugsloven (2006) beskrives af Petersen (2007).

3.3 Udvikling i og gældende substitutionskrav for kvælstof i husdyrgødning

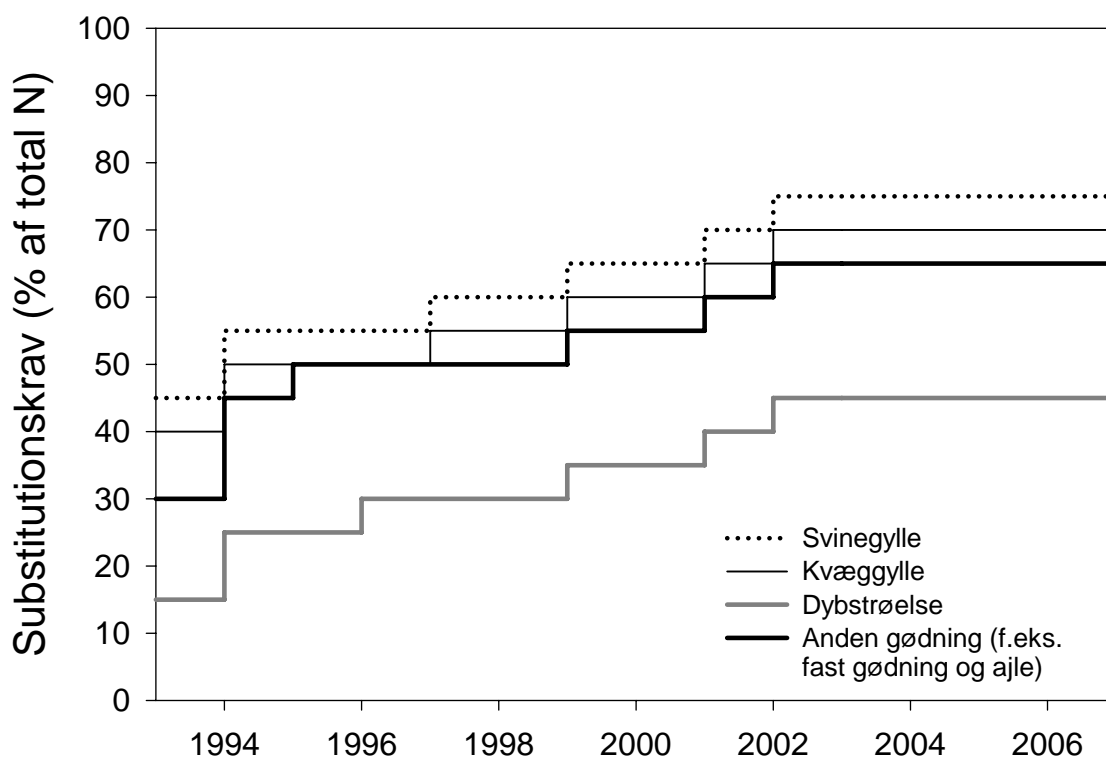
Substitutionskravet angiver hvor stor en andel af husdyrgødnings indhold af total N ab lager der skal medregnes i gødningsregnskabet. Oprindeligt svarede substitutionskravet til den forventede førsteårsvirkning som husdyrgødningen kunne tillægges. I 1994 blev der introduceret et selvstændigt tillæg for eftervirkning på 10-15%, men fra 2002 er eftervirkningen indregnet i substitutionskravet. Sideløbende er substitutionskravet gradvist er sat op i spring på 5%-point. Siden 2002 er der ikke sket skærpelse af substitutionskravet (Figur 4) og kravene gældende for Planperioden 2008/09 er vist i Tabel 3.

Tabel 3. Andele af det totale indhold af kvælstof i husdyrgødning, der skal anvendes ved beregning af forbruget af kvælstof i husdyrgødning (substitutionskrav) (§21 i Gødskningsbekendtgørelsen, 2008, jf. Gødskningsloven, 2006).

Gødningstype	[%]
Svinegylle	75
Kvæggylle	70
Minkgylle	70
Fjerkrægylle	70
Ajle	65
Fast gødning	65
Dybstrøelse	45
Anden husdyrgødning	65
Væskefraktion fra separering, hvor fiberfraktionen forbrændes	85

Endvidere fastsætter Gødskningsbekendtgørelsen (2008) substitutionskrav for kvælstof i anden organisk gødning end husdyrgødning (spildevandsslam, komposteret husholdningsaffald, kartoffelrugtsaft, pressesaft fra grøntpilleproduktion, have- og parkaffald, samt andre typer af organisk gødning). Ved blandingsprodukter, dels bestående af forskellige typer husdyrgødning og dels bestående af husdyrgødning iblandet op til 25% anden organisk gødning, fastsættes substitutionskravet som vægtet gennemsnit i forhold til den totale mængde kvælstof i de enkelte gødningstyper, jf. §12, stk. 3 i Gødskningsloven (2006). Som udgangspunkt skal substitutionskravet for afgasset biomasse beregnes forholdsmæssigt ud fra mængden af de gødningstyper, der indgår i indgangsmaterialet, dog er der netop for afgasset biomasse en alternativ mulighed, idet kravet kan fastsættes som for svinegylle jf. §12, stk. 3, 2. pkt. i Gødskningsloven (2006).

Substitutionskravet for N i bearbejdet husdyrgødning (primært separeret og forsuret gylle) beregnes og fastsættes af producenten (§21, stk. 2 og §20, stk. 3, 2. pkt. i Gødskningsbekendtgørelsen (2008)) på en sådan måde, at kravet som minimum svarer til kravet for husdyrgødningen før bearbejdningen (§20, stk 1, 2. pkt i Gødskningsbekendtgørelsen, 2008). I kapitel 6 omtales både gylleseparering og forsuring af gylle, der begge er bearbejdninger omfattet af denne regel for fastlæggelse af substitutionskravet. Dog er der fastsat et substitutionskrav for N i væskefraktionen såfremt fiberfraktionen fremkommet ved gylleseparering ikke anvendes til gødskningsformål, men afbrændes (Tabel 3).



Figur 4. Udvikling i substitutionskravet for kvælstof ved anvendelse af forskellige typer husdyrgødning i Danmark fra 1993 til 2007.

Produktet af bedriftens mængde af total N i husdyrgødning og substitutionskravet skal fradrages bedriftens samlede kvælstofkvote beregnet på grundlag af afgrødernes kvælstofnorm, og denne differens giver mængden af kvælstof, bedriften kan indkøbe i handelsgødning. Ved en negativ differens er der ikke plads til indkøb af handelsgødning, og bedriften må afsætte overskuddet af N i husdyrgødning til andre bedrifter. Denne situation forekommer dog sjældent, hvorimod harmonikravet langt oftere vil medføre behov for afsætning af husdyrgødning udenfor husdyrbrugsbedriften.

4 Omsætning, tab og gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning

Inden der foretages en gennemgang af teknologier til bearbejdning af husdyrgødning (Kapitel 6), metoder til udbringning af gylle (Kapitel 7), samt resultater fra dyrkningsforsøg til bestemmelse af gødningsvirkningen af kvælstof i husdyrgødning (Kapitel 8), beskrives sammensætningen af husdyrgødning. En sådan beskrivelse af husdyrgødningens egenskaber giver de randbetingelser, der sætter grænser for både bearbejdningsteknologiernes formåen og muligheder for opnåelse af en høj gødningsvirkning af N i husdyrgødning.

Udgangspunktet for gødningsvirkning er mineralsk N i husdyrgødning ab lager (afsnit 4.1). Under lagring mineraliseres en del af det organiske N (afsnit 4.2), men samtidig tabes mineralsk N ved

bl.a. ammoniakemission (afsnit 4.3), hvilket påvirker gødningsvirkningen af N i husdyrgødning. Forholdet mellem mineralsk og organisk N i husdyrgødningen kan også påvirkes ved bearbejdning af husdyrgødning. Endvidere vil kvælstoftab i forbindelse med udbringning (afsnit 4.4) og mineralisering af organisk kvælstof efter udbringning (afsnit 4.5) begge påvirke gødningsvirkningen N i husdyrgødning. Endelig vil en vedvarende brug af husdyrgødning på lang sigt give anledning til eftervirkning (afsnit 4.6), der kan indregnes i substitutionskravet for kvælstof i husdyrgødning.

4.1 Kvælstofformer i husdyrgødning

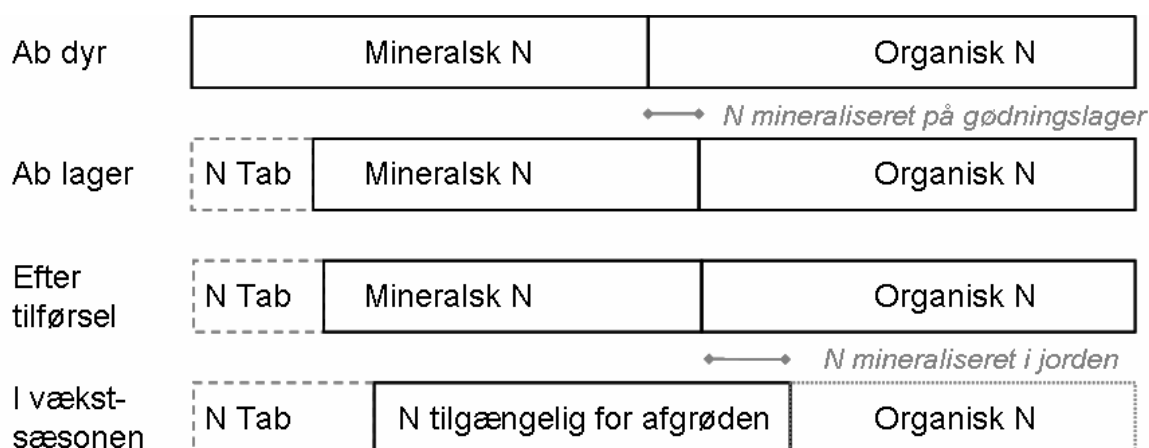
Ved udskillelsen af urin og fæces fra dyr findes hovedparten af kvælstof på organisk bundet form, mens en mindre andel udskilles som ammonium. En betydelig andel af kvælstof i urin findes som urinstof (urea), mens kvælstof i fæces hovedsagligt findes i andre organiske forbindelser, bl.a. i form af proteiner. Fjerkrægødning indeholder endvidere urinsyre og adskiller sig herved fra urin og fæces fra pattedyr, hvilket der må tages højde for ved analyse af N i fjerkrægødning. Urinstof spaltes i løbet af få dage efter udskillelsen til ammonium og kuldioxid under indvirkning af enzymet urease, og er som alle andre enzymatiske processer temperaturafhængig.

Ammoniumkvælstof er uorganisk (mineralsk) og kan tabes til atmosfæren dels direkte ved emission af ammoniak og dels indirekte efter omdannelse til andre gasformige kvælstofforbindelser.

Ammoniakemission er en fysisk proces og sker fra gødningsoverflader gennem hele håndteringskæden fra stald, lager samt i forbindelse med udbringning. Ved mikrobiologisk og kemisk iltning dannes nitrat (nitrifikation), der efterfølgende kan denitrificeres til gasserne N_2O (lattergas) og N_2 . Da ammoniumkvælstof er umiddelbart plantetilgængeligt og oftest udgør den største andel af kvælstof i husdyrgødningen vil processer, der – direkte eller indirekte – leder til tab af ammoniumkvælstof derfor føre til reduktion af gødningsvirkningen af N i husdyrgødningen.

Andelen af ammonium-N i den lagrede husdyrgødning benyttes ofte som tommelfingerregel for gødningsvirkningen af N i organiske gødninger. Metoder til repræsentativ prøvetagning og analyse af ammonium-N i husdyrgødning er nærmere beskrevet i Appendiks A.

Udgangspunktet ved fastlæggelse af substitutionskrav for kvælstof i husdyrgødning er gødningen ab lager, dvs. der ses bort fra tab i stald og under lagring. Herved afgrænses vurderingen af teknologier til håndtering af husdyrgødning sig til, hvorvidt disse giver anledning til ændring i tilgængeligheden af N, der kan begrunde et højere substitutionskrav for kvælstof i husdyrgødning. Imidlertid indvirker nogle teknologier – i kraft af deres koncept – tillige på de processer, der forløber i stald og lager, og for fuldstændighedens skyld foretages også en beskrivelse af ændringer i gødningens sammensætning i stald og lager.



Figur 5. Kvælstof i husdyrgødning, ændringer i forholdet mellem organisk og mineralsk kvælstof samt tab af N under lagring og efter udbringning. Organiske N, der ikke er mineraliseret i den første vækstsæson, indgår i jordens pulje af organisk N, der mineraliseres over flere årtier.

4.2 Kvælstof mineraliseret i stald og gødningslager

Gødningens opholdstid i henholdsvis stald og lager afhænger af staldsystemet, og mineralisering af organisk kvælstof til ammonium sker løbende begge steder. Der haves imidlertid ikke grundlag for at differentiere mellem stald og lager, selvom mineraliseringen forløber hurtigt umiddelbart efter udskillelsen fra dyrene, og hovedparten af omsætningen derfor oftest sker i stalden. Her foretages alene en kvantificering af den samlede mineralisering, der kan variere betydeligt (10-80%) afhængigt af bl.a. dyreart, lagringstid, lagringstemperatur og fodring (Sørensen, 1998, Sørensen et al 2003, Sommer et al., 2007). Det skønnes, at 30-40% af det organiske N i kvæg- og svinefæces under typiske forhold mineraliseres under ophold i stald og lager, mens omkring 90% af kvælstof i urinen omdannes til ammonium N under lagringen (Sørensen et al., 2003). Omsætningen af kvælstof under husdyrgødningens ophold i stald og lager er imidlertid ikke tilbunds gående belyst.

4.3 Tab af kvælstof fra stald og lager

I modsætning til mineraliseringen omtalt ovenfor haves der for kvælstoftab grundlag for at differentiere mellem stald og lager, samt mellem gødningstyper. I stalden sker der tab af kvælstof ved ammoniakemission og denitrifikation. Poulsen et al. (2001) og Sommer et al. (2006) har til beregning af normtal for husdyrgødning benyttet emissionsfaktorer på 3-8% af udskilt N fra kvægstalde og 8-25% fra svinestalde. Variationen i tabsfaktorerne relaterer sig til staldtypen.

I systemer, hvor husdyrgødningen håndteres som gylle, sker tabet fra stald og lager hovedsageligt ved ammoniakemission, og det årlige lagertab fra gylle opbevaret uden overdækning er 6-30% af

total N. Ved overdækning af gylle kan tabet dog reduceres med over 90% (Sommer et al, 2006), og derfor blev der med Ammoniakbehandlingsplanen (Anonym, 2001) indført krav til effektiv overdækning. Det samlede lagertab af kvælstof fra gylle med flydelag vurderes således til 2-4% af total N og tabet ved teltoverdækning til 1-2% (Poulsen et al., 2001), mens tabet fra ajle i lukket beholder vurderes til 2%.

Fra fast staldgødning, herunder fiberfraktion fra gylleseparering, oplagret uden overdækning er der målt N tab på op til 50% af total N fra svinegødning og 30% fra kvæggødning (Petersen et al. 1998; Chadwick, 2005; Petersen & Sørensen, 2008). Tabene sker både ved ammoniakemission, denitrifikation og nitratudvaskning. Der er målt meget varierende ammoniaktab (1-30%) under lagring af fast gødning (Sommer et al., 2006), hvilket skyldes, at en lang række faktorer som gødningssammensætning, stakstørrelse, temperatur, halmindhold, lagringstid og nedbørsforhold har betydning for ammoniakemissionen. Denitrifikationstab kan også være betydeligt (Petersen et al., 1998), men den foreliggende viden herom er begrænset, bl.a. fordi denitrifikationstab ofte beregnes som en differens efter måling af øvrige N-tab. Der er målt udvaskningstab på 1-4% af total N (Petersen et al. 1998), og udvaskningstab kan derfor anses som det kvantitative mindste. Ved opbevaring af fast husdyrgødning på befæstede arealer kan udvaskningen opsamles og ledes til ajlebeholderen, hvorved der ikke er tale om et decideret tab men forskydning mellem gødningsfraktionerne. Ved opbevaring i markstakke er det ikke muligt at opsamle afstrømmende væske, og derfor vil der blive tale om et udvaskningstab.

Ammoniakbehandlingsplanen (Anonym, 2001) medførte krav om overdækning af gødningsstakke, der ikke dagligt tilføres gødning (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2006), idet alle tabene kan reduceres betydeligt ved overdækning af gødningsstakke (Sommer, 2001; Chadwick, 2005). Kompaktion af gødningsstakken kan også reducere de gasformige tab. Senest har Hansen et al (2008) opstillet emissionsfaktorer for N tab under lagring af fast gødning (Tabel 4).

Tabel 4. Tab af total N under lagring af fast husdyrgødning udtrykt som emissionsfaktorer (Hansen et al., 2008)

Gødningstype	Samlet emission [% af total-N]	Heraf ammoniakemission [% af total-N]
Fast kvægstaldgødning	15	5
Kvægdybstrøelse	10	5
Svinegødning og -dybstrøelse	40	25

Stald- og lagertab er indregnet i normerne for N i husdyrgødning ab lager, som bliver justeret årligt. Da stald- og lagertab er indregnet i normerne for N i husdyrgødning vil disse tab i princippet ikke indvirke på det substitutionskrav, der stilles for kvælstof i husdyrgødning ab lager.

4.4 Tab af kvælstof i forbindelse med forårsudbringning

Indtil sidst i 1980'erne blev en betydelig andel af husdyrgødningen udbragt i efteråret og om vinteren, hvilket gav anledning til uacceptabel stor udvaskning af nitrat. Med NPo-handlingsplanen (Anonym, 1984) og Vandmiljøplanen (Anonym, 1987) indførtes regulering af udbringningstidspunktet, idet udbringning af flydende husdyrgødning herefter skulle ske i foråret, hvilket her er udgangspunktet for omtalen af tab i forbindelse med udbringning. Kvælstof-tabene umiddelbart efter udbringning af husdyrgødning afhænger meget af udbringningsmetoden, og tabene sker hovedsageligt direkte ved emission af ammoniak og indirekte ved denitrifikation.

Risikoen for tab af N ved ammoniakemission fra overfladeudbragt husdyrgødning har været kendt længe, men først med NPo-handlingsplanen (Anonym, 1984) blev der indført krav om nedbringning af gylle indenfor 24 timer efter udbringning. Med Ammoniakhandlingsplanen (Anonym, 2001) blev nedbringningskravet skærpet til 6 timer efter udbringning, og bredspredning af gylle var ikke længere tilladt. Den største reduktion i ammoniaktabet opnås ved direkte nedfældning eller hurtig nedpløjning umiddelbart efter udbringning. Nedharvning af gødningen umiddelbart efter udbringning reducerer også ammoniaktabet, men er mindre effektiv end nedpløjning og direkte nedfældning (Hansen et al., 2008). For at begrænse ammoniaktabet mest mulig kræves der fra 2011 direkte nedfældning af gylle udbragt på sort jord og græsmarker (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2006), men disse krav gælder allerede fra 2007 for arealer, der er beliggende indenfor Husdyrbrugslovens (2006) bufferzoner i forbindelse med naturarealer. Der er således allerede udført en betydelig indsats for at begrænse ammoniakemissionen, som ved omhyggelig udført direkte nedfældning med velegnet udstyr burde være reduceret til et minimum. I den forbindelse er det vigtigt, at al udbragt gylle bliver dækket af jord og der ikke efterlades gylle eksponeret for vind og vejr. En betydelig mængde gylle udbringes ved slangeudlægning på etablerede afgrøder. Det er også her muligt at reducere ammoniaktabet ved direkte nedfældning, men ikke med samme effektivitet som ved direkte nedfældning på sort jord (Hansen et al., 2008).

Denitrifikationstab efter udbringning kan være meget variable, bl.a. afhængigt af jordtype og nedbør. Denitrifikationen forløber i snævert afgrænsede områder på blot få cm³, men til gengæld er aktiviteten høj i disse 'hot spots'. Disse forhold betyder, at det er yderst vanskeligt at måle denitrifikationstab, og at resultaterne er behæftet med megen stor variation (Sørensen et al., 2003a). Derfor foretages ved vurdering af den forventede gødningsvirkning beregning af denitrifikationstab på grundlag af SIMDEN modellen (Vinther, 2008), hvor tabet beregnes i forhold til anvendelse af en tilsvarende mængde kvælstof i handelsgødning. Ved direkte nedfældning af gylle beregnes det ekstra denitrifikationstab til 5% af totalt tilført kvælstof, mens det ekstra tab er 3% ved nedharvning af gylle. Jordtypen og jordens fugtighed har stor betydning for denitrifikationen, og her er kun angivet en gennemsnitlig denitrifikation. Tab af kvælstof ved denitrifikation i de første uger efter udbringning medfører naturligvis en tilsvarende reduktion i den forventede gødningsvirkning.

Udvaskning af kvælstof sker hovedsageligt som nitrat, og udvaskning af kvælstof fra husdyrgødning forudsætter derfor omdannelse af ammonium-N og organisk kvælstof til nitrat. I løbet af få uger efter udbringning vil ammonium-N være nitrificeret, mens nitrificering af det organiske N forløber over flere år. I forhold til nitratholdig handelsgødning, der umiddelbart kan udvaskes, forsinkes nitrificeringen af ammonium-N dannelsen af den kvælstofpulje, der potentielt kan udvaskes fra forårsudbragt husdyrgødning. Desuden sker der de første uger efter udbringning en vis immobilisering af ammonium N i husdyrgødningen (omtales nærmere nedenfor i afsnit 4.5), hvorved kvælstof efter en mikrobiel binding fastholdes i organisk materiale og dermed er mindre tilgængeligt for udvaskning. Nitratudvaskning forudsætter normalt vandmættet jord og overskudsnedbør, hvilket kun sjældent forekommer i foråret. Imidlertid kan enkeltstående hændelser med store mængder nedbør i ugerne efter udbringning af husdyrgødningen medføre udvaskningstab af nitrificeret N fra husdyrgødning. I de forholdsvis få situationer, hvor forårsudvaskning forekommer, kan behovet for eftergødskning beregnes med et modul i Pl@nteInfo.dk (Heidmann & Olsen, 2004).

4.5 Kvælstof mineraliseret i jorden første vækstsæson

Umiddelbart efter tilførsel af husdyrgødning til jorden sker der en betydelig omsætning, idet der samtidig sker en mineralisering (frigivelse) af det organiske kvælstof og en immobilisering (binding) af det mineralske kvælstof. Det immobiliserede kvælstof kan senere re-mineraliseres. De første dage efter tilførsel er immobiliseringen som regel dominerende, mens mineraliseringen typisk forløber i længere tid. Nettoeffekten af de to modsatrettede processer i den første vækstsæson afhænger bl.a. af gødningens C:N forhold. For halmrige gødninger som dybstrøelse med højt C:N forhold er nettomineraliseringen omkring nul eller negativ i den første vækstsæson efter tilførslen. Også for gylle er nettomineralisering målt i inkubationsforsøg negativ i begyndelsen, hvorefter den bliver omkring nul efter 2-3 måneders omsætning (Kirchmann & Lundvall, 1993, Sørensen et al., 2002, Sørensen et al., 2003b). Nettoeffekten afhænger desuden af tidshorisonten. I dyrkningsforsøg med vårbyg, hvor der integreres over hele vækstsæsonen, fandtes en nettomineralisering, der svarede til 10-20% af det organiske N i gyllen, idet gødningsvirkningen af N i husdyrgødning var højere end forventet på grundlag af gyllens ammoniumindhold (Sørensen et al., 2003b; P. Sørensen, upubliceret). Ved en sådan indirekte bestemmelse af nettomineraliseringen kræves omhyggelig gylleudbringning, idet gasformige N tab til atmosfæren skal minimeres mest muligt. Endvidere påvirkes nettomineraliseringen af husdyrgødningens rumlige fordeling i jorden, hvilket diskuteres nærmere i afsnit 7.2.

Den løbende mineralisering af organisk bundet N tilført i husdyrgødningen betyder, at der også sker frigivelse af kvælstof om efteråret, hvor der er overskudsnedbør. Det medfører øget nitratudvaskning, der dog er begrænset, idet kun 5-10% af det tilførte organiske kvælstof frigives i den første efterårs- og vinterperiode (Thomsen et al., 1997). Mineraliseringen af det organiske N i

husdyrgødning er således ikke tilendebragt efter den første vækstsæson efter udbringning, men forløber i de følgende mange år. Der er således en glidende overgang til langvarig effekt af organisk N i husdyrgødning.

4.6 Langsomt omsættelig kvælstoffraktion - Eftervirkning af N i husdyrgødning

Efter tilførsel af gylle og staldgødning findes typisk 80-100% af det tilførte organiske N stadig uomsat i jorden efter første sæson, og N mineraliseres relativt langsomt svarende til mineraliseringen af N fra jordens organiske pulje. Den langsomme mineralisering betyder, at det ofte er vanskeligt overhovedet at måle en eftervirkning af et enkelt års tilførsel af husdyrgødning. Pålidelige resultater kræver anvendelse af forsøgsmetoder, hvor virkningen kan henføres til de enkelte kvælstofkilder med henblik på at adskille dem fra hinanden. Typisk anvendes mærkning af kvælstofkilder, herunder husdyrgødningen, med den stabile ^{15}N isotop under nøje kontrollerede betingelser.

Imidlertid er enkeltstående tilførsler af husdyrgødning ikke den normale situation i praksis, hvor der typisk vil være tale om gentagne tilførsler af husdyrgødning år efter år. Herved må der opereres med en akkumuleret eftervirkning af organisk N tilført med husdyrgødningen. Den lange tidshorisont for mineralisering, herunder mineraliseringen udenfor vækstsæsonen med udvaskning af nitrat til følge, betyder, at det er langt vanskeligere at opnå samme gødningsvirkning af det organiske N som af det mineralske N i husdyrgødningen. Petersen & Jørgensen (2004) antager på denne baggrund, at det organiske N i husdyrgødningen har en høj langsigtet udvaskningsfaktor (45%), mens udvaskningsfaktoren for mineralsk N i husdyrgødning svarer til mineralsk N i handelsgødning (30% i kornrige sædskifter, Petersen & Djurhuus, 2004). På den anden side skal det også nævnes, at det tilførte organiske stof generelt har en positiv virkning på jordens frugtbarhed (Glendinning et al., 1997), men dette skal ikke diskuteres nærmere her.

Eftervirkningen af kvælstof i husdyrgødning er estimeret i simple modelberegninger af Sørensen et al. (2002). Modellen er baseret på en række forsøg med husdyrgødning herunder også forsøg med ^{15}N -mærket husdyrgødning. I modellen beregnes for hvert af de efterfølgende år efter tilførsel af husdyrgødning, hvor meget organisk bundet kvælstof der er tilbage i jorden, og en vis andel af dette antages at blive mineraliseret. Den årlige mineraliseringsrate for det resterende organiske N falder gradvist fra 20% i året efter tilførslen til 5% fra år 7 og frem (P. Sørensen, upubliceret).

Mineraliseringen af organisk bundet N sker hen over hele året, og det betyder, at der kan opnås en højere eftervirkning i afgrøder med en lang vækstsæson. I modellen antages det, at 50% af det mineraliserede kvælstof er tilgængeligt for afgrøder med en kort vækstsæson og 75% er tilgængeligt for afgrøder med lang vækstsæson. På basis af beregninger i denne simple model er eftervirkningen af en enkelt og gentagne tilførsler af husdyrgødning angivet i Tabel 5. Eftervirkningen i året efter tilførsel varierer her fra 2 til 9% af total N afhængigt af gødningstype, jordtype og afgrødetype. Gødningstyper med en høj andel af organisk bundet kvælstof har en høj eftervirkning. Efter 10 års

gentagen tilførsel er eftervirkningen af kvæggylle beregnet til 10-15%, svinegylle 6-9% og staldgødning/dybstrøelse 16-24%.

Efter mere end 10 års gentagen tilførsel vil eftervirkningen stige yderligere. Det kan antages, at 50-75% af det mineraliserede kvælstof vil bidrage til eftervirkningen set over en meget lang tidshorizont. Den resterende del af det mineraliserede kvælstof tabes især ved nitratudvaskning og denitrifikation. Ud fra andelen af langsomt omsætteligt organisk bundet kvælstof i den tilførte husdyrgødning, kan den potentielle eftervirkning efter 50 år beregnes til 17-25% for kvæggylle, 10-15% for svinegylle og 31-47% for fast staldgødning og dybstrøelse ved brug af ovennævnte model. Da der er tale om fremskrivning og da den potentielle langsigtede eftervirkning ikke kan måles direkte, er der en meget stor usikkerhed på estimatet.

Dette medfører, at grundlaget for vurdering af den langsigtede virkning ikke foretages for de enkelte gødninger, men med udgangspunkt i modelberegnete effekter for udvalgte typeeksempler. En første vurdering af kravene til udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning kan således ske på grundlag af ammonium-N indholdet ab lager, fratrukket tabspotentialen under udbringning, og tillagt dels mineraliseringspotentialen i den første vækstsæson og dels den forventede eftervirkning.

Tabel 5. Kvælstofeftervirkning af gentagen tilførsel af husdyrgødning (Sørensen et al., 2002).

Gentagen tilførsel af husdyrgødning	1 år *)	2 år	10 år
	% af årlig total N tilførsel		
<i>Kvæggylle</i>			
Afgrøde med kort vækstsæson	3	5	10
Afgrøde med lang vækstsæson	5	7	15
<i>Svinegylle</i>			
Afgrøde med kort vækstsæson	2	3	7
Afgrøde med lang vækstsæson	4	5	10
<i>Fast staldgødning/dybstrøelse</i>			
Afgrøde med kort vækstsæson	6	8	16
Afgrøde med lang vækstsæson	9	12	24

*) Første år med eftervirkning

Der findes også andre mere komplicerede modelværktøjer, der kan anvendes til beregning af eftervirkning. Disse er dog kun i begrænset omfang valideret og anvendt til beregning af eftervirkning, men ved simulering af planteoptagelse med FASSET fandt Berntsen et al., (2007) samme eftervirkning af kvælstof i husdyrgødning af som angivet i Tabel 5. Dette understøtter anvendelsen af den simple model (Sørensen et al., 2002), som vi vurderer giver et sikkert estimat for eftervirkningen af N i husdyrgødning.

De tillæg og fradrag der gøres i udgangspunktet er potentialer tilknyttet en vis usikkerhed. Forhold der kan øge andelen af ammonium-N i forhold til total-N i den udbragte husdyrgødning vil kunne øge den mængde N, der er umiddelbart plantetilgængelig, og dermed den direkte gødningsvirkning i

planteproduktionen. Andelen af ammonium-N kan øges ved reduktion af såvel de direkte som indirekte tab af ammonium-N, men også ved reduktion af andelen af organisk N. Faktorer, der påvirker indholdet af ammonium-N ab lager, belyses nærmere i det følgende.

5 Driftsmæssige forhold i stald og lager

Inden husdyrgødningen når frem til bearbejdning og udbringning kan der være driftsmæssige faktorer i stald og lager, der påvirker sammensætningen af husdyrgødningen og dermed gødningsvirkningen. I denne sammenhæng ses der bort fra N tab, der er omtalt tidligere i afsnit 4.3.

5.1 Fodring

Fodringen af husdyrene undergår til stadighed optimering, bl.a. mht. foderets proteinindhold. I det seneste årti har optimeringen medført en betydelig reduktion i N udskillelsen pr. produceret animalsk enhed. Normtallene for husdyrgødnings indhold af kvælstof ab lager bliver opdateret årligt, hvor ændringer i den generelle opstaldnings- og fodringspraksis samt ny viden om stald- og lagertab indarbejdes.

Ved øget proteinudnyttelse reduceres N i urinen, hvilket betyder, at en større andel af kvælstoffet udskilles i fæces og dermed på organisk form. Da udgangspunktet for substitutionskravet for N i husdyrgødning ab lager er andelen af ammonium-N i forhold til total-N, vil en bedre fodring, der begrænser overskuddet af N i husdyrgødningen, reducere andelen af ammonium-N i husdyrgødningen. Ud fra et miljømæssigt synspunkt er dette positivt, idet tab af N i stald og lager står i forhold til mængden af ammonium-N i husdyrgødningen, og derfor er de absolutte tab reduceret ved bedre foderudnyttelse under i øvrigt uændrede produktionsforhold. Samtidig med en bedre udnyttelse af N i stalden må det imidlertid forventes, at andelen af let plantetilgængeligt N i husdyrgødningen reduceres, hvilket gør det vanskeligere at opnå en høj gødningsvirkning.

Plantetilgængeligheden af N i kvæggylle stiger dels med stigende proteinindhold og dels med faldende indhold af svært fordøjeligt fiber i foderet (Sørensen et al., 2003b). Reijs et al. (2007) finder ligeledes en væsentlig højere gødningsvirkning i gylle fra kvæg tildelt en høj andel af protein i fodret, mens gødningsvirkningen af gylle baseret på foderrationer med lav proteinandel var lavere og af samme størrelse som for gylle fra praktisk landbrug. En opgørelse over proteinindholdet i kvægfoder siden 2001 viser dog ingen klar udvikling (H.D. Poulsen, personlig meddelelse).

Plantetilgængeligheden af N i svinegylle påvirkes af foderets fiberfordøjelighed, mens der ikke er fundet nogen klar sammenhæng med foderets proteinindhold og N tilgængeligheden (Sørensen & Fernandez, 2003). Fiberfordøjeligheden vurderes ikke at være ændret generelt gennem de senere år.

Inden for de seneste år er der imidlertid ikke konstateret ændringer i hverken proteinindholdet i kvægfoder eller fiberindholdet i svinefoder, som kan have væsentlig betydning for andelen af ammonium-N i gødningerne. Derfor er der heller ingen forventninger til, at gødningsvirkningen af N i husdyrgødning har ændret sig.

5.2 Andre driftsmæssige forhold

Arbejdsoperationer i stalde og driftsmæssige forhold har indflydelse på mængden og indholdet af næringsstoffer, der ledes til lagerbeholderen. Vaskevand og afløb fra rene overflader kan beslaglægge et betydeligt volumen i gyllebeholderen (Laws & Chadwick, 2006). En direkte begrænsning af gylle volumen kan således ske dels ved vandbesparende foranstaltninger i forbindelse med rengøring, f.eks. i mælkerum, dels ved at undlade at lede rent regnvand fra tage og rene befæstede arealer til gyllebeholderen. Det skal dog sikres, at saftafløb fra møddingspladser og ensilagestakke ledes til gyllebeholderen, jf. Husdyrgødningsbekendtgørelsen (2006).

Et højt saltindhold i foder til lakterende køer øgede indtagelse af vand og mere end fordoblede den producerede mængde urin (Sehested & Lund, 2006). I normtallene for husdyrgødning er der ikke taget højde for denne variation, som kan have indflydelse på behovet for lagerkapacitet.

Tab af N ved ammoniakemission fra overfladeudbragt kvæggylle øges med tørstofindholdet (Sommer & Olesen, 1991). Reduktion fra 10% til 9% tørstof vil kræve tilsætning af en vandmængde, der svarer til 11% af gyllemængden, men kun reducere ammoniakemissionen med 2%-point i de første 6 timer efter udbringning. Det vurderes derfor, at fortynding ikke vil antage et sådant omfang, at ammoniakemissionen vil påvirkes.

Da det primært er tale om fortynding af husdyrgødningen, og ikke væsentlig ændring i andelen af ammonium-N i forhold til total-N, forventes der ingen effekt på gødningsvirkningen, men alene på mængden af husdyrgødning, der skal oplagres og udbringes.

5.3 Ændringer under lagring af gylle

Udover mineralisering af organisk N og tab af N fra stald og lager (afsnit 4.2 og 4.3) forløber der fysiske processer, der påvirker fordelingen af næringsstofferne i lagerbeholdere med gylle. Ved passiv separering sker der en lagdeling af tørstof og næringsstoffer (Kjellerup & Petersen, 1989; Petersen & Kjellerup, 1990). Lagdelingen er undersøgt i flere beholdere, og undersøgelserne viser, at tørstofindholdet i flydelaget og bundlaget er betydeligt højere end midt i beholderne. Tilsvarende er fundet dels af Ørtenblad & Kjellerup (1991) i undersøgelser over fordeling af plantenæringsstoffer i to lagerbeholdere med afgasset gylle, dels af Birkmose (2003) i to lagerbeholdere med henholdsvis slagtesvinegylle og sogylle.

Selvom tørstofindholdet i flydelaget og bundlaget er forholdsvis ens, viste resultaterne forskelle mht. lagenes kemiske sammensætning (Petersen & Kjellerup, 1990). Det skyldes sandsynligvis, at flydelaget domineres af halmrester og andre lettere materialer, medens bundlaget består af tungere partikler. Fosfor, samt Ca, Mg, Cu, Mn og Zn følger typisk ændringerne i tørstofindholdet. Kjellerup & Petersen (1989) fandt, at indholdet af letopløselige plantenæringsstoffer (ammonium-N, kalium og natrium) i flydelaget fra fire gyllebeholdere var mindre end i de øvrige lag, mens Birkmose (2003) ingen forskelle fandt mellem lagene i to beholdere med henholdsvis slagtesvinegylle og sogylle. For de undersøgte lagre af biogasgylle fandtes ingen klar forskel på lagene (Ørtenblad & Kjellerup, 1991), mens Sommer & Hansen (2005) fandt klart højere indhold af N, P og tørstof i bundlag for både afgasset og separeret gylle ved henstand men der var ingen flydelagsdannelse.

Resultaterne viser, at gylle fraktionerer under lagring. Dette forhold kan udnyttes i forbindelse med udbringning. Ved udbringning uden fuldstændig tømning af lagerbeholderen, kan der suges fra det midterste lag. Herved undgås omrøring og brydning af flydelaget. Ønsker man derimod at tømme gylletanken fuldstændig, er en omrøring nødvendig, dels for at få ensartet fordeling af næringsstofferne og dels for overhovedet at kunne pumpe gyllen. Under canadiske forhold er den passive separering søgt udnyttet, idet den tynde del blev udbragt til græs, mens den tørstofrige og fosforrige del (7% tørstof) blev anvendt som startgødskning af majs (Bittman et al., 2006). I den aktuelle udbringningssituation bør der tages hensyn til varierende tørstofindhold og varierende ammonium-N:total-N forhold, idet risikoen for ammoniakemission øges med tørstofindholdet, mens gødningsvirkningen reduceres ved lavere ammonium-N andel.

6 Bearbejdning af gylle

I dette rapport bruges udtrykket *bearbejdning* frem for *forarbejdning*. Årsagen er, at forarbejdning leder tanken hen på en målrettet fremstilling af et produkt med visse nøjere specificerede egenskaber. Udtrykket bearbejdning synes at dække bredere end forarbejdning, og findes derfor mere præcist for det forhold, at der er tale om at påvirke og tilpasse husdyrgødningen af andre årsager end netop kvaliteten af det bearbejdede produkt. Endvidere omfatter Gødskningsbekendtgørelsens (2008) definition af forarbejdning ikke afgasset gylle fra biogasproduktion, som ellers er den mest udbredte form for bearbejdning af husdyrgødning

Interessen for at bearbejde gylle er øget gennem de seneste år, men det er endnu kun en lille del af den samlede mængde husdyrgødning, der undergår bearbejdning. I dette kapitel gennemgås bearbejdningsteknologier i to hovedafsnit. I afsnit 6.1 foretages en generel beskrivelse af bearbejdningsteknologierne, der kan opdeles i tre hovedgrupper:

- 1) Tilsætning af stoffer, der ændrer de kemiske/fysiske egenskaber af gylle
- 2) Separering af gylle for opkoncentrering af næringsstofferne
- 3) Processering med forbrænding af organisk stof i husdyrgødning (herunder afgangning)

I afsnit 6.2 følger en omtale af fire konkrete bearbejdningsformer, der påkalder sig en særlig interesse. Kapitlet afsluttes med en diskussion af implikationerne ved bearbejdning af husdyrgødning. Omtalen af bearbejdningsformerne er mere omfattende end nødvendig for vurdering af gødningsvirkningen af N i bearbejdet husdyrgødning, men detaljerne er medtaget for at give en samlet beskrivelse af teknologierne.

6.1 Bearbejdningsformerne generelt

Bearbejdningsformer kan udføres enkeltvis eller i kombination, og separering af afgasset gylle er et eksempel på kombination af bearbejdningsformer. Her grupperes bearbejdnings teknologierne efter deres koncept: tilsætning af stoffer, separering eller processering med forbrænding af organisk stof (herunder afgangning), med henblik på at beskrive de principielle effekter af bearbejdnings teknologierne på indholdet og tilgængeligheden af N i den bearbejdede husdyrgødning.

6.1.1 Tilsætning af stoffer

Stoffer med kemisk effekt skal tilsættes i store mængder, idet de kemiske ligevægte, der forekommer i gylle, skal afstemmes støkiometrisk. Det betyder, at effektiviteten vil afhænge af den tilsatte mængde i forhold til den parameter, der ønskes påvirket. Ofte er målet en sænkning af pH med henblik på at reducere ammoniakemissionen. Syren tilsættes typisk i fortank og ved at pumpe en del af den forsurede gylle tilbage under spaltegulvet i stalden, kan der også opnås en reduktion af ammoniakemissionen i stalden. Syretilsætning omtales nærmere i afsnit 6.2.4 da det er den mest udbredte form for tilsætning.

Biologisk aktive stoffer tilsættes derimod i mindre mængde, idet der er tale om podning med mikrobiologiske kulturer. Desværre er denne type produkter sjældent hverken deklareret mht. indhold eller dokumenteret mht. virkning, men anpriser ofte som lugthæmmende. Pain et al. (1987) konkluderede, at kommercielle produkter med bakteriologisk eller enzymatisk effekt på nedbrydning og kontrol af lugtgener, ofte viser sig ineffektive. I lighed hermed viste afprøvning af to additiver under danske forhold ingen reduktion i lugtgenerne (Hansen et al., 2006).

Petersen (1996) omtaler endvidere tilsætning af tørt afsvovlingsprodukt (TASP), tilsætning af denitrifikationshæmmere, tilsætning af urea samt beluftning af gylle, men disse bearbejdningsformer har ikke haft bevågenhed i de sidste 10 år og omtales derfor ikke nærmere. Dog skal det nævnes, at tilsætning af tørt afsvovlingsprodukt til gylle anvendes i praksis, men mere synes som en praktisk måde at udbringe et svovlholdigt affaldsprodukt fra røgrensningsanlæg på landbrugsjord, og kun i mindre grad kan karakteriseres som bearbejdning af husdyrgødning.

Med henblik på at øge effektiviteten af separering af rå gylle er tilsætning af fældningsmiddel og flokkuleringsmiddel undersøgt (Rodríguez et al., 2005). Ferri-ioner (Fe^{3+}) tilsat som $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ eller $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ reagerer med $\text{H}_n\text{PO}_4^{n-3}$ og udfældes som FePO_4 . Samtidig reagerer Fe^{3+} med bicarbonat (HCO_3^-) der ved udfældning af $\text{Fe}(\text{OH})_3$ giver en pH sænkning. Tilsætning af flokkuleringsmidler (polyacrylamid polymer) får det fældede materiale og tørstoffet i gyllen til at klumpe sig sammen, hvilket gav en separeringseffektivitet for tørstof og fosfor på henholdsvis >65% og 98% for lineare polymerer. Rodríguez et al. (2005) angiver derimod ikke separeringseffektiviteten for kvælstof. Fremgangsmåden kendes fra rensning af spildevand, hvor målet er at fjerne næringsstoffer fra spildevandet.

6.1.2 Separering

Separering er en fysisk proces, hvor partikler skilles fra væsken. Der opstår herved en flydende og en fast fraktion, men der sker ingen ændring i næringsstofferne, blot en fordeling i de to fraktioner, hvor fosfor og organisk bundet N vil opkoncentreres i den tørstofrige fraktion, mens let plantetilgængeligt N findes i væskefraktionen. Separeringen kan være rent mekanisk, hvor separeringseffektiviteten kan øges ved forudgående kemisk fældning, jf. afsnit 6.1.1. Endvidere kan den flydende fraktion opkoncentreres yderligere ved f.eks. inddampning, omvendt osmose eller ultrafiltrering.

Formålet med separering er at opnå en volumenreduktion med henblik på at lette transporten ved afsætning af næringsstoffer udenfor husdyrbrugsbedriften. Det oprindelige incitament til separering af gylle var muligheden for reduktion i ejerkravet. Dels er progressionen i kravet lempet og dels skal det nu beregnes på bedriftsniveau mod tidligere på ejendomsniveau, hvilket betyder, at incitamentet til separering ikke er det samme som tidligere. I dag findes incitamentet til separering i harmonireglerne, hvortil der ikke er knyttet et krav til separeringseffektiviteten, og derfor kan driftslederen vælge at anvende en separeringseffektivitet, der netop giver den fornødne luft i forhold til harmonikravet. Dette er formodentlig årsagen til, at der i praksis er fundet separeringseffektivitet på kun 6-8 % for N (Petersen & Sørensen, 2007, 2008), altså væsentlig mindre end kravet på 20% for N, der er en af forudsætningerne for opnåelse af reduktion i ejerkravet.

Endvidere kan der ved en miljøgodkendelse i forbindelse med udvidelse af husdyrholdet stilles krav om, at bedriftens fosforoverskud ikke øges. Dette kan ligeledes være incitament til at foretage separering med henblik på afsætning af fosfor i fiberfraktionen udenfor husdyrbrugsbedriften. Interessen for gylleseparering er således ikke alene et spørgsmål om kvælstof.

6.1.3 Processering med forbrænding af organisk stof

Fast gødning og fiber fra separering af gylle kan opbevares i markstakke, hvor der er tilgang af luft, i hvert fald i de ydre dele af stakke. En mere aktiv kompostering kan opnås ved at vende stakken

med jævne mellemrum. Kompostering er en aerob forbrænding uden udnyttelse af den udviklede varme. Denne form for bearbejdning af husdyrgødning er endvidere den mest sikre metode til at opnå betydelige tab af ammoniak. Samtidig kan lokale forhold i stakken betinge denitrifikation, hvilket også giver betydelige kvælstoftab.

I modsætning til kompostering kan metan, produceret ved anaerob forgæring, afbrændes i gasmotor med henblik på el-produktion. Gasudbyttet kan øges betragteligt ved tilsætning af energirig biomasse, ligesom forbehandling muligvis også kan øge gasudbyttet. Rentabiliteten ved afgangning af gylle hænger nøje sammen med afregningsprisen, og de tilknyttede subsidier for den producerede elektricitet, samt muligheden for at anvende spildvarmen fra elproduktionen. Afgasning af gylle beskrives nærmere i afsnit 6.2.1.

En maksimal udnyttelse af energien i husdyrgødning kan opnås ved forbrænding af fiberfraktionen fra afgasset gylle. Dette bryder med princippet om, at næringsstofferne i husdyrgødningen skal anvendes i planteproduktionen. Kvælstof vil tabes fuldstændig ved afbrænding, mens fosfor og kalium vil findes i asken. Tilgængeligheden af næringsstoffer i asken er imidlertid ikke tilstrækkeligt belyst. Dette beskrives nærmere i afsnit 6.2.2.

6.1.4 Andre forhold af betydning for valg af bearbejdningsteknologi

Effekten af bearbejdningsteknologierne vil afhænge af udgangsmaterialet. Det er således helt afgørende, at teknologien uden problemer og driftsstop kan bearbejde en given type husdyrgødning. De fleste teknologier kan anvendes på svinegylle, mens kvæggylle er mere besværlig at arbejde med, og samtidig er effekten af bearbejdningen typisk lavere. Det kan imidlertid ikke udelukkes, at årsagen også skal søges i det forhold, at interessen for bearbejdning af husdyrgødning har været størst blandt svineproducenter.

Det er imidlertid ikke alene hensynet til gødningsvirkningen af husdyrgødningen, der er afgørende for implementering af bearbejdningssformer i praksis. Ændrede muligheder for håndtering af husdyrgødningen, såvel fysisk som i forhold til lovmæssige regelsæt, spiller en væsentlig rolle. Specielt afsætning af de til husdyrgødningen knyttede dyreenheder udenfor husdyrbrugsbedriften udgør et alternativ til jordkøb for overholdelse af harmonikrav, hvilket er en afgørende faktor som følge af stigende geografisk koncentration af husdyrene og deraf følgende problemer med afsætning af husdyrgødningen i planteavl. En anden faktor, der er væsentlig i forbindelse med bearbejdning af husdyrgødning, er ønsket om at anvende alternative kilder i energiforsyningen, hvorved energiproduktion på basis af husdyrgødning påkalder sig betydelig interesse. Endelig kan de fremtidige muligheder for husdyrbruget også have betydning for implementering af bearbejdningssformer i forbindelse med miljøgodkendelse af husdyrbruget. Beregning af rentabilitet afhænger af en række lokale forhold og må derfor foretages konkret for den enkelte bedrift. Ved en generel beregning af en bearbejdningssforms rentabilitet må de opstillede forudsætninger nøje

specificeres, både når det drejer sig om generelle beregninger på bedriftsniveau og om generelle samfundsmæssige betragtninger. Dette betyder, at det er vanskeligt at gennemskue rentabiliteten af den enkelte bearbejdningsform, hvilket i øvrigt også ligger udenfor denne rapport. Det står imidlertid klart, at det ikke alene er hensynet til gødningsvirkningen af husdyrgødningen, der begrundes bearbejdning af husdyrgødning.

Bearbejdningsmetoder, der indebærer afsætning af næringsstoffer udenfor husdyrbrugsbedriften, kan give mulighed for en bedre fordeling af fosfor i husdyrgødning på landbrugsjorden ved omfordeling mellem bedrifter. Fosfor i husdyrgødning sidestilles ofte med let opløseligt handelsgødningsfosfor, men meget tyder på, at husdyrgødningsfosfor er mere mobilt og fordeler sig til en større dybde i landbrugsjorden end handelsgødning. For en uddybning af denne problemstilling henvises til Poulsen & Rubæk (2005), som giver en omfattende oversigt over fosforomsætning i og -tab fra landbrugsarealer til vandmiljøet og muligheder for begrænsning af dette fosfortab.

6.2 Fire konkrete bearbejdningsteknologier

Den begrænsede udbredelse af fuldskala anlæg til bearbejdning af husdyrgødning betyder, at den foreliggende viden om gødningsvirkningen af bearbejdet husdyrgødning er baseret på case studies, ofte med forskellige indgangsvinkler til de konkrete cases. Dette betyder, at undersøgelserne på de enkelte bearbejdningsanlæg er driftsspecifikke, idet to bedrifter, der benytter samme bearbejdningsmetode, vil adskille sig på en række punkter. I ovenstående afsnit 6.1.1-6.1.3 er der tilstræbt en generel beskrivelse af koncepterne for bearbejdningsteknologierne frem for en beskrivelse af de enkelte anlægstyper. I dette afsnit gennemgås mere detaljeret de fire bearbejdningsmetoder, der i de seneste år har været størst opmærksomhed på under danske forhold, mens værdien af den bearbejdede husdyrgødning som næringsstofkilde i planteproduktionen omtales i 9.3.

De to mest udbredte bearbejdningsformer for gylle er biogasproduktion og mekanisk separering, ofte i kombination. Bearbejdningsformerne omfatter dog kun en beskedent del af husdyrgødningsmængden og fælles er, at den samlede næringsstofmængde stort set ikke ændres af bearbejdningerne. Dog påvirkes den samlede næringsstofmængde ved tilsætning af andre typer organisk stof i forbindelse med biogasproduktionen. Endvidere omtales højteknologisk separering og forsurening af gylle.

6.2.1 Afgasning i biogasanlæg

I 1995 fandtes der 14 gårdbaserede biogasanlæg og 15 biogasfællesanlæg (Anonym, 1995). Antallet af anlæg og deres kapacitet er siden hen øget, og i 2006 fandtes 31 gårdanlæg og 19

biogasfællesanlæg, der bearbejdede henholdsvis 300.000 og ca. 1.100.000 tons gylle årligt (Anonym, 2006).

Effekt af afgangning

I et biogasanlæg omdannes kulstof i husdyrgødningen under anaerobe forhold til en blanding af gasserne metan (CH₄) og kuldioxid (CO₂), hvorimod næringsstofferne lades tilbage i gødningen. Alle biogasfællesanlæg og de fleste gårdanlæg foretager samforgasning, dvs. tilsætter anden biomasse, typisk energirigt affald, for at øge gasudbyttet. Dette betyder imidlertid, at næringsstofindholdet og sammensætningen i den afgassede gylle ikke alene afhænger af den rå gylle og afgangningsprocessen, men også af mængden og typen af den tilsatte biomasse. For de fleste anlægs vedkommende kan der således ikke foretages en kvantitativ beskrivelse af ændringer i gyllens egenskaber ved afgangning. Effekten af selve afgangningen på næringsstofferne kan derfor kun beskrives for anlæg, hvor der ikke tilsættes anden biomasse. Sådanne data er vist i Tabel 6, hvoraf det ses, at tørstofprocenten falder, hvilket er en følge af, at kulstoffet omdannes til gasser. Dette bevirker også, at indholdet af næringsstoffer i det tilbageværende tørstof stiger, idet næringsstofferne ikke tabes ved selve biogasproduktionen. Endvidere er den afgassede gylle mere letflydende pga. dels det lavere tørstofindhold og dels mere ensartet partikelstørrelse.

Tabel 6. Indhold af næringsstoffer i gylle før og efter anaerob afgangning (Koføed & Klausen, 1983; Larsen, 1986).

		Tørstof	Total-N	Ammonium-N	P	K	Ammoniumandel
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<i>Kvæggylle, gns. af 13 prøver, 1979-81</i>							
I gylle	Før	8,8	0,42	0,21	0,10	0,30	50
	Efter	5,6	0,38	0,24	0,08	0,30	63
I tørstof	Før	-	4,72	2,40	1,12	3,46	-
	Efter	-	6,65	4,15	1,45	5,32	-
<i>Kvæggylle, gns. af 6 prøver 1982-84</i>							
I gylle	Før	6,8	0,37	0,21	0,10	0,31	57
	Efter	4,8	0,37	0,25	0,09	0,34	68
I tørstof	Før	-	5,49	3,04	1,41	4,65	-
	Efter	-	7,76	5,12	1,88	6,54	-
<i>Svinegylle (Kilden angiver ikke antal prøver, men formentlig gns. af 9 prøver 1982-84)</i>							
I gylle	Før	8,1	0,73	0,47	0,25	0,32	64
	Efter	6,4	0,73	0,57	0,23	0,33	78
I tørstof	Før	-	9,13	5,90	3,11	4,00	-
	Efter	-	13,28	10,42	3,75	6,08	-

Under biogasprocessen omsættes de let omsættelige, kortkædede, flygtige fede syrer (VFA), hvor eddikesyre, smørsyre og butansyre udgør hovedparten. De fede syrer udgør et buffersystem

omkring pH 4,8. Det dannede kuldioxid opløses delvist i gyllen, hvor det står i ligevægt med bicarbonat (HCO_3^-) og udgør et buffersystem ved pH 6,3. Disse ændringer giver en pH stigning, og afgasset gylle har typisk et pH, der er 0,5-1 enhed højere end ikke-afgasset gylle.

Ved nedbrydning af organiske forbindelser mineraliseres det organisk bundne kvælstof til ammoniumkvælstof. Andelen af ammoniumkvælstof stiger samtidig med, at totalkvælstofindholdet forbliver uændret (Tabel 6). Typisk vil omkring 75-80% af kvælstoffet i afgasset gylle være på ammoniumform (Tabel 7).

Det relativt høje indhold af ammoniumkvælstof i kombination med det høje pH øger risikoen for emission af ammoniak. Ved anvendelse af afgasset gylle kræves derfor ekstra indsats for at begrænse tabet ved ammoniakemission. Overdækning af tanke eller etablering af et effektivt flydelag på lagertanke er vigtigt, da afgasset gylle normalt ikke danner et naturligt flydelag, idet det organiske materiale, der skulle danne flydelaget, i stor udstrækning er omsat under den anaerobe afgasning. Endvidere er det ekstra vigtigt at nedbringe den afgassede gylle straks efter udbringning.

Tilsætning af biomasse

Ved samforgasning med op til 25% anden biomasse betragtes det afgassede produkt fortsat som husdyrgødning (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2006). Biomassen som biogasanlæggene tilsætter, er typisk rest-, fejl- eller overskudsprodukter fra fødevarerindustrien (H. Ørtenblad, personlig meddelelse). Vegetabilsk fedt opsamlet i fedtudskillere, samt restprodukter fra brød-, fiske- og juiceindustrien, har et højt gaspotentiale og udgør derfor en væsentlig kilde til biomasse. Mave-tarmindehold fra slagtede dyr (ufordøjet foder) udgør et stort volumen, men har et mindre gaspotentiale end fedtholdige produkter. Foder, der ikke længere er egnet til opfodring, f.eks. iltet ensilage, og overskudsensilage, kan ligeledes indgå som biomasse i biogasproduktionen (H. Ørtenblad, personlig meddelelse). Enkelte anlæg modtager kommunalt spildevandsslam, mens affald fra private husholdninger ikke anvendes (T. Birkmose, personlig meddelelse).

Den alternative bortskaffelse af disse rest- og fejlprodukter kunne være efter Slambekendtgørelsen (2003), hvori der bl.a. stilles krav om hygiejnesering, hvilket belaster producenten økonomisk. Ved opkrævning af betaling for at modtage disse restprodukter kan biogasanlæggene opnå en indtægt, som kan bidrage til anlæggets driftsøkonomi (H. Ørtenblad, personlig meddelelse). Hovedparten af alle biomasse restprodukter fra danske virksomheder passerer et biogasanlæg, og i visse tilfælde importeres vegetabiliske restprodukter fra den olie-kemiske industri, men i modsætning til de indenlandske restprodukter er der her tale om, at biogasanlæggene må betale for de importerede restprodukter (H. Ørtenblad, personlig meddelelse).

Da hovedparten af biomassen i rest- og fejlprodukter fra den danske fødevarerindustri allerede anvendes i biogasproduktionen, må det forudses, at samforgasning ved en udvidelse af produktionskapaciteten baseres på andre former for biomasse. Det kan enten være den fiberrige del

af husdyrgødningen (dybstrøelse og den faste fraktion af separeret ikke-afgasset gylle), biomasse fra udyrkede arealer, eller biomasse, der er dyrket med direkte sigte på energiproduktion.

Afgasset gylle skal transporteres, opbevares og udbringes på samme måde som gylle, der ikke har været anvendt til biogasproduktion. Selvom der ikke kan foretages en direkte og kvantitativ sammenligning af afgasset og ikke-afgasset gylle kan en kvalitativ sammenligning være relevant af hensyn til optimering af gødningsvirkningen af de enkelte gylletyper. I Tabel 7 er vist typiske analyseresultater for ubearbejdet svine- og kvæggylle samt for en afgasset blanding bestående af kvæg- og svinegylle og organisk affald. Den højere andel af mineralsk N gør den afgassede gylle bedre egnet til afgrøder med kort vækstsæson, f.eks. kornafgrøder, idet disse afgrøder kun i begrænset omfang optager kvælstof mineraliseret fra den organiske fraktion i løbet af efteråret.

Tabel 7. Gennemsnitlige analyseresultater af gylle anvendt i Landsforsøg, 1999-2001 (Pedersen, 2001).

	Tørstof [%]	Total- N [kg/t]	Ammonium- N [kg/t]	P [kg/t]	K [kg/t]	pH	Ammonium- andel [%]
Svinegylle (n=28)	5,0	4,0	2,9	1,1	2,3	7,1	74
Kvæggylle (n=15)	7,5	3,9	2,4	0,9	3,5	6,9	61
Afgasset gylle (n=20)	4,8	4,4	3,5	1,0	2,3	7,6	81

Der sker løbende udvikling af biogasanlæggene med henblik på at øge gasudbyttet. Det typiske anlæg består af en reaktortank, men i lagerbeholderen sker der en eftergasning, der ikke udnyttes i energiproduktionen. Som alternativ hertil foreslår Nielsen & Møller (2006) en to-trins seriekonfiguration, hvor eftergasningen foretages i den anden reaktor. Dette gør det endvidere muligt at optimere processerne individuelt i de to tanke, og en egentlig fler-trins proces kan muligvis være fordelagtig.

6.2.2 Mekanisk separering

Ved mekanisk separering adskilles gylle i en tørstoffrig fiberfraktion med omkring 30% tørstof og en flydende fraktion med 2-3% tørstof. Det mængdemæssige forhold mellem fraktionerne kan variere afhængig af separatorstype og tørstofindholdet i den anvendte rå gylle, men fiberfraktionen udgør typisk 5-15% af massen i udgangsmaterialet.

Partikelstørrelse og separeringseffektivitet

Fangueiro et al. (2006a) undersøgte partikelstørrelsesfordelingen i gylle fra to kvægbesætninger fodret med henholdsvis majs ensilage (C₄-planter) og græsensilage (C₃-planter). For begge gylletyper udgjorde massen af partikler <45µm over halvdelen af tørstoffet, og C/N forholdet i denne fraktion var 8-9. I fraktionen 45-150 µm var C/N forholdet omkring 20 og det øgedes med

partikelstørrelsen. Årsagen til denne forskel var primært et kvælstofindhold på 4% i fraktionen <45µm, mens det var 1-2% i de øvrige fraktioner og lavest i fraktionen >2000µm. Der var en negativ linear sammenhæng mellem C/N indholdet i partikelfraktionerne og mineraliseringen efter syv dages inkubation, og for partikelfraktionerne >425µm var der tale om immobilisering (Fangueiro et al., 2006b). Under oplagring sker der en omsætning og nedbrydning, hvilket giver en forskydning i partikelfraktionerne, og Møller et al. (2002) fandt, at andelen af partikelmassen, der var <25µm, blev øget under lagring.

Separeringseffektiviteten, der defineres som andelen af en given komponent (tørstof, kvælstof eller andet næringsstof), der fjernes med den fraseparerede masse (e.g. Møller et al., 2002), blev undersøgt for tre separatorer (dekanter centrifuge, tromle separator og skrue presse) i kombination med kvæg- og svinegyde (Balsari et al., 2006). Kvæggylle med det høje tørstofindhold separerede bedre end svinegyden, men ved kun at udnytte en del af separatorens kapacitet kunne der for tynde gylletyper opnås en bedre separering. Ved brug af dekantercentrifuge fandtes 30-70% af tørstoffet, 10-30% af total-N og 60-90% af P i fiberfraktionen (højest for kvæggylle) (Møller et al., 2002; Balsari et al., 2006). Separeringseffektiviteten var lavere efter lagring, specielt for total-N, hvilket hænger sammen med den større andel af små partikler (Møller et al., 2002). Kontinuerlig separering af gylle i takt med, at den produceres giver således en højere separeringseffektivitet end separering i portioner, f.eks. ved tømning af lagerbeholder i forbindelse med udkørsel.

En skruepresse kan ikke tilbageholde partikler <1mm, og i den flydende fraktion fra skruepressen bestod 22% af partikelmassen af partikler >25µm (Møller et al., 2002). I modsætning hertil fandtes ingen partikler >25µm i den flydende fraktion fra dekantercentrifuge. Dette forklarer den væsentligt højere separeringseffektivitet som dekantercentrifugen giver sammenlignet med andre separatorer. Endvidere har dekantercentrifugen en stor kapacitet og giver en bedre afvanding. Typisk fordeling af massen i fiber og flydende fraktion samt indhold af tørstof, total-N og P fremgår af Tabel 8.

Tabel 8. Indhold af plantenæringsstoffer i fiber- og væskefraktion af gylle separeret med dekantercentrifuge. (Møller et al., 2002).

Gødningstype	Fraktion	Andel af rå gylle [%]	Tørstof [%]	Total-N [kg/t gødning]	P
Kvæggødning (n=3)	Væske	84	2,7	2,5	0,2
	Fiber	16	20,6	5,9	3,0
Svinegødning (n=4)	Væske	92	2,2	3,8	0,3
	Fiber	8	23,7	9,5	6,8

Ved lavteknologisk separering kræves en separeringseffektivitet på >20% for N og >60% for P til opnåelse af individuel reduktion i ejerandelen. Disse krav er inspireret af resultater opnået i kontrollerede, laboratorielignede opstillinger (Møller et al., 2002). Ved undersøgelse af

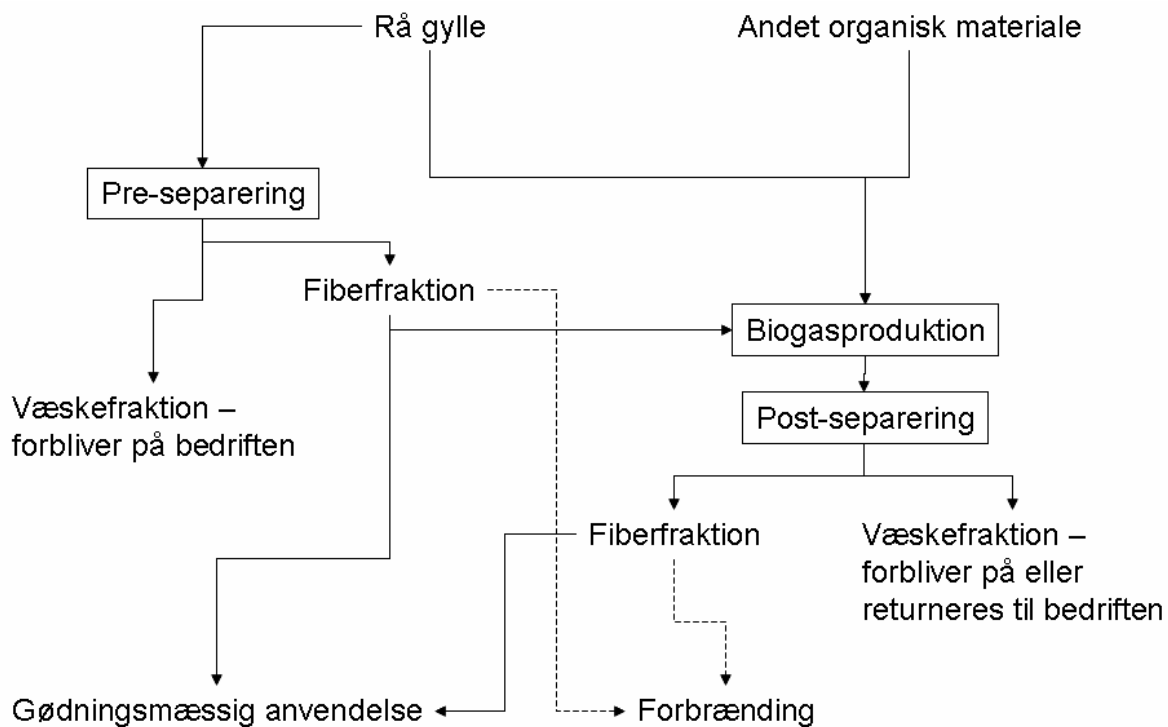
separeringseffektiviteten på to anlæg med dekantercentrifuge i praktisk drift blev der imidlertid fundet meget lav separeringseffektivitet, 8% for N og 26-38% for P (Petersen & Sørensen, 2007, 2008).

Fosfor udskilles næsten udelukkende via fæces og er derfor knyttet til det organiske stof, og fosfor vil derfor hovedsageligt findes i den fraseparerede fiberfraktion. Ved anvendelse af mikrobiel phytase med henblik på at øge P-udnyttelsen i svineproduktionen, dvs. optagelsen via tarmen, reduceres P-udskillelsen i fæces tilsvarende. Dette betyder, at omkring 20% af foder-P vil udskilles via urin ved anvendelse af phytase (Poulsen & Johansen, 2006), hvilket sandsynligvis vil reducere separeringseffektiviteten med hensyn til fosfor ved mekanisk separering.

Anvendelse af fiberfraktionen

Separering påvirker hverken mængde eller tilgængelighed af næringsstofferne i husdyrgødningen, og indenfor bedriften bidrager separering samlet set ikke til øget gødningsvirkning af N i fraktionerne. Imidlertid giver separering andre muligheder for håndtering og anvendelse af husdyrgødningen, specielt afsætning af næringsstofferne i den fiberrige fraktion. Afsætning af N fra bedriften kan fradrages i bedriftens gødningsregnskab, men afsætning kræver en modtager. Da separering samtidig kan ske i forskellige faser, må der opereres med flere scenarier (Figur 6). Det første scenarium baserer sig på en fortsat gødningsmæssig anvendelse af den fiberrige fraktion. Her vil modtageren være en anden landbrugsbedrift med plads i gødningsregnskabet til at aftage husdyrgødning, typisk et planteavlsbrug. Det andet scenarium baserer sig på udnyttelse af energien i fiberfraktionen. Her kan separeringen være første led i en kæde, f.eks. hvor fiberfraktionen leveres til et biogasanlæg eller direkte til et forbrændingsanlæg. På den anden side kan separeringen også foretages efter afgang, og her kan fiberfraktionen leveres til et forbrændingsanlæg. Det bemærkes, at kun fiberfraktionen, fremkommet ved separation af afgasset gylle, er fritaget for affaldsforbrændingsafgift, der i øvrigt påtænkes omlagt til en affaldsvarmeafgift.

Separering af rå gylle med henblik på at udvinde energi fra fiberfraktionen i et biogasanlæg (pre-separering typisk på gårdanlæg) kan derfor ikke sammenlignes med separering af afgasset gylle (post-separering typisk på biogasfællesanlæg), selvom både pre- og postsepareringer har det fælles mål, at afsætte næringsstoffer udenfor husdyrbedriften. Omkring 4% af den samlede mængde husdyrgødning passerer biogasanlæg, hvilket svarer til ca. 1.4 mio. ton gylle (Anonym, 2006). Post-separering af 0,5 mio. tons afgasset gylle sker typisk med dekantercentrifuge, mens 0,5 mio. ton svinegylle pre-separeres på gårdanlæg (Birkmose, 2007). Det vurderes, at gasudbyttet kan øges ved substituering af 20-60% af gyllen i et biogasanlæg med fiber fra pre-separeret gylle (Møller et al., 2006). Fiberfraktionen fra i alt 0,4 mio. ton gylle, dvs. omkring 40.000 tons fiber, tilføres landbrugsjorden med henblik på gødskning (Birkmose, 2007).



Figur 6. Skitsering af forskellen mellem pre- og post-separering af gylle. De stiplede pile angiver flow, der endnu ikke praktiseres. Kun forbrænding af fiberfraktion fra separering af afgasset gylle (post-separering) er fritaget for affaldsforbrændingsafgift.

Anvendelse af fiberfraktionen til gødningsformål er ikke uproblematisk, idet separeringen sker løbende og dermed skal fiberen opbevares indtil udbringning. Under opbevaring og håndtering af den porøse fiber kan 30-50% af total-N tabes ved ammoniakemission, hvorved gødningsværdien af fiberfraktionen reduceres (Petersen & Sørensen, 2008). I relation til bedriftens gødningsregnskab er dette uheldigt, idet det samlede vægtede substitutionskrav for N i de to fraktionen ikke må være mindre end substitutionskravet for N i den useparerede gylle. Ved afsætning af fiberfraktionen udenfor den producerende husdyrbedrift skal modtagerbedriften indregne gødningsværdien i sit gødningsregnskab, men ammoniaktabet under opbevaring giver usikkerhed om, hvilken gødningsværdi fiberfraktionen skal tillægges, samt åbner for forhandling om, hvorvidt det er leverandøren eller modtageren, der skal bære tabet i gødningsregnskabet. Tillægges tabet husdyrproducenten opnås ikke en tilstrækkelig afsætning af kvælstof, mens planteavleren vil få reduceret muligheden for indkøb af N i handelsgødning, såfremt han tillægges tabet. Bl.a. dette kan betyde afsætningsvanskeligheder for fiberfraktion udenfor den husdyrproducerende bedrift. Imidlertid påvirkes husdyrbrugets mulighed for afsætning af husdyrgødning til planteavleren også af planteavlerens alternativer for indkøb af næringsstoffer.

Disse vanskeligheder ved at afsætte fiberen fra afgasset gylle har øget interessen for forbrænding af fiberen i varmeværker. I forhold til afsætning af fiberfraktionen til gødskningsformål, må afsætning til forbrændingsanlæg betegnes som en mere stabil og sikker afsætning af næringsstoffer udenfor husdyrbrugsbedriften, og måske vil muligheden for forbrænding af fiberfraktionen blive det væsentligste incitament til separering. Det hidtil gældende princip om, at næringsstofferne i husdyrgødningen skal anvendes i planteproduktionen er således brudt til fordel for udnyttelse af energien i husdyrgødningen. Imidlertid er det kun forbrænding af fiberfraktionen fra separering af afgasset gylle, der med lovændringen i 2006 er fritaget for affaldsavgift (Affaldsavgiftloven), som er på 330 kr. pr. ton. En afgift i denne størrelse betyder i praksis, at det kun vil være rentabelt at forbrænde afgiftsfritaget husdyrgødning.

Ved forbrænding af fiberfraktionen fra afgasset gylle fremkommer der en aske. En jordbrugsmæssig anvendelse af asken fra forbrændingen afhænger dels af tilgængeligheden af næringsstoffer og dels forurening med (tung)metaller, der opkoncentreres ved afbrændingen. Anvendelsen af kobber og zink som tilsætning i foderet kan give problemer med jordbrugsmæssig anvendelse af asken, specielt kobber vil sandsynligvis kunne udgøre et problem (Petersen et al., 2005). Ved afbrænding tabes kvælstof fuldstændigt, og det er hovedsageligt askens indehold af fosfor og kalium, der har gødningsmæssig værdi. Det er imidlertid usikkert, hvilken værdi disse næringsstoffer skal tillægges dels på kort og dels på lang sigt (Petersen et al., 2005). Den foreliggende viden om gødningsværdien af aske fra forbrænding af fiberfraktion fra separering af afgasset gylle er yderst beskednen, og Petersen et al. (2005) drager derfor paralleller til aske fra halmfyring. Plantetilgængeligheden af fosfor og kalium afhænger dels af forbrændingssystemet (forbrændingstemperatur og opholdstid) og dels af gødningstypen (Rubæk et al., 2006). Tilbundsgående klarlægning af gødningsværdien og forurenende elementer vil kræve længerevarende undersøgelser på aske fra fuldskalaanlæg, men på lang sigt (>30 år) formodes det, at en stor del af fosfor og kalium i asken vil blive tilgængelig for planterne. Foreløbige undersøgelser af to askeprodukter peger på, at metodevalget er ganske afgørende for vurderingen af gødningsværdien af askeproduktet, og at traditionelle gødningsanalyser giver et forsimplet billede i forhold til analyser af jord tilført aske (Rubæk et al., 2006). Muligheden for proceskemisk genvinding af næringsstofferne foreligger (Hermann, 2006; Skøtt, 2006), men rentabiliteten kan først beregnes, når der haves fuldstændigt kendskab til både den umiddelbare og langsigtede tilgængelighed af næringsstofferne og tungmetaller i asken.

Tab under oplagring

Uanset hvorledes fiberfraktionen anvendes, vil der være behov for transport og ofte også opbevaring. Ved oplagring af fiberfraktion fra separeret afgasset gylle under markforhold tabtes 43% af C og 25-45% af N fra overfladen, og tabet forøgedes ved omladning af stakken (Petersen & Sørensen, 2008). En væsentlig del af kvælstoftabet skyldtes antagelig ammoniakemission, idet ammoniumindholdet i overfladefiberen kun var 10% af det oprindelige indhold. Imidlertid kunne hverken Hansen et al. (2006) eller Gioelli et al. (2006) måle ammoniaktab i denne størrelsesorden

fra små kegleformede, statiske stakke. Tabene fra de centrale dele af stakken udgjorde 40-85% af tabet fra overfladen. Tabet af kulstof fra stakke, der ugentligt blev tilført 10-15 t fiber, var højere end de 28% som Hansen et al. (2006) fandt fra små kegleformede, stationære stakke, hvor tabet primært bestod af CO₂. Det højere tab fra markstakkene kan skyldes CH₄ emission under mere anaerobe forhold i de centrale dele af stakken. De af Petersen & Sørensen (2008) fundne tab af C og N stemmer derimod bedre overens med tab fra fast svinegødning (Petersen et al., 1998), og tab i denne størrelsesorden reducerer fiberfraktionens værdi, både som gødning og som energikilde. Endvidere har tabene miljømæssige konsekvenser, da det tabte ammoniak afsættes i nærområdet, som kan være en ammoniakfølsom biotop, mens CO₂ og CH₄ begge er drivhusgasser og dermed virker på globalt plan. Der haves i øvrigt ikke kendskab til undersøgelser af emissionen af hverken ammoniak, kuldioxid eller metan under selve separeringsprocessen. På den ene side eksponeres hele den bearbejdede mængde for gasformige tab under separeringsprocessen med mulighed for gasformige tab, men på den anden side er eksponeringen kun ganske kortvarig.

6.2.3 Højteknologisk opkoncentrering

Igennem årene har der været stor interesse for systemer, som kan udskille en del af vandet i gylle i en vandfraktion, der vil være ren nok til at lede direkte ud i en recipient. Ved en sådan volumenreduktion kan der opnås betydelige besparelser i såvel opbevarings- som udbringningsomkostninger. Den flydende fraktion fra mekanisk separering vil typisk være udgangspunktet for højteknologisk opkoncentrering af næringsstofferne.

Ved inddampning fremkommer der en fraktion af opkoncentreret gylle og et destillat. Da ammoniak ved høje pH-værdier også fordamper ved inddampningen er det nødvendigt, enten at foretage en forsuring af gyllen forud for inddampningen, hvorved det uorganiske kvælstof findes i den opkoncentrerede gylle, eller at fælde ammoniakken i destillatet med syre efter inddampning. Fældefraktion vil kunne indeholde hovedparten af det uorganiske kvælstof i destillatet. Desuden kan destillatet indeholde andre flygtige forbindelser, f.eks. kortkædede, fede syrer (eddikesyre, smørsyre og butansyre). Den opkoncentrerede gylle besidder det oprindelige indhold af andre næringsstoffer i gyllen, f.eks. fosfor og kalium.

Besparselsen i opbevarings- og udbringningsomkostninger ved opkoncentrering af næringsstoffer i gylle skal vurderes i forhold til omkostninger ved afskrivning og vedligehold af anlægget og af de betydelige løbende driftsomkostninger. Disse kan reduceres, såfremt spildvarme fra andre led i et anlæg genvindes og udnyttes i inddampningen, f.eks. spildvarme fra afbrænding af den producerede gas i en gasmotor med henblik på elproduktion. Energiforbruget kan yderligere reduceres ved inddampning under vakuum. Der haves kun kendskab til et anlæg, hvor der i perioder med overskudsvarme foretages opkoncentrering af næringsstofferne i gylle ved inddampning (se Hinge, 2005). Fjeldgaard & Møller (2005) beskriver teknologier til fjernelse af ammoniak fra gylle ved stripping og finder, at luftstripping er mere fordelagtig end den energikrævende dampstripping.

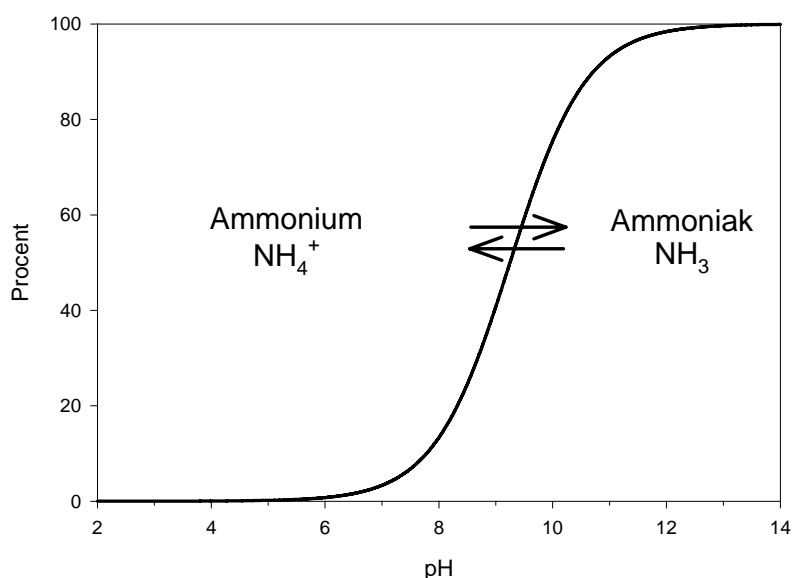
Ved højteknologisk separering kan reduktion på arealkravet udløses, såfremt 70% af kvælstoffet og 70% af fosforen i den useparerede gylle findes i de næringsstofrige koncentrat, samt at de mængdevægtede koncentrationer af N og P i disse koncentratet er 2,5 gange koncentrationen i den useparerede gylle (Arealkravsbekendtgørelsen, 2006). Opfyldes disse krav, kan jordbrugskommissionen tillade en reduktion på 50% i arealkravet.

Da der er tale om en højteknologisk proces, som udover betydelig investering kræver tilsyn og overvågning, vil denne bearbejdningsteknologi ikke finde større udbredelse, specielt ikke, når incitamentet til separering ikke længere udspringer af reglerne i Arealkravsbekendtgørelsen men af harmonikravene og reglerne om miljøgodkendelse (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2006; Godkendelsesbekendtgørelsen, 2007).

6.2.4 Forsuring af gylle

Virkemåde

Ved pH 9,25 står ammonium (NH_4^+) i ligevægt med ammoniak (NH_3), men i gylle, der typisk har pH-værdier på 7-8, kan ammoniakemission fra gylle ikke udelukkes, da ligevægten ikke er forskudt tilstrækkeligt mod ammonium (Figur 7). Reduceres pH til omkring 5,5 forskydes ligevægten mellem ammonium og ammoniak yderligere mod ammonium, hvorved tab af ammoniak udelukkes næsten fuldstændigt.



Figur 7. Fordeling af ammonium og ammoniak ved varierende pH, hvor der er ligevægt ved pH=9,25. Forsuring vil forskyde ligevægten mod ammonium, der, i modsætning til ammoniak, ikke kan fordampe.

Udover ammonium/ammoniak buffersystemet indeholder gylle to andre buffersystemer. Det væsentligste er bicarbonat (HCO_3^-), der ved pH=6,3 står i ligevægt med kulsyre (H_2CO_3) og som let spaltes i vand (H_2O) og kuldioxid (CO_2). Bicarbonat forbruger brintioner ved tilsætning af syre, og udvikling af kuldioxid kan give anledning til skumdannelse. Endvidere udgør fede flygtige syrer og deres korresponderende baser et buffersystem med ligevægt omkring pH=4,8. Derfor varierer mængden af syre, der skal anvendes til at opnå den ønskede pH-sænkning, med indholdet af disse buffersystemer. En utilstrækkelig forsuring af bicarbonat vil medføre en pH-stigning i løbet af et halvt døgn efter afsluttet syretilsætning (Birkmose et al., 2004).

Nedbrydningen af fede flygtige syrer, uanset om denne foregår i biogasanlæg eller under lagring, forbruger brintioner (H^+), hvorved pH stiger. Den effektive nedbrydning af fede syrer under afgangningen betyder, at afgasset gylle har et lavt indhold af buffersystemet med flygtige fede syrer og et højt indhold af bicarbonat, og afgasset gylle har typisk et højere pH i forhold til ikke-afgasset gylle. Herved vil den totale alkalitet i gyllen øges (Sommer & Husted, 1995), hvilket betyder, at forsuring af afgasset gylle vil kræve tilsætning af en større mængde syre end ikke-afgasset gylle (Husted et al., 1991).

Tilsætning

Typisk anvendes koncentreret svovlsyre (H_2SO_4) til forsuring, idet denne syre er billig, og tilsætningen af svovl gør gyllen til en fuldgødning. En væsentlig ulempe er imidlertid, at håndteringen af denne stærke syre kræver en række sikkerhedsforanstaltninger, som skal hindre personkontakt med syren, samt at service og vedligehold af udstyr kræver specialuddannet montør.

Syretilsætningen reducerer emissionen af ammoniak væsentligt. I kæden fra dyrenes udskillelse til udbringning i marken kan syre tilsættes to steder, enten umiddelbart efter udskillelsen eller umiddelbart før udbringning. Den første mulighed vil reducere ammoniakemission fra både stald, lager og udbringning, såfremt pH-sænkningen har været tilstrækkelig effektiv, mens den anden mulighed udelukkende vil reducere ammoniakemissionen fra udbragt gylle. Tilsætning af syre umiddelbart efter udskillelsen kan ske, hvor gyllen kommer direkte fra stalden og ikke efterfølgende skal bearbejdes i et biogasanlæg. Mens syretilsætning ikke er relevant før afgangning, vil syretilsætning umiddelbart før udbringning af afgasset gylle være relevant pga. et højt pH.

Forsuringen af gylle umiddelbart efter udskillelse sker typisk i en fortank, hvor udstyr med styringsmekanismer sænker pH til et ønsket niveau. En del af den forsurede gylle pumpes tilbage i stalden flere gange i døgnet, hvorved pH i udskilt urin og fæces sænkes straks ved kontakt med den forsurede gylle under spaltegulvet. Dette system kræver en afstemning i ud- og indpumpning mellem stald og fortank, samt en konstruktion, der sikrer opblanding af gylle under spaltegulvet. Med jævne mellemrum pumpes gylle fra fortank til lagerbeholder. Den forsurede gylle forekommer mere letflydende og mere pumpbar, men samtidig lader et naturligt flydelag sig vanskeligt etablere i

lagerbeholderen. Typisk vil svinegylle forsuret i stalden have et indhold af total-N, der er 15% højere end ikke-forsuret svinegylle ab lager.

Der er fundet en reduktion i ammoniaktabet fra svinestalde med forsuring på 70% (Kai et al. 2008), mens der ikke haves kendskab til reduktionen fra kvægstalde. Sommer & Husted (1995) fandt, at kvæggylle havde højere total alkalitet end svinegylle, hvorved en tilstrækkelig pH-sænkning af kvæggylle vil kræve tilsætning af en større mængde syre i forhold til svinegylle, jf. Husted et al. (1991).

Beluftning af ikke-forsuret gylle giver betydelig ammoniakemission, men efter forsuring er risikoen for tab af ammoniak reduceret betydeligt. Ved beluftning undgås anaerobe forhold i gyllen og samtidig foretages en omrøring, som dels sikrer en virkning af syretilsætningen i hele gyllemængden og dels fremmer uddrivelse af kuldioxid. Ved en utilstrækkelig omrøring kan små bobler af kuldioxid opløses i gylle med dannelse af bicarbonat, hvilket vil reducere effekten af forsuringen. Beluftningen sikrer desuden, at eventuelle giftige og ildelugtende gasser i gyllen uddrives, inden den pumpes retur i stalden. I forsøg havde beluftning af forsuret gylle imidlertid ingen effekt på indholdet af eddikesyre og smørsyre (Sørensen, 2006).

Effekt som svovlgødsning

Ved tilsætning af svovlsyre opnås udover en reduktion af pH også en berigelse med svovl. Svovlsyre indeholder 33% svovl (på vægtbasis) som sulfat-svovl, som er lettilgængeligt for planterne. Tilførsel af ca. 15 kg S/ha vil ofte være en tilstrækkelig mængde svovl til kornafgrøder. Udbringes ca. 30 t gylle/ha vil svovlbehovet på 15 kg S/ha være dækket ved tilsætning af ca. 1 kg svovlsyre/t, som vil give en pH-sænkning på omkring 0,5 enheder (Birkmose et al., 2004). Ofte foretrækkes en sænkning til pH 5,5, hvilket typisk kræver 5 kg svovlsyre/t gylle, men herved vil der blive tale om overgødsning med svovl (Birkmose et al., 2004), idet tilgængeligheden af det tilsatte sulfat ikke reduceres ved lagring af gyllen i op til 11 måneder (Eriksen, 2006).

6.3 Implikationer ved bearbejdning af gylle

Forsuring af gylle har direkte til formål at tilbageholde ammoniumkvælstof i gylle med henblik på at opnå rådighed over en større kvælstofmængde til brug i planteproduktionen. Ved forsuringen fjernes den alkaliske virkning af gylle, og der må påregnes behov for øget kalkning i forhold til anvendelse af ikke-forsuret gylle. Kalkvirkningen af gylle er 300-600 kg CaCO₃/ha og for afgasset gylle helt op til 900 kg/ha.

Ved anaerob afgang af gylle er formålet produktion af miljøvenlig og tilskudsberettiget energi, hvor økonomien samtidig kan forbedres ved at modtage og oparbejde fejl- og restprodukter fra den vegetabiliske og animalske forarbejdningsindustri. Under afgangningen nedbrydes organisk materiale og kulstof fjernes fra bedriften ved gasproduktionen. Ved separering er formålet at fjerne

næringsstoffer fra husdyrbedriften, som herved kan opretholde, eller endda udvide, produktionen på trods af skærpede miljøkrav. Ved afsætning af fiberfraktionen udenfor husdyrbrugsbedriften fjernes organisk materiale, dels kulstof og dels organisk bundet kvælstof, samt fosfor.

Fjernelse af kulstof fra bedriften medfører, at jorden unddrages dette organiske materiale, som ellers bidrager til opretholdelse af jordens frugtbarhed. Omsætning af organisk stof hidrørende fra husdyrgødning udenfor vækstsæsonen bidrager dog også til nitratudvaskning. Der må således ske en afvejning af den positive effekt af organisk stof på jordens frugtbarhed og den negative effekt på nitratudvaskningen, herunder om opretholdelse af jordens frugtbarhed kan ske mere effektivt ved tilpasning af sædskiftet, specielt en øget anvendelse af efterafgrøder (Jørgensen & Petersen, 2006). På den anden side vil en reduktion i P-tilførslen på arealer med en høj P-status medføre en reduktion i risikoen for P-belastning af følsomme områder (Poulsen & Rubæk, 2005).

Afsætning af fiberfraktionen fra separeret gylle udenfor husdyrbrugsbedriften indebærer transport til en modtager. Alene transporten vil kræve forbrug af fossil energi, og samtidig vil omladninger give anledning til betydelig ammoniakemission. En gødningsmæssig anvendelse hos modtageren vil have den modsatte effekt på jordens frugtbarhed og nitratudvaskning som ovenfor beskrevet for leverandøren. Miljøeffekten hos modtageren er nødvendigvis ikke af samme numeriske størrelse, idet modtageren kan have arealer, der er mere robuste overfor næringsstofbelastning. Anvendelse af fiberfraktionen til energiproduktion vil selvsagt unddrage jorden tilførsel af organisk stof, fuldstændig tab af kvælstof, samt uklarhed over hvorledes de tilbageværende næringsstoffer i asken kan anvendes (Iversen & Lanng, 2005).

Bearbejdning af husdyrgødning indebærer transport og i den forbindelse bør hygiejniske aspekter af håndteringen inddrages, specielt ved transport mellem flere bedrifter, så sygdomme ikke spredes (Albin & Vinnerås, 2006). Ved transport af gylle fra et biogasfællesanlæg kan der ske en re-kontaminering af den afgassede gylle, idet transporten sker i samme enheder, som benyttes til levering af den ikke-afgassede gylle til biogasfællesanlægget.

De enkelte bearbejdningsformer har hvert deres fortrin og ulemper. Forud for implementering af en bearbejdningsform må der foreligge en detaljeret helhedsanalyse, hvorved det må sikres, at løsning af et problem ikke skaber et andet (miljømæssigt) problem ved håndtering af husdyrgødning (pollution swapping) (Petersen & Miller, 2006).

7 Gylle og udbringningsmetoder

Mens overfladeudbragt husdyrgødning henligger eksponeret for vind og vejr tabes betydelige mængder N ved emission af ammoniak, især i det først døgn efter udbringning. Derfor har bl.a. Ammoniakhandlingsplanen (Anonym, 2001) fokuseret på at reducere dette tab med implementering af krav om nedbringning af udbragt husdyrgødning.

Nedbringning, enten ved direkte nedfældning af gylle eller ved nedharvning eller nedpløjning af overfladeudbragt husdyrgødning generelt, kan let foretages forud for såning af afgrøder. Derimod er nedbringning af overfladeudbragt husdyrgødning ikke umiddelbart mulig i etablerede afgrøder, typisk vintersæd, men en tilsvarende bedre gødningsvirkning og reduktion af ammoniakemission som ved direkte nedfældning af gylle forud for såning af forårssæede afgrøder kan også forventes ved direkte nedfældning i etablerede afgrøder. Imidlertid har der i praksis indtil videre været en vis tilbageholdenhed pga. begrænset arbejdsbredde og risikoen for afgrødeskade fra nedfælderaggregater og direkte køreskader. Med henblik på videreudvikling af koncepter til direkte nedfældning i etablerede afgrøder er der i afsnit 7.2 medtaget en omtale af planteoptagelse af tilført gødningskvælstof.

7.1 Udvikling i brugen af direkte nedfældning

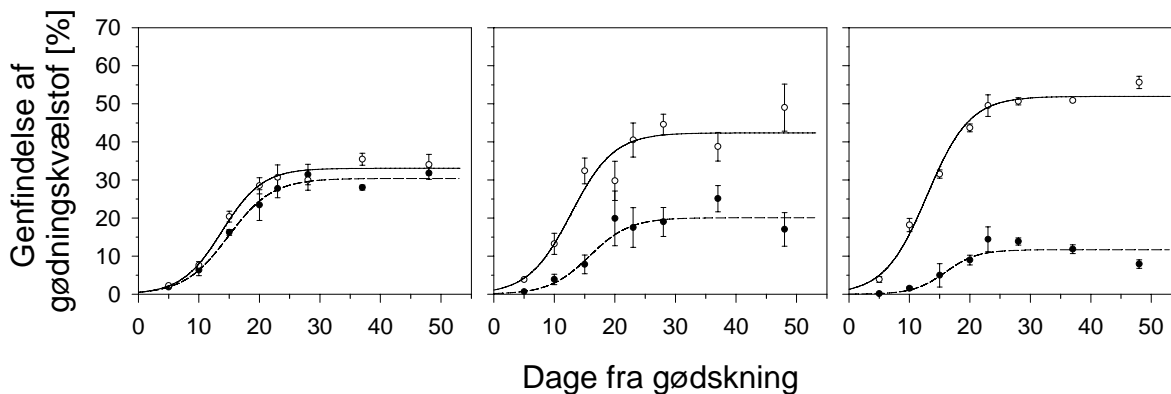
I begyndelsen af 1990'erne anså praksis direkte nedfældning for en umulighed, specielt i etablerede afgrøder, men et mere positivt syn på denne udbringningsmetode har bredt sig i de senere år. I 2004 blev 32% af al gylle i Danmark nedfældet direkte, hvilket er en forøgelse på 10%-point siden en tilsvarende undersøgelse i 2002 (Dansk Landbrug, 2004). Direkte nedfældning sker fortrinsvis på kvægbrug, hvor 52% af al gylle nedfældes, og kun i mindre omfang på svinebrug (15%), idet 70% af gyllen på svinebrugene udbringes med slæbeslanger i etablerede afgrøder. I de seneste år er der således sket en betydelig stigning i direkte nedfældning af gylle på især ubevokset jord forud for såning af vårsæd, men også i græs. Derimod er direkte nedfældning i vintersæd, der er dominerende afgrøder på svinebrugene, fortsat beskeden. Udover skærpede substitutionskrav for kvælstof i husdyrgødning og reduktion i afgrødernes kvælstofnormer fremmes interessen for direkte nedfældning også af muligheden for reduktion af lugtgenerne, hvilket har stor betydning i forhold til naboer og lokalsamfund. Også hensyntagen til nærtliggende ammoniakfølsomme naturområder kan motivere direkte nedfældning af gylle.

Forskellige design af nedfældereaggregater har set dagens lys, typisk udformet som en nedfældertand eller dobbelt skiveskær, men de forskellige typer skal ikke beskrives nærmere her. Imidlertid er kravet til et nedfælderaggregat, at det er i stand til at bringe gyllen ned i jorden således gyllen efterlades fuldstændig dækket med jord. Kun herved opnås den ønskede effekt af direkte nedfældning, og ammoniakemissionen kan reduceres til 2% af den udbragte mængde total-N (Andersen et al., 1999). Står rillen med gylle åben, vil kvælstof tabes ved ammoniakemission og lugten begrænses ikke tilstrækkeligt. I den konkrete udbringningssituation er det derfor ikke tilstrækkeligt, at gyllen er udbragt med nedfælderudstyr. Dette skal også være anvendt på en sådan måde, at der vitterlig er tale om omhyggelig nedfældning, hvor den nedfældede gylle dækkes med jord. I græs kan den ideelle nedfældning vanskelig opnås, idet der pga. af afgrødens tæthed ikke er løs jord at arbejde med til dækning af den udbragte gylle.

7.2 Effekt af rumlig fordeling og afstand til planterækken på kvælstofoptagelse

Udover den reduktion af ammoniakemissionen, der kan opnås ved direkte nedfældning i forhold til en jævn indarbejdning af gyllen, har nedfældningen også effekt på immobilisering og denitrifikation af N udbragt med husdyrgødningen. Ved den jævne indarbejdning kommer gyllen i kontakt med et stor jordvolumen og mikroorganismene har let adgang til bl.a. immobilisering af kvælstof, mens direkte nedfældning reducerer kontaktfladen mellem gylle og jord, hvorved risikoen for mikrobiel immobilisering af kvælstof reduceres (Sørensen & Amato, 2002; Sørensen et al., 2003a). Dette vil efterlade en større mængde af kvælstof tilgængelig for afgrøden. I modsætning hertil kan en gyllestreng med et stort volumen give anledning til anaerobe forhold i gyllestrengen, hvilket kan give tab af kvælstof ved denitrifikation. Dette tab har Sørensen et al. (2003a) på grundlag af forsøg med kvæg- og svinegylle anslået til 3-4% af tilført total-N uanset gylletype. Dog havde kvæggylle med 6% tørstof langt mindre tilbøjelighed til at infiltrere den omgivende jord end svinegylle med 1,4% tørstof, hvilket betyder, at denitrifikationszonen består i længere tid for den tørstoffrige kvæggylle (Sørensen et al., 2003a). Risikoen for denitrifikation i gyllestrengen kan derfor i særlig grad opstå ved direkte nedfældning af store mængder tørstoffrig gylle med udstyr, hvor afstanden mellem nedfælderaggregaterne er stor. Ved direkte nedfældning af omkring 30 t/ha med 30 cm mellem nedfælderaggregaterne anses risikoen for tab af kvælstof ved denitrifikation at være begrænsede og langt mindre end ammoniakemissionen fra overfladeudbragt gylle.

Typisk er nedfælderaggregaterne placeret med 25-35 cm afstand på nedfælderbommen. Denne afstand er ikke afstemt efter rækkeafstanden, der i kornafgrøder sædvanligvis er 12 cm. Dette vil give en uensartet placering af gyllestrengen i forhold til planterækkerne. Spørgsmålet er derfor, hvilken betydning gødningsstrengens placering i forhold til kornrækken har for optagelsen af det tilførte kvælstof? Dette er undersøgt i forsøg med ¹⁵N mærket gylle, hvorved afgrødens optagelse af gyllekvælstof kunne adskilles fra optagelsen af jordkvælstof (Petersen, 2006). Lå gyllestrengen 2 cm fra afgrøderækken blev gyllekvælstoffet optaget hurtigere end hvor gylle var jævnt fordelt i jorden. Ved en afstand på 12 cm mellem gødningsstrengen og planterækken gik der 12 dage inden rødderne fandt gyllestrengen, og indtil da var kvælstofoptagelsen og væksten svagere sammenlignet med jævn indarbejdning af gyllen. En sådan forsinkelse i optagelsen af gyllekvælstof vil med stor sandsynlighed give en uensartet og stribet afgrøde. Ved en jævn indarbejdning i jorden vil alle rækker derimod få lige adgang til gødningen, og afgrøden vil få en ensartet vækst. Endvidere vil gødningsstrengens placering i forhold til planterækkerne have betydning for optagelsen af N tilført med gødningen både ved udbringning forud for såning af vårsæd og ved udbringning i etablerede afgrøder. Figur 8 viser, at kun en ganske lille forskydning i gødningsstrengens placering i forhold til planterækkerne giver væsentlige forskelle i optagelsen af gødningskvælstof i to naborækker (Petersen, 2005).



Figur 8. Genfindelse af tilført kvælstof i afgrøden ved placering af gødningsstrengen mellem to kornrækker med 12 cm afstand. Til venstre ligger gødningsstrengen midt mellem de to kornrækker. I midten og til højre ligger gødningsstrengen henholdsvis 4 og 2 cm fra den ene kornrække, og tilsvarende 8 og 10 cm fra den anden kornrække (Petersen, 2005).

Forfrugten havde ingen indflydelse på optagelsen af gyllekvalstof, men stor og forventelig effekt på optagelsen af jordkvælstof. Dette betyder, at gødningstilførsel har størst betydning for afgrødens produktion ved en mindre god forfrugt, og det vil være i denne situation, at der kan opstå striber i afgrøden ved direkte nedfældning af gylle (Petersen, 2006).

I forsøget med vårbyg blev der også prøvet to metoder til direkte nedfældning af gylle, eller rettere to forskellige rumlige fordelinger af en gyllestreng (Petersen, 2006). I begge tilfælde blev gyllestrengen omhyggeligt dækket med jord for at hindre emission af ammoniak. Den ene fordeling var en koncentreret streng, hvor gyllen kun i begrænset omfang infiltrerede den omgivne jord (V-rulleskær; græsmarksnedfælder), og den anden en mere diffus streng med større kontakt mellem gylle og jord (S-harvetand; sortjordsnedfælder). Da forsøgsbehandlingerne blev udført som håndarbejde, er de undersøgte rumlige fordelinger imidlertid ikke fuldstændig sammenlignelige med udbringningsmetoder i praksis. I den første halvdel af optagelsesforløbet kunne der ikke konstateres forskel mellem de to rumlige fordelinger, mens der ved sidste planteklip omkring vårbyggen skridning var en tendens til en større optagelse fra den diffuse streng sammenlignet med den koncentrerede streng. Derfor er det afgørende punkt ved valg og anvendelse af udstyr til direkte nedfældning ikke, hvordan nedfælderaggregatet fordeler gyllen i jorden, men at gyllen nedfældes så dybt, at den dækkes med jord. I en etableret kornafgrøde vil anvendelse af en S-harvetand formentlig give uønsket stor afgrødeskade, mens et V-rulleskær vil være mere skånsom. Imidlertid viser resultaterne fra vårbygforsøget, at den rumlige fordeling i jorden er uden væsentlig betydning for afgrødens optagelse, og derfor må valg af nedfælderskær til brug i etablerede kornafgrøder i højere grad afhænge af, hvilken skade der udøves på afgrøden.

7.3 Køreskader ved udbringning i afgrøde

Forsøgsudstyr til udbringning af gylle i forsøgsparceller er bevidst konstrueret sådan, at hjulene på traktor og gyllevogn kører udenfor nettoparcellen (Petersen, 1992, 1994). Resultater fra forsøg udført med parcelgyllespredere viser således effekten af selve udbringningsmetoden, idet resultaterne ikke er påvirket af skader forårsaget af kørsel med traktor og gyllevogn.

Skaderne fra kørsel i afgrøden i forbindelse med direkte nedfældning i vintersæd må forventes at være mere end dobbelt så store som ved udbringning med slæbeslanger, idet arbejdsbredden for en nedfælderbom typisk er under det halve, i visse tilfælde kun en fjerdedel, af en slæbeslangebom. I forhold til køreskaden ved udbringning med en slæbeslangevogn kan der forventes en ekstra køreskade, der reducerer udbyttet med på 2,0-2,9 hkg/ha ved direkte nedfældning (Birkmose, 2006).

Endvidere skal nævnes risikoen for strukturskade på jorden både ved høj akselbelastning og ved højt dæktryk. Disse skader kan reduceres ved at udsætte gylleudbringningen indtil jorden er i stand til at bære den tunge trafik. Risiko for strukturskader foreligger også ved udbringning med slæbeslanger og er således ikke knyttet alene til direkte nedfældning, hvor omfanget dog vil være større pga. den mindre arbejdsbredde. Udbyttetabet som følge af strukturskade på jorden kan være langt større end den synlige afgrødeskade efter kørsel med gyllevogn. Strukturskader skal imidlertid ikke omtales yderligere, idet de ikke relaterer sig til planteernæringsmæssige forhold, og i stedet henvises til Schjønning & Rasmussen (1994), Schjønning (1998) og Munkholm et al. (2003).

7.4 Effekt af direkte nedfældning på planteproduktionen

Den reducerede ammoniakemission og den reducerede mikrobielle immobilisering ved direkte nedfældning bevirker ofte en bedre gødningsvirkning af kvælstoffet i gyllen og et højere udbytte (Sørensen et al., 2003a). På den anden side kan der også findes resultater, hvor der er opnået små og usikre forskelle i udbyttet, f.eks. i vinterhvede, hvor to udbringningsmetoder (direkte nedfældning versus gylle udlagt med slæbeslanger på jordoverfladen) er undersøgt for både svinegylle og afgasset gylle (Pedersen, 2001). Den bedste effekt af direkte nedfældning kan forventes, når potentialet for ammoniakemission fra slangeudlagt gylle er højt, f.eks. ved et højt tørstofindhold eller et højt pH i gylle. Proteinprocenten var i forsøg med vinterhvede 0,2 til 0,7%-point højere ved direkte nedfældning sammenlignet med slangeudlagt gylle (Pedersen, 2001). Denne kvalitetsforbedring kan have betydning for kornets værdi både ved salg og ved opfodring. Tilsvarende resultater er tidligere fundet ved direkte nedfældning af kvæggylle i vinterhvede (Pedersen, 1998).

På trods af den positive effekt på ammoniakemissionen afspejler det reducerede N-tab sig ikke i udbyttet, men alene i en kvalitetsforbedring i form af højere proteinindhold, der dog ikke altid modsvarer den forventede reduktion i ammoniakemissionen. En årsag kan muligvis være, at den direkte nedfældning ikke er foretaget tilstrækkelig omhyggelig, og Birkmose (2006) angiver, at en

100% effekt på ammoniakemissionen ikke kan forventes, da gyllen efterlades eksponeret for atmosfæren. Endvidere kan skaden på afgrøden overskygge den positive effekt af direkte nedfældning set i forhold til udlægning på jordoverfladen med slæbeslanger. Svinegylle med et lavt tørstofindhold kan let trænge ned i jorden (de Jonge et al., 2004), hvilket reducerer eksponeringen for ammoniakemission, og det er vanskeligt at opnå en udbyttemæssig gevinst af direkte nedfældning i denne situation (Sørensen et al., 2003a). Der ligger her en udfordring i at udforme et nedfælderaggregat, der kan foretage omhyggelig direkte nedfældning uden at skade afgrøden og med et minimum af trækraftbehov.

En beskeden effekt på udbyttet og risiko for afgrøde- og køreskader er årsagen til den begrænsede udbredelse af direkte nedfældning i vintersæd. Imidlertid udgør direkte nedfældning en potentiel mulighed for reduktion af ammoniakemission og lugtgener fra udbragt gylle (Pedersen, 2005). Derfor er der interesse for udvikling af dels udstyr til direkte nedfældning, og dels tilpasning af afgrødens rækkemønster til afstanden mellem nedfælderaggregaterne på nedfælderens for derigennem at reducere skaderne på afgrøden, jf. omtalen i afsnit 7.2. Disse forhold er væsentlige for praktiske forhold i forbindelse med direkte nedfældning af gylle i etablerede afgrøder, men koncepterne er ikke færdigudviklede. Det skønnes, at koncepterne ikke er af afgørende betydning for vurdering af gødningsvirkningen af N i nedfældet gylle.

8 Målt gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning

Metoder til bestemmelse af gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning kan overordnet opdeles i to grupper. I den første gruppe bestemmes virkningen på grundlag af marginaleffekten, mens metoderne i den anden gruppe benytter en referencegødning til bestemmelse af gødningsvirkningen. Indenfor hver af de to grupper findes flere varianter, og typisk baseres beregningerne på kvælstofoptagelsen, men andre responsvariable kan også anvendes, f.eks. det salgbare udbytte. I Appendiks B redegøres for de forskellige begreber, herunder deres begrænsninger, da metodevalget har betydning for fortolkningen af den beregnede gødningsvirkning.

Typisk foretages beregninger af gødningsvirkning på grundlag af N-optagelsen i kerne. Dette skyldes dels, at det er den primære afgrødedel, og dels det praktiske forhold, at repræsentativ prøvetagning af halmen kan være yderst vanskelig. Endvidere påvirkes N-optagelsen ikke på samme måde som udbyttet af andre plantevækstfaktorer (sygdomme, skadedyr og vandmangel), og er derfor et mere direkte udtryk for en gødningsmæssig effekt. Skulle der i forsøgene være indvirkning af andre plantevækstfaktorer mindskes deres indvirkning ligeledes ved at beregne gødningsvirkningen af N i husdyrgødning i forhold til en referencegødning.

Dette udelukker imidlertid ikke risikoen for både under- og overestimering af gødningsvirkningen, der bestemmes i et-årige forsøg. Det organiske N i husdyrgødning vil mineraliseres over flere år, men dette kommer ikke til udtryk i et-årige forsøg, hvorved den langsigtede gødningsvirkning ikke

indgår i estimatet for gødningsvirkning, som herved bliver underestimeret. På den anden side indeholder husdyrgødning også andre plantenæringsstoffer, der kan have en gødningsvirkning og vekselvirke med N-optagelsen, og dermed give anledning til overestimering af den beregnede gødningsvirkning af N i husdyrgødningen. Endvidere kan N mineraliseret fra jordens N-pulje påvirke afgrødens N-optagelse. Disse forhold betyder, at den beregnede gødningsvirkning af N i husdyrgødning ikke kan betragtes som et meget præcist estimat. Estimater for gødningsvirkning bestemt i en forsøgsserie har ofte en variationskoefficient på 30-60% (Pedersen, 2001). Kun for husdyrgødning med en meget høj gødningsvirkning, f.eks. ajle, findes variationskoefficienter på omkring 20%. Hertil kommer, at gødningsvirkningen af N i husdyrgødning ikke er bestemt for alle kombinationer af gødningstype, udbringningsmetode, udbringningstidspunkt og afgrøde. Dette betyder, at den forventede gødningsvirkning ofte må skønnes.

8.1 Datagrundlag

Forsøg til belysning af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning, er udført både som traditionelle markforsøg med parceller på 10-30 m² og som småparcellforsøg, hvor de enkelte parceller af hensyn til anvendelse af ¹⁵N mærkningsteknik er indrammede og mindre end 1 m². Småparcellerne kan være gennemført dels under markforhold, dels som kar- eller lysimeterforsøg. Småparcellforsøgene er velegnede til detailstudier af forskellige dele af kvælstofomsætningen mellem gødning, jord og afgrøde.

Gødningsvirkningen af N i husdyrgødning opnået i markforsøg udført ved det tidligere Statens Planteavlsforsøg er gennemgået af Petersen (1996), mens resultaterne fra småparcellforsøg udført ved Danmarks JordbrugsForskning (DJF), nu Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, er publiceret i internationale tidsskrifter. Småparcellforsøgene er primært udført fra sidst i 1990'erne, mens traditionelle markforsøg til bestemmelse af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning kun i enkelte tilfælde er gennemført ved DJF siden midten af 1990'erne som supplement til andre forsøgsaktiviteter. Selvom DJF i de seneste 10-15 år har udført en lang række forsøg med husdyrgødning, har formålet været at belyse andre aspekter i relation til jordbrugsproduktion og miljø, og derfor har forsøgene ikke være designet til at belyse gødningsvirkningen af N i husdyrgødning i forhold til en mineralsk referencegødning. Endvidere vil det kræve betydelige ressourcer at bestemme gødningsvirkningen af N i husdyrgødning for de mange mulige kombinationer af gylletyper, udbringningstidspunkter, udbringningsmetoder, samt afgrøder og jordtyper, især ved introduktion af teknologier til bearbejdning af husdyrgødning.

Resultater fra markforsøg udført i de landøkonomiske foreninger findes i den årlige Oversigt over Landsforsøgene, hvor Pedersen (2001) giver en oversigt over resultaterne opnået i 1990'erne. I denne periode blev der gennemført en lang række forsøg, der fokuserede på metode og tidspunkt for udbringning af primært gylle. Siden årtusindskiftet har forsøgsaktiviteten i de landøkonomiske foreninger fokuseret på udvalgte gødningstyper, især bearbejdet husdyrgødning, hvilket har betydet

kortere og mere enkeltstående forsøgsserier. Endvidere har forsøgsaktiviteter typisk haft nær tilknytning til de enkelte bearbejdningsanlæg, hvorved karakteristika for undersøgte typer af husdyrgødning kan være påvirket af driftsmæssige forhold på de enkelte bearbejdningsanlæg. Dette betyder, at det er vanskeligere at generalisere resultaterne.

Da de foreliggende undersøgelser ikke dækker alle kombinationer fuldt systematisk, må resultater fra forskellige kilder derfor sammenstilles med henblik på det bedst mulige helhedsbillede. Denne sammenstilling af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning for kombinationer af afgrøde og udbringningsmetode opnået gennem de sidste 10 års forsøg er foretaget i Tabel 9 for gylle og afledte gødningsfraktioner og i Tabel 10 for fast staldgødning og dybstrøelse.

Gødningsvirkningen af N i husdyrgødning defineres som den ækvivalerende mængde N i mineralsk handelsgødning i procent af total-N tilført med husdyrgødning (jf. Appendiks B). Der er således tale om et indirekte mål, og den i forsøg målte gødningsvirkning af N i husdyrgødning kaldes ofte værdital, der angive i % af total-N i husdyrgødning (jf. Appendiks B). Det er tilstræbt at medtage de væsentligste kombinationer af gødningstype, afgrøde og udbringningsmetode i Tabel 9, og derfor er mere enkeltstående forsøg udeladt af oversigten, der således ikke er fuldstændig. Når visse enkeltstående forsøg omvendt er medtaget skyldes det, at disse forsøg typisk er udført under mere kontrollerede forhold end markforsøg ellers udføres under, og endvidere er der ofte anvendt ^{15}N , hvilket giver større sikkerhed i fortolkningen af resultaterne.

I afsnit 4 og 5 er det beskrevet, hvilke faktorer der påvirker andelen af ammonium-N i husdyrgødning, herunder lagringens betydning. Typisk karakteriseres den i forsøg udbragte husdyrgødning ved indholdet af total-N og ammonium-N, men der er yderste sjældent, at forudgående lagringsperiode er beskrevet. Særlig betydning for gødningsvirkningen har lagringsperioden for faste typer af husdyrgødning, specielt fiberfraktionen fremkommet ved separering af gylle.

Tabel 9. Gødningsvirkning af N i husdyrgødning (gylle og afledte fraktioner) opnået i dyrkningsforsøg (værdital angivet som % af total-N). I parentes er angivet antal forsøg. Der kan være betydelig variation på de viste middeltal, som endvidere kan afhænge af forholdene i de enkelte år.

Afgrøde	Udbringningsmetode	Pedersen (1993)	Pedersen (2001) ¹⁾	Pedersen (2002)	Pedersen (2003) ¹⁾	Pedersen (2004)	Pedersen (2005)	Pedersen (2006)	Pedersen (2007)	Sørensen.(2003)	Sørensen et al.(2003)	Sørensen.(2006)
	Beregningsgrundlag ²⁾	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	C
<i>Svinegylle</i>												
Vårbyg	Bredspredning, nedharvning		73 (22)									
	Slangeudlægning, nedharvning				89 (3)/ 51 (2)						63 (3)	
	Nedpløjning									75-84 (2)		
Vinterhvede	Direkte nedfældning				89 (3)/ 61 (2)						79 (3)	93 (1)
	Slangeudlægning		64 (71)/ 63 (155)		91 (3)	52 (4)				59-69 (2)		74 (1)
	Slangeudlægning - <i>forsuret</i>			81 (2)	100 (3)							103 (1)
	Direkte nedfældning		69 (25)/ 79 (14)			58 (4)						
<i>Kvæggylle</i>												
Vårbyg	Slangeudlægning, nedharvning		52 (17)									41 (3)
	Direkte nedfældning		72 (22)								68 (3)	59 (1)
Sletgræs	Nedpløjning									60 (2)		
	Slangeudlægning	28-71 (14)				27 (4)	35 (3)					
Vinterhvede	Direkte nedfældning	48-71 (14)				40 (4)	40 (3)					
	Slangeudlægning		40 (22)/ 43 (32)		47 (3)						35 (1)	39 (1)
	Slangeudlægning - <i>forsuret</i>				59 (3)							63 (1)

(fortsættes)

<i>Afgasset gylle</i>					
Vårbyg	Slangeudlægning, nedharvning	63 (16)		94 (3)	
	Direkte nedfældning	69 (24)		100 (3)	
Vinterhvede	Slangeudlægning	68 (26)	55 (3)/ 86 (4)		
	Direkte nedfældning	76 (10)	88 (3)/ 86 (3)		
<i>Minkgylle</i>					
Vinterhvede	Slangeudlægning			90 (4)	84 (2)
	Direkte nedfældning			89 (4)	82 (2)
<i>Fiberfraktion</i>					
Vårbyg	Forår, nedpløjet			50 (15)	44-52 (2)
Vinterhvede	Forår, på afgrøde			29 (11)	24-29 (2)
	Efterår, nedpløjning			18 (11)	12-14 (2)
<i>Væskefraktion (lavteknologisk separering)</i>					
Vårbyg	Slangeudlægning, nedharvning			84 (15)	
	Direkte nedfældning			85 (15)	91-98 (2)
Vinterhvede	Slangeudlægning	89 (3)		78 (11)	76-83 (2)
	Direkte nedfældning	96 (3)		89 (11)	
<i>Væskefraktion (højteknologisk separering - ammoniakvand)</i>					
Vårbyg	Slangeudlægning, nedharvning			87 (10)	
	Direkte nedfældning			93 (10)	
<i>Fjerkrægødning (gns. af dybstrøelse og to typer fast gødning)</i>					
Vårbyg	Forår, nedpløjet			73	67-83

1) Flere data for samme kombination af gødningstype, afgrøde og udbringningsmetode stammer fra forskellige forsøgsserier.

2) Beregningsgrundlag:

A: Beregnet på basis af N i kerne (eller total afgrøde i græs) i parcel forsøg

B: Beregnet på basis af N i kerne + halm i miniparceller

C: Beregnet på basis af N i kerne i miniparceller

Tabel 10. Gødningsvirkning af N i husdyrgødning (fast staldgødning og dybstrøelse) opnået i dyrkningsforsøg (værdital angivet som % af total-N). I parentes er angivet antal forsøg. Der kan være betydelig variation på de viste middeltal, som endvidere kan afhænge af forholdene i de enkelte år.

Afgrøde	Udbringningsmetode	Skriver (1991)	Pedersen (1994)	Pedersen (1995)	Pedersen (2000)	Pedersen (2006)	Pedersen (2007)
Beregningsgrundlag 4)		A	A	A	A	A	A
<i>Fast staldgødning - svin</i>							
Vårbyg	Nedpløjet, efterår			25 (2)			
	Nedpløjet, forår			56 (8)			
Vinterhvede	Nedpløjet, efterår			17 (4)			
	Udbragt på afgrøden, forår			32 (4)			
<i>Fast staldgødning – kvæg</i>							
Vårbyg	Nedpløjet, efterår			8 (2)			
	Nedpløjet, forår			40 (2)			
Vinterhvede	Nedpløjet, efterår			19 (2)			
	Udbragt på afgrøden, forår			19 (2)			
<i>Dybstrøelse – svin</i>							
Vinterhvede	Nedpløjet, efterår				27 (12)		
	Udbragt på afgrøden, forår				19 (12)		
<i>Dybstrøelse – kvæg</i>							
Vårbyg	Nedpløjet, forår				33 (12)		
<i>Dybstrøelse/Fast staldgødning - fjerkræ ¹⁾</i>							
Vårbyg	Nedpløjet, efterår			51 (2) ³⁾			
	Nedpløjet, forår			88 (2) ³⁾		77 (15) ¹⁾	73 (12) ¹⁾
Vinterhvede	Nedpløjet, efterår	35 (1) ³⁾	23 (1) ²⁾	9 (4) ³⁾			
	Udbragt på afgrøden, forår		44 (1) ²⁾	27 (4) ³⁾			

1) Gennemsnit af forsøg med dybstrøelse og to typer fast gødning (høsegødning på gødningsbånd og skrabe-høns)

2) Dybstrøelse

3) Fast staldgødning

4) Beregningsgrundlag: A: Beregnet på basis af N i kerne (eller total afgrøde i græs) i parcel forsøg

9 Gødningsvirkning af N i husdyrgødning

Udgangspunktet er, at næringsstofferne i husdyrgødning skal anvendes som gødning i planteavlen. Dette indebærer, at næringsstofftab til det omgivende miljø skal begrænses og gødningen tilføres i en mængde, der er afpasset efter afgrødens behov. Specielt tab af kvælstof i form af nitratudvaskning og ammoniakemission er søgt begrænset ved tilpasning og regulering af henholdsvis udbringningstidspunkt og udbringningsmetode. Ud fra et miljømæssigt synspunkt er målet at begrænse miljøbelastningen ved at tilbageholde kvælstof i dyrkningssystemet. Petersen (1996) gennemgår en række forsøg, hvoraf det med al tydelighed fremgår, at N i husdyrgødningen har den største gødningsvirkning ved udbringning i foråret samt, ved indarbejdning i jorden straks efter udbringning. Det miljømæssige mål er således sammenfaldende med opnåelse af en høj gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødningen. Den øgede gødningsvirkning af N i husdyrgødning afspejler sig i forbruget af N i handelsgødning, som er halveret siden midten af 1980'erne (Anonym, 2005).

Der er således taget hånd om de to væsentligste kilder til tab af husdyrgødningskvælstof fra dyrkningssystemet, og fremtidige tiltag kan ikke forventes at have samme store effekt på gødningsvirkningen af kvælstof i husdyrgødning. Jo mindre forskelle der søges efter, jo vanskeligere bliver det at påvise signifikante effekter, og forsøgsusikkerheden og metodevalget må ofres større opmærksomhed. Endvidere er det for et givent tiltag vigtigt, at anlægge en helhedsbetragtning for hele håndteringskæden fra stald, over lager til udbringning i marken, idet tiltag i ét led af kæden ikke nødvendigvis vil have en positiv effekt senere i kæden. Den samlede næringsstoffmæssige effekt af et tiltag giver ikke nødvendigvis en bedre gødningsvirkning, medmindre f.eks. udbringningsmetoden afpasses efter de ændringer i husdyrgødnings næringsstoffindhold, som et tiltag i f.eks. stalden har affødt. Endelig kan et tiltag, der har til formål at begrænse en tabsproces, give anledning til forøgelse af andre uønskede tabsprocesser, også kaldet pollution swapping (Petersen et al., 2006; Petersen & Miller, 2006).

For en fremtidig forøgelse af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning tegner der sig to spor: Det ene er muligheden for direkte nedfældning af flydende husdyrgødning i etablerede afgrøder, hvorved direkte tab af ammonium-N reduceres. Det andet spor er muligheden for bearbejdning af husdyrgødning, hvor tre former for bearbejdning påkalder sig opmærksomhed: forsurening, separering og afgasning i forbindelse med produktion af biogas, hvor de to sidstnævnte reducerer indholdet af organisk bundet N. Gødningsvirkningen af N i bearbejdet husdyrgødning belyses i afsnit 9.3, mens gødningsvirkningen af N i ubearbejdet gylle, herunder udbringningsmetoder for gylle, samt ajle, fast staldgødning og dybstrøelse belyses i afsnit 9.2. Indledningsvis beskrives i afsnit 9.1 den benyttede fremgangsmåde ved vurdering af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning, mens der i afsnit 9.4 afsluttes med en samlet vurdering, herunder sammenstilling med substitutionskravene.

9.1 Fremgangsmåde ved vurdering

For hver gødningstype er det vurderet, hvilken gødningsvirkning det er realistisk at opnå i praksis ved forskellig håndtering af N i husdyrgødningen. I denne sammenhæng er kun medtaget de mest almindelige kombinationer af gødningstype og udbringningsmetode. Vurderingerne af førsteårgødningsvirkning af N i husdyrgødning tager udgangspunkt i opnåede værdital (Tabel 9 og Tabel 10). Dette udgangspunkt suppleres med viden om typiske værdier for nettomineralisering af N i forskellige gødningstyper, ligesom der tages hensyn til gennemsnitlige estimerede gasformige N-tab. Endelig er der i visse tilfælde også inddraget kendskab til det gennemsnitlige indhold af ammonium-N og total N, samt andelen af ammoniumkvælstof.

De gasformige tab (ammoniakemission og denitrifikation) fra udbragt husdyrgødning udtrykker det gennemsnitlige forventede tab for en given kombination af husdyrgødningstype og udbringningsmetode. Ammoniakemissionen udtrykkes som emissionsfaktorer, der er baseret på beregninger med ALFAM-modellen (Hansen et al., 2008). Til sammenligning antages et ammoniaktab på 1-2,2% fra handelsgødning baseret på ammonium- og nitrat-gødninger (Illerup et al., 2002; EEA, 2007). I modsætning til ammoniakemissionen, der er et direkte tab, er denitrifikationen et afledt tab efter omsætning i jorden. Denitrifikationstabene er derfor beregnet som et mer-tab i forhold til anvendelse af handelsgødning, og beregningerne er foretaget med SIMDEN-modellen (Vinther, 2008).

De beregnede gasformige tab illustrerer i hvilken udstrækning, der foreligger et potentiale for opnåelse af en større gødningsvirkning af N i husdyrgødningen for de opstillede kombinationer af husdyrgødningstype og udbringningsmetode. Nogle kombinationer er dog tilknyttet betydelige og uundgåelige gasformige tab, hvorved der efterlades mindre rum for at øge gødningsvirkningen af N i husdyrgødningen.

I udbringningsåret vil gødningsvirkningen ved mineralisering af organisk bundet N i den tilførte husdyrgødning afhænge af vækstsæsonens længde. Afgrøder med en lang vækstsæson vil i eftersommeren (august) og det tidlige efterår (september-oktober) kunne optage N mineraliseret i denne periode. Sædskiftet på kvægbedrifter består overvejende af afgrøder med lang vækstsæson (majs, græs, roer). På svinebrug kan sædskiftet bestå af afgrøder med varierende vækstsæson, men overvejende består det af kornafgrøder med kort vækstsæson, idet væksten afsluttes i august. I denne forbindelse bidrager vintersæd (kornafgrøder) etableret i august/september ikke til forlængelse af vækstsæsonen, idet væksten i etableringsåret er beskeden med tilsvarende begrænset evne til at optage kvælstof i efteråret. Det må derfor antages, at vinterkornet i etableringsåret ikke er i stand til at optage væsentlige mængder af N mineraliseret fra husdyrgødning udbragt i foråret. Derimod vil vinterraps, der har en kraftig vækst i etableringsåret, kunne optage N mineraliseret fra forårsudbragt husdyrgødning (Hansen et al., 2004). På trods af vinterrapsens egenskaber, må sædskifterne på svinebrug generelt karakteriseres som bestående af afgrøder med kort vækstsæson. I beregninger af den samlede gødningsvirkning er virkningen af mineraliseret N for afgrøder med

lang vækstsæson derfor alene tillagt ved anvendelse af husdyrgødning fra kvæg (Tabel 11 og Tabel 13). For dybstrøelse er virkningen af mineraliseret N for afgrøder med lang vækstsæson ligeledes tillagt den samlede gødningsvirkning (Tabel 14), idet det antages at anvendelse af staldsystemer med dybstrøelse typisk er knyttet til kvægbrug.

Den langsigtede akkumulerede eftervirkning af vedvarende tilførsel af husdyrgødning afhænger af tidshorisonten, der inddrages. Denne problemstilling skal ikke diskuteres nærmere, idet der henvises til behandling af emnet i bl.a. Petersen et al. (2006). Ved estimering af eftervirkningen i Tabel 11, Tabel 13 og Tabel 14 er der valgt en tidshorisont på 10 år ved beregning af den forventede eftervirkning, samt taget hensyn til, at svinegødning fortrinsvis udbringes til afgrøder med kort vækstsæson, mens kvægbrug domineres af afgrøder med lang vækstsæson. Der er ved beregning af den langsigtede akkumulerede eftervirkning taget udgangspunkt i simulerede værdier i Tabel 5.

Det er nu muligt at beregne den forventede samlede gødningsvirkning af N i husdyrgødning ved summering af 1) førsteårsvirkningen, 2) tillæg for virkningen af mineraliseret N for afgrøder med lang vækstsæson plus 3) den akkumulerede eftervirkning. For ubearbejdet husdyrgødning er der opstillet tre tabeller (Tabel 11, Tabel 13 og Tabel 14), der dækker en række udbringningsmetoder, og der er efterfølgende foretaget en vægtning af disse. Tilsvarende tabeller er derimod ikke udarbejdet for typer af bearbejdet gylle, men der er anvendt samme princip i vurderingen af den samlede gødningsvirkning af N.

Der er ikke tale om en balance, der skal summere til 100%. Gødningsvirkningen er udtrykt som den ækvivalerende mængde handelsgødning i procent af total-N i tilført husdyrgødning, mens de gasformige tab er udtrykt som tab i procent af tilført total-N. Gødningsvirkningen er således ikke den andel af tilført N, der kan findes i afgrøden ved høst, men en relativ størrelse i forhold til handelsgødning. Der er således ikke tale om procenter af de samme størrelser, og derfor kan værdierne for gasformige N-tab og gødningsvirkning ikke adderes. Det er alene førsteårgødningsvirkningen, tillægget for virkning af mineraliseret N for afgrøder med lang vækstsæson i første år og den akkumulerede eftervirkning, der kan adderes.

De fremkomne estimater for den samlede gødningsvirkning af N i husdyrgødning er af generel karakter, og kan udgøre et grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav, herunder også, om der er grundlag for opstilling af selvstændige substitutionskrav for visse typer af bearbejdet gylle. I den aktuelle udbringningssituation vil gødningsvirkningen afhænge af gødningstype, udbringningsmetode, afgrøde og vejrforhold. For praksis vil kendskab til gødningsvirkningen i den aktuelle udbringningssituation være nyttig med henblik på fastlæggelse af behovet for supplering med kvælstof i handelsgødning. Til vejledningsformål har Dansk Landbrugsrådgivning opstillet tabeller, hvor skøn for gødningsvirkningen i den aktuelle udbringningssituation, kaldet markeffekt, kan findes (Appendiks C).

9.2 Gødningstyper og udbringningsmetoder

Indtil 1960'erne sigtede staldindretningen på at håndtere husdyrgødningen som fast staldgødning og ajle, men i dag håndteres mindre end 10% af den samlede mængde N i husdyrgødning på denne måde (Tabel 1). Med henblik på rationel gødningshåndtering indførtes i 1970'erne staldsystemer, hvor fæces, urin og strøelse blandes sammen til gylle, der er pumpbar. Gylle er blevet den dominerende gødningstype og tegner sig for 75% af den samlede mængde N i husdyrgødning (Tabel 1). I modsætning til de rationalitetsbetragtninger, der gøres for staldsystemer med gylle, er begrundelsen for anvendelse af dybstrøelse hensynet til dyrevelfærd.

Valget af udbringningsmetode knytter sig til gødningstypen og sædskiftet. Udgangspunktet er forårsudbringning med enten samtidig eller efterfølgende indarbejdning i jorden forud for etablering af vårsæd, men langt fra alle kombinationer af gødningstyper og sædskifter giver mulighed herfor. I etablerede afgrøder påkalder direkte nedfældning af flydende husdyrgødning sig derfor opmærksomhed. Udbringningsmetodens betydning for gødningsvirkningen belyses i relation til de gødningstyper, hvor det er relevant.

9.2.1 Gylle

Førsteårsvirkningen af svine- og kvæggylle er afhængig af udbringningsmetoden (Tabel 9) samt også i nogen grad af afgrødetypen. Generelt kan der forventes den største gødningsvirkning af N i gylle ved direkte nedfældning eller hurtig nedpløjning, og her kan der som regel opnås en gødningsvirkning, der er højere end substitutionskravet. En forudsætning for en høj gødningsvirkning i den aktuelle udbringningssituation er dog, at den direkte nedfældning er udført omhyggeligt, idet der skal være tale om reel nedfældning og ikke blot, at udbringningen er foretaget med nedfælderudstyr. Både direkte nedfældning og nedpløjning kan uden væsentlige problemer praktiseres i foråret forud for etablering af vårsæd, mens direkte nedfældning ikke er helt problemfri i etablerede afgrøder (vintersæd og græs). Derimod er udbringning med slangeudlægger udbredt i etablerede afgrøder, men her kan der for de fleste kombinationer af gylletype og afgrøde ikke opnås en gødningsvirkning af N på højde med substitutionskravet gældende for planperioden 2008/09. Førsteårsvirkningen ved udbringning til græs er klart den størrelse, der er behæftet med den største variation.

Tabel 11. Samlet gødningsvirkning af N i gylle ved typiske udbringningsmetoder baseret på skønnet førsteårsvirkning for kornafgrøder (kolonne A, jf. Tabel 9), og skønnet virkning af mineraliseret N for afgrøder med lang vækstsæson (majs, græs og roer) (kolonne B) samt akkumuleret eftervirkning (kolonne C, jf. Tabel 5), jf. principperne beskrevet i afsnit 9.1. Endvidere er tab af N ved ammoniakemission og denitrifikation angivet.

Gødningstype og udbringningsmetode	Ammoniak tab ¹⁾	Denitrifikationstab ²⁾	Førsteårsgødningsvirkning	Tillæg til førsteårsvirkning ved lang vækstsæson	Akkumuleret eftervirkning efter 10 år	Samlet gødningsvirkning
			A	B	C	
	% af total-N i husdyrgødning		Ækvivalerende mængde N i handelsgødning i % af total-N i husdyrgødning			
<i>Svinegylle</i>						A+C
Nedpløjning forår, <6 timer	4	5	73	2	7	80
Direkte nedfældning sort jord	1	5	75	2	7	82
Nedharvning forår, <6 timer	7	3	70	2	7	77
Slangeudlægning på afgrøde	12	3	65	2	7	72
Direkte nedfældning i afgrøde	7	5	70	2	7	77
<i>Kvæggylle</i>						A+B+C
Nedpløjning forår, <6 timer	5	5	60	3	13	76
Direkte nedfældning sort jord	2	5	65	3	13	81
Nedharvning forår, <6 timer	10	3	50	3	14	67
Slangeudlægning på afgrøde	16	3	40	3	12	55
Direkte nedfældning i afgrøde	9	5	45	3	13	61
Nedfældning græs (forår-sommer)	16	5	50	3	13	66
Slangeudlæg. græs (forår-sommer)	22	3	40	3	12	55

1) Ammoniaktab baseret på emissionsfaktorer beregnet af Hansen et al (2008)

2) Denitrifikationstab i forhold til anvendelse af handelsgødning beregnet med SIMDEN model (Vinther, 2008)

Estimaterne for den samlede gødningsvirkning af svine- og kvæggylle i Tabel 11 er i Tabel 12 vægtet efter de i praksis anvendte udbringningsmetoder i 2004, der er vurderet på basis af Dansk Landbrug (2004). Andelen af forårsudbragt gylle afspejler afgrødevalget på landsplan, idet der ved udbringning til vårsæd kan opnås en høj førsteårsgødningsvirkning og derfor får disse afgrøder førsteprioritet. Den vægtede gødningsvirkning af N for svinegylle svarer til substitutionskravet på 75%, mens den vægtede gødningsvirkning af N i kvæggylle kan beregnes til at være lidt lavere end substitutionskravet på 70%. Udbringning af kvæggylle på græs trækker noget ned i den samlede gødningsvirkning, da denne afgrøde udgør en stor andel af arealet på kvægbrug, men samtidig er der et potentiale for forbedring af gødningsvirkningen, idet ammoniakemissionen er høj. For svinegylle vil øget anvendelse af udbringningsmetoder med forventet lavere ammoniakemission og dermed forventet højere gødningsvirkning af N kun påvirke den vægtede gødningsvirkning lidt, da forskellene i gødningsvirkning mellem udbringningsmetoderne maksimalt er 10%-point for denne gødningsstype. Omkring 2/3 af svinegyllen antages i dag udbragt ved brug af slæbeslanger i etablerede afgrøder (Tabel 12). Tænkes denne andel i fremtiden i stedet udbragt ved direkte nedfældning i afgrøden kan den vægtede gødningsvirkning af N i svinegylle beregnes til 78%.

Tabel 12. Gødningsvirkning af gylle vægtet efter aktuel udbringningspraksis i 2004 efter tolkning af Dansk Landbrug (2004).

Gødningstype og udbringningsmetode	Andel	Samlet gødningsvirkning *)
<i>Svinegylle</i>		
Nedpløjning forår, <6 timer	0,24	80
Direkte nedfældning sort jord	0,12	82
Nedharvning forår, <6 timer		77
Slangeudlægning på afgrøde	0,64	72
Direkte nedfældning i afgrøde		77
<i>Vægtet sum</i>		75
<i>Kvæggylle</i>		
Nedpløjning forår, <6 timer	0,15	76
Direkte nedfældning sort jord	0,25	81
Nedharvning forår, <6 timer		67
Slangeudlægning på afgrøde		55
Direkte nedfældning græs	0,25	66
Slangeudlægning græs	0,35	55
<i>Vægtet sum</i>		67

*) Samlet gødningsvirkning af N i husdyrgødning fra Tabel 11.

Der er fundet en høj førsteårsgødningsvirkning af N i minkgylle på omkring 85% (Tabel 9), men dette resultat er kun baseret på to års forsøg, hvortil det bemærkes, at den anvendte minkgylle har været atypisk med væsentligt lavere indhold af tørstof, kvælstof og fosfor end normtallene for den

type husdyrgødning. Den anvendte minkgylle stammede fra en bedrift, hvor fæces, urin og drikkevandsspild blev opsamlet i gødningsrender. Imidlertid savnes undersøgelser, som kan bidrage til belysning af gødningsvirkningen af N i repræsentativ minkgylle opsamlet i moderne staldanlæg. Resultaterne tyder dog på mulighed for opnåelse af en høj førsteårsvirkning, men pga. af forsøgsbetingelserne er grundlaget for spinkelt til, at det kan tillægges fuld vægt. På den anden side anvendes der ved beregning af normtal for minkgylle en ammoniumandel på 70% (Anonym, 2008), hvortil der formentlig kan tillægges en akkumuleret eftervirkning på 7-10%-point, jf. Tabel 5. Det vurderes derfor muligt at opnå en samlet gødningsvirkning af N i minkgylle, der svarer til gødningsvirkningen af N i svinegylle.

Der haves ikke kendskab til nyere forsøg med fjerkrægylle og det bemærkes, at mindre end 5% af kvælstofmængden i fjerkrægødning håndteres som gylle, jf. Tabel 1, mens mere end 75% håndteres som dybstrøelse og 20% som fast gødning. I forsøg med fjerkrægødning er der da også anvendt enten dybstrøelse eller fast staldgødning, hvor der ved nedpløjning i foråret forud for etablering af vårsæd blev opnået en førsteårsgødningsvirkning af N på 75-85% (Tabel 10). Hertil skal der lægges en akkumuleret eftervirkning over 10 år, som ikke kendes, men forventes at være 5-10%. Ved efterårsudbringning af fjerkrægødning er den opnåede gødningsvirkning af N meget variabel, hvilket formentlig skyldes varierende nitratudvaskning af det forholdsvis let plantetilgængelige kvælstof i fjerkrægødning. Forårsudbringning af fjerkrægødning på etablerede afgrøder gav en betydelig reduceret gødningsvirkning (Tabel 10), hvilket tilskrives N-tab ved ammoniakemission. Udgangspunktet for anvendelse af fjerkrægødning må derfor være nedpløjning til vårsæd, og her vurderes det muligt at opnå en samlet gødningsvirkning af N i fjerkrægødning på 80%, hvilket er væsentlig højere end de generelle substitutionskrav gældende for fast gødning og dybstrøelse (jf. Gødskningsbekendtgørelsen, 2008).

Sammenfattende giver gødningsvirkningen af N i svine- og kvæggylle, der er de mest udbredte gødningstyper, ikke afgørende grundlag for ændring af substitutionskravet. På trods af et spinkelt grundlag vurderes det, at gødningsvirkningen af N i minkgylle kan ligestilles med svinegylle. Det vil dog være ønskeligt, om dette underbygges med yderligere undersøgelser. For fjerkrægødning synes der at være en ubalance i substitutionskravene i forhold til gødningstypernes udbredelse. For fast gødning og dybstrøelse fra fjerkræ er det muligt at opnå en samlet gødningsvirkning af N, der er væsentlig højere end de generelle substitutionskrav for disse gødningstyper.

9.2.2 Fast gødning og ajle

Udbringning af fast staldgødning i september før såning af vintersæd giver høj risiko for et stort udvaskningstab i udbringningsåret svarende til indholdet af ammonium N i gødningen (Sørensen & Rubæk, 2006; Thomsen, 2005). Denne direkte nitratudvaskning for efterårsudbragt fast gødning kan typisk beregnes til 25% af tilført total-N, hvilket reducerer den potentielle gødningsvirkning. Netop det store udvaskningstab, der følger af efterårsudbragt husdyrgødning, er begrundelsen for forbudet

mod efterårsudbringning af flydende husdyrgødning. I dag tillades kun efterårsudbringning af fast husdyrgødning forud for etablering af en overvintrende afgrøde, mens vinterudbringning af fast gødning kan foretages efter 20. oktober (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2006). Ved udbringning om foråret bliver det mineralske N optaget af afgrøden og udvaskningspotentialet er derfor primært af indirekte karakter, idet tabet er relateret til mineralisering af organisk N på linie med jordens organiske N.

Til og med planperioden 2007/08 forelå der et vægtet substitutionskrav for fast staldgødning og ajle svarende til kategorien 'anden husdyrgødning', men fra planperioden 2008/09 er der fastsat et selvstændigt, men uændret, substitutionskrav for hver af de to gødningstyper (Gødskningsbekendtgørelsen, 2008). Med stigende udveksling af husdyrgødning mellem bedrifter vil det ikke være utænkeligt, at fast gødning udbringes på en bedrift (eller afsættes til biogasfællesanlæg) og ajlen på en anden bedrift. I en sådan situation er det uhensigtsmæssigt med et vægtet substitutionskrav for fast gødning og ajle.

Gødningsvirkningen af N i ajle er normalt både høj og sikker, mens gødningsvirkningen af fast staldgødning er væsentlig lavere og også mere usikker. Dette skyldes, at en betydelig andel af det tilførte N i fast staldgødning findes som organisk N, som til gengæld vil have en væsentlig eftervirkning. Desuden er halmindholdet i fast staldgødning varierende og et højt indhold medfører lavere førsteårsvirkning. Endvidere er det ikke alle sædskifter, der tillader nedpløjning af forårsudbragt fast staldgødning, og sædskiftebetings efterårsudbringning må forventes at forekomme, hvorved gødningsvirkningen reduceres. Endvidere kan det på lerjord være vanskeligt at foretage tilfredsstillende såbedstilberedning efter forårspløjning. Dansk Landbrug (2004) angiver, at 22% af den faste gødning udbringes i september-oktober. Antages det, at 4/5 af den faste gødning nedpløjes eller nedharves i foråret og 1/5 nedpløjes forud for etablering af vintersæd, kan der på baggrund af Tabel 13 forventes en vægtet gødningsvirkning af N i fast staldgødning på 52-55% for henholdsvis svine- og kvæggødning. Da mere end $\frac{2}{3}$ af N i fast staldgødning hidrører fra kvæg (jf. Tabel 1), vægtes gødningsvirkningen af N for denne dyreart, dvs. den samlede gødningsvirkning af N i fast staldgødning vurderes ved afrunding til at være 55%, hvilket er lavere end substitutionskravet på 65%. Omvendt er den samlede gødningsvirkning af N i ajle omkring 85% og betydeligt over substitutionskravet på 65%.

Tabel 13. Samlet gødningsvirkning af N i fast staldgødning og ajle ved typiske udbringningsmetoder baseret på skønnet førsteårsvirkning for kornafgrøder (kolonne A, jf. Tabel 10), og skønnet virkning af mineraliseret N for afgrøder med lang vækstsæson (majs, græs og roer) (kolonnen B) samt akkumuleret eftervirkning (kolonne C, jf. Tabel 5), jf. principperne beskrevet i afsnit 9.1. Endvidere er tab af N ved ammoniakemission og denitrifikation angivet.

Gødningstype og udbringning	Ammoniak tab ¹⁾	Denitrifikation ²⁾	Førsteårgødningsvirkning	Tillæg til førsteårsvirkning ved lang vækstsæson	Akkumuleret eftervirkning efter 10 år	Samlet gødningsvirkning
			A	B	C	
			Ækvivalerende mængde N i handelsgødning i % af total-N i husdyrgødning			
<i>Svin</i>						A+C
Staldgødning nedpløjet forår, <6 timer	10	5	45	4	13	58
Staldgødning nedpløjet efterår før vintersæd, <6 timer	8	5	15	2	12	27
Staldgødning nedharvet 6t	10	3	45	4	13	58
Staldgødning på afgrøde	16	3	30	4	12	42
Ajle slangeudlagt i afgrøde	12	0	82	0	2	84
<i>Kvæg</i>						A+B+C
Staldgødning nedpløjet forår, <6 timer	10	5	35	5	20	60
Staldgødning nedpløjet efterår før vintersæd, <6 timer	8	5	15	2	18	35
Staldgødning nedharvet, <6 timer	10	3	35	5	20	60
Staldgødning på afgrøde	16	3	15	5	18	38
Ajle slangeudlagt i afgrøde	12	0	82	0	2	84

1) Ammoniaktab baseret på emissionsfaktorer beregnet af Hansen et al (2008)

2) Denitrifikationstab i forhold til anvendelse af handelsgødning beregnet med SIMDEN model (Vinther, 2008)

9.2.3 Dybstrøelse

I forhold til fast staldgødning er dybstrøelse mere halmrig og den indeholder al den udskilte urin. Der foreligger kun få undersøgelser, der belyser gødningsvirkningen af N i dybstrøelse, og der findes ikke datagrundlag for at skelne mellem dybstrøelse fra kvæg og svin, men med hensyn til anvendelse og gødningsvirkning antages flere fællestræk mellem disse to gødningstyper. Af den samlede mængde N i dybstrøelse, findes 80% i dybstrøelse fra kvæg (jf. Tabel 1), og ved beregning af eftervirkningen er der derfor taget udgangspunkt i kvægdybstrøelse og lang vækstsæson for afgrøder på kvægbrug.

Den bedste gødningsvirkning af N i dybstrøelse opnås ved udbringning og nedpløjning direkte fra stald om foråret. Dermed undgås de gasformige tab som forekommer under omladning og lagring af dybstrøelsen, idet dybstrøelse typisk vil kompostere ved oplagring, og derfor indeholder mindre ammonium-N end dybstrøelse udbragt direkte fra stald. I praksis vil det kun være muligt at tilføre en del af dybstrøelsen direkte fra stald om foråret, idet det ofte vil være nødvendigt at tømme stalden også på andre tidspunkter. Ligesom for fast staldgødning kan der være sædskifte- og jordtypebetingede forhold, der vil begrænse mulighederne for nedpløjning af dybstrøelsen i foråret. Derfor er det i praksis ikke muligt at opnå en gødningsvirkning af N i dybstrøelsen, der svarer til nedpløjning af dybstrøelse udbragt direkte fra stald i foråret.

Efterårsudbringning af dybstrøelse giver høj risiko for en stor nitratudvaskning i den efterfølgende vinter, og hermed reduceres den potentielle gødningsvirkning. Den i øvrigt relativt lave gødningsvirkning skyldes bl.a., at en betydelig andel af det tilførte N er organisk bundet med en væsentlig eftervirkning, som også vil række ud over den 10 års eftervirkningsperiode, der regnes med her. En del af mineraliseringen vil ske udenfor vækstsæsonen og derfor indirekte øge nitratudvaskningen på længere sigt. Dansk Landbrug (2004) angiver, at omkring 20% af dybstrøelsen udbringes forud for etablering af vintersæd. Antages det, at 2/5 af dybstrøelsen udbringes direkte fra stald i foråret, 2/5 udbringes i foråret efter oplagring, og 1/5 udbringes i efteråret forud for etablering af vintersæd, bliver den vægtede gødningsvirkning af N i dybstrøelse 53%.

Et mere konservativt skøn baserer sig på den mængde N, der vil have en gødningsvirkning parallelt til gødningsvirkningen af N i kvæggylle. Det vægtede bidrag til den samlede gødningsvirkning kan for de 40% af kvæggyllen, der forårsudbringes, beregnes til 32%, jf. Tabel 12. Dette vægtede bidrag udtrykker den udbragte mængde af N i husdyrgødning, der tillægges gødningsvirkning. For tilførsel af sammen mængde N ved forårsudbringning af dybstrøelse kræves, at en vis andel af dybstrøelsen forårsudbringes. Med en gødningsvirkning på 55-58% for forårsudbragt dybstrøelse, jf. Tabel 14, vil et vægtet bidrag på 32% kunne opnås ved forårsudbringning af $32/[(55+58)/2] = 57\%$ af dybstrøelsen. Det kan derfor antages, at 3/5 af dybstrøelsen forårsudbringes, mens 2/5 må udbringes under mindre gunstige betingelser, dvs. forud for etablering af vintersæd eller i foråret på vintersæd. Herved bliver den vægtede gødningsvirkning af dybstrøelse på 50%, jf. Tabel 14.

Der er således anlagt to indgangsvinkler, og disse peger på, at den samlede gødningsvirkning af N i dybstrøelse kan være 5-8%-point højere end det substitutionskrav, der er gældende for planperioden 2008/09.

Gødningsvirkningen af N i både dybstrøelse og fast gødning fra fjerkræ adskiller sig væsentlig fra dybstrøelse fra pattedyr, jf. omtalen i afsnit 9.2.1 og Tabel 10. Det synes derfor relevant at foretage en revurdering af kategoriseringen af fjerkrægødninger ved fastlæggelse af substitutionskrav.

Tabel 14. Samlet gødningsvirkning af N i dybstrøelse fra kvæg og svin ved typiske udbringningsmetoder baseret på skønnet førsteårsvirkning for kornafgrøder (kolonne A, jf. Tabel 10), og skønnet virkning af mineraliseret N for afgrøder med lang vækstsæson (majs, græs og roer) (kolonne B) samt akkumuleret eftervirkning (kolonne C, jf. Tabel 5.), jf. principperne beskrevet i afsnit 9.1. Endvidere er tab af N ved ammoniakemission og denitrifikation angivet.

Gødningstype og udbringning	Ammoniak tab ¹⁾	Denitrifika- tion ²⁾	Førsteårsgødnings- virkning	Tillæg til førsteårsvirkning ved lang vækstsæson	Akkumuleret efter- virkning efter 10 år	Samlet gødnings- virkning
			A	B	C	A+B+C
Dybstrøelse nedpløjet forår direkte fra stald	10	5	35	5	18	58
Dybstrøelse nedpløjet forår, lagret	10	5	30	5	20	55
Dybstrøelse på voksende afgrøde	16	3	20	5	18	43
Dybstrøelse nedpløjet efterår før vintersæd, <6 timer	8	5	20	2	18	40

1) Ammoniaktab baseret på emissionsfaktorer beregnet af Hansen et al (2008)

2) Denitrifikationstab i forhold til anvendelse af handelsgødning beregnet med SIMDEN model (Vinther, 2008)

9.3 Bearbejdet husdyrgødning

De tre former for bearbejdning af husdyrgødning, der omtales i det følgende, har forskellige formål og effekt, hvilket har indflydelse på den samlede gødningsvirkning af N. For alle tre bearbejdningsteknologier er forskellen mellem bearbejdet og ubearbejdet gylle typisk konfunderet med andre faktorer, og derfor består det grundlæggende problem: Hvorvidt gødningsvirkningen af N i den bearbejdede gylle kan sammenlignes med den ubearbejdede gylle? Afgasset gylle består af et blandingsprodukt af flere typer biomasse, og en sammenligning med gødningsvirkningen før afgang kan derfor ikke besvare spørgsmålet om, hvorvidt selve bearbejdningen i biogasprocessen har en positiv (eller negativ) effekt på gødningsvirkningen. Tilsvarende gælder forsuring, der er et bearbejdningkoncept, der påvirker hele gyllehåndteringskæden, hvorved reduktion af ammoniakemission fra stald og lager øger gyllens ammoniumindhold. En forskel i gødningsvirkning mellem ikke-forsuret og forsuret gylle kan således skyldes det forøgede ammoniumindhold og kan ikke alene tilskrives effekten af forsuringen under og efter udbringning. Også ved separering af afgasset gylle er der tale om, at bearbejdningen ændrer væsentligt på sammenligningsgrundlaget, idet separeringen fjerner organisk kvælstof, der enten skal have en gødningsvirkning på en anden bedrift eller afsættes med henblik på forbrænding. Det er i mange tilfælde ikke muligt, at foretage en sammenligning af gødningsvirkningen før og efter bearbejdning med henblik på at bruge en eventuel bearbejdningseffekt på gødningsvirkningen som argument for eller imod en given bearbejdning. Endvidere bestemmes og udtrykkes gødningsvirkningen af N i husdyrgødning i forhold til handelsgødning, og gødningsvirkning af bearbejdet og ubearbejdet gylle undersøges sjældent i samme forsøg. Herved er gødningsvirkningen af forskellige gylletyper typisk bestemt under forskellige omstændigheder, hvilket også umuliggør en direkte sammenligning. På trods af disse principielle forbehold er det praktisk og relevant at have kendskab til gødningsvirkningen af N i bearbejdet gylle, uden der derved bliver tale om sammenligning med gødningsvirkningen af N i ubearbejdet gylle.

Overordnet set er alle typer af bearbejdet gylle forholdsvis tyndtflydende med ringe evne til at danne naturligt flydelag, og de har samtidig en relativ høj andel af ammoniumkvælstof. Der er derimod væsentlige forskelle i pH, hvorved bearbejdningmetoden vekselvirker med udbringningsmetoden mht. indflydelse på ammoniakemissionen og dermed på den potentielle gødningsvirkning.

9.3.1 Afgasset gylle

Afgasset gylle er karakteriseret ved høj pH, en høj ammoniumandel og lav viskositet. Den lave viskositet gør det lettere at håndtere gyllen i forbindelse med udbringning, men det høje pH giver et større tabspotentiale, og derfor kræves der større omhu ved ud- og nedbringning. Ved overfladeudbringning (udlægning med slæbeslanger) kan gylle med lav viskositet lettere trække ned i jorden, og er dermed mindre udsat for ammoniakemission på trods af det høje pH (de Jonge et al., 2004). Denne effekt af viskositet vekselvirker imidlertid med bl.a. jordens porøsitet, og derfor giver

den lavere viskositet ikke med sikkerhed en lavere ammoniakemission og en højere gødningsvirkning. Dette samspil mellem viskositet og jordens porøsitet betyder langt mindre ved direkte nedfældning, hvor det sikres, at al gylle dækkes med jord. Forsøgsomstændighederne ved udbringning bliver derfor af stor betydning for tolkningen af den målte gødningsvirkning i markforsøg, men omstændighederne er sjældent beskrevet detaljeret. Da det forøgede potentiale for ammoniakemission er en følge af bearbejdningen må udgangspunkt for afgasset gylle derfor være, at tabspotentialet modvirkes ved udbringning, f.eks. ved direkte nedfældning. Det kan overvejes, om dette skal afspejles i substitutionskravet.

I laboratorieforsøg er der for de enkelte gylletyper foretaget undersøgelse af, hvorledes afgangningen påvirker nettofrigivelsen af N. Mineralisering af organisk bundet N i biogasprocessen (svarende til N mineraliseret på gødningslager jf. Figur 5) betyder, at der både for svine- og kvæggylle kan forventes en øget nettofrigivelse af kvælstof fra den afgassede gylle efter tilførsel til jord svarende til 10-15% af total N i gyllen (P. Sørensen, upubliceret). Dette betyder, at der også efter en afgasning er forskel på gødningsvirkningen af N i svine- og kvæggylle. Hollandske forsøg med nedfældet afgasset kvæggylle viste, at førsteårsvirkningen af den afgassede gylle var 9%-point højere sammenlignet med tilsvarende ubearbejdet kvæggylle (Schröder et al., 2007). Det tyder på, at der ved nedfældning/nedpløjning af afgasset gylle det første år kan opnås en gødningsvirkning af N i afgasset gylle, der er 9-15%-point højere i forhold til ubearbejdet gylle. Til gengæld vil der være en lavere eftervirkning af gyllen, da omsætningen af organisk stof under afgasningen reducerer andelen af organisk N der efterlades i jorden (Schröder et al., 2007). Samlet set betyder dette, at afgasning kan forventes at forøge den samlede gødningsvirkning af N med ca. 5%-point i forhold til en tilsvarende ikke-afgasset gylle.

Afgasset gylle fra biogasfællesanlæg består af en blanding af svine- og kvæggylle plus andet organisk materiale, mens afgasset gylle fra gårdanlæg i højere grad hidrører fra én dyreart evt. tilsat andet organisk materiale. De fleste markforsøg med afgasset gylle er udført med en samforgasset blanding af kvæg- og svinegylle tilsat organisk affald, som i gennemsnit har haft en ammonium-N andel på 81% af total-N (Tabel 7).

Potentialet for tab af N ved ammoniakemission betyder, at førsteårsvirkningen afhænger af udbringningsmetoden, og det må sikres, at den afgassede gylle nedfældes direkte eller nedpløjes umiddelbart efter udbringning. Sker dette ikke, vil det høje pH medføre en betydelig risiko for et væsentligt ammoniaktab fra den afgassede gylle, hvorved den samlede gødningsvirkning af N i den afgassede gylle kan være lavere end for tilsvarende ubearbejdet gylle. På baggrund af Tabel 9 kan der ved direkte nedfældning på sort jord og i afgrøde forventes en førsteårsvirkning af N i den afgassede gylle på 75% (vægtet gennemsnit), mens der ved udbringning med slæbeslanger, dels i afgrøde og dels efterfulgt af nedhavning før etablering af vårsæd, må forventes en gødningsvirkning, der er 5-10%-point lavere. Specielt udbringning med slæbeslanger er koblet med et højt potentiale for ammoniakemission, og derfor udelades denne udbringningsmetode fra

vægtningen ved vurdering af gødningsvirkningen af N i afgasset gylle. Uanset udbringningsmetode er der kun et lille tillæg til førsteårsvirkningen for lang vækstsæson (1%), og den langsigtede eftervirkning er anslået til 7%. Ved anvendelse af udbringningsteknik med lav risiko for ammoniakemission, som f.eks. direkte nedfældning, vurderes gødningsvirkningen af N i afgasset gylle (inkl. 10 års eftervirkning) derfor til minimum 80%.

9.3.2 Separeret gylle

Da formålet med separering af husdyrgødning er efterfølgende afsætning af N udenfor husdyrbrugsbedriften vil en anvendelse af begge separeringsprodukter indenfor bedriften sjældent forekomme. Det er typisk fiberfraktionen med en høj andel af organisk N, der afsættes, mens væskefraktionen med det let plantetilgængelige N anvendes på bedriften. I modsætning til fast gødning og ajle, hvor Gødskningsbekendtgørelsen (2008) foreskriver et substitutionskrav for hver af de to gødningstyper, er det for fraktioner af separeret gylle producenten, der fastsætter substitutionskravet, således at det vægtede krav svarer til substitutionskravet for udgangsmaterialet, dvs. den useparerede gylle. Producentens fastsættelse af substitutionskrav for fiberfraktionen har afgørende betydning for muligheden for at afsætte denne fraktion til gødningsmæssig anvendelse på anden bedrift (Toft, 2008).

Det er nødvendigt at skelne mellem to typer af fibre afhængig af, hvor i håndteringskæden separeringen foretages. Der skelnes mellem separering af rå gylle, hvor fiberfraktionen tilføres biogasanlæg (pre-separering) og separering af afgasset gylle (post-separering) (Figur 6 i afsnit 6.2.2). Da pre-separeret fiber tilføres biogasanlæg, er det ud fra en gødskningsmæssig synsvinkel ikke afgørende med kendskab til gødningsvirkningen af N. Imidlertid følger substitutionskravet for pre-separeret fiber med til biogasanlægget, der kan vælge at beregne substitutionskravet for den afgassede gylle på basis af de indgående materialer. Alternativt kan substitutionskravet for den afgassede gylle sættes lig med kravet for svinegylle, jf. Gødskningsloven (2006).

Fiberfraktionen fremkommet ved post-separering skal oplagres indtil gødningsmæssig anvendelse kan finde sted. Da separeringen foretages kontinuerlig og lægges på lager løbende, kan der blive tale om oplagring i op til 12 måneder. Med lovændringer i 2006 tillades nu også forbrænding af husdyrgødning, om end der reelt kun er tale om forbrænding af fiberfraktion fra separering af afgasset gylle, idet kun denne gødningstype er fritaget for affaldsforbrændingsafgift (der pt. er under omlægning til affaldsvarmeafgift). I denne situation bortfalder dels behovet og dels producentens mulighed for fastlæggelse af gødningsværdien af fiberfraktionen fremkommet ved post-separering. Derfor er der i Gødskningsbekendtgørelsen (2008) fastsat et selvstændigt substitutionskrav for N i væskefraktionen.

Gødningsvirkningen af N i separeret gylle er i det følgende kun angivet for svinegylle og afgasset gylle, idet der ikke er tilsvarende datagrundlag for separeret kvæggylle. På grundlag af Tabel 9

findes en førsteårsgødningsvirkning af N i væskefraktionen på omkring 85%. Da væskefraktionen har et lavt indhold af organisk bundet N vil mineraliseringspotentialet være tilsvarende lavere. Derfor gives der ikke tillæg til førsteårsvirkningen for lang vækstsæson. Det vurderes, at eftervirkningen akkumuleret over 10 år vil være på samme niveau som for ajle (i størrelsesordenen 2%, jf. Tabel 13).

Ved separering foreligger der mulighed for at ændre i både tid og rum for udbringningen af det organiske N, dvs. fiberfraktionen kan udbringes til en anden afgrøde end væskefraktionen, og udbringningen kan ske på et andet tidspunkt. I forhold til nedpløjning af fiberfraktionen forud for etablering af vårsæd giver efterårsudbringning til vinterhvede en halvering af værditallet (Tabel 9). Forårsudbringning af fiberfraktionen på vinterhveden gav en gødningsvirkning af N, der varierede fra 5% til 70%, afhængig af nedbøren efter udbringning (Pedersen, 2005). Nedpløjning før vårsæd sikrer maksimal gødningsvirkning af kvælstoffet i fiberfraktionen, hvorimod der tabes en betydelig andel af kvælstof ved anvendelse af fiberfraktionen i vinterhvede. Tabet i vinterhvede kan opstå på to måder: Ved efterårsudbringning og nedpløjning før såning af vintersæd tabes kvælstof ved nitratudvaskning, mens udbringning på afgrøden om foråret medfører ammoniakemission (Sørensen & Rubæk, 2006). Det bemærkes, at Sørensen (2003) anvendte frisk fiberfraktion og således ikke tager højde for reduceret gødningsvirkning forårsaget af kvælstoftab fra fiberen under oplagring indtil udbringning.

Tab af N fra fiberfraktionen, enten som nitratudvaskning efter efterårsudbringning eller som emission af ammoniak og lattergas under oplagring og efter forårsudbringning på etablerede afgrøder, kan tilskrives separeringen, og disse tab af N ville ikke være forekommet ved anvendelse af usepareret gylle. Separering af gylle er derfor en bearbejdningsteknologi, der ved udbringning af fiberfraktionen til visse kombinationer af tidspunkter og afgrøder kan give anledning til forøgelse af miljøbelastende N-tab. Udgangspunktet for anvendelse af fiberfraktionen må derfor være på tidspunkter og til afgrøder med høj gødningsvirkning, dvs. nedpløjning forud for vårsæd.

Når der i Gødskningsbekendtgørelsen (2008) er indført selvstændige substitutionskrav for fast staldgødning og ajle, mod tidligere et fælles vægtet krav (f.eks. Gødskningsbekendtgørelsen, 2007), kan der også argumenteres for, at dette gøres for væske- og fiberfraktionen fra separeret gylle, især når det må formodes, at den ene fraktion afsættes til anden bedrift med henblik på gødningsmæssig anvendelse. Imidlertid afhænger separeringseffektiviteten af udgangsmaterialet, separeringsteknologi og hvorledes dette er indstillet. Disse forhold har betydning for den samlede gødningsvirkning, specielt af fiberfraktionen, ligesom oplagring indtil udbringning har betydning. Sammenhængen mellem lagertid og gødningsvirkning er ikke kvantificeret, men op mod en halvering af gødningsvirkningen i forhold til frisk fiber må forventes (Petersen & Sørensen, 2008). Der er således betydelige usikkerhedsmomenter knyttet til bestemmelsen af gødningsvirkning af N i fiberfraktionen.

Heraf følger også, at det i praksis vil være vanskeligt at opnå en vægtet gødningsvirkning, der er højere end gødningsvirkningen af udgangsmaterialet. Den lave og usikre gødningsvirkning af N i fiberfraktionen kan, i samspil med muligheden for indkøb af næringsstoffer i handelsgødning, afspejle sig i manglende efterspørgsel hos potentielle aftagere, hvilket kan give usikkerhed vedrørende husdyrbrugets muligheder for afsætning af fiberfraktionen til gødningsmæssig anvendelse.

Der antages samme fordeling mellem forår- og efterårsudbringning som for dybstrøelse, dvs. henholdsvis 3/5 og 2/5, hvorved den vægtede førsteårsvirkning af N i fiberfraktion bliver 38%. Da det primært er svinegylle og afgasset gylle, der separeres, antages fiberfraktionen anvendt til afgrøder med kort vækstsæson. Eftervirkningen beregnes til 12% som for fast svinegødning jf. Tabel 13. Dette giver en samlet gødningsvirkning af N i fiberfraktionen på 50%. Forsøgene i Tabel 9 formodes at være udført med forholdsvis frisk fiberfraktion, og derfor er estimatet for samlet gødningsvirkning af N formentlig overestimeret.

Gødningskoncentrat fra højteknologiske anlæg er ofte alkaliske ($\text{pH} > 8$ og i visse tilfælde over 10), hvilket giver en meget høj risiko for kvælstoftab ved emission af ammoniak i forbindelse med overfladeudbringning af disse produkter (Nyord et al., 2005). Dette tabspotentiale må modvirkes, enten ved forsuring eller ved direkte nedfældning af disse produkter. Da ammoniumandelen i disse produkter sædvanligvis er høj, typisk $> 95\%$, og de kun indeholder små mængder organisk stof, vil der kunne forventes en høj kvælstofvirkning i marken. I dyrkningsforsøg blev der opnået en sikker gødningsvirkning af N på 90% (Tabel 9) ved udbringning af gødningskoncentrat i forbindelse med såning af vårbyg. Den høje ammoniumandel betyder samtidig et ubetydeligt indhold af organisk N, hvorfor der ikke tillægges gødningskoncentrat en eftervirkning. Det skønnes imidlertid, at højteknologisk separering, jf. definitionen i Arealkravs bekendtgørelsen (2006), ikke foretages i praksis bl.a. pga. manglende driftsstabilitet.

9.3.3 Forsuret gylle

Det er typisk svinegylle, der forsures, da der her er det største potentiale for reduktion af ammoniakemissionen. Forsuringen påvirker kun potentialet for ammoniakemission og dermed førsteårsvirkningen, mens både tillæg for lang vækstsæson og eftervirkningen, der begge afhænger af det organisk bundne N, ikke påvirkes af forsuringen. Disse effekter antager derfor samme værdier som for svinegylle i Tabel 11.

Førsteårsvirkningen af forsuret gylle i forhold til ikke-forsuret gylle afhænger i høj grad af omstændighederne ved udbringning. Under gode betingelser for virkning af ikke-forsuret gylle vil effekten af forsuring være minimal, mens der under ugunstige betingelser kan forventes en bedre gødningsvirkning af forsuret gylle. Forsuring af gylle kan på denne måde udvide det vindue af gunstige betingelser, hvori gylle kan udbringes under hensyntagen til reduktion af

ammoniakemissionen. På trods af et højere indhold af ammoniumkvælstof betyder den lavere emissionsfaktor for forsuret gylle, at risikoen for ammoniaktab er mindre end for ikke-forsuret gylle. Da tabspotentialt således er reduceret, vil effekten af direkte nedfældning på ammoniakemissionen reduceres tilsvarende, og det antages derfor, at forsuret gylle i etablerede afgrøder udbringes med slæbeslanger.

Førsteårsvirkningen af forsuret gylle er kun bestemt i få forsøg, hvilket vanskeliggør en absolut bestemmelse af gødningsvirkningen. Derfor beskrives gødningsvirkningen i forhold til ikke-forsuret gylle, idet den anvendte gylle i dyrkningsforsøg ofte stammer fra samme bedrift, men fra to forskellige staldafsnit henholdsvis med og uden forsuring. Af Tabel 9 findes en forøgelse af førsteårsgødningsvirkningen af N med 10%-point ved forsuring og udbringning af svinegylle med slæbeslanger. Tilsvarende finder Pedersen (2005) en forøgelse i værditallet på 10%-point i vinterhvede og 20%-point i vårbyg ved anvendelse af svinegylle, der er separeret efter forsuringen, men udbringningsmetoden er ikke angivet. Disse resultater peger på, at der kan opnås en samlet gødningsvirkning af N i forsuret gylle der er 10%-point højere, end for en tilsvarende ikke-forsuret gylle, dvs. 85% for forsuret svinegylle og 80% for forsuret kvæggylle, jf. afsnit 9.2.1.

Typisk vil forsuret svinegylle have et indhold af total-N, der er 15% højere end ikke-forsuret svinegylle. Dette forhold tages der imidlertid ikke højde for i normtallene for N i gødning af lager. Derfor vil der ved udbringning af husdyrgødning fra 1 DE tilføres 15% mere N til afgrøden, hvilket betyder, at gødningsvirkningen af N i forsuret svinegylle fra 1 DE vil svare til 98 kg ($1,15 \times$ gødningsvirkning af N på $85\% \times 100$ kg N/DE).

Der haves ingen opgørelse over mængden af gylle der forsures, men der er formodentlig opstillet mellem 50 og 100 anlæg. Ved en eventuel overvejelse af et selvstændigt substitutionskrav for forsuret gylle peger forsøgsresultaterne på en samlet gødningsvirkning af N, der er højere end for ikke-forsuret gylle.

Da forsuring også reducerer ammoniakemissionen fra stald og lager, og dermed har en miljømæssig positiv effekt på emissionen fra selve husdyrproduktionen, herunder mulighed for at opretholde og udvide produktionen, skal disse forhold inddrages i betragtninger vedr. den miljømæssige effekt af og økonomien ved forsuring. Omkostningerne ved forsuring bør således ikke alene bæres af den ekstra mængde N og S, som forsuret gylle indeholder i forhold til ikke-forsuret gylle. Endvidere bør forsuringens negative effekt også inddrages, idet der kan blive behov for oftere kalkning af de marker, der modtager forsuret gylle, da ikke-forsuret gylle kan tillægges en kalkningsvirkning. Selvom forsuring må betegnes som en meget effektiv måde at fastholde N i gylle, vil udbredelsen af teknologien afhænge af en samlet driftsøkonomisk betragtning, herunder muligheden for anvendelse af forsuring som virkemiddel i forbindelse med miljøgodkendelse af husdyrbruget.

9.4 Samlet vurdering af gødningsvirkning af N i husdyrgødning

Udgangspunktet for vurdering af gødningsvirkning af N i husdyrgødning er andelen af ammonium-N, der er let plantetilgængeligt (Figur 5). Der er to muligheder for at øge mængden af ammonium-N, der reelt er tilgængelig for planterne i den udbragte husdyrgødning. Den ene mulighed er at begrænse ammoniaktabet, enten ved at vælge en udbringningsmetode, hvor husdyrgødningen hurtigt indarbejdes i jorden, eller ved forsuring af gyllen forud for udbringning. Den anden mulighed er at reducere andelen af organisk N og øge andelen af mineralsk N tilsvarende som ved afgangning. Ved separering udskilles det organiske bundne N fra det mineralske, men selve separeringen har ikke direkte indflydelse på gødningsvirkningen, idet gødningsvirkningen afhænger af, hvorledes fraktionerne fra gyllesepareringen anvendes. Disse forhold giver grænserne for i hvilken udstrækning gødningsvirkningen af N i husdyrgødning kan øges ved bearbejdning.

Til bestemmelse af førsteårsvirkningen af N i husdyrgødning er der knyttet en række usikkerhedsmomenter, der giver anledning til betydelig variation. På baggrund af foreliggende forsøgsresultater (Tabel 9 og Tabel 10) er der foretaget et skøn for førsteårsvirkningen. Summen af førsteårsvirkningen, plus et beregnet tillæg for lang vækstsæson samt beregnet akkumuleret eftervirkning efter 10 år, udgør den forventede samlede gødningsvirkning af N i husdyrgødning. Ved en vægtning af relevante udbringningsmetoder og udbringningstidspunkter for de vigtigste typer af husdyrgødning er der vurderet en samlet gødningsvirkning af N for de enkelte typer af husdyrgødning. Henset til usikkerhedsmomenter i den benyttede fremgangsmåde kan den samlede gødningsvirkning af N i husdyrgødning ikke foretages i intervaller mindre end 5%-point.

For de to mest dominerede gødningstyper, svinegylle og kvæggylle, giver den samlede gødningsvirkning af N ikke grundlag for ændring af substitutionskravene (Tabel 15). På trods af et spinkelt grundlag vurderes det, at den samlede gødningsvirkning af N i minkgylle kan sidestilles med svinegylle. Da fjerkrægylle udgør mindre end 5% af den samlede mængde N i fjerkrægødning er den samlede gødningsvirkning af N i fjerkrægødning i stedet vurderet for dybstrøelse og fast staldgødning. Den samlede gødningsvirkning af N i fjerkrægødning er vurderet til 80%, men langt det meste fjerkrægødning er omfattet af det generelle substitutionskrav på 45% og 65% for henholdsvis dybstrøelse og fast gødning. Der synes relevant at revurdere afgrænsningen af det selvstændige substitutionskrav for fjerkrægødning, der alene omfatter fjerkrægylle. Tidligere har der været et fælles samlet substitutionskrav for fast gødning plus ajle på 65%, idet disse gødninger har været henregnet under kategorien 'anden husdyrgødning'. Med Gødskningsbekendtgørelsen (2008) er der opstillet individuelle krav for disse gødninger, men der er ikke differentieret i substitutionskravet. For gødningstyperne ajle og fast staldgødning findes en samlet gødningsvirkning af N på henholdsvis 85% og 55%. For dybstrøelse findes en samlet gødningsvirkning af N, der mindst 5%-point højere end substitutionskravet.

Fast staldgødning og dybstrøelse er sammenlignelige mht. karakter, anvendelsesmønster (hvor en del udbringes i efteråret) og potentialer for tab af N. Ved bestemmelse af den samlede

gødningsvirkningen af N tages der udgangspunkt i den gode praksis, hvor tab begrænses, mens en praksis, der f.eks. leder til signifikant nitratudvaskning tillægges mindre vægt. Derfor vægtes nedpløjning forud for såning af vårsæd ved vurdering af gødningsvirkningen af N i fast staldgødning og dybstrøelse. Lagre af fast gødning, herunder dybstrøelse, der ikke dagligt tilføres gødning skal overdækkes (Husdyrgødningsbekendtgørelsen, 2006), og dette forventes at begrænse tabet af ammonium-N, og dermed øge muligheden for en bedre førsteårgødningsvirkning af N i disse gødninger.

Tabel 15. Andele af det totale indhold af kvælstof i husdyrgødning, der skal anvendes ved beregning af forbruget af kvælstof i husdyrgødning (substitutionskrav) (§21 i Gødskningsbekendtgørelsen, 2008, jf. Gødskningsloven, 2006), samlet gødningsvirkning af N i husdyrgødning, samt differens.

Gødningstype	Substitutionskrav [%]	Samlet gødnings- virkning af N [%]	Differens [%-point]
Svinegylle	75	75	
Kvæggylle	70	70	
Minkgylle	70	= svinegylle	+5
Fjerkrægødning (dybstrøelse/fast gødning/gylle)	45/65/70	80 ²⁾	+35/15/10
Ajle	65	85	+20
Fast gødning	65	55	-10
Dybstrøelse	45	50	+5
Anden husdyrgødning	65		
Væskefraktion fra separering ¹⁾	85	85	
Afgasset gylle		Minimum 80 ³⁾	+5
Forsuret gylle		85 (svin) / 80 (kvæg)	+10

1) Et selvstændigt substitutionskrav til væskefraktionen, hvor næringsstofferne i fiberfraktionen fra separeret gylle afsættes til forbrænding, og derved udtages fra jordbrugets næringsstofkredsløb.

2) Den samlede gødningsvirkning er vurderet for fast staldgødning, dybstrøelse og gylle.

3) Gødskningsbekendtgørelsen (2008 og tidligere) indeholder ikke et selvstændigt substitutionskrav fra afgasset gylle. Kravet er indirekte, idet det kan fastsættes som for svinegylle, og fremgår af Gødskningsloven (2006).

Afgasset gylle, væskefraktionen fra separeret gylle og forsuret gylle har alle en relativ lav viskositet, samt både en høj andel og et højt indhold af ammonium-N, men væsentlig forskellige pH værdier. Dette betyder, at bearbejdningsteknologien vekselvirker med udbringningsmetoden mht. gødningsvirkning af N. Ved bearbejdningsteknologier, der giver anledning til et højt potentiale for ammoniakemission, er der derfor taget udgangspunkt i udbringningsmetoder, der kan modvires dette potentiale af tab af N. Det betyder, at der for afgasset gylle lægges vægt på førsteårvirkningen ved direkte nedfældning, hvorved der kan forventes en gødningsvirkning af N i afgasset gylle på minimum 80%. I modsætning hertil afhænger gødningsvirkningen af forsuret gylle ikke af

udbringningsmetoden, men af udgangsmaterialet. Derfor kan der forventes en gødningsvirkning af N i forsuret svinegylle på 85% og for forsuret kvæggylle på 80%, som i begge tilfælde svarer til +10%-point i forhold til gødningsvirkningen af N i ikke-forsuret gylle. For væskefraktionen fra separering af svinegylle og afgasset gylle, hvor fiberfraktionen afsættes til forbrændning, kan der forventes en gødningsvirkning af N på 85%.

Her er der opstillet estimater for den samlede gødningsvirkning af N i typer af bearbejdet husdyrgødning. Imidlertid har bearbejdningsteknologierne begrænset udbredelse, og det bør vurderes, hvilke konsekvenser indførelse af substitutionskrav for bearbejdet husdyrgødning vil have bl.a. i relation til adfærd for anvendelse af husdyrgødning, administration og kontrol.

Alene gødningsvirkningen af N i husdyrgødningen er belyst. Effekten af andre næringsstoffer er ikke inddraget i vurderingen af gødningsvirkningen. Ligeledes er bearbejdningsteknologiernes indflydelse på emission af drivhusgasser og nitratudvaskning ikke tillagt betydning ved vurdering af den samlede gødningsvirkning af N i husdyrgødning.

10 Miljøeffekter

Substitutionskravet spiller sammen med andre reguleringer af gødningsanvendelse, og miljøeffekten af skærpet substitutionskrav må analyseres i dette lys. Desuden kan bearbejdning af husdyrgødning have indflydelse på miljøet, både via udvaskning af nitrat og via emission af ammoniak og drivhusgasser.

10.1 Effekt på nitratudvaskningen ved skærpelse af substitutionskrav

Substitutionskravet for N i husdyrgødning spiller på den enkelte bedrift sammen med harmonikravet og gødningsnormerne for de enkelte afgrøder (Petersen & Sørensen, 2004a), hvilket kan påvirke adfærden for anvendelse af husdyrgødning, og dermed betydning for husdyrgødningens indvirkning på nitratudvaskningen. Endvidere kan ændringer i nitratudvaskningen ved skærpet substitutionskrav ikke beregnes direkte men må udtrykkes indirekte via fortrængning af N i handelsgødning eller en reduktion i tilførslen af husdyrgødning:

Metoder 1: Ved fortrængning af N i handelsgødning kan reduktionen af nitratudvaskningen for kornrige sædskifter beregnes proportionalt ved brug af en udvaskningsfaktor på 0,3 for mineralsk N (Petersen & Djurhuus, 2004).

Metode 2: Ved reduktion af organisk N tilført med husdyrgødning kan reduktionen af nitratudvaskningen beregnes proportionalt ved brug af en udvaskningsfaktor, der er højere end for mineralsk N, jf. metode 1. (Petersen & Jørgensen, 2004).

En uddybning af disse betragtninger, der blev anvendt ved de faglige udredninger i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III, fremgår af Petersen & Sørensen (2004a, 2004b) og Petersen & Jørgensen (2004).

På bedrifter, hvor harmonikravene opfyldes, vil den typiske situation være den, at mængden af N i husdyrgødning multipliceret med substitutionskravet er mindre end bedriftens N-kvotepå beregnet som den vægtede sum af N-norm for afgrøderne. I denne situation vil besætningsstørrelsen være bestemmende for tilførsel af husdyrgødning, idet det antages, at husdyrgødningen forbliver på bedriften. En skærpelse af substitutionskravet vil derfor medføre en reduktion i indkøbt N i handelsgødning, og reduktion i nitratudvaskningen kan beregnes jf. metode 1. Kun i atypiske situationer vil mængden af N i husdyrgødning multipliceret med substitutionskravet være større end N-kvoten på bedrifter, der opfylder harmonikravene, og skulle denne situation forekomme, vil en skærpelse af substitutionskravet virke på nitratudvaskningen som en skærpelse af harmonikravet, og udvaskningsreduktionen kan beregnes jf. metode 2.

På bedrifter, der ikke opfylder harmonikravene, antages det, at der afsættes husdyrgødning til andre bedrifter, hvorved mængden af N i husdyrgødning multipliceret med substitutionskravet bliver mindre end N-kvoten på alle de bedrifter, der udbringer husdyrgødning fra det disharmoniske brug. Herved vil en skærpelse af substitutionskravet reducere muligheden for indkøb af kvælstof i handelsgødning på såvel husdyrbedriften som de bedrifter, der modtager husdyrgødning. Reduktion i nitratudvaskningen kan beregnes jf. metode 1.

I enkelte tilfælde vil bedriftens N-kvotepå kunne øges ved ændring i afgrødevalget, f.eks. valg af vintersæd, der har et højere N-norm end vårbyg. Det kan imidlertid ikke udelukkes, at sådanne ændringer i afgrødevalget kan øge nitratudvaskningen og ammoniakemissionen fra udbragt husdyrgødning. Kan bedriftens samlede N-kvotepå ikke øges, vil et skærpet substitutionskrav påvirke nitratudvaskningen på samme måde som en skærpelse af harmonikravet, og udvaskningsreduktionen kan beregnes jf. metode 2.

Sættes substitutionskravet for N i husdyrgødningen imidlertid for højt i forhold til den samlede gødningsvirkning af N, vil det vanskeliggøre husdyrbrugenes muligheder for afsætning af husdyrgødning til planteavlsbrug, idet planteavleren ikke kan kompensere for den manglende gødningsvirkning. Dette vil for planteavleren svare til en normreduktion, og effekten på nitratudvaskningen kan beregnes som ved fortrængning af N i handelsgødning, jf. metode 1. En lang række lokale forhold har imidlertid også indflydelse på husdyrbrugenes muligheder for at afsætte gødning til planteavlerne. For det enkelte husdyrbrug kan en skærpelse af substitutionskravet derfor indirekte virke som en stramning af harmonikravet, og reduktionen i nitratudvaskningen kan beregnes jf. metode 2.

Da effekten af skærpet substitutionskrav overvejende vil betyde fortrængning af handelsgødning, kan effekten på nitratudvaskningen illustreres med et regneeksempel, hvor det antages, at substitutionskravet øges med 10%-point for al husdyrgødning. Herved vil husdyrgødningen tillægges en gødningsværdi svarende til 18.900 t N (10% af 189.000 t N i husdyrgødning jf. Tabel

1) og fortrænge en tilsvarende mængde N i handelsgødning. Benyttes udvaskningsfaktor jf. metode 1, svarer det til en reduktion i nitratudvaskning på 5.670 t N. Med et samlet landbrugsareal på 2,5 mio. ha svarer dette til en gennemsnitlig reduktion på 2,3 kg N/ha. I modsætning til en normreduktion, der vil påvirke alle brugstyper, vil et skærpet substitutionskrav for N i husdyrgødning kun påvirke brug, der anvender husdyrgødning.

10.2 Nitratudvaskning ved bearbejdning af husdyrgødning

Valg af teknologi til bearbejdning af husdyrgødning har betydning for effekten på den samlede nitratudvaskning afhængigt af de omstændigheder, hvorunder teknologierne anvendes ligesom den betragtede tidshorisont har betydning. Nogle teknologier virker direkte via fjernelse af organisk stof (afsnit 10.2.2), mens andre virker indirekte via den tilførte mængde mineralsk N (afsnit 10.2.1).

10.2.1 Nitratudvaskning ved reduceret ammoniakemission

Teknologier der begrænser ammoniakemission fra husdyrgødning, som forsuring og direkte nedfældning, vil have både en direkte og indirekte effekt på nitratudvaskningen.

Indirekte vil en reduktion i ammoniakemissionen medføre en mindre afsætning på såvel landbrugsjord, i skove som på naturarealer, og den mindre tilførsel vil således reducere nitratudvaskningen fra disse arealer. Effekten af reduceret ammoniakemission kan vurderes for to situationer: 1) reduktionen sker i hele kæden af husdyrgødningshåndteringen (stald, lager og udbringning), og 2) reduktionen sker alene i forbindelse med udbringning. I den første situation er der for stald og lager tale om punktkilder, hvorfra emissionen sker hele året, mens der i forbindelse med udbringning i begge situationer er tale om diffus kilde, der til gengæld primært forekommer en begrænset periode i foråret.

Den årlige emission af ammoniak fra Danmark er for 2005 estimeret til ca. 74.000 t N (Nielsen et al., 2008), og mere end 95% stammer fra landbruget. Samtidig afsættes ca. 22.000 t N af denne emission igen på dansk jord (T. Ellermann, personlig meddelelse), hvilket betyder, at 30% af ammoniakemissionen fra landbruget afsættes på dansk grund igen (Hansen et al., 2008), og størstedelen afsættes indenfor 2.500 m fra kilden (Ellermann et al., 2007). Karakteren af de omgivende arealer bliver derfor af betydning for reduktionen i nitratudvaskningen. For kornrige sædskifter antages, at 30% af det tilførte mineralske kvælstof udvaskes (Petersen & Djurhuus, 2004). Andelen af afsat kvælstof, der udvaskes fra ikke-dyrkede arealer, må forventes at være lavere end fra dyrkede arealer, idet ikke-dyrkede arealer typisk er dækket med plantevækst i en større del af året. Omvendt sker en del af ammoniakafsætningen fra punktkilder også i vinterperioden, hvor der er mindre plantevækst, og dermed højere risiko for udvaskning af nitrat. Det vurderes på denne baggrund, at 40% af det afsatte kvælstof udvaskes. En reduktion i ammoniakemissionen medfører således en reduktion i nitratudvaskningen fra de omliggende arealer

svarende til 12% af den reducerede ammoniakemission (30% af ammoniakemissionen afsættes på dansk grund, og heraf udvaskes 40%).

En lille del af ammoniakemissionen afsættes direkte i vandløb og søer med regnvand, men denne tilførsel har lille betydning i forhold til andre tilførsler (Ellermann et al., 2007). Derimod deponeres en betydelig del af ammoniakemissionen i havet, hvor den øgede kvælstoftilførsel har en negativ effekt på miljøet (Ellermann et al., 2007). Reduktionen i ammoniakemissionen har herved en positiv betydning for det kystnære og marine vandmiljø, uden det drejer sig om virkning via nitratudvaskning.

Den direkte virkning af reduceret ammoniakemission vil, ved uændret gødsning af landbrugsjorden, medføre en større mængde N tilgængelig for afgrøden. Dette vil give anledning til en større nitratudvaskning fra det areal, hvorpå udbringningen foretages. Denne forøgelse i nitratudvaskningen vil, i modsætning til afsætningen på de omkringliggende arealer, være fuldt proportional med reduktionen i ammoniakemissionen, dvs. den forøgede nitratudvaskning vil svare til 30% af det ekstra tilførte mineralske N i husdyrgødningen i kornrige sædskifter (Petersen & Djurhuus, 2004). Nettoeffekten på nitratudvaskningen afhænger af, om den større mængde tilgængeligt N, forårsaget af reduktion i ammoniakemissionen, fortrænger tilsvarende mængde N i handelsgødning, eller om der blot sker en forøget tilførsel af tilgængeligt N. I den første situation vil effekten på nitratudvaskningen fra marken være neutral, mens den anden situation vil øge nitratudvaskningen fra marken og nettoeffekten kan estimeres således:

Øget nitratudvaskning fra gødet mark:	30% af reduktion i ammoniakemissionen
<u>– reduceret nitratudvaskning fra øvrige arealer:</u>	<u>12% af reduktion i ammoniakemissionen</u>
= Øget nitratudvaskning, netto:	18% af reduktion i ammoniakemissionen

En forudsætning for at tiltag, der reducerer ammoniakemissionen, også samlet set vil reducere nitratudvaskningen, er derfor, at den samlede tilførte mængde mineralsk N i husdyr- og handelsgødning er uændret. Modsvares en teknologi, der begrænser ammoniakemissionen, af et tilsvarende højere substitutionskrav, der afspejler den øgede gødningsvirkning, vil der samlet set kunne forventes en reduktion af nitratudvaskningen, idet nitratudvaskning hidrørende fra ammoniak afsat på omkringliggende arealer reduceres. Da ammoniak har en gødningsvirkning på de arealer, hvor der sker en afsætning, betyder en reduktion i ammoniakemissionen, at landbrugsarealer vil unddrages gødningsvirkningen af det afsatte ammoniak. Dette vil kunne opfattes som en reduktion af afgrødernes N-norm på de arealer, der ikke tilføres husdyrgødning, men hvor ammoniakken blev afsat før reduktion af ammoniakemissionen. Der er her ikke foretaget beregning af denne afledte effekt på den samlede kvælstofforsyning.

10.2.2 Nitratudvaskning ved påvirkning af organisk stof i husdyrgødning

På lang sigt er det afgørende for nitratudvaskningen, hvorledes teknologierne påvirker det organisk bundne N i husdyrgødningen, og om bearbejdningen giver anledning til ændring i udbringningstidspunktet og ændring i de arealer, der tilføres gødning.

Teknologier, der reducerer mængden af organisk stof og hermed mængden af organisk bundet N, vil reducere nitratudvaskningen, idet det organiske N ikke blot mineraliseres i vækstsæsonen men også udenfor denne og i perioder med overskudsnedbør. Ved afgangning af gylle i biogasanlæg omsættes en del af det organiske stof og andelen af mineralisk N øges, hvorved det umiddelbare potentiale for nitratudvaskning øges (scenarium B i Tabel 16). Korrigeres til samme tilførsel af mineralisk N vil tilførslen af organisk N være reduceret, hvorved der på lang sigt kan opnås en reduktion i nitratudvaskningen (Scenarium C i Tabel 16). Ved separering af gylle afhænger effekten på nitratudvaskningen af skæbnen af fiberfraktionen. Forbrændes fiberfraktionen vil det organisk bundne N ikke give anledning til nitratudvaskning, hvorved udvaskningspotentialet reduceres yderligere (Scenarium D i Tabel 16). Anvendes fiberfraktionen derimod gødningsmæssigt vil effekten på nitratudvaskningen afhænge af ændringer i tid og rum for udbringning, dvs. hvornår og hvor fiberfraktionen udbringes. Beregningerne i Tabel 16 er gennemført for svinegylle, mens der ved tilsvarende bearbejdning af kvæggylle og fast gødning kan forventes større effekter på grund af det større indhold af organisk stof i disse gødningstyper.

Tabel 16. Nitratudvaskning ved fire scenarier for tilførsel af svinegylle med forskellig bearbejdningsgrad simuleret i et sædskifte med FASSET gård-modellen (Jørgensen & Petersen, 2006). Det beregnede nitratudvaskningspotentiale er angivet efter 50 års drift for de fire scenarier ved tilførsel af 122 kg N/ha i ubearbejdet gylle.

Scenarium	A Ubearbejdet gylle	B Afgasset gylle	C Afgasset gylle	D Væskefraktionen fra separeret afgasset gylle, Fiberfraktion afbrændt
Tilførsel af mineralsk N i husdyrgødningen	Afstemt efter afgrødens behov	Øget i forhold til A som følge af højere ammoniumandel	Som A (=B med tilpasset tilførsel af mineralsk N)	Som A (=B med tilpasset tilførsel af mineralsk N)
Tilførsel af organisk N		Reduceret ved afgasning	Reduceret ved afgangning og som følge af tilpasning af mineralsk N	Som C + yderligere reduktion ved fjernelse af fiberfraktionen
Nitratudvaskning (kg N/ha/år)	57	60	54	52

Fraseparering af fibermateriale giver mulighed for udbringning af primært det organiske N på et andet tidspunkt end ved udbringning i den useparerede gylle. Gylle må ikke udbringes efteråret, men fiberfraktionen kan lagres indtil f.eks. udbringning forud for etablering af vintersæd. I denne situation vil nitratudvaskningen øges i forhold til anvendelse af usepareret gylle (Sørensen &

Rubæk, 2006). Ved vinterudbringning af fiberfraktionen kan der ligeledes forventes øget nitratudvaskning. Udbringning af fiberfraktionen vil endvidere typisk ske udenfor husdyrbrugsbedriften. Såfremt modtagerarealet er mere robust, kan der under forudsætning af forårsudbringning af fiberfraktionen forventes en lavere nitratudvaskning. Ved anvendelse af væskefraktionen vil gødningsvirkningen af N være højere end i usepareret gylle, hvilket bør modsvares af en tilsvarende fortrængning af N i handelsgødning. Sker dette ikke, vil den samlede N tilførsel øges og medføre en forøgelse af nitratudvaskningen. Disse eksempler illustrerer nogle af de mange forhold, der skal tages højde for ved vurdering af nitratudvaskning som følge af separering af gylle.

Det bemærkes, at ingen af teknologierne til bearbejdning af gylle klart fremstår med et entydigt og væsentligt potentiale for reduktion af nitratudvaskningen. Således giver scenarium D (Tabel 16), der kombinerer flere teknologier, kun en reduktion på 10% i forhold til ubearbejdet gylle i scenarium A.

10.3 Effekt af gødningshåndtering på drivhusgasemission

Enhver håndtering af husdyrgødning giver anledning til emission af ammoniak (NH_3), lattergas (N_2O), metan (CH_4) og kuldioxid (CO_2), men omfanget af emissionen påvirkes af udbringningsmetode og metode for bearbejdning af husdyrgødning (Amon et al., 2006). Her foretages ingen dybere gennemgang af emnet, men det skal blot skitseres, at bearbejdning af husdyrgødning kan have væsentlige miljøeffekter. Ammoniak har ingen direkte drivhuseffekt, men giver indirekte anledning til emission af drivhusgasser fra de arealer, hvor ammoniakken afsættes. Derimod har lattergas og metan en drivhuseffekt, der er henholdsvis 310 og 21 gange større end kuldioxid. Emission af metan sker typisk fra gødningslagre, mens emission af lattergas hidrører fra omsætning i jorden efter udbringning af husdyrgødning (Amon et al., 2006).

Omhyggelig direkte nedfældning af flydende husdyrgødning kan effektivt reducere ammoniakemissionen, men samtidig øges risikoen for denitrifikation og dermed emission af bl.a. lattergas. Forsuring af gylle reducerer ligeledes ammoniakemissionen effektivt, men hvorledes emissionen af drivhusgasser fra forsuret gylle påvirkes er endnu uklart. Under separationsprocessen sker der emission af ammoniak, og specielt under den efterfølgende oplagring af fiberfraktionen sker der emission af ammoniak og drivhusgasser. Ved anaerob afgang af husdyrgødning fremmes dannelse af metan, som nyttiggøres ved forbrænding med henblik på produktion af el og varme, og energien i gylle kan hermed substituere fossile brændstoffer. Forbrændingen giver emission af kuldioxid, som under alle omstændigheder ville være dannet under omsætning af husdyrgødningens organiske stof i lager og jord. Afgasningen reducerer endvidere emissionen af metan fra gødningslagre, og ved den kontrollerede afgang og energiudnyttelse kan der samlet set opnås en miljøgevinst. Disse eksempler illustrerer den komplekse sammenhæng, der kan være mellem bearbejdning af husdyrgødning og emissionen af drivhusgasser (se evt. Petersen et al., 2007).

11 Referencer

11.1 Referencer til handlingsplaner, direktiver, love, bekendtgørelser og vejledninger

- Anonym (1985) Folketingsbeslutning af 31. maj 1985 om nedbringelse af forureningen med næringsalte og organisk stof. Gengivet i *Aktuelle emner: NPO-handlingsplan og tilsyn m.v.* Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 4, 1985, 27 pp.
- Anonym (1987) Handlingsplan mod forurening af det danske vandmiljø med næringsalte. Miljøministeriet, Departementet (J.nr. D 86-2202-402), 31. januar 1987. 20 p.
- Anonym (1998) Politisk aftale vedrørende Vandmiljøplan II af 17. februar 1998 mellem Regeringen, Venstre, Det Konservative Folkeparti, Socialistisk Folkeparti og CentrumDemokraterne. <http://www.sns.dk/Landbrug/vandmpl2/vmp.htm>
- Anonym (2000) Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan II. <http://www.sns.dk/landbrug/vandmpl2/midtvejsevaluering.htm>
- Anonym (2001) Handlingsplan til reduktion af ammoniakfordampningen fra landbruget. <http://www.sns.dk/landbrug/vandmpl2/handplanred.htm>
- Anonym (2004) Aftale af 2. april 2004 om Vandmiljøplan III 2005-2015 mellem regeringen, Dansk Folkeparti og Kristendemokraterne. [http://www.vmp3.dk/Files/Filer/VMP_III-aftale-enderlig .pdf](http://www.vmp3.dk/Files/Filer/VMP_III-aftale-enderlig.pdf)
- Arealkravs bekendtgørelsen (2002) Fødevareministeriets bekendtgørelse nr. 824 af 2. oktober 2002 om husdyrhold og arealkrav m.v. (historisk).
- Arealkravs bekendtgørelsen (2006) Fødevareministeriets bekendtgørelse nr. 1152 af 23. november 2006 om husdyrhold og arealkrav m.v.
- Godkendelses bekendtgørelsen (2007) Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 648 af 18. juni 2006 om tilladelse og godkendelse m.v. af husdyrbrug.
- Gødsknings bekendtgørelsen (2007) Plantedirektoratets bekendtgørelse nr. 906 af 16. juli 2007 om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2007/2008.
- Gødsknings bekendtgørelsen (2008) Plantedirektoratets bekendtgørelse nr. 786 af 22. juli 2008 om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække i planperioden 2008/2009.
- Gødskningsloven (2006) Fødevareministeriets lovbekendtgørelse nr. 757 af 29. juni 2006 om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække.
- Husdyrbrugsloven (2006) Lov nr. 1572 af 20. december 2006 om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug.
- Husdyrgødnings bekendtgørelsen (2006) Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 814 af 13. juli 2006 om erhvervmæssigt dyrehold, husdyrgødning, ensilage mv.
- Kvælstofprognosen (2008) Plantedirektoratets bekendtgørelse nr. 169 af 11 marts 2008 om kvælstofprognosen for 2008.
- Landbrugsloven (1999) Fødevareministeriets lovbekendtgørelse nr. 598 af 15. juli 1999 Bekendtgørelse af landbrugsloven.
- Landbrugsloven (2004) Lov om landbrugsejendomme. Lov nr. 435 af 9. juni 2004.
- Miljøbeskyttelsesloven (2006) Miljøministeriets lovbekendtgørelse nr. 1757 af 22. december 2006 Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse.

Nitratdirektivet (1991) Rådets direktiv nr. 91/676/EØF af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, der stammer fra landbruget (EF - Tidende 1991 nr. L 375, side 1).

Slambekendtgørelsen (2003) Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 623 af 30. juni 2003 om anvendelse af affald til jordbrugsformål.

11.2 Øvrige referencer

- Albin, A. & Vinnerås, B. (2006) Biosecurity and arable use of manure and biowaste. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. I, p. 57- 63.
- 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 – redegørelse nr. 1. Danmarks JordbrugsForskning og Danmarks Miljøundersøgelser.
- Anonym (1995) Biogasfællesanlæg - fra idé til realitet. Energistyrelsen, november 1995.
- Anonym (2005) Danmarks forbrug af handelsgødning 2004/05. Plantedirektoratet, 11 p.
http://www.plantedir.dk/Files/Filer/Topmenu/Publikationer/Statistik/2005/forbrug_handelsg_oedning_0405.pdf
- Anonym (2006) Statistik i Dansk BioEnergi, 16. årgang, nr. 85 & 86, Februar og April 2006.
- Anonym (2008) Baggrundstal for normtal 2008. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
<http://www.agrsci.dk/var/agrsci/storage/original/application/6558f792e39ad67a8c21e2d453934be2>
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S. (2006) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 153-162.
- Balsari, P., Santoro, E., Dinuccio, E. & Gioelli, F. (2006) Assessment of the performances of different mechanical solid-liquid separators for pig and cattle slurries. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. II, p. 157-159.
- Berntsen, J., Petersen, B.M., Sørensen, P. & Olesen, J.E. (2007) Simulating residual effects of animal manures using ¹⁵N isotopes. *Plant and Soil* 290, 173-187.
- Birkmose, T. (personlig meddelelse) Konsulent, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret|Planteproduktion.
- Birkmose, T. (2003) Naturlig sedimentation i gyllebeholdere med svinegylle. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret|Planteavl. *Planteavlsorientering*, nr. 07-465.
<http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/planteavlsorientering/pl07-465.htm>

- Birkmose, T. (2006) Hvordan nedfælder vi gylle i vintersæd med et fornuftigt økonomisk resultat? Plantekongres januar 2006, Herning kongrescenter. Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks JordbrugsForskning, p 102-103.
- Birkmose, T. (2007) Status over anvendelse af gylleseparering i Danmark, februar 2007. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret|Planteproduktion, Aktuelt nr. 108.
http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/aktuelt/pl_aktuelt_07_108.htm
- Birkmose, T., Møller, H., Fjeldgård, K. & Buchhave, K. (2004) Forsuring af ubehandlet og afgasset husdyrgødning og fraktioner efter gylleseparering. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Byggeri og teknik, nr. 1356.
http://www.lr.dk/bygningerogmaskiner/informationsserier/info-byggeriogteknik/1356_tsb.htm
- Bittman, S., Forge, T.A., Liu, A., Chantigny, M., Buckley, K., Kowalenko, C.G., Hunt, D.E., Bounaix, F. & Friesen, A. (2006) Land application of solid and liquid fractions from sedimented dairy slurry. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. I, p. 159-162.
- Chadwick, D.R. (2005) Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atm. Env.* 39, 787-799.
- Danmarks Statistik, Statistikbanken. <http://www.dst.dk/>
- Danmarks Statistik (2008) Færre svin i staldene. NYT fra Danmarks Statistik, nr. 321.
- Dansk Landbrug (2004) Statistisk analyse af GfK-data (foråret 2004). Notat fra Dansk Landbrug, 12p. http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/planteavlsorientering/pl07-519_b1.pdf
- De Jonge, L.W., Sommer, S.G., Jacobsen, O.H. & Djurhuus, J. (2004) Infiltration of slurry liquid and ammonia volatilization from pig and cattle slurry applied to harrowed and stubble soils. *Soil Science* 169, 729-726.
- EEA (2007) EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook- 2007. Technical report no 16/2007. European Environmental Agency.
<http://reports.eea.europa.eu/EMEP-CORINAIR5/en/page019.html>
- Ellermann, T. (personlig meddelelse) Seniorforsker, Afdeling for Atmosfærisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
- Ellermann, T., Fenger, J., Hertel, O., Markager, S., Tybirk, K. & Bak, J.L. (2007) Luftbåren kvælstofforurening. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Miljøbiblioteket 12, 86 pp.. Hovedland.
- Eriksen, J. (2006) Hvad betyder forsuring for svovlomsætningen og svovlvirkning i marken? Plantekongres 2006, 10.-11. januar 2006, Herning kongrescenter. Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks JordbrugsForskning. p. 108-109.
http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/info-planter/plk06_02_7_3_j_eriksen.pdf
- Fangueiro, D., Bol, R. & Chadwick, D. (2006a) Proportions and characteristics of particle size fractions in two different cattle slurries. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th*

- Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective.* Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. II, p. 141-144.
- Fangueiro, D., Bol, R. & Chadwick, D. (2006b) Assessment of the potential N mineralization of six particle size fractions of two different cattle slurries. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective.* Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. II, p. 145-148.
- Fjeldgaard, K. & Møller, H.B. (2005) Ammoniakfjernelse fra afgasset svinegylle med luftstripping. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden Markbrug nr. 310, 6 pp.
- Gioelli, F., Balsari, P., Dinuccio, E. & Santoro, E. (2006) Ammonia emission from the management of solid fraction derived from the mechanical separation of slurry. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective.* Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. I, p. 133-135.
- Glendining, M.J., Powlson, D.S., Poulton, P.R., Bradbury, N.J., Palazzo, D. & Li, X. (1997) The effects of long-term applications of inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen in the Broadbalk Wheat Experiment. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 127, 347-363.
- Hansen, E.M., Thorup-Kristensen, K. & Jørgensen, J.R. (2004) Grønne marker. I: Jørgensen, U. (Red.) *Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III.* Danmarks JordbrugsForskning, DJF rapport Markbrug nr. 103, p. 217-225.
- Hansen, M.N., Bang, M., Hansen, A.G. & Feilberg, A. (2006) Effects of slurry additives and ozone treatment on odour emissions from pig slurry. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective.* Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. I, p. 111-114.
- Hansen, M.N., Sommer, S. G., Hutchings, N. & Sørensen, P. (2008) Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet. DJF rapport nr. xx, 39 pp. (under trykning)
- Hermann, L. (2006) Nutrient recovery from ash after incineration of organic residues. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective.* Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. II, p. 213-216.
- Heidmann, T. & Olsen, P. (2004) Notat vedr. Test af eftergødskningsprogrammet på Pl@nteInfo – Test af DAISY-modellen i forårs/sommerperioden. Danmarks JordbrugsForskning, Afd. Jordbrugsproduktion og Miljø, Forskningscenter Foulum. 26p.
- Hinge, J. (2005) Gylleseparering Vakuuminddampningsanlæg. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Byggeri og teknik, Farmtest-Bygninger nr. 19. 19 pp.

http://www.lr.dk/bygningerogmaskiner/informationsserier/farmtest/ft_byg_019_gylle_vakuum.pdf

- Husted, S., Jensen, L.S. & Jørgensen, S.S. (1991) Reducing Ammonia Loss from Cattle Slurry by the Use of Acidifying Additives: the Role of the Buffer System. *J. Sci. Food Agric.* 57, 335-349.
- 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, P.A. & Lanng, H.D. (red.) (2005) *Rapport fra arbejdsgruppen om afbrænding af fraktioner af husdyrgødning*. Fødevareministeriet, 125 pp.
- <http://www.fvm.dk/Files/Filer/Landbrug/rap%2520090605%2520endelig%2520til%2520net.pdf>
- Jørgensen, U. & Petersen, B.M. (2006) Interactions between biomass energy technologies and nutrient and carbon balances at the farm level. DIAS report no. 122, p.49-55.
- Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J.E., Hansen, M.N. & Sommer, S.G. (2008) A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Eur. J. Agronomy* 28, 148-154.
- Kirchmann H. & Lundvall A. (1993) Relationship between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig slurry and cattle slurry. *Biol. Fertil. Soils* 15, 161-164.
- Kjellerup, V. & Petersen, J. (1989) Rumlig variation i gyllens tørstof- og næringsstofindhold under opbevaring. *Statens Planteavlsforsøg. Tidsskr. Planteavl* 93, 299-306.
- Kofoed, A.D. & Klausen, P.S. (1983) Gødningsvirkningen af afgasset og ikke afgasset gylle. *Tidsskr. Planteavl* 87, 119-128.
- Larsen, K.E. (1986) Fertilizer value of anaerobic treated cattle and pig slurry to barley and beet. I Red. A. Dam Kofoed et al.: *Efficient Land Use of Sludge and Manure*. Elsevier Applied Science Publishers, London & New York, p. 56-60.
- Mikkelsen, S., Iversen, T.M., Kjær, S. & Feenstra, P. (2005) The regulation of nutrient losses in Denmark to control aquatic pollution from agriculture. Kapitel 16 i OECD-rapporten *Evaluating Agri-Environmental Policies: Design, Practice and Results*, p. 295-308
- Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Sørensen, H. (2003) Jordpakning og mekanisk løsning på grovsandet jord. *Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden Markbrug*, nr. 271.
- Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring, B.K. (2002) Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology* 85, 189-196.
- Nielsen, A.M. & Møller, H.B. (2006) Biogas production and process kinetics in serial coupled anaerobic digesters. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. II, p. 109-111.
- Nielsen, O-K., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Fauser, P., Jensen, M.T., Plejdrup, M.S. & Illerup, J.B. (2008) Annual Danish Emission Inventory

- Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2006. National Environmental Research Institute, University of Aarhus . 504 pp. – NERI Technical Report No. 675.
- Nyord, T., Fjeldgaard, K. & Birkmose, T. (2005) Udnyttelse af kvælstofkoncentrater fra højteknologiske gyllesepareringsanlæg. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden Markbrug nr. 307, 6 pp.
- Pain, B.F., Thompson, R.B., Cremer, L.C.N. de la Lande & Holte, L. ten. (1987) The use of additives in livestock slurries to improve their flow properties, conserve nitrogen and reduce odours. In: Meer, H.G.v.d., Unwin, R.J., Dijk, T.A.v. & Ennik, G.C. (Eds.) *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste?* Proceedings of an International Symposium of the European Grassland Federation, Wageningen, The Netherlands, 31 August-3 September 1987. p 229-246.
- Pedersen, C.Å. (red.) (1993) Oversigt over Landsforsøgene 1993. Brabrand Bogtryk Aps.
- Pedersen, C.Å. (red.) (1995) Oversigt over Landsforsøgene 1995. Scanprint A/S.
- Pedersen, C.Å. (red.) (1998) Oversigt over Landsforsøgene 1998. Scanprint A/S.
- Pedersen, C.Å. (red.) (2000) Oversigt over Landsforsøgene 2000. Scanprint A/S.
- Pedersen, C.Å. (red.) (2001) Oversigt over Landsforsøgene 2001. Scanprint as.
- Pedersen, C.Å. (red.) (2002) Oversigt over Landsforsøgene 2002. Jydsk Centraltrykkeri A/S
- Pedersen, C.Å. (red.) (2003) Oversigt over Landsforsøgene 2003. Phønix-Trykkeriet A/S
- Pedersen, C.Å. (red.) (2004) Oversigt over Landsforsøgene 2004. Scanprint a/s.
- Pedersen, C.Å. (red.) (2005) Oversigt over Landsforsøgene 2005. Scanprint a/s.
- Pedersen, C.Å. (red.) (2006) Oversigt over Landsforsøgene 2006. Scanprint a/s.
- Pedersen, C.Å. (red.) (2007) Oversigt over Landsforsøgene 2007. Scanprint a/s.
- Petersen, J. (1992) Parcelgyllesprederen ved Askov Forsøgsstation - opbygning og virkemåde. Tidsskr. Planteavl. Beretning nr. S2187, 36 pp.
- Petersen, J. (1994) Equipment for application of animal slurry in field experiments. J. agric. Engng. Res., 59, 97-109.
- Petersen, J. (1996) (Red.) Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsforsøg, SP-rapport nr. 11. 160 pp.
- Petersen, J. (2005) Inter-row crop competition for band-injected ammonium nitrate. Plant and Soil 270, 83-90
- Petersen, J. (2006) Crop 15N recovery course affected by spatial distribution of animal slurries in soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 75, 15-27.
- Petersen, J. (2007) Vurdering af virkning på miljøet (VVM) ved udvidelse af husdyrbrug. Tidsskrift for Landbrugsret Nr. 2, 35-39.
- Petersen, J. & Birkmose, T. (2004) Separering af gylle. I: Jørgensen, U. (Red.) *Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III*. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Markbrug nr. 103, p. 67-71.

- Petersen, J. & Djurhuus, J. (2004) Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødede, kornrige sædskifter. DJF-rapport Markbrug nr 102. 61 pp.
- Petersen, J. & Jørgensen, U. (2004) Reduktion i husdyrproduktionen. I: Jørgensen, U. (Red.) *Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III*. Danmarks JordbrugsForskning, DJF rapport Markbrug nr. 103, p. 226-230.
- Petersen, J. & Kjellerup, V. 1990. Fordeling af næringsstoffer i gyllebeholdere. Statens Planteavlsvforsøg, Grøn Viden, Landbrug, nr. 47.
- Petersen, J. & Sørensen, P. (2004a) Gødningsnormer, krav til udnyttelse af N i husdyrgødning og harmonikrav. I: Jørgensen, U. (Red.) *Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III*. Danmarks JordbrugsForskning, DJF rapport Markbrug nr. 103, p. 203-216.
- Petersen, J. & Sørensen, P. (2004b) Rammebetingelser for kvatificering af effekter. I: Jørgensen, U. (Red.) *Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III*. Danmarks JordbrugsForskning, DJF rapport Markbrug nr. 103, p. 16-26
- Petersen, J. & Sørensen, P. (2007) Fiberfraktion fra gylleseparering – Tab af kulstof og kvælstof under lagring. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelig Fakultet, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 48. 6p.
- Petersen, J. & Sørensen, P. (2008) Loss of nitrogen and carbon during storage of the fibrous fraction of separated pig slurry and influence on nitrogen availability. *J. Agric. Sci., Camb.* 146, 403-413.
- Petersen, S.O. & Miller, D.N. (2006) Greenhouse gas mitigation by covers on livestock slurry tanks and lagoons. *J. Sci. Food Agric.* 86, 1407-1411.
- Peteren, S. O., Lind, A.M. & Sommer, S. G. (1998) Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 130, 69–79.
- Petersen, J., Sørensen, P., Rubæk, G. & Hansen, J.F. (2005) Konsekvenser for gødningsværdien ved afbrænding af husdyrgødning. I Fødevareministeriets *Rapport fra arbejdsgruppen om afbrænding af fraktioner af husdyrgødning* (Iversen, P.A. & Lanng, H.D., red.). p. 91-96. <http://www.fvm.dk/Files/Filer/Landbrug/rap%2520090605%2520endelig%2520til%2520net.pdf>
- Petersen, J., Petersen, B.M., Blicher-Mathiesen, G., Ernstsén, V. & Waagepetersen, J. (2006a) Beregning af nitratudvaskning - Forslag til metode, der sikrer ensartethed i sagsbehandlingen i forbindelse med fremtidig miljøgodkendelse af husdyrbrugsudvidelser. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Markbrug nr. 124. 144pp.
- Petersen, S.O., Sommer, S.G., Béline, F., Burton, C., Dach, J., Dourmad, J.Y., Leip, A., Misselbrook, T., Nicholson, F., Poulsen, H.D., Provolò, G., Sørensen, P., Vinnerås, B., Weiske, A., Bernal, M.-P., Böhm, R., Juhász, C. & Mihelic, R. (2007) Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science* 112, 180-191.

- Plantedirektoratet (2007) Årlig Redegørelse. Gødningsregnskaber m.m. Statistik 2003/2004. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Plantedirektoratet. 84 p.
http://pdir.fvm.dk/Admin/Public/Download.aspx?file=Files/Filer/Topmenu/Publikationer/Statistik/2003/Pub_Redegoerelse_03_04_2008_02_11.pdf
- Poulsen, H.D. (Personlig meddelelse) Forskningsleder, Institut for Husdyrsundhed, Velfærd og Ernæring, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet.
- Poulsen, H.D. & Johansen, K. (2006) Phosphorus in pig faeces and urine can be manipulated by dietary means. Vol 2, 101-103.
- Poulsen, H.D. & Rubæk, G.H. (2005) Fosfor i dansk landbrug – Omsætning, tab og virkemidler mod tab. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Husdyrbrug nr. 68, 214 pp.
- Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. & Sommer, S.G. (2001) Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. Danmarks JordbrugsForskning, DJF-rapport Husdyrbrug, nr. 36, 152pp.
- Reijs, J.W., Sonneveld, M.P.W., Sørensen, P., Schils, R.L.M., Groot, J.C.J. & Lantinga, E.A. (2007) Effects of different diets on utilization of nitrogen from cattle slurry applied to grassland on a sandy soil in The Netherlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118, 65-79.
- Rodríguez, M.D.E., Puerto, A.M.G.del, Melénez, M.L.M, Adamsen, A.P.S., Gullov, P. & Sommer, S.G. (2005) Separation of Phosphorus from Pig Slurry Using Chemical Additives. *Applied Engineering in Agriculture* 21, 739-742.
- Rubæk, G.H., Stoholm, P. & Sørensen, P. (2006) Availability of P and K in ash from thermal gasification of animal manure. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. II, p. 177-180.
- Schjønning, P. (1998) Jordpakning koster vedvarende udbyttetab. *Landsbladet Mark* 10, 26-27.
- Schjønning, P. & Rasmussen, K.J. (1994) Danish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research*, 29, 215-227.
- Schröder, J.J., Uenk, D. & Hilhorst, G.J. (2007) Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant and Soil* 299, 83-99.
- Sehested, J. & Lund, P. (2006) Dietary electrolytes affect slurry composition and volume from dairy cows. In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. I, p. 83-85.
- Skriver, K. (red.) (1991) Oversigt over Landsforsøgene 1991. Aarhus Stiftsbogtrykkerie.
- Skøtt, T. (2006) Halmaske bliver til værdifuld gødning. *Dansk BioEnergi* nr. 86, april 2006, 4-6.
- Sommer, S.G. (2001) effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *Eu. J. Agron.* 14, 123-133.

- Sommer, S.G. & Hansen, M.H. (2005) Naturlig separering af næringsstoffer i lagret svinegylle – effekt af bioforgasning og gylleseparering. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden Husdyrbrug nr. 45, 6 pp.
- Sommer, S.G. & Husted, S. (1995) The chemical buffer system in raw and digested animal slurry. J. Agric. Sci., Camb. 124, 45-53.
- Sommer, S.G. & Olesen, J.E. (1991) Effects of Dry Matter Content and Temperature on Ammonia Loss from Surface-Applied Cattle Slurry. Journal of Environmental Quality 20, 679-683.
- Sommer, S. G., Zhang, G.-Q., Bannink, A., Chadwick, D., Misselbrook, T., Harrison, R., Hutchings, N., Menzi, H., Monteny, G. J., Ni, J. Q., Oenema, O. & Webb, J. (2006) Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. Advances in Agronomy 89, 262-323.
- Sommer, S.G., Petersen, S.O., Sørensen, P., Poulsen, H.D. & Møller, H.B. (2007) Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. Nutrient Cycling in Agroecosystems 78, 27-36.
- Sørensen, P. (1998) Effects of storage time and straw content of cattle slurry on the mineralization of nitrogen and carbon in soil. Biol. Fertil. Soils. 27, 85-91.
- Sørensen, P. (2003) Udnyttelse og tab af kvælstof efter separering af gylle. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden, Markbrug nr. 283, 6 pp.
- Sørensen, P. (2006) Hvordan påvirker forsuring kvælstofvirkningen i marken? Plantekongres 2006, 10.-11. januar 2006, Herning Kongrescenter. Danmarks JordbrugsForskning og Dansk Landbrugsrådgivning, Sammendrag af indlæg, p. 106-107.
- 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. & 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, 343-355.
- Sørensen, P. & Rubæk, G.H. (2006) Udvaskning af kvælstof og fosfor efter tilførsel af separeret gylle til vinterhvede. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden Markbrug nr. 318, 8 pp.
- Sørensen, P., Thomsen, I.K., Jensen, B. & Christensen, B.T. (2002) Residual nitrogen effects of animal manure measured by ¹⁵N. In: Østergård, H.S., Fystrø, G. & Thomsen, I.K. (Eds.) *Optimal Nitrogen Fertilization -Tools for Recommendation*. Proceedings from NJF seminar 322. Danish Institute of Agricultural Sciences, DIAS Report Plant Production no. 84., p. 37-41.
- Sørensen, P., Vinther, F.P., Petersen, S.O., Petersen, J. & Lund, I. (2003a) Høj udnyttelse af gyllens kvælstof ved direkte nedfældning. Danmarks JordbrugsForskning, Grøn Viden, Markbrug nr. 281. 6 pp.
- Sørensen, P., Weisbjerg, M.R. & Lund, P. (2003b) Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. Journal of Agricultural Science, Cambridge 141, 79-91.

- Sørensen, P., Thomsen, I.K. & Christensen, B.T. (2004) Physical separation of pig slurry has a small effect on the overall utilisation of nitrogen. In: Hatch, D.J., Chadwick, D.R., Jarvis, S.C. & Roker, J.A. (Eds.) *Controlling nitrogen flows and losses*. Wageningen Academic Publishers. p. 234-235.
- Thomsen, I.K. (2005) Crop N utilization and leaching losses as affected by time and method of application of farmyard manure. *Europ. J. Agronomy* 22, 1-9.
- Thomsen, I. K., Kjellerup, V. & Jensen, B. (1997) Crop uptake and leaching of ¹⁵N applied in ruminant slurry with selectively labeled faeces and urine fractions. *Plant and Soil*, 197, 233-239.
- Toft, M.S. (2008) Stor forskel på gødningsværdi af fiberfraktion fra gylle. *MARK*, April 2008, 12-13.
- Vinther, F.P. (2008) SIMDEN Ver. 2.0.
http://www.agrsci.dk/media/webdav/filer/jpm/ostof/simden_ver_2_0
- Ørtenblad, H. (personlig meddelelse) Herning kommunale værker.
- Ørtenblad, H. & Kjellerup, V. (1991) Fordelingen af næringsstoffer i lagertanke med afgasset gylle fra biogasfællesanlæg. *Tidsskr. Planteavl* 95, 383-392.

12 Appendiks A. Prøvetagning og analyse

Miljøhandlingsplanerne og den affødte regulering jf. afsnit 3, herunder anvendelse af normtal for husdyrgødning, har reduceret behovet for prøvetagning og analyse af husdyrgødning med henblik på normgødskning af bedriftens afgrøder. Ønskes en anden fordeling af husdyrgødningen mellem afgrøderne end den, der ligger til grund for normgødskningen, kan kendskab til det aktuelle kvælstofindhold i husdyrgødningen bidrage til beslutningsgrundlaget for justering af gødningstildelingen. Med stigende husdyrtæthed, jf. Figur 1 og Figur 2, øges behovet for afsætning af næringsstoffer udenfor husdyrbrugsbedriften til nabobedrifter, som begge skal indregne mængden af kvælstof i husdyrgødningsleverancen i bedriftens gødningsregnskab. En unøjagtig fastsættelse af kvælstofindholdet vil lede til uoverensstemmelse mellem den faktisk leverede kvælstofmængde og gødningsregnskabet, hvorved der kan ske afvigelser fra gødningsplanen for de bedrifter, der anvender husdyrgødningen. Prøvetagning og analyse af kvælstofindholdet i husdyrgødningen med henblik på en form for deklarerung kan imødegå denne situation. Endvidere giver Gødskningsbekendtgørelsen mulighed for, at indholdet af total-kvælstof i afgasset gylle kan bestemmes ved analyse.

Prøvetagning i procesanlæg kan i nogle henseender være lettere end i lagerbeholdere, men samtidig kan der være andre problemer knyttet til prøvetagningen. Ved pumpning af gylle fra biogasreaktoren til lagerbeholderen kan prøven udtages i strømmen via taphane. Det skal dog sikres, at strømmen er repræsentativ, ligesom gyllen i rørføringen til taphanen skal være repræsentativ. Dette kan ske ved at tappe en passende portion gylle inden prøven udtages. Til sikring af repræsentativitet over tid kan det være nødvendigt at udtage daglige eller ugentlige delprøver, der slås sammen til en samleprøve. Strategien for indsamling af delprøver skal afspejle ændringer i de produkter, der indføres i biogasreaktoren. Delprøverne kan opbevares på køl (2-5°C) eller på frost i tætsluttende beholder.

Udtages prøven i lagerbeholderen kan det ske som beskrevet af Petersen (1996), hvortil der i øvrigt henvises for udtagning og analyse af husdyrgødning. Laboratorieanalyser er præcise men tidskrævende, og der kan under optimale betingelser gå 2-5 dage inden resultatet foreligger. I laboratoriet bestemmes indholdet af ammonium-N ofte ved destillation af ammoniak (Sommer et al., 1992), og det fundne indhold af ammonium ved denne referencemetode svarer stort set til virkningen af kvælstof i handelsgødning, såfremt husdyrgødningen udbringes om foråret og nedarbejdes i jorden umiddelbart efter udbringning.

Der findes hurtigmetoder til bestemmelse af ammonium-N, og disse kan supplere men på ingen måde erstatte laboratorieanalyser. Hurtigmetoderne er gasvolumetriske metoder, der baserer sig på iltning af ammonium til frit kvælstof. Den udviklede gasmængde kan bestemmes enten volumetrisk (f.eks. Quantofix-N-Volumetre) eller ved tryk (f.eks. Agros-N-Meter), afhængig af måleudstyrets konstruktion. Metoden er beskrevet af Tovborg Jensen (1929), der anvendte bromnatron [natriumhypobromit, NaBrO] som iltningmiddel. Et mere miljøvenligt, men stadig kraftigt

iltningmiddel, er hypoclorit [NaClO el. $\text{Ca}(\text{ClO})_2$]. Hurtigmetoder til bestemmelse af ammonium-N stemmer godt overens med referencemetoden i laboratoriet, specielt for flydende husdyrgødning (Kjellerup, 1986; Kessel & Reeves, 2000). Tidsforbruget ved en enkelt analyse er for en øvet bruger ca. 7-10 min. (inkludativt udpakning, rengøring og sammenpakning af måleren). Ofte kan udstyr til hurtiganalyse lånes hos landboforeningen eller grovvarehandel.

En nyere hurtigmetode, der dog kræver laboratorieudstyr, baserer sig på spektralanalyse af reflektansmåling i det nær-infrarøde område (NIR) og er afprøvet på 340 prøver af kvæg- og svinegylle (Sørensen et al., 2007). Da analysen er ikke-destruktiv, er det tilstrækkeligt at homogenisere prøven før måling. Metoden er egnet til analyse af tørstof, total-N, ammonium-N og total-C i gylle. Imidlertid skal man være opmærksom på, at der er tale om en indirekte metode, idet der ikke måles direkte på den enkelte parameter. Metoden kræver derfor, at laboratorier foretager et omfattende og omhyggeligt kalibreringsarbejde. Det er imidlertid ikke usandsynligt, at selve metoden samt udstyret kan udvikles så robust, at det også kan fungere udenfor laboratoriet (Reeves, 2006; Sørensen 2006).

Referencer

- Kessel, J.S.Van & Reeves, J.B.III (2000) On-Farm Quick Tests for Estimation Nitrogen in Dairy Manure. *Journal of Dairy Science* 83, 1837-1844.
- Kjellerup, V. (1986) Agros Nitrogen Meter for estimation of ammoniumnitrogen in slurry and liquid manure. I Red. A. Dam Kofoed et al.: *Efficient Land Use of Sludge and Manure*. Elsevier Applied Science Publishers, London & New York, p. 216-223.
- Petersen, J. (1996) (Red.) Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsvforsøg, SP-rapport nr. 11. 160 pp.
- Reeves, J.B.III (2006) The present status of rapid methods for on-farm analysis of manure composition with emphasis on N and P: What is available and what is lacking? In: Petersen, S.O. (Ed.) *Proceedings of the 12th Ramiran International Conference. Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Danish Institute of Agricultural Sciences, report no. 122, Vol. I, p. 65-69.
- Sørensen, P., Sørensen, L.K. & Birkmose, T. (2007) Hurtiganalyse af husdyrgødning med NIRS. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet. Grøn Viden markbrug nr. 325, 4 pp.
- Sørensen, P. (2006) Hurtiganalyse af N, P og K i gylle. *Planteavlerens Fagmagasin Mark* nr. 11, November 2006, p 29.
- Tovborg Jensen, S. (1929) Undersøgelser over Ammoniakfordampning i Forbindelse med Kvælstoftab ved Udbringning af naturlige Gødninger. II. *Ajle. Tidsskr. Planteavl* 35, 59-80.

13 Appendiks B. Metoder til bestemmelse af gødningsvirkning af N i husdyrgødning

Metoder til bestemmelse af gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning kan overordnet opdeles i to grupper. I den første gruppe udtrykkes gødningsvirkningen direkte på grundlag af marginaeffekten, mens metoderne i den anden gruppe udtrykker gødningsvirkningen indirekte, idet gødningsvirkningen af prøvegødningen bestemmes i forhold til en referencegødning. Indenfor hver af de to grupper findes flere varianter, og typisk baseres beregningerne på kvælstofoptagelsen, men andre responsvariable kan også anvendes, f.eks. det salgbare udbytte. Her redegøres for de forskellige begreber, da valg af metode har betydning for fortolkningen af den beregnede gødningsvirkning.

13.1 Gødningsvirkning bestemt ved brug af én gødningstype - marginaeffekt

Kvælstofudnyttelsen er differensen mellem mængden af indhøstet kvælstof efter kvælstoftilførsel og kvælstof i afgrøder uden kvælstoftilførsel sat i forhold til den tilførte kvælstofmængde:

$$\text{Kvælstofudnyttelse} = \frac{\text{Kvælstofoptagelse}_{\text{gødet}} - \text{Kvælstofoptagelse}_{\text{ugødet}}}{\text{Tilført kvælstof}} \quad (1)$$

Ligning (1) udtrykker meroptaget af kvælstof pr. tilført kg kvælstof. Multipliseres (1) med 100 benyttes betegnelsen kvælstofudnyttelsesprocent. Metoden antager, at der optages samme mængde jordkvælstof i det ugødede og gødede forsøgsled. Mere generelt kan ligning (1) udtrykkes ved:

$$\text{Marginal kvælstofudnyttelse} = \frac{\text{Kvælstofoptagelse}(N_i) - \text{Kvælstofoptagelse}(N_{i-1})}{\text{Tilført kvælstof}(N_i) - \text{Tilført kvælstof}(N_{i-1})} \quad (2)$$

idet kvælstofudnyttelsen beregnes ved differensen mellem to gødningsniveauer (N_i og N_{i-1}), og udtrykker optagelsen af det sidst tilførte kg kvælstof (marginal kvælstofudnyttelse). Ved små forskelle mellem gødningsniveauerne svarer ligning (2) til differentialkvotienten for kvælstofoptagelseskurven. I tilfælde af, at kvælstofudnyttelsen vekselvirker med gødningsniveauet kan der ved brug af ligning (2) findes et relevant gødningsniveau, mens ligning (1) ikke giver samme mulighed for tilpasning til de givne omstændigheder.

Udtrykkene i ligning (1) og (2) er egnede til cost-benefit betragtninger. For simple effektivitetsbetragtninger kan ligning (1) derimod reduceres til:

$$\text{Effektivitet} = \frac{\text{Kvælstofoptagelse}_{\text{gødet}}}{\text{Tilført kvælstof}} \quad (3)$$

Udtrykket i ligning (3) kan nærmest betragtes som en effektivitetsfaktor. Imidlertid er der ikke direkte sammenhæng mellem tilført og optaget kvælstof, hvilket er erkendt i forsøg med anvendelse af isotopmærket kvælstof, idet en del af gødningskvælstoffet immobiliseres i jordens organiske pulje samtidig med, at en anden del af denne pulje mineraliseres. I forsøg med anvendelse af ¹⁵N-mærket husdyrgødning, hvor gødningskvælstoffet kan adskilles fra jordkvælstoffet, er ligning (3) imidlertid velegnet til at udtrykke effektiviteten af kvælstof tilført med husdyrgødning og betegnes genfindelse.

Effektiviteten i ligning (3) kan anvendes ved balancebetragtninger, men pga. samspillet med jordens kvælstofpulje, kan effektiviteten overstige 1, hvorved udtrykket ikke er velegnet til bestemmelse af gødningsvirkning af N i husdyrgødning.

13.2 Gødningsvirkning målt i forhold til en reference

Netop det forhold at tilført gødningskvælstof vekselvirker med omsætning af jordens organiske kvælstofpulje betyder, at det er mere relevant at vurdere gødningsvirkningen i forhold til en kendt referencegødning. I litteraturen angives forskellige metoder til beregning af gødningsvirkningen af kvælstof i en prøvegødning, f.eks. husdyrgødning, i forhold til en referencegødning, hvor en kvælstofholdig handelsgødning, typisk kalkammonsalpeter eller kalksalpeter, anvendes som reference. En god beskrivelse af referencekurven bør baseres på 4-6 niveauer af referencegødningen. Gødningsvirkningen af N i prøvegødningen relateres efterfølgende til kurven for referencegødningen, hvilket er den klassiske definition af værditallet (Steenbjerg, 1965).

Metoden lider af den svaghed, at der typisk kun anvendes et gødskningsniveau for prøvegødningen, hvorved beregning af værditallet kun foretages for et enkelt punkt på referencekurven. Ved inddragelse af flere niveauer for prøvegødningen kan responsfunktionen for prøvegødningen beregnes og beskrives som en andel af responsfunktionen for referencegødningen. Herved vil den relative gødningsvirkning gælde uanset gødskningsniveauet. Petersen (2003) betegner denne størrelse som NFRV (Nitrogen fertilizer replacement value). Denne fremgangsmåde kan ikke umiddelbart operere med samtidig tilførsel af både prøvegødningen og referencegødningen, f.eks. ved delt gødskning, hvor husdyrgødning kombineres med handelsgødning som startgødskning. Derfor introducerede Kristensen & Petersen (1994) en vekselvirkningsparameter ved opgørelsen af forsøg udført med kombination af varierende mængde af husdyrgødning og handelsgødning. Denne vekselvirkningsparameter udtrykker, hvorledes den relative gødningsvirkningen af N i husdyrgødning påvirkes ved tilførsel af kvælstof i handelsgødning (referencegødning).

Dansk Landbrugsrådgivning foretager beregning af husdyrgødningens gødningsværdi på grundlag af kvælstofoptagelsen i den indhøstede kerne (L. Knudsen, personlig meddelelse; Petersen et al., 1996). Ud fra de handelsgødede referenceled inklusiv det ugødede led foretages en lineær regression mellem tilført mineralsk kvælstof i handelsgødning og kvælstofoptagelsen i kerne

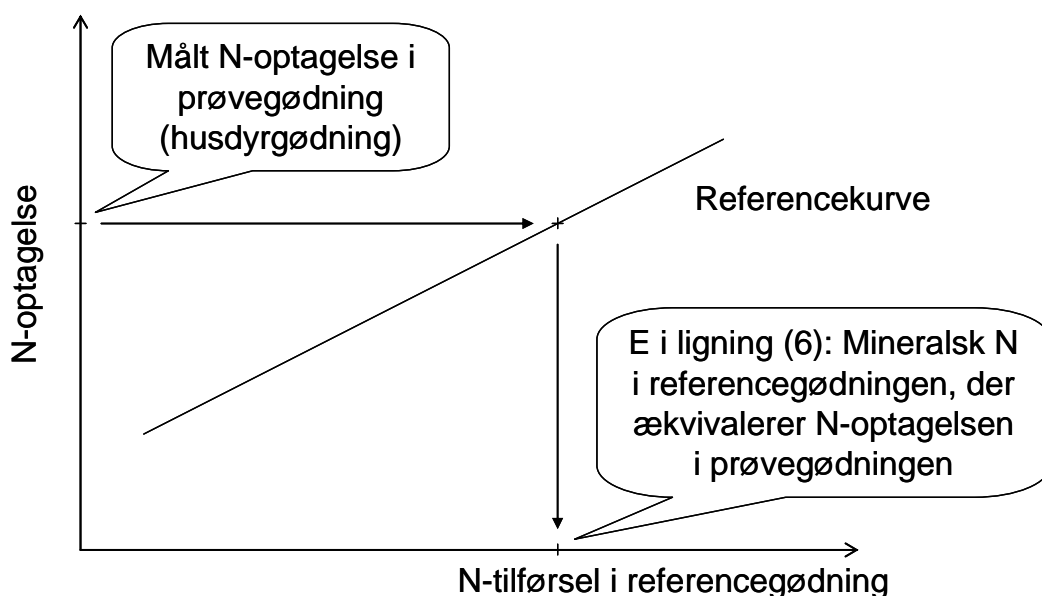
ligning (4). Det bemærkes, at bestemmelse af kvælstof i kerne foretages ledvis og ikke parcelvis som for udbyttebestemmelsen, hvilket reducerer antallet af punkter der ligger bag regressionen. Hældningen for denne regression kaldes marginaloptagelsen for referencegødningen, og svarer således til ligning (2).

$$y = a + bx, \text{ hvor} \quad (4)$$

- $y =$ Kvælstofoptagelse i kerne [kg N/ha]
 $a =$ Kvælstofoptagelse i kerne i ugødet forsøgsled [kg N/ha]
 $b =$ Marginaloptagelse [dimensionsløs]
 $x =$ Tilført mineralsk kvælstof i handelsgødning [kg N/ha]

Ved isolering af x kan mængden af mineralsk kvælstof (E), der ækvivalerer den i husdyrgødning opnåede kvælstofoptagelse, beregnes eller aflæses på Figur 9:

$$E = \frac{y - a}{b} \quad (5)$$



Figur 9. Principskitse, der illustrer referencekurven (ligning (4)) og beregning af mængden af mineralsk N i referencegødningen, som ækvivalerer med N-optagelsen i prøvegødningen (ligning (5)).

I forsøg med husdyrgødning udført af Dansk Landbrugsrådgivning tilføres ofte kvælstof i handelsgødning, f.eks. ved startgødskning af vintersæd kombineret med senere udbringning af husdyrgødning. Ved beregning af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning antages det, i modsætning til Kristensen & Petersen (1994) og Petersen (1996) imidlertid, at kvælstof i handelsgødning (startgødning) ikke vekselvirker med husdyrgødningstilførslen, men optages med samme marginaloptagelse som beregnet ud fra referencekurven i ligning (4). Den tilførte mængde

handelsgødning (startgødning) (K_i) trækkes derfor fra den til husdyrgødningen ækvivalerende mængde handelsgødning (E_i) bestemt ved ligning (5), og denne differens sættes i relation til den tilførte mængde totalkvælstof i husdyrgødning (H_i), hvorved værditallet fremkommer:

$$Værdital = \frac{E_i - K_i}{H_i} \times 100 \quad (6)$$

hvor indeks i indikerer, at variableerne er samhørende og defineret ved:

E = Ækvivalerende mængde handelsgødning [kg N/ha], der vil give den opnåede kvælstofoptagelse ved tilførsel af husdyrgødning, beregnet efter ligning (5)

K = Tilført mængde handelsgødning til husdyrgødet forsøgsled [kg N/ha], f.eks. som startgødning

H = Den med husdyrgødning tilførte mængde totalkvælstof [kg N/ha]

Relationen mellem den ækvivalerende mængde mineralsk N og tilført N i husdyrgødning normeres (6), hvorved værditallet udtrykker den mængde kvælstof i handelsgødning som 100 kg totalkvælstof i husdyrgødning kan erstatte, og angives som procent af total-N i husdyrgødning. Denne fremgangsmåde med brug af kvælstofoptagelsen i kerne (eller total afgrøde) anvendes for enkimbladede afgrøder (korn, græs og majs), mens frø- og roeudbytter anvendes for henholdsvis raps og sukkerroer.

Alternativt kan effektiviteten af husdyrgødningen beregnet med ligning (3) normeres ved at sætte den i forhold til effektiviteten for handelsgødning i samme forsøg. Denne relation betegnes for handelsgødningsækvivalenter (mineral fertilizer equivalent, MFE). I et enkelt tilfælde er MFE blevet benyttet som synonym med værdital (Sørensen et al., 2003). Ofte multipliceres relationen med 100, hvorved MFE udtrykkes som procent:

$$MFE(\%) = \frac{\text{Optaget } N_{\text{husdyr}} / \text{Tilført } N_{\text{husdyr}}}{\text{Optaget } N_{\text{handels}} / \text{Tilført } N_{\text{handels}}} \times 100 \quad (7)$$

I forsøg med ^{15}N -mærket gødninger er relationen i ligning (7) velegnet, idet den giver mulighed for sammenligning af plantetilgængeligheden af tilført husdyrgødningskvælstof under varierende forsøgsbetingelser som f.eks. forskellige afgrøder, år og jordtyper. Netop anvendelse af ^{15}N -mærkede gødninger giver mulighed for at adskille effekten af gødnings-N fra effekten af jord-N, hvorved beregning af MFE på basis af ^{15}N i ligning (7) har sin berettigelse og styrke.

13.3 Responsvariable og begrænsninger i estimeret gødningsvirkning af N

Ovenstående gennemgang præsenterer de mest relevante varianter til beregning af gødningsvirkning af N i husdyrgødning (Petersen, 1996). Disse varianter kan endvidere kombineres med både

forskellige responsvariable, oftest kvælstofoptagelse eller udbytte (tørstofproduktionen typisk i form af det salgbare udbytte) og valget mellem den primære afgrødedel (kerne) eller hele afgrøden (kerne plus halm, græs eller majs). Ingen af varianterne eller kombinationerne kan siges at være den rigtige, da de alle har fordele og ulemper.

Ud fra et praktisk synspunkt vil det ofte være mest interessant at anvende det salgbare udbytte som responsvariabel, men kvælstofoptagelsen er en mere direkte responsvariabel og ikke på samme måde følsom overfor svigt i de øvrige plantevækstfaktorer, f.eks. påvirkes udbyttet i langt højere grad af sygdoms- og skadedyrsangreb, samt vandmangel, end kvælstofoptagelsen. Ved brug af polynomier af anden eller højere grad ligger toppunktet for optagelseskurven for kvælstof også ved højere gødningstilførsler end toppunktet for udbytteresponsen. Christensen et al. (2006) anvender således et andengradspolynomium ved beregning af værditallet på grundlag af kerneudbyttet, mens responsfunktionen reduceres til et lineært udtryk for kvælstofoptagelsen.

Uanset beregningsmetode kan der være to væsentlige fejlkilder til henholdsvis underestimering og overestimering af husdyrgødningens værdi som kvælstofgødning. For det første indeholder husdyrgødning, ud over mineralsk kvælstof, der har en umiddelbar virkning i den første vækstsæson efter tilførsel, også organisk kvælstof, der mineraliseres i de efterfølgende vækstsæsoner, jf. afsnit 4.5 og 4.6. Andelen af organisk kvælstof samt dets mineraliserbarhed har betydning for, hvor meget gødningsvirkningen af N i husdyrgødning underestimeres, når den alene udtrykkes ved en førstearsvirkning (se f.eks. Schröder, 2005). Imidlertid er det ikke uproblematisk at isolere en langsigtet gødningsvirkning, idet virkning af kvælstof i husdyrgødning er konfunderet med virkningen af husdyrgødningens organiske stof på jordens frugtbarhed. For det andet indeholder husdyrgødning også andre næringsstoffer, som kan bidrage positivt til afgrødens vækst, og således medføre en overestimering af husdyrgødningens kvælstofvirkning. Ofte foretages der i forsøg med husdyrgødning grundgødsning med hovednæringsstofferne P og K, hvorved en tilstrækkelig forsyning med disse næringsstoffer tilstræbes sikret. Imidlertid indeholder husdyrgødningen også en række mikronæringsstoffer, som der ikke tages højde for på samme måde. Endvidere kan det ikke udelukkes, at gødningsvirkningen af N i husdyrgødning vekselvirker med de øvrige næringsstoffer, og det følger heraf, at en bestemmelse af gødningsvirkningen af N i husdyrgødning ved de beskrevne formler ikke giver et fuldstændigt billede af næringsstofudnyttelsen af husdyrgødningen.

Endvidere påvirker en lang række faktorer afgrødens vækst og kvælstofoptagelse, og dermed indirekte også beregningen af husdyrgødningens kvælstofvirkning. Specielt mineralisering fra jordens kvælstofpujle varierer meget og har stor indflydelse på afgrødens samlede kvælstofoptagelse (Petersen et al., 2006). Derfor er et estimat for gødningsvirkning af N i husdyrgødning ikke et meget præcist tal, men et estimat med en variation tilknyttet. Dansk Landbrugsrådgivning har gennemført en lang række forsøg med henblik på bestemmelse af gødningsvirkning af N i husdyrgødning, og igennem gentagelse af forsøgene er sikkerheden på estimaterne øget, men dette til trods er en variationskoefficient på 30-60% ikke ualmindelig for

værditallet (Pedersen, 2001). Den laveste variationskoefficient på omkring 20% findes for ajle med et værdital på 80-90. Endvidere er ikke alle kombinationer af gødningstype, udbringningsmetode, udbringningstidspunkt og afgrøde prøvet i forsøg, men ved vægtning af resultaterne i forhold til hinanden og udøvelse af skøn har Dansk Landbrugsrådgivning opstillet tabeller over vejledende førsteårsgødningsvirkning i den aktuelle udbringningssituation (Appendiks C).

Referencer

- Christensen, B.T., Petersen, J. & Trettemøller, U.T. (2006) The Askov Long-Term Experiments on Animal Manure and Mineral Fertilizers: The Lermarken site 1894-2004. Danish Institute of Agricultural Sciences, DIAS report Plant Production no. 121, 104 pp.
- Knudsen, L. (personlig meddelelse) Chefkonsulent, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret|Planteproduktion.
- Kristensen, K. & Petersen, J. (1994) Statistiske modeller til beregning af værdital for ammoniumkvælstof i kvæggylle. Statens Planteavlsvforsøg, SP-rapport nr. 8, 1994. 32 pp.
- Petersen, J. (1996). (Red.) Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsvforsøg, SP-rapport nr. 11. 160 pp.
- Petersen, J. (1996). (Red.) Husdyrgødning og dens anvendelse. Statens Planteavlsvforsøg, SP-rapport nr. 11. 160 pp.
- Petersen, J. (2003) Nitrogen fertilizer replacement value of sewage sludge, composted household waste and farmyard manure. *J. Agri. Sci., Camb.* 140, 169-182.
- Petersen, J., Knudsen, L. & Birkmose, T.S. (1996) Øget udnyttelse af husdyrgødning i marken. Slutrapport til Landbrugsministeriets Forskningsprogram 'Bæredygtigt Landbrug', 35 pp.
- Schröder, J. (2005) Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spare the environment. *Bioresource Technology* 96, 253-261.
- Steenbjerg, F. (1965) Planternes ernæring. DSR Forlag-Boghandel, København.
- 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.

14 Appendiks C. Vejledende førsteårgødningsvirkning af husdyrgødning i den aktuelle udbringningssituation vurderet af Dansk Landbrugsrådgivning

Markeffekten udtrykker den førsteårgødningsvirkning, der kan forventes i den aktuelle udbringningssituation for kombinationer af gødningstype, afgrøde, udbringningstidspunkt og udbringningsmetode (Anonym, 2006). De vejledende tabeller med markeffekt er sammenstillet af Dansk Landbrugsrådgivning på basis af deres egne forsøg siden midten af 1980'erne, samt forsøg med husdyrgødning og ammoniakemission ved Danmarks JordbrugsForskning. Udover det forsøgsmæssige grundlag indgår der i Tabellerne C-1 til C-8 også et vist element af skøn. På grundlag af dette vejledningsmateriale kan det sikres, at den enkelte mark gødes optimalt med husdyrgødning, herunder, at husdyrgødningen tilføres til afgrøder og på tidspunkter, hvor gødningsvirkningen er størst. Markeffekten er en førsteårvirkning, der ikke må forveksles med den samlede gødningsvirkning af N i husdyrgødning estimeret i kapitel 9 (Tabel 11, Tabel 13 og Tabel 14).

De angivne markeffekter forudsætter godt landmandskab i forbindelse med udbringningen, bl.a. nedbringning af overfladeudbragt husdyrgødning indenfor 6 timer efter udbringning. Variationen i de opnåede forsøgsresultaterne betyder, at det kan være nødvendigt at korrigere markeffekten i overensstemmelse med omstændighederne for den aktuelle udbringning, idet ammoniakemissionen afhænger af vejret. Udbringning i varmt, tørt, blæsende eller solrigt vejr vil let medføre en reduktion i markeffekten på 5-10 enheder, mens udbringning i stille, køligt og overskyet vejr eller umiddelbart før nedbør eller vanding vil øge markeffekten med 5-10 enheder. De i Tabellerne C-1 til C-8 gengivne markeffekter er under forudsætning af udbringningstidspunkterne i Tabellerne C-9 og C-10, jf. Anonym (2006).

Tabel C-1. Markeffekt for kvælstof i svinegylle med et indhold af ammonium, som udgør ca. 70 % af totalkvælstof

Svinegylle	Forår		Sommer		Efterår	
	Ned-fældning	Slange-udlagt	Ned-fældning	Slange-udlagt	Før såning	Bevokset areal
Vårsæd	75	70	-	45	-	-
Roer og majs	75	70	70	40	-	-
Vintersæd	70	65	-	65	-	-
Vinterraps	-	65	-	-	65	55
Frøgræs	-	60	-	-	-	60
Fodergræs	60	60	55	45	-	55

Tabel C-2. Markeffekt for kvælstof i kvæggylle med et indhold af ammonium, som udgør ca. 60 % af totalkvælstof

Kvæggylle	Forår		Sommer		Efterår	
	Ned-fældning	Slange-udlagt	Ned-fældning	Slange-udlagt	Før såning	Bevokset areal
Vårsæd	70	50	-	35	-	-
Roer og majs	70	55	60	35	-	-
Vintersæd	55	45	-	40	-	-
Vinterraps	-	45	-	-	50	35
Frøgræs	-	45	-	-	-	45
Fodergræs	50	45	45	35	-	40

Tabel C-3. Markeffekt for kvælstof i afgasset gylle med et indhold af ammonium, som udgør ca. 80 % af totalkvælstof

Afgasset gylle	Forår		Sommer		Efterår	
	Ned-fældning	Slange-udlagt	Ned-fældning	Slange-udlagt	Før såning	Bevokset areal
Vårsæd	75	70	-	50	-	-
Roer og majs	75	70	70	45	-	-
Vintersæd	75	75	-	65	-	-
Vinterraps	-	75	-	-	65	55
Frøgræs	-	70	-	-	-	60
Fodergræs	70	65	60	45	-	60

Tabel C-4. Markeffekt for kvælstof i væskefraktion fra dekantercentrifuge, ajle eller lignende med et indhold af ammonium, som udgør ca. 90 % af totalkvælstof

Væske-fraktion/ajle	Forår		Sommer		Efterår	
	Ned-fældning	Slange-udlagt	Ned-fældning	Slange-udlagt	Før såning	Bevokset areal
Vårsæd	90	90	-	70	-	-
Roer og majs	90	90	90	70	-	-
Vintersæd	90	85	-	85	-	-
Vinterraps	-	85	-	-	85	70
Frøgræs	-	85	-	-	-	75
Fodergræs	80	75	75	65	-	70

Tabel C-5. Markeffekt for kvælstof i fast staldgødning fra kvæg og svin, i dybstrøelse fra fjerkræ eller anden fast gødning med et indhold af ammonium, som udgør ca. 25 % af totalkvælstof

Fast staldgødning	Forår	Før såning	Sent efterår	Vinter
Vårsæd	40	-	30	35
Roer og majs	45	-	35	40
Vintersæd	25	20	-	-
Vinterraps	25	30	-	-

Tabel C-6. Markeffekt for kvælstof i dybstrøelse fra kvæg, svin, heste, får eller anden dybstrøelse med et indhold af ammonium, som udgør ca. 25 % af totalkvælstof

Dybstrøelse	Forår	Før såning	Sent efterår	Vinter
Vårsæd	30	-	25	30
Roer og majs	35	-	30	35
Vintersæd	25	20	-	-
Vinterraps	25	30	-	-

Tabel C-7. Markeffekt for kvælstof i fast staldgødning fra fjerkræ med gødningskummer med et indhold af ammonium, som udgør ca. 30 % af totalkvælstof.

Fast gødning, fjerkræ, m. kummer	Forår	Før såning	Sent efterår	Vinter
Vårsæd	60	-	30	35
Roer og majs	65	-	35	40
Vintersæd	50	20	-	-
Vinterraps	50	50	-	-

Tabel C-8. Markeffekt for kvælstof i fiberfraktionen fra en dekantercentrifuge eller lignende med et indhold af ammonium, som udgør ca. 50 % af totalkvælstof

Fiberfraktion	Forår	Før såning	Sent efterår	Vinter
Vårsæd	50	-	30	35
Roer og majs	55	-	35	40
Vintersæd	40	20	-	-
Vinterraps	40	25	-	-

Tabel C-9. Specifikation af udbringningstidspunktet for flydende husdyrgødning

Flydende husdyrgødning	Forår	Sommer	Efterår
Vårsæd	Inden såning	Omkring buskning	-
Roer og majs	Inden såning	I juni	-

Vintersæd	Inden 1. maj	1.-15. maj	-
Vinterraps	Inden 1. april	-	Inden såning eller 3-4 bl.
Frøgræs	Inden 1. april	-	Sidst i sept. til 15. okt.
Fodergræs	Inden 1. slæt	Efter 1. og 2. slæt	Sidst i aug. til først i sept.

Tabel C-10. Specifikation af udbringningstidspunkt for fast husdyrgødning

Fast husdyrgødning	Forår	Sent efterår	Vinter
Vårsæd	Før såning	20. okt. til 1. dec.	1. dec. til 1. februar
Roer og majs	Før såning	20. okt. til 1. dec.	1. dec. til 1. februar
Vintersæd	Ca. 1. april	-	-
Vinterraps	Ca. 1. april	-	-

Reference

Anonym (2006) Markeffekt af kvælstof i husdyrgødning

http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/dyrkningsvejledninger/markeffekt_hus.htm