

Nedfældning af gylle i vintersæd

En evalueringsrapport

Martin Nørregaard Hansen
AgroTech

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING	7
SUMMARY	11
1 BAGGRUND	15
2 VURDERING AF DE TEKNOLOGISKE MULIGHEDER FOR NEDFÆLDNING I VINTERSÆD	17
2.1 BESKRIVELSE AF NEDFÆLDNINGSTEKNOLOGIEN	17
2.2 NUVÆRENDE UDBREDELSE AF NEDFÆLDNING	20
2.3 VURDERING AF VINTERSÆDSAREALET	21
2.4 FORDELE OG ULEMPER VED NEDFÆLDNING	22
3 DRIFTSMÆSSIGE ASPEKTER	25
3.1 AFGRØDESKADE OG KØRESKADE	25
3.1.1 Afgrødeskade	25
3.1.2 Køreskade	26
3.2 TRÆKKRAFTBEHOV	27
3.3 NEDFÆLDNINGSEFFEKTIVITET	28
3.4 JORDTYPE (HERUNDER STENEDE OG HÆLDENDE AREALER)	29
3.5 TEKNOLOGISKE ÆNDRINGER SIDEN 2006	30
3.5.1 Bremseskær fra Harsø Maskiner	31
3.5.2 16 meter bom med slæbesko fra Sloodsmid	32
3.5.3 16,5 meter nedfælder monteret på bugseret slangetromle fra Agrometer	32
3.5.4 DGI-nedfælder (produceres ikke længere)	33
3.5.5 Biocover fra Thyregod	34
4 MILJØMÆSSIGE EFFEKTER AF NEDFÆLDNING	35
4.1 LUGT	35
4.2 AMMONIAKFORDAMPNING	36
4.3 LATTERGAS	38
5 ØKONOMISKE ASPEKTER	41
5.1 UDBYTTTESTIGNING OG KVÆLSTOFUDNYTTELSE	41
5.2 HØJERE UDBRINGNINGSOMKOSTNINGER	43
5.2.1 Lavere udbringningskapacitet	43
5.2.2 Lavere kapacitetsudnyttelse	43
5.2.3 Større investeringer, vedligehold og brændstofforbrug	44
5.3 VURDERING AF DE SAMLEDE OMKOSTNINGER VED NEDFÆLDNING	45
6 FREMTIDIGE TEKNOLOGISKE OG ØKONOMISKE MULIGHEDER	49
6.1 STOP PROJEKTET	49
6.2 INNOVATIONSPROJEKT OM UDVIKLING AF BRED NEDFÆLDERBOM	49

6.3	DEMONSTRATION AF FREMTIDENS NEDFÆLDERTEKNOLOGI	50
7	MILJØMÆSSIGE EFFEKTER AF GYLLETYPPE OG GYLLEBEHANDLINGER	51
7.1	EFFEKTEN AF HUSDYRGØDNINGSTYPER	51
7.2	FORSURING	52
7.3	SEPARERING AF GYLLE	54
7.4	BIOFORGASNING AF GYLLE	54
7.5	REDUKTION AF AMMONIAKFORDAMPNING VED NEDFÆLDNING AF FORSKELLIGE GYLLETYPER	55
8	EVALUERING AF NUVÆRENDE KRAV TIL NEDFÆLDNING	57
8.1	BESKRIVELSE AF NUVÆRENDE KRAV	57
8.2	EVALUERING AF NUVÆRENDE KRAV	57
8.2.1	<i>Generelle bemærkninger</i>	58
8.2.2	<i>Sort jord (ubevoksede arealer)</i>	58
8.2.3	<i>Fodergræs</i>	59
9	KONKLUSION	61
10	REFERENCER	63

Forord

Denne rapport er blevet til med god hjælp og stor arbejdsindsats fra mange sider. Jeg vil derfor benytte lejligheden til takke en række mennesker for deres indsats. Ikke mindst en stor tak til Torkild Birkmose fra Landscentret, Plante-
produktion for input, beregninger, data og konstruktiv kritik. Desuden en stor tak til Michael Højholdt fra Landscentret, Planteproduktion og Jens Johnsen Høy (AgroTech) for hjælp til udarbejdelse af kapacitets-, drifts- og økonomi-
beregninger. Også en tak til Mogens Kjeldal fra Landsforeningen danske Ma-
skinstationer for vurdering af drifts- og maskinomkostninger, samt nuværende
praksis om nedfældning. Endelig en tak til en række landmænd og planteavl-
konsulenter for deres input om praktiske og driftsmæssige erfaringer med de
nuværende krav om nedfældning.

September 2008

Martin Nørregaard Hansen, AgroTech

Sammenfatning

I forbindelse med den politiske aftale mellem regeringen, Dansk Folkeparti og Det Radikale Venstre fra den 22. juni 2006, blev der aftalt regulering af kravene om udbringning af husdyrgødning. I disse krav indgik der krav om nedfældning af gylle i bufferzoner på sort jord og græsmarker, og at disse krav gøres generelt fra 2011. I forbindelse med evalueringen af VMP III i 2008 vurderer aftalens parter, hvornår der kan stilles lignende krav om nedfældning i vintersæd. På baggrund af ovenstående giver denne rapport en faglig vurdering af de teknologiske og økonomiske muligheder for, at nedfældningskravet kan udvides til også at gælde i forbindelse med udbringning af flydende husdyrgødning til vintersæd. Herunder en faglig vurdering af de driftsmæssige, miljømæssige og økonomiske effekter ved at kræve nedfældning i vintersæd.

Mens en stigende andel af den flydende husdyrgødning nedfældes i sort jord og græs, finder der stort set ikke nedfældning sted i vintersæd. Forklaringen vurderes at være, at nedfældning i vintersæd medfører en række ulemper, hvor de vigtigste er, at nedfældningen fører til højere udbringningsomkostninger, samt tab af udbytte forårsaget af køre- og afgrødeskade. Tabet af udbytte er primært begrundet i, at nedfældning medfører flere kørespor i afgrøden, hvilket skyldes, at arbejdsbredden ved nedfældning er væsentligt lavere end den arbejdsbredde, der kan opnås ved slæbeslangeudlægning. Derudover kan nedfældning føre til afstrømning af gylle på skrånende arealer og øge risikoen for skader på høstudstyret på stenrige arealer, samt være problematisk på meget lerholdige jorder.

De nedfældningssystemer, der i dag er kommercielt tilgængelige til nedfældning i vintersæd, er udviklet til nedfældning i græs. Der er ikke gennemført undersøgelser af, hvor effektivt nedfældning med disse systemer kan begrænse ammoniakfordampningen fra gylle nedfældet i vintersæd. På baggrund af undersøgelser af nedfældning i græs vurderes det, at nedfældning i vintersæd kan begrænse ammoniakfordampningen af den udbragte gylle med mellem 40 og 50 % sammenlignet med slæbeslangeudlægning. En generel udvidelse af nedfældningskravet til vintersæd er estimeret til at kunne begrænse Danmarks samlede ammoniakfordampning med ca. 3.000 tons, svarende til 4,2 % af den nationale ammoniakfordampning. Da nedfældning imidlertid øger energiforbruget og risikoen for udledning af drivhusgassen lattergas, er det estimeret at en generel udvidelse af nedfældningskravet til vintersæd vil øge udledningen af CO₂ med 294.000 tons per år, svarende til ca. 0,5 % af Danmarks samlede udledning af drivhusgasser.

Det lavere ammoniaktab kan øge udnyttelsen af husdyrgødningens kvælstofindhold med 5-7 procentenheder, hvis man antager, at nedfældning ikke giver anledning til øgede køreskader. I praksis, hvor køreskaden skal indregnes, vil nedfældning næppe medføre øgning af kvælstofudnyttelsen.

Nedfældningen med de systemer, der i dag er kommercielt tilgængelige, sker i åbne riller, hvor gyllen efter udbringning stadig har kontakt med luften over gyllen. Nedfældning i vintersæd har derfor begrænset effekt på lugtgenen af gylleudbringning. En effektiv reduktion af lugtgenen kræver, at gyllen dækkes helt med jord.

Nedfældning i vintersæd kan som nævnt medføre tab af udbytte. Tabet afhænger af udbringningsteknik og udbringningsforhold, men er ud fra forsøg med forsøgsudstyr og kommercielt udstyr bestemt til at ligge i intervallet mellem 0,2 og 3,6 hkg per ha, svarende til mellem 28 og 466 kr. per ha. På den baggrund er det vurderet, at nedfældning i vintersæd gennemsnitligt medfører et udbyttetab på ca. 1,8 hkg per ha svarende til 250 kr. per ha. Nedfældning i vintersæd øger derudover omkostningerne til gylleudbringning. Meromkostningen skyldtes primært højere drifts- og investeringsomkostninger, lavere kapacitetsudnyttelser og tab af udbytte.

Nedfældning stiller større krav til vejr- og jordbundsforhold end slangeudlægning. Et vådt forår kan derfor vanskeliggøre eller helt forhindre nedfældning i vintersæd. Antallet af udbringningsdage er derfor væsentligt færre ved nedfældning end ved slangeudlægning i vintersæd, hvilket markant reducerer kapacitetsudnyttelsen af de enkelte nedfældere.

Samlet er det beregnet, at et generelt krav om nedfældning i vintersæd vil medføre årlige meromkostninger for erhvervet på 293 mio. kr. Omregnes de samlede meromkostninger ved et generelt krav om nedfældning i vintersæd til omkostninger per kg sparet tab af ammoniakkvælstof ved ammoniakfordampning, svarer dette til 97 kr. per kg sparet N.

Hvis nedfældning kun skal ske i bufferzonerne I og II (0 – 1.000 m) bliver den årlige meromkostning på landsplan ca. 70 mio. kr., hvis man antager, at meromkostningen per ton vil være den samme, som hvis kravet indføres generelt. Imidlertid vil kapacitetsudnyttelsen kunne øges, hvilket bringer meromkostningen per udbragt mængde ned. Det skønnes derfor, at den årlige meromkostning ved et krav om nedfældning i bufferzoner vil ligge på 50-70 mio. kr.

Vinterhvede er den dominerende vintersædsart og den afgrøde, gyllen normalt tildeles senest om foråret. Vinterhvede er derfor den af vintersædarterne, der har de bedste muligheder for nedfældning i en tilpas afdrænet jord. De andre vintersædsarter, specielt rug, vinterraps og triticale, har så tidlig en vækst, at det optimale nedfældningstidspunkt vil ligge, når jorden normalt ikke er farbar til nedfældningsudstyr.

Siden 2006 er der iværksat flere udviklingsinitiativer med henblik på at udvikle nedfældningssystemer tilpasset nedfældning i vintersæd. Disse initiativer kan potentielt føre til udvikling af nedfældningssystemer, der kan begrænse omkostningerne ved nedfældning, samt sikre en mere effektiv reduktion af miljøgenerne af gylleudbringningen. Udviklingen er dog endnu på et så tidligt stadium, at miljø- og omkostningseffekten af disse udviklingsinitiativer endnu ikke kan vurderes.

Typen og en eventuel forbehandling af gylle påvirker miljøeffekten af nedfældning. Størst effekt af nedfældning er der på gylletyper, der har et højt potentiale for ammoniaktab. Gyllebehandlingsteknologier som separering og forsuring reducerer potentialet for ammoniaktab, og disse teknologier har lige så stor eller større ammoniakbegrænsende effekt end nedfældning. Det bør overvejes at sidestille disse teknologier med nedfældning.

Det nuværende krav om nedfældning i sort jord og græs i bufferzonerne vurderes ikke at medføre alvorlige driftsmæssige problemer. De foreløbige erfaringer viser dog, at nedfældning i græs i det tidlige forår forud for første slæt øger risikoen for jordstruktur- og afgrødeskade. Ligeledes bør der gives mu-

lighed for dispensation for nedfældningskravet på stærkt skrænde græsarealer for at begrænse risikoen for afstrømning af gylle. Det vurderes ligeledes, at de miljømæssige fordele ved nedfældning i græs på tør lerjord er meget begrænsede, idet den hårde jord hindrer en tilstrækkelig dyb nedfældning.

En meget stor andel af den gylle, der tildeles ubevokset jord, udbringes allerede nu med nedfælder. Det vurderes ikke, at der er behov for specielle forbehold om nedfældning i vårafgrøder. Hvis en vårafgrøde skal tilføres gylle, vil gyllen normalt kunne nedfældes inden såning.

Summary

In connection with the political agreement between the government, the Danish People's party and the Danish Social-Liberal Party from June 22, 2006, an agreement on regulation of the demands for application of manure was made. One of the demands of the agreement was that animal slurry shall be injected when applied to un-cropped land and to grass fields situated in buffer zones near vulnerable natural resorts. Besides from 2011 all slurry applied to un-cropped land and grass land should be injected. In connection with the evaluation of the Danish Water Environmental Plan (VMP III) in 2008 the agreements' parties evaluate when similar demands for injection of slurry in winter cereals can be requested. In the light of the above-mentioned, this report provides an evaluation of the technological and financial impact, if the demands for injection of animal slurry are expanded to include injection in winter cereals. Included in that is a professional assessment of the operational, environmental and economic effects by requiring injection of animal slurry into winter cereals.

While an increasing share of the liquid manure in Denmark is injected into un-cropped land and grass, slurry injection in winter cereals does almost not take place. The explanation seems to be that slurry injection to winter cereals causes a line of disadvantages of which the most important are: Application leads to higher application costs and loss of yield due to additional wheel tracks and crop damages caused by the injection devices. The reason for the loss of yield is primarily that injection leads to additional wheel tracks in the field. This is caused by the fact that the working width of injection systems is considerably smaller than the working width of trailing hose application systems. Moreover injection of slurry may increase risks of slurry runoff in hilly areas, and may increase the risk of damage on harvesting machinery on stony areas as well as being problematic when it comes to injection into heavy clay soil.

The injection systems, which today are commercial available for injection into cereal crops are in general developed for injection into grassland. No tests have so far been made about how effective these injection systems abate ammonia emission when used for injection of slurry into winter cereals. However, in the light of tests of the effect of injection in grass land regarding the abatement of ammonia emission, it is estimated that injection in winter cereals may reduce the emission of ammonia from the applied slurry by between 40 and 50 % in comparison with trailing hose application. A general extension of the injection demand to include winter cereals equals a possible limitation of Denmark's total emission of ammonia by 3,000 tons per year, which again corresponds to 4.2 % of the national ammonia emission. However, as injection increases the energy consumption and the risk of emission of the greenhouse gas nitrous oxide, it is estimated that a general extension of the demands of injection to winter cereals will increase the emission of CO₂ with 294,000 tons per year which corresponds to about 0.5 % of Denmark's total emission of greenhouse gases.

The lower ammonia emission can increase the nitrogen use of manure with 5-7 %, if it is assumed that the injection does not increase additional wheel track

damages. In practice – if the wheel track damages are included – injection will hardly lead to an increased utilization of applied slurry nitrogen.

Injection performed by the systems commercial available today means that the slurry is applied into open furrows, which imply that the slurry after injection, is still in contact with the atmospheric air. Therefore, injection in winter cereals has a limited effect on obnoxious smells. To ensure an efficient reduction of obnoxious smells all slurry has to be covered with soil.

As previously mentioned injection in winter cereals may lead to a loss of yield. The loss of yield depends on the injection technique and application circumstances, but is according to tests with test equipment and commercial equipment determined to be in an interval between 0.2 and 3.6 kilo per ha, which corresponds to 3.8-63 Euro per ha. On this basis it is estimated that injection in winter cereals in average leads to a yield loss on 1.8 kilo per ha, which corresponds to 34 Euro per ha. Injection of slurry to winter cereals moreover increases the costs of slurry application. The higher costs are primarily due to higher operating and investment costs, lower utilization of application capacity, and loss of yield.

Injection requires better weather and soil conditions than trailing hose application. Therefore, a wet spring can complicate or even prevent injection to winter cereals. The numbers of application days are considerable fewer if slurry application to winter cereals has to take place by injection compared to by trailing hose application, which fundamentally reduces the capacity use of injectors.

It is estimated that a general demand on injection in winter cereals will cost the agriculture additional 40 million Euros yearly. If the yearly additional costs are recalculated to costs per kilo saved ammonia emitted nitrogen loss, concerning a general demand on injection into winter cereals, this corresponds to 13 Euro per kilo saved nitrogen.

Should injection only be demanded in winter cereals situated in buffer zones I and II (0-1,000 m), the yearly additional cost is 9.5 million Euros nationwide, assuming that the additional cost per ton will be the same as if the demand is introduced in general. However, the capacity use could be increased which causes a lower additional cost per quantity of slurry applied. It is therefore estimated that the yearly additional cost in relation to a demand for injection in buffer zones will be around 6.8-9.5 million Euro.

Winter wheat is the most widespread type of winter cereals and winter wheat is the crop which has the longest period of application in the spring. Therefore, winter wheat is the type of winter cereals which has the best opportunity for injection in a suitable drained soil. The other types of winter crops, especially rye, winter rape and triticale have due their early growth such an early application period that the ground is normally impassable when it comes to injection machinery.

Since 2006 several initiatives have been started in order to develop injection systems suited for injection into winter cereals. The new systems seek to limit the costs of injection and to ensure a more efficient reduction of the environmental impacts of slurry application. However, the development is still at such an early stage that the environmental effects and costs of these technologies not yet can be evaluated.

The type and an eventual pre-treatment of slurry affect the environmental impacts of injection. The highest effect of injection is related to slurry types with a high potential of ammonia loss. Slurry treatment technologies like solid-liquid separation and slurry acidification abate ammonia volatilization, and these technologies have just as high or even higher ammonia limiting effect as injection. It should be considered to compare these technologies with injection.

It is estimated that the present demand on injection into un-cropped land and grass situated inside the buffer zones has not lead to serious operational problems. However, the temporary experiences show that injection in grass in early spring increases the risk of damaging soil structure and crop. An opportunity for exemption concerning the demand of injection in hilly areas should be possible in order to limit the risk of slurry runoff. It is also estimated that the environmental advantages of injection in grass on dry clayey soils are very limited, as the hard soil prevents a sufficient efficient injection.

A high share of the slurry applied to un-cropped soil is today injected. It is not estimated that there is a need for any reservations when it comes to injection of slurry to spring crops. If slurry is to be applied to spring crops, the slurry can usually be injected before sowing.

1 Baggrund

Folketinget vedtog i december 2006 loven om miljøgodkendelse mv. af husdyrbrug. Formålet med loven er at værne om natur, miljø og landskab, så udviklingen af husdyrproduktionen kan ske på et bæredygtigt grundlag (Lov om miljøgodkendelse mv. af husdyrproduktion, 2006). Loven blev blandt andet udarbejdet på baggrund af den politiske aftale mellem regeringen, Dansk Folkeparti og Det Radikale Venstre fra den 22. juni 2006, hvori der indgår aftale om regulering af kravene om udbringning af husdyrgødning. Den politiske aftale beskriver kravene til udbringning af husdyrgødning på følgende måde.

”Der gennemføres per 1. august 2007 et generelt krav om nedfældning af flydende husdyrgødning på sort jord og græsmarker i de nedenfor nævnte bufferzoner I og II (0-1.000 meter). Kravet om nedfældning på sort jord og græsmarker gøres generelt fra 2011. Dermed udvides kravet i takt med, at landbrugsbedrifterne og landets maskinstationer opbygger den nødvendige nedfældningskapacitet. I forbindelse med evalueringen af VMP III i 2008 vurderer aftalens parter, hvornår der kan stilles lignende krav om nedfældning i vintersæd. Vurderingen tager udgangspunkt i, at der er sket en teknologisk udvikling, som har reduceret omkostningerne ved nedfældning i vintersæd i forhold til de nuværende teknologiske muligheder”. (Politisk aftale om den kommende miljøgodkendelse af husdyrbrug, 2006).

På baggrund af ovenstående vil nærværende rapport give en faglig vurdering af de teknologiske og økonomiske muligheder for, at nedfældningskravet kan udvides til også at gælde i forbindelse med udbringning af flydende husdyrgødning til vintersæd. Herunder en faglig vurdering af de driftsmæssige, miljømæssige og økonomiske effekter ved at kræve nedfældning i vintersæd. Desuden vil det blive vurderet, hvilke ændringer med hensyn til de teknologiske, driftsmæssige og økonomiske muligheder, der har fundet sted siden den politiske aftale blev vedtaget den 22. juni 2006.

Rapporten vil desuden søge at beskrive de forventede, fremtidige, teknologiske muligheder for nedfældning i vintersæd og de økonomiske konsekvenser. Herunder en beskrivelse af omkostningerne ved en udvidelse af nedfældningskravet målt i kr. per kg ammoniakbesparelse. Beskrivelsen skal kunne benyttes til en vurdering af, hvornår en udvidelse af nedfældningskravet kan kræves, uden at landbruget bliver pålagt gener og omkostninger, som målt i kr. per kg ammoniakbesparelse vil være dyrere end andre vedtagne virkemidler.

Rapporten vil desuden give en faglig evaluering af det nuværende nedfældningskrav med henblik på eventuelle hensigtsmæssige omformuleringer. I denne evaluering vil der indgå en faglig vurdering af, om nedfældningskravet kan udvides til at omfatte alle forårssæede afgrøder generelt, eller om visse afgrøder med fordel bør undtages.

De driftsmæssige, miljømæssige og økonomiske konsekvenser af et krav til nedfældning i vintersæd vil blive vurderet i forhold til, om skærpelserne gennemføres nationalt, eller om skærpelserne kun gennemføres i bufferzonerne (0-1.000 meter). Ligeledes vil det blive vurderet, i hvor høj grad nedfældning af flydende husdyrgødning i vintersæd kan øge udnyttelsesprocenten af forskellige typer af flydende husdyrgødning.

2 Vurdering af de teknologiske muligheder for nedfældning i vintersæd

2.1 Beskrivelse af nedfældningsteknologien

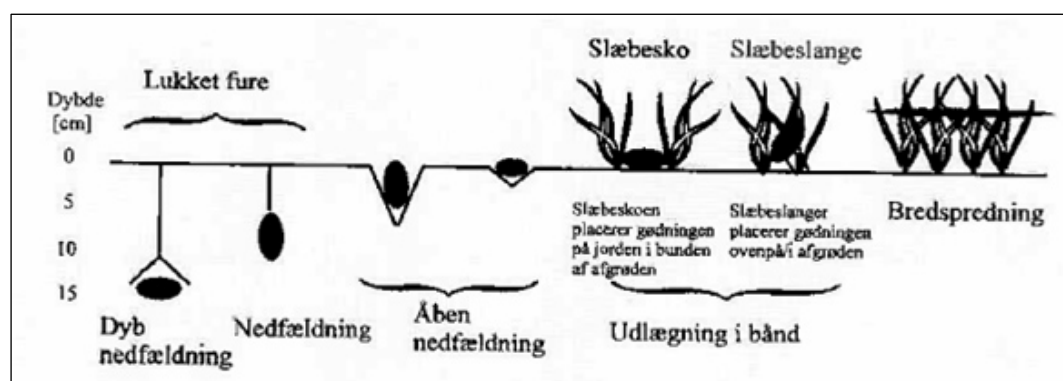
Der findes principielt følgende tre forskellige metoder til udbringning af flydende husdyrgødning (gylle), se figur 1.

1. Bredspredning
2. Slæbeslangeudlægning
3. Nedfældning

Ved bredspredning bliver gyllen fordelt ved at blive kastet op i luften. Gyllen bliver derved "smurt" ud over jordoverfladen og eventuelle afgrøder, hvilket betyder, at gyllen efter udbringning har et meget stort overfladeareal og dermed et stort potentiale for emission af lugt og ammoniak både under og efter udbringningen. Bredspredning var indtil starten af 90'erne den altdominerende udbringningsmetode, men blev ved indførelse af nye udbringningsteknologier og krav om bedre udnyttelse af husdyrgødningens næringsstoffer gradvist erstattet af slæbeslangeudlægning og nedfældningsteknologier. I 2006 blev udbringning ved bredspredning forbudt.

Ved slæbeslangeudlægning placeres gyllen i bånd på jordoverfladen, hvilket begrænser gyllens overfladeareal og dermed potentialet for emission af ammoniak og lugt fra den udbragte gylle. Arbejdsbredden på kommercielle slæbeslangesystemer er normalt 18 til 24 meter. Slæbeslangeudlægning er den altdominerende metode til udbringning af gylle til vintersæd, mens udbringning af gylle til ubevokset jord og græsafgrøder i stigende omfang sker ved nedfældningsteknologier.

Ved nedfældning af gylle indarbejdes gyllen i jorden. Metoden afhænger af, om nedfældningen sker i ubevokset jord (sortjordsnedfældning) eller til afgrøder. Ved sortjordsnedfældning nedfældes gyllen i forholdsvis dybe og brede riller dannet af harvetænder. Dette sikrer, at gyllen nedfældes i lukkede riller, hvilket fører til en betydelig reduktion af ammoniakemissionen og lugtgener (Bang M, 2005).



Figur 1. Illustration af de forskellige udbringningsteknologiers placering af gylle i forhold til jord og afgrøde. Kilde: Petersen 1997.

Sortjordsnedfældning kan imidlertid ikke benyttes i afgrøder. Nedfældning i afgrøder finder derfor normalt sted med nedfældningsudstyr, der skærer eller trykker åbne riller i jordoverfladen, som gyllen efterfølgende placeres i. Placering i åbne riller sikrer normalt ikke en fuldstændig indarbejdning af gyllen. Gyllen er derfor stadig i kontakt med luften over gyllen, og fordampningen af ammoniak og lugtstoffer fra gyllen afhænger af, hvor stor kontaktfladen er mellem gyllen og luften over gylle, som igen afhænger af, hvor effektivt (dybt) gyllen nedfældes. Nedfældning øger trækraftforbruget, den typiske arbejdsbredde ved nedfældning er derfor normalt mellem seks og ni meter.

Der er udviklet en række forskellige systemer til nedfældning af gylle til græsafgrøder (græsmarksnedfældere). Nedfældningssystemet består normalt af rulleskær, der skærer eller trykker riller i jordoverfladen, hvori gyllen efterfølgende placeres. Nedfældning til græs sker normalt til en meget kort afgrøde, enten før vækst i foråret eller umiddelbart efter slæt, hvilket begrænser køre- og afgrødeskaden.

Nedfældning i kornafgrøder stiller andre krav til nedfældningssystemet end nedfældning i græs. Kornafgrøder er normalt højere end græs ved udbringningstidspunktet, og korn er ligeledes mindre fastforankret end græs. Nedfældning i kornafgrøder kan derfor føre til, at planter rives op, slæber på nedfældningsaggregaterne og ødelægges. De ekstra spor, som nedfældningen forudsætter, begrænser udbyttet af afgrøden (Green et al., 2008; Pedersen, 2002, 2004 og 2005). Nedfældning af gylle til kornafgrøder stiller derfor krav om udvikling af nedfælderskær, som i lavest muligt omfang skader afgrøden. Udviklingen skal ligeledes sikre en effektiv nedfældning ved så lavt et trækraftforbrug, at arbejdsbredden kan øges, så antallet af ekstra spor i marken begrænses mest muligt.

De nedfældningssystemer, som er kommercielt tilgængelige i dag, er som hovedregel udviklet til at nedfælde i græsafgrøder. Forskellige typer af skær, som er udviklet til såning eller placering af gødning, kan dog potentielt benyttes til nedfældning i vintersæd. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Agro-Tech og Århus Universitet har gennemført en undersøgelse af forskellige systemer, som potentielt kan benyttes til nedfældning i vintersæd. Resultaterne af testen er samlet i en FarmTest rapport (Høy, 2007). Rapportens hovedkonklusioner er samlet i tabel 1.

Tabel 1. Undersøgelse af forskellige nedfældningssystemers potentiale for at nedfælde gylle i vintersæd. Der blev anvendt en karakterskala fra 1 til 5, hvor 5 er bedst. Vurderingen er udelukkende baseret på en visuel vurdering af nedfældningssystemernes evne til at indarbejde gylle, samt deres påvirkning af afgrøden.

De undersøgte nedfældningssystemer kan ses i figur 2.

Nr.	Navn på nedfældningssystem	Karakter	Bemærkning
1	Fiona/Kultiseeder skiveskær	4	Problemer på tør/hård jord
2	Agrodan bred tand	3	
3	Agrodan bred tand med skiveskær	3	
4	Agrodan smal tand	5	Udviklet til ammoniaknedfældning
5	Agrodan smal tand med vinger	5	Stort slid på vinger
6	Kongskilde tand med slidstål	2	Medfører afgrødeskade
7	Fiona Rex såtand	2	Medfører afgrødeskade
8	Amazone gødningsnedfælderskær	3	Problemer på tør/hård jord
9	Kim tanden fra Thyregod	1	Medfører afgrødeskade

Tabellen viser, at flere af de undersøgte nedfældningssystemer potentielt kan benyttes til nedfældning i kornafgrøder. Ingen af de undersøgte nedfældningssystemer er dog udviklet til kommercielt tilgængelige gyllenedfældningssystemer. Det vurderes, at hovedproblemet ved udvikling af kommercielt tilgængelige nedfældningssystemer, baseret på de undersøgte systemer, er, at trækraftforbruget ved nedfældning vil begrænse arbejdsbredden af nedfældningssystemet, hvilket vil øge antallet af spor i marken og dermed skaden på jordstruktur og afgrøde.



Figur 2. Fotos af nedfældningssystemer, som potentielt kan benyttes til nedfældning i vintersæd. De viste systemer er evalueret med hensyn til deres evne til at kunne sikre nedfældning i afgrøder uden at skade afgrøden. De indsatte tal henviser til nr. i tabel 2. Kilde: Høy, 2007.

2.2 Nuværende udbredelse af nedfældning

Gylle udbringes i Danmark i dag enten ved slæbeslangeudlægning eller ved nedfældning. Slæbeslangeudlægning er stadig den mest udbredte teknik og en spørgeundersøgelse fra 2004 viser, at ca. 68 % af gyllen udbringes med slæbeslanger, mens ca. 32 % nedfældes (Dansk landbrug, 2004). Opgørelsen viser også, at nedfældning er mere udbredt i Jylland end på øerne. Det hænger sammen med, at nedfældning er mest udbredt i forbindelse med kvægbruget, som primært er lokaliseret i Jylland.

Nedfældning finder sted henholdsvis i ubevokset jord (sortjordsnedfældning) og i etablerede afgrøder. Ca. 62 % af nedfældningen fandt i 2004 sted ved

sortjordsnedfældning, mens de resterende 38 % blev nedfældet i afgrøder (Dansk Landbrug, 2004). Langt den overvejende del af nedfældningen til afgrøder finder sted til græs (græsmarksnedfældning), mens nedfældning i vintersæd stort set ikke finder sted (Mogens Kjeldal, pers. kom. 2008).

2.3 Vurdering af vintersædsarealet

Vintersæd er arealer med korn og raps, som etableres om efteråret. Traditionelt regnes vinterhvede, vinterbyg, vinterrug, triticale og vinterraps som vintersæd. Arealerne med vintersæd i Danmark i 2007 er anført i tabel 2.

Tabel 2. Arealer med vintersæd i Danmark i 2007. Opdelt på region og anført i 1.000 ha (Danmarks Statistik, 2008).

Region	Vinterhvede	Vinterbyg	Vinterrug	Triticale	Vinterraps	I alt
Nordjylland	128	27	8	11	28	202
Midtjylland	184	65	9	17	47	321
Syddanmark	189	50	8	10	55	311
Sjælland	155	21	3	3	40	323
Hovedstaden	28	6	3	1	8	46
Hele landet	684	169	30	42	179	1.103
Procent	62	15	3	4	16	100

På bedrifter med svin er det almindeligt, at en betydelig andel af arealet dyrkes med vintersædsafgrøder, fordi udbyttepotentialet er højere end for vårafgrøder, og afgrøderne kan sælges eller fodres op i svinebesætningen. Derimod er det relativt sjældent, at kvægbedrifter har vintersædsafgrøder, da kvægbedrifters arealer udnyttes til dyrkning af grovfoder; typisk græs og majs. Kvægbedrifter anvender kun i mindre omfang vintersæd til helsæd. Det anslås, at 6-10.000 ha vinterhvede anvendes til helsæd (Nielsen, 2008).

Hovedparten af den gylle, som anvendes på vintersæden, er derfor svinegylle. Der findes ingen opgørelser over anvendelsen af husdyrgødning på afgrødeniveau. Ud fra en række data og antagelser er det imidlertid muligt at estimere arealet. Det er gjort i tabel 3.

Tabel 3. Estimeret areal med vintersæd, som gødskes med gylle.

	Svine-gylle	Kvæg-gylle	Enhed	Kilde og bemærkninger
Andel gylle til voksende afgrøder	70	53	Procent	Andelen af den totale gyllemængde, som udbringes til voksende afgrøder. Kilde: Dansk Landbrug, 2004
- heraf til vintersæd	65	10	Procent	Estimeret andel af den totale gyllemængde, som udbringes til vintersæd. Resten udbringes til f.eks. fodergræs, frøgræs og vårbyg efter fremspiring.
Total for Danmark:				
Gyllemængde	18,9	9,6	Mio. ton	Poulsen, 2008
Kvælstofmængde	85.600	54.000	Ton	Poulsen, 2008

Gylle på vintersæd				Beregnet gylle- og kvælstofmængde til vintersæd (65 pct. af 18,9 mio. ton = 12,3 mio. ton).
- Volumen	12,3	1,0	Mio. ton	
- Kvælstofmængde	55.600	5.400	Ton	
Gyllemængde v. 1,4/1,7 DE per ha, norm 2006/07	27,4	32,5	Ton/ha	Beregnet gylledosering ved fuld harmoni. Poulsen, 2008
Andel af fuld harmoni	80	80	Procent	Anslået udnyttelse af harmonigrænsen. Det anslås, at der i gennemsnit tilføres 20 pct. under den maksimalt tilladte mængde.
Gyllemængde i gennemsnit	21,9	26,0	Ton/ha	Beregnet. 80 pct. af 27,4 ton = 21,9 ton pr. ha
Vintersæd med gylle	561.000	37.000	Ha	Beregnet. 12,3 mio. ton/21,9 ton pr. ha = 561.000 ha
Andel af vintersæd	51	3	Procent	Procent af 1.103.000 ha vintersæd

Godt halvdelen af vintersædsarealet i Danmark modtager således gylle, og i alt udbringes ca. 13 mio. ton gylle til vintersæd, hvoraf ca. 93 % er svinegylle. De 13 mio. ton gylle svarer til ca. 45 % af den totale gyllemængde i Danmark og indeholder ca. 61.000 ton kvælstof i alt. En tilsvarende andel af vintersæden, som modtager gylle er beregnet af Knudsen (2008) ud fra dyrkningsoplysninger i KVADRATNETTET.

Estimatet i tabel 2 er beregnet ud fra normer gældende for 2006/2007. De reelle gyllemængder er formentlig højere i praksis, da normerne er beregnet ud fra en meget begrænset tilledning af overfladevand og vandspild. Det har imidlertid ikke indvirkning på estimatet af andelen af vintersæd, der modtager gylle, da både den samlede gyllemængde i Danmark og gyllemængden per ha er estimeret ud fra samme normtal.

Ca. 23 % af landbrugsarealet ligger i 1.000 meter bufferzoner omkring kvælstoffølsomme naturområder (Hørfarter, 2007). Hvis vintersæd er ligeligt fordelt indenfor og udenfor disse bufferzoner, ligger 254.000 ha vintersæd i bufferzoner, og de modtager 3,0 mio. ton gylle. Imidlertid vil vintersæd formentlig være underrepræsenteret i bufferzonerne, da det må antages, at blandt andet vedvarende græs er overrepræsenteret.

2.4 Fordele og ulemper ved nedfældning

Nedfældning af gylle har en række fordele og ulemper i forhold til slæbeslangeudlægning. Disse vil blive beskrevet nærmere i de følgende afsnit, men her vil der blive givet en kort oversigt.

Fordele ved nedfældning sammenlignet med slæbeslangeudlægning:

- Lavere emission af ammoniak og lugt.
- Højere udnyttelsespotentiale af husdyrgødningens kvælstofindhold.

Ulemper ved nedfældning sammenlignet med slæbeslangeudlægning:

- Større behov for trækraft og dermed større forbrug af fossilt brændstof og højere CO₂ udledning.

- Mindre arbejdsbredde og dermed flere spor i marken med skader på afgrøde og jordstruktur til følge.
- Højere pris for udbringningssystem.
- Højere slitage og vedligeholdelsesomkostninger.
- Kortere udbringningsperiode, hvilket øger kravet til udbringningskapacitet.
- Forøgelse af gyllevognens egenvægt, hvilket begrænser udbringningskapaciteten.
- Kan medføre skade på afgrøden via ødelæggelse af stængel, blade og rødder.
- Højere risiko for stenskader i forbindelse med høst.
- Højere risiko for udledning af drivhusgassen lattergas.

At nedfældning af gylle til vinterafgrøder fører til henholdsvis fordele og ulemper betyder, at de miljømæssige, driftsmæssige og økonomiske konsekvenser af et krav om nedfældning skal vurderes i et samlet perspektiv. I det følgende er det forsøgt at give en samlet, faglig vurdering af henholdsvis miljømæssige-, driftsmæssige- og økonomiske konsekvenser af, at nedfældningskravet udvides til også at gælde for udbringning af flydende husdyrgødning til vinterafgrøder, henholdsvis i bufferzoner og nationalt.

3 Driftsmæssige aspekter

Nedfældning af gylle i vintersæd har en række positive og negative indvirkninger på driften. Potentielt øges udbyttet og kvælstofudnyttelsen, men teknologiens begrænsninger blandt andet betyder, at den potentielle udbyttestigning modsvares af en endnu større udbyttereduktion på grund af køre- og afgrødeskade.

3.1 Afgrødeskade og køreskade

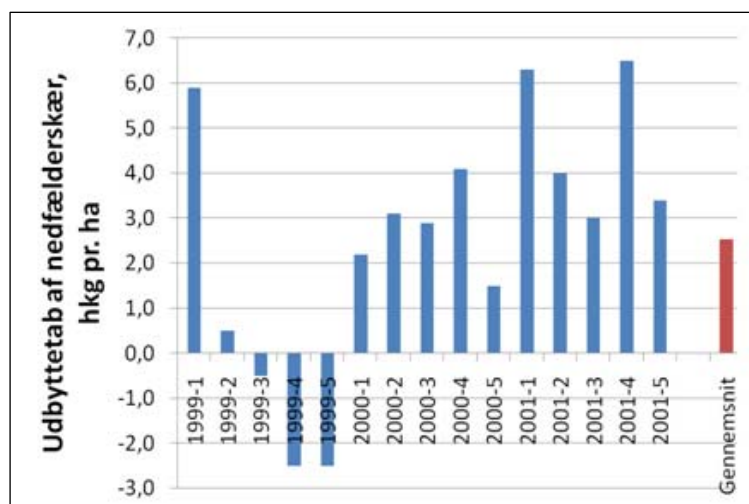
Ved traditionel udbringning af gylle med slæbeslanger i vintersæd er afgrøden i praksis upåvirket af, at slæbeslangerne passerer hen over afgrøden. Samtidig er bombredden så stor (18-24 meter), at gyllevognen kan nøjes med at køre i de etablerede kørespor, som primært anvendes til planteværn. Det er således normalt at anvende ens bombredden på gyllevogn og marksprøjte. Afgrødeskaden ved slangeudlægning er afgrænset til den ekstra trafik med ekstra brede dæk, som gylleudbringning giver anledning til i køresporerne.

Ved nedfældning er afgrødeskaderne større af to årsager: Dels giver jordbearbejdningen med nedfælderskærerne anledning til en vis mekanisk beskadigelse af planterne, og dels er bombredden mindre (8-12 meter), hvilket giver anledning til, at det ikke er tilstrækkeligt at køre i de etablerede kørespor, og at køreskaderne derfor bliver større.

3.1.1 Afgrødeskade

I Landsforsøgene 1999-2001 blev der gennemført 15 forsøg med nedfældning af svinegylle til vinterhvede. I forsøgene blev afgrødeskaden undersøgt ved at trække nedfælderskæret gennem afgrøden i et forsøgsled uden at tildele gylle. Der blev i stedet tildelt 100 kg N i handelsgødning per ha, og udbyttet sammenlignet med et tilsvarende forsøgsled uden "nedfældning". I forsøgene blev der anvendt en smal Agrodantand med skiveskær, og arbejdsdybden var seks til otte cm. Udbyttetabet er alene et udtryk for nedfælderskæret skade, da der ikke er kørt i parcellerne. Resultaterne af de 15 forsøg kan ses i figur 3.

I gennemsnit af de 15 forsøg var der et udbyttetab på ca. 2,6 hkg per ha forårsaget af nedfældertændernes mekaniske skade på afgrøden. Skaden har sandsynligvis været lidt større, end man kan forvente i praksis, da nedfældningen er sket på tværs af agerretningen.

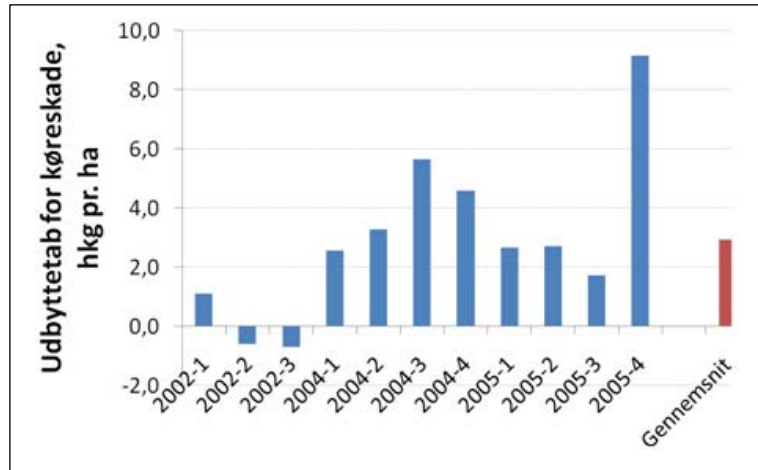


Figur 3. Udbyttetab forårsaget af nedfældertænder ved nedfældning af gylle i vinterhvede (Pedersen, 2001).

I Landsforsøgene 2006 og 2007 har det været forsøgt at nedfælde svinegylle præcist imellem sårækkerne i vinterhvede. Der er afprøvet forskellige koncepter til udsåning af vinterhvede, så der skabes tilstrækkeligt plads til nedfældertænderne, men ingen af de afprøvede koncepter har resulteret i et højere udbytte end ved traditionel nedfældning. Én af grundene er, at en ændring af konceptet for såning, så der skabes mere plads for nedfældertænderne i sig selv, giver et lavere udbytte end traditionel såning (Pedersen, 2006 og 2007).

3.1.2 Køreskade

Ved nedfældning af gylle i vintersæd skal der typisk køres i de etablerede kørespor og dertil en til to gange mellem køresporene. Derfor er antallet af spor to til tre gange så mange som for slangeudlægning, hvor der alene køres i køresporene. I Landsforsøgene 2002, 2004 og 2005 er der gennemført 11 forsøg med nedfældning af svinegylle til vinterhvede. Forsøgene blev udført med anvendelse af kommercielle nedfældere og slangeudlægger fra maskinstationer. Forsøgene blev designet sådan, at det var muligt at kvantificere den ekstra køreskade, som nedfældning forårsager i forhold til slangeudlægning. I opgørelsen er der regnet med en arbejdsbredde på otte meter for nedfældning og 16 meter for slangeudlægning. Resultaterne er alene et udtryk for køreskaden og er eksklusiv den skade, som nedfælderskærene forårsager. Resultaterne er vist i figur 4. I gennemsnit af de 11 forsøg har køreskaden ved nedfældning været 2,9 hkg per ha større end ved slangeudlægning. Køreskaden ved slangeudlægning har i øvrigt været 2,9 hkg per ha større end ved kun at anvende køresporene til plantebeskyttelse (ikke vist i figuren).



Figur 4. Udbyttetab forårsaget af køreskader ved nedfældning af gylle i vinterhvede (Pedersen, 2002, 2004 og 2005).

Det samlede udbyttetab ved nedfældning har i gennemsnit være 5,5 hkg per ha i forhold til slangeudlægning (2,6 hkg per ha for afgrødeskade og 2,9 hkg per ha for køreskade).



Figur 5. Ved nedfældning hæmmes afgrøden mellem køresporerne af hjultrykket. I forsøg er køreskaden opgjort til 2,9 hkg per ha mere end ved slangeudlægning. Foto: Jens Johnsen Høy, AgroTech.

3.2 Trækraftbehov

Nedfældning af gylle sker ved at gyllen placeres i riller i jorden. Rillerne dannes ved, at nedfældningsskær påmonteret en nedfælderbom skærer eller trykker riller i jordens overflade, hvilket øger trækraftforbruget. Trækraftbehovet, og dermed også energiforbruget, er derfor højere ved nedfældning end ved overfladeudbringning med slæbeslanger.

Trækraftbehovet ved nedfældning afhænger af nedfældningsdybden, nedfældningssystemets udformning og af jordens type og vandindhold, hvilket gør det svært præcist at kvantificere det forøgede trækraftforbrug ved nedfældning. En dansk undersøgelse har beregnet, at nedfældning i græs, afhængig af nedfældningsdybden, øger brændstofforbruget med mellem 1,8 og 4,7 liter per ha, hvilket svarer til en øget CO₂ udledning på mellem 5,6 og 14,5 kg CO₂ per ha. (Hansen et al., 2003). I samme undersøgelse er det estimeret, at det øgede brændstofforbrug ved overgang fra overfladeudlægning af gylle til nedfældning af gylle vil øge landbrugets CO₂ udledning med mellem 0,3 og 0,7 %. En anden dansk undersøgelse har vist, at det ekstra energiforbrug ved nedfældning i vinterhvede udgør ca. 600 Newton per nedfælderskær ved nedfældning i mellem 5 og 10 cm dybde (Nyord & Hansen, 2008), hvilket er lidt højere end det målte ekstra energiforbrug ved nedfældning i græs (200 – 600 N per nedfælderskær). Det vurderes derfor, at det ekstra energiforbrug ved overgang fra overfladeudbringning til nedfældning vil øge landbrugets CO₂ udledning med lidt under 1 %. Da lidt under halvdelen af den danske gylle udbringes til vintersæd (tabel 3) er det estimeret, at det ekstra energiforbrug ved overgang fra overfladeudbringning til nedfældning i vintersæd vil øge landbrugets samlede årlige CO₂ udledning på 9.880.000 tons (DMU, 2007) med lidt under 0,5 %, svarende 49.000 tons CO₂ per år.

Det øgede trækraftbehov ved nedfældning har derudover væsentlig indflydelse på nedfælderens arbejdsbredde, idet det øgede trækraftbehov begrænser nedfælderens arbejdsbredde. Bredden af nedfældere er derfor i dag typisk mellem seks og ni meter, mens slæbeslangeudlæggere typisk har en arbejdsbredde på 18 eller 24 meter. Den lavere arbejdsbredde ved nedfældning begrænser udbringningskapaciteten og øger antallet af spor i afgrøden betydeligt, hvilket reducerer udbyttet og skader jordstrukturen (Green et al., 2008). Der er derfor et forsknings- og udviklingsarbejde i gang med henblik på at udvikle nedfældersystemer med lavest mulige trækraftbehov. Dette behandles nærmere i de følgende afsnit.

3.3 Nedfældningseffektivitet

Nedfældningen begrænser overfladearealet af den udbragte gylle. En effektiv nedfældning sikrer, at alt gyllen kan rummes i de dannede nedfældningsriller, hvorimod en mindre effektiv nedfældning betyder, at kun en mindre del af den udbragte gylle indarbejdes i jorden, mens den resterende mængde placeres på jordoverfladen. Fordampningen af ammoniak og lugt afhænger i høj grad af gyllens overfladeareal, og derfor også i høj grad af, hvor effektivt gyllen nedfældes. En undersøgelse af sammenhængen mellem nedfældningseffektivitet og ammoniakfordampningen har vist, at mens en meget effektiv nedfældning var i stand til at reducere ammoniakfordampningen med 75 %, reducerede en mindre effektiv nedfældning kun ammoniakfordampningen med 20 % i forhold til overfladeudlægning med slæbeslanger (Hansen et al., 2003). Højere nedfældningseffektivitet øger imidlertid energiforbruget ved nedfældning (Huijsmans et al., 1998; Hansen et al., 2003). Det er derfor centralt, at der sker en udvikling af nedfældningsudstyr, der kan sikre en effektiv nedfældning med lavest mulige energiforbrug.

3.4 Jordtype (herunder stenede og hældende arealer)

Al erfaring tyder på, at det er lettere at nedfælde gylle på sandjord end på lerjord. Årsagen er, at lerjorden er hårdere at bearbejde, og dermed er det vanskeligere og mere kraftkrævende at trykke nedfælderskærene i jorden. Det gælder især på en tør jord. Nyord & Hansen (2008) har vist i et forsøg, at det krævede ca. dobbelt så meget kraft at presse en nedfældertand ned i lerjord som ned i sandjord, og at det krævede ca. dobbelt så meget trækraft at trække nedfældertanden gennem jorden på lerjord end på sandjord. Erfaringer med nedfældning af kvæggylle på græsmarker viser, at jorden kan være så hård, at det er umuligt at presse et nedfælderskær i jorden. Det gælder især, hvis jorden er tør, hvad den ofte er efter første og anden slæt græs. Det vurderes, at det generelt vil være lettere at presse nedfælderskæret i jorden i vintersæd, da jorden dels er løsere end i græs, og dels vil nedfældning typisk ske på et tidspunkt, hvor jorden stadig er fugtig.

Jorden mellem køresporene er ikke på forhånd fastkørt af trafik med marksprøjte og handelsgødningsspreder, som den er i køresporene. Før jorden er ordentlig farbar, er risikoen for ødelæggende dybe spor ("skyttegrave") og fastsidning væsentlig større mellem køresporene end i køresporene. Derfor kan man ikke gå på kompromis med jordens farbarhed ved nedfældning. Stenede arealer udgør et særligt problem ved nedfældning af gylle af flere grunde:

- For at opnå en acceptabel udbringningskapacitet i praksis sker udbringningen med en vis hastighed (8 til 10 km per time). Når nedfælderskæret rammer en sten, øges slitagen og risikoen for havari.
- Når nedfælderskæret rammer en sten, løftes skæret ud af jorden, og gyllen efterlades på jordoverfladen, indtil skæret igen kommer i jorden.
- Ofte vil den sten, som rammes, blive trukket op af jorden og efterladt på jordoverfladen. Det øger risikoen for havari af mejetærskeren ved høst. Denne risiko tillægges særdeles stor betydning i praksis. Risikoen er større ved anvendelse af nedfældertænder end ved anvendelse af nedfælderskær.



Figur 6. Især nedfældertænder, men også nedfælderskær, kan løfte sten op af jorden, hvor de udgør en risiko for havari af mejetærskeren ved høst. Billedet viser en sten, som er løftet op af jorden ved nedfældning i Landsforsøg i vinterhvede. Foto: Torkild Birkmose, Landscentret.

Skrånende arealer udgør et andet problem, da nedfælderskæret kan skabe "kanaler", hvori gyllen kan strømme mod de lavtliggende områder i marken. Især skiveskær kan danne kanaler, fordi skæret danner en åbenstående V-formet rende, og gyllen dækkes ikke efterfølgende med jord. Dertil kommer, at skiveskæret glitter jorden på siderne af renden, så strømningsmodstanden minimeres. Erfaringer fra en FarmTest viser, at også nedfældertænder kan skabe kanaler og det på trods af, at gyllen delvist dækkes med jord (Høy, 2007). Afstrømningen kan potentielt øge risikoen for at gyllens næringsstoffer når vandmiljøet via overfladeafstrømning. Afstrømningen kan begrænses ved at køre parallelt med højdekurverne, hvis markens topografi muliggør dette.

Mens nedfældning således potentielt kan øge risikoen for at gyllens næringsstoffer (herunder fosfor) i specifikke situationer kan afstrømme via jordoverfladen til vandmiljøet, indikerer laboratorieundersøgelser, at nedfældning kan begrænse nedsivningen af fosfor i lerholdige jorder (Glæsner et al, In press). Nedfældning kan således både have en positiv og en negativ effekt på udvaskningen af fosfor til vandmiljøet, hvilket betyder at netto effekten ikke kan fastlægges.

3.5 Teknologiske ændringer siden 2006

Før 2006 har der ikke været speciel fokus på udvikling af teknologi til udbringning af gylle i vintersæd. Vurderingen har været, at den potentielle, driftsøkonomiske gevinst ved nedfældning i stedet for slangeudlægning har været for beskednen i forhold til ulemperne. Markedet for nedfældning blev anset som værende for lille til at iværksætte et udviklingsarbejde.

Siden 2006 har der været øget fokus på muligheder og begrænsninger ved nedfældning i vintersæd. Denne fokus er blandt andet affødt af den politiske udmelding, som kom i den aftale om miljøgodkendelser fra 22. juni 2006. Dertil kommer et stigende ønske fra landbruget om at kunne reducere lugtgenerne i forbindelse med udbringning af gylle om foråret. En betragtelig andel af lugtgenerne stammer netop fra gylle udbragt på vintersæd. Lugtgener i forbindelse med gylleudbringning anses for værende særdeles skadelige for landbruget image blandt lokalbefolkningen.

Selv om maskinbranchens interesse for nedfældning af gylle i vintersæd har været stigende siden 2006, er det alligevel begrænset, hvad der hidtil er kommet på det kommercielle marked. Producenternes og importørernes interesse har rettet sig mod tre forhold, som især reducerer afgrøde- og køreskaden ved nedfældning i vintersæd:

1. Øgning af arbejdsbredden (udvikle bredere bomme).
2. Udvikle nedfældertænder eller -skær, som dækker gyllen, og som er egnet til vintersæd.
3. Reducere marktrykket forårsaget af udbringningsudstyret.

Nedenfor er vist en række eksempler på udvikling, som understøtter ét eller flere af ovennævnte elementer.

3.5.1 Bremseskær fra Harsø Maskiner

Harsø Maskiner har udviklet et bølget skiveskær, som via et kædetræk og en gearkasse er forbundet med et bærehjul, som løber på jorden. Gearret sørger for, at bølgeskæret kun løber med halv hastighed i forhold til nedfælderens fremdrift, og bølgeskæret "pløjer" derved en 4-7 cm dyb og 2-3 cm bred rende i jorden, hvori gyllen placeres. Rendes kanter er ikke glittede, og løs jord falder sammen over gyllen i renden. Det sikrer en hurtig infiltration i jorden, og at gyllen ikke løber i renderne. Nedbremsningen betyder, at skæret pløjer sig i jorden, og jordsøgningen er derfor bedre end for et traditionelt skiveskær, som skal trykkes i jorden.



Figur 7. Bremseskær fra Harsø Maskiner. Via en gearkasse bremses det forreste gummi hjul (til venstre) det bageste bølgeskær ned til halv hastighed, og der pløjes en 4-7 cm dyb og 2-3 cm bred rende, hvori gyllen placeres. Foto: Torkild Birkmose, Landscentret.

3.5.1.1 14,4 meter nedfælderbom fra Harsø Maskiner

Bremseskærerne vist overfor har hidtil kunnet leveres på nedfældere med en arbejdsbredde på 9 eller 12 meter. I 2008 har firmaet oplyst, at arbejdsbredden kan forøges til 14,4 meter (Christensen, 2008). Nedfælderens er bugseret, og det er muligt at afmontere nedfælderens i marken, så man undgår at transportere nedfælderens til og fra gyllebeholderens. Af- og påmontering kan fjernstyres, så piloten ikke skal forlade førerhuset.



Figur 8. 12 meter bred nedfælderbom fra Harsø Maskiner. Nedfældereren er bugseret, og den kan efterlades i marken under genfyldning af vognen, så vejtransport minimeres. Foto: Torkild Birkmose, Landscentret.

3.5.2 16 meter bom med slæbesko fra Slootsmid

Tipsmark Maskinstation ved Struer har importeret en bom med en arbejdsbredde på 16 meter fra Slootsmid i Holland. Bommen er forsynet med slæbesko, som presses 2-4 cm i jorden af en bladfjeder. Slæbeskoen danner en rende, som fyldes med gylle. Ofte er renden imidlertid så overfladisk, at den ikke kan rumme den doserede gylle, og gyllen vil også løbe ud på jordoverfladen. De forholdsvis glittede render betyder, at gyllen på skrående arealer kan flyde mod lavtliggende områder.



Figur 9. 16 meter bom fra Slootsmid i Holland. Bommen er forsynet med slæbesko. Foto: Torkild Birkmose, Landscentret.

3.5.3 16,5 meter nedfælder monteret på bugseret slangetromle fra Agrometer

Agrometer har udviklet en bugseret slangetromle, som via pumpe og rør forsynes med gylle fra gyllebeholderen. Arbejdsbredden er på 12 eller 16,5 me-

ter. Slangen lægges ud mellem køresporerne ved udkørsel i ét kørespor, og returkørsel sker i næste kørespor, idet en styrearm flytter slangen over i modsatte side af tromlen. På den måde udlægges gylle både under udrulning af slangen og under indrulning. Bommen kan leveres med enten slæbesko eller rulleskær. Pumpning via slanger til nedfælder giver den fordel, at vægten af udbringningsudstyret reduceres i forhold til traditionelle gyllevogne. Behovet for trækraft reduceres også.



Figur 10. Bom på 12 eller 16,5 meter fra Agrometer. Kan leveres med enten slæbesko eller rulleskær. Foto: Agrometer.

3.5.4 DGI-nedfælder (produceres ikke længere)

RKM Agro producerede en såkaldt DGI-nedfælder (Direct Ground Injection). Systemet fungerer ved, at gyllen sættes under et tryk på 8-10 bar, og gyllen spules ned i jorden. Derved blandes gyllen med jord, hvilket skulle reducere ammoniakfordampning og lugtgener i forhold til slangeudlægning. Landsforsøg viste, at kvælstofeffekten efter skiveskærsnedfældning og DGI-nedfældning var på samme niveau (Pedersen, 2004 og 2005). Erfaringerne med systemet er, at behovet for pumpekraft er stort og slitagen betydelig. Systemet produceres ikke længere.



Figur 11. DGI-nedfælder, som spuler gyllen ned i jorden under højt tryk. Nedfældereren produceres ikke længere. Foto: Torkild Birkmose, Landscentret.

3.5.5 Biocover fra Thyregod

Thyregod har udviklet og patenteret et system, som dækker slangeudlagt gylle med et lag af forsuret skum. Systemet er ikke et nedfældningssystem, men et slæbeslangesystem, hvor ammoniakfordampningen søges begrænset ved at overdække den overfladeudlagte gylle med forsuret skum (se figur 12). Skummet dannes og stabiliseres ved, at 5 % af gyllen tilsættes svovlsyre og sulfakat. Skummet lægges ud over de 95 % af gyllen, som er ubehandlet. Systemet er endnu ikke kommercielt tilgængeligt og effekten på ammoniakfordampningen er endnu ikke endeligt dokumenteret. Et enkelt forsøg ved Aarhus Universitet har dog vist en betydelig reduktion i ammoniakkoncentrationen over udbragt gylle, som manuelt var overdækket med forsuret skum. En måling af ammoniakfordampningen over ca. 4,5 døgn ved Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet er gennemført i efteråret 2008. I forsøget blev ammoniakfordampningen bestemt fra gylle, der blev behandlet med syre og syre+skum i forbindelse med udbringning med en forsøgsudlægger. Resultaterne af forsøget er endnu ikke publiceret, men de foreløbige resultater viste følgende: ”**Emissionsresultaterne er meget klare, og der er ingen tvivl om, at både tildækning af ubehandlet gylle med syre alene og syre og skumblanding reducerede ammoniakfordampning markant fra den ubehandlede gylle. Fordampningen er reduceret med ca. 85 % ved tildækning med syre eller syre + skum**” (Nyord, pers. com, 2008).

Endnu er erfaringerne med systemet begrænsende, men det forventes, at det markedsføres kommercielt i 2009.



Figur 12. Biocover fra Thyregod. En forsuret og stabiliseret skum dannet af gylle lægges over den slangeudlagte gylle. Foto: Thyregod.

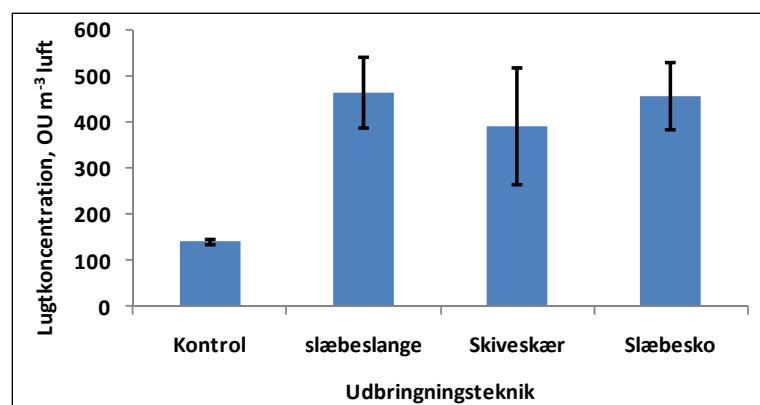
4 Miljømæssige effekter af nedfældning

Nedfældning af gylle kan som nævnt medføre en række miljømæssige fordele i form af lavere fordampning af ammoniak og lugt fra den udbragte husdyrgødning. Nedfældning kan dog også føre til uønskede miljøeffekter i form af højere udledning af drivhusgassen lattergas. Disse forhold vil blive nærmere omtalt i de følgende afsnit.

4.1 Lugt

Den lugtreducerende effekt af gyllenedfældning er blevet undersøgt i danske og udenlandske undersøgelser. En dansk undersøgelse fandt, at nedfældning imellem 8 og 12 cm dybde i korn reducerede lugten over gyllen til mindre end 20 % af lugtkoncentrationen over gylle udbragt med slæbeslange (Nyord & Hansen, 2008). Forsøget blev gennemført ved brug af en forsøgsnedfælder. Udenlandske undersøgelser udført med forsøgsnedfældere har vist, at nedfældning i 13 cm dybde i vinterafgrøder kan begrænse lugtemissionen til mellem 30 og 10 % af lugtemissionen fra bredspredt gylle (Hanna et al. 2000), mens nedfældning i 5 til 8 cm dybde begrænsede lugtemissionen til ca. 40 % af lugtemissionen fra gylle udbragt på jordoverfladen (Moseley et al., 1998).

Nedfældning ved brug af de nedfældningssystemer, der i dag er kommercielt tilgængelig, er dog ikke i stand til at sikre en så effektiv nedfældning som ovenfor skitseret. Nedfældning af gylle i vinterafgrøder med kommercielle gyllenedfældere har i en dansk undersøgelse vist sig at kunne begrænse emissionen af udvalgte lugtstoffer til mellem 50 og 80 % sammenlignet med slæbeslangeudlægning (Bang M., 2005). En tilsvarende engelsk undersøgelse fandt derimod, at nedfældning til vinterhvede med en kommerciel nedfælder ikke førte til lavere lugtgener end gylle udbragt med slæbeslange (Pahl. et al., 2001).

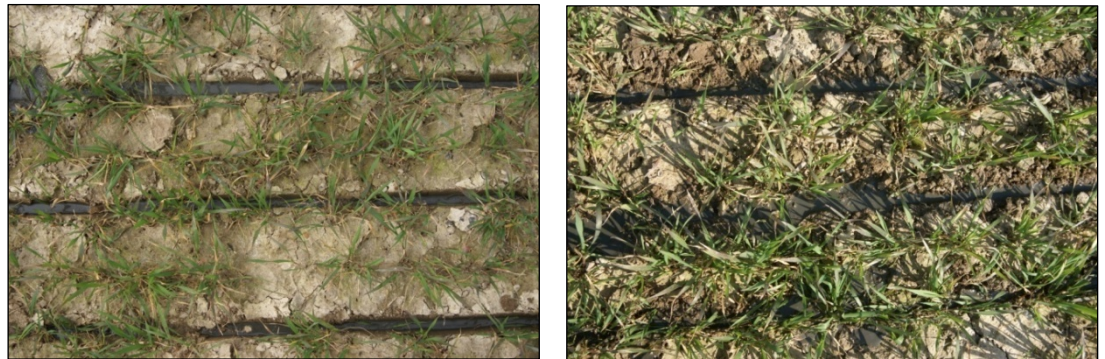


Figur 13. Lugtkoncentrationen over svinegylle udbragt i vinterhvede med henholdsvis slæbeslange og ved nedfældning med henholdsvis skiveskær og slæbesko. Kontrol er lugtkoncentrationen over jord, der ikke er tilført

gylle og fejl linjerne øverst på kolonnerne viser standardafvigelsen af tre gentagelser (SE).

I foråret 2008 gennemførte Landscentret for Planteproduktion og AgroTech en undersøgelse af lugtreduktionen ved nedfældning af gylle i vinterhvede. Undersøgelsen blev gennemført ved brug af kommercielt nedfældningsudstyr. Undersøgelsens resultater viste, at nedfældning med henholdsvis skiveskær og slæbesko ikke signifikant reducerede lugtgenen af gylle udbragt i vinterhvede sammenlignet med slæbeslangeudlagt gylle (figur 13) (Hansen & Birkmose, 2008).

Nedfældning med skiveskær og slæbesko danner begge en V-formet rille i jorden, som gyllen efterfølgende placeres i. Begge typer kan potentielt benyttes til nedfældning i kornafgrøder, men ingen af typerne kan forventes at nedfælde gyllen dybere end ca. 5 cm. Gyllen fylder derfor de dannede riller og forbliver i kontakt med luften over gyllen. Gyllens lugtstoffer kan derfor stadig passere relativt uhindret fra gyllen til luften over gyllen, hvilket forklarer nedfældningens begrænsede effekt på lugtgenen.



Figur 14. Fotos af gylle nedfældet til vintersæd med henholdsvis skiveskær (tv) og slæbesko (th). Gyllen forbliver efter nedfældningen i kontakt med luften over gyllen. Fotos: Torkild Birkmose, Landscentret.

Undersøgelserne viser, at lugten fra udbragt gylle potentielt kan begrænses ved nedfældning. Det vurderes dog, at nedfældningseffektiviteten af de nedfældningssystemer, der i dag er kommercielt tilgængelige til nedfældning i vintersæd, ikke er tilstrækkelig til at sikre en effektiv begrænsning af lugtgenen. Der er derfor behov for, at der sker en udvikling af nedfældningssystemer til nedfældning i vintersæd, for at sikre en effektiv begrænsning af lugtgenen ved udbringning af gylle.

4.2 Ammoniakfordampning

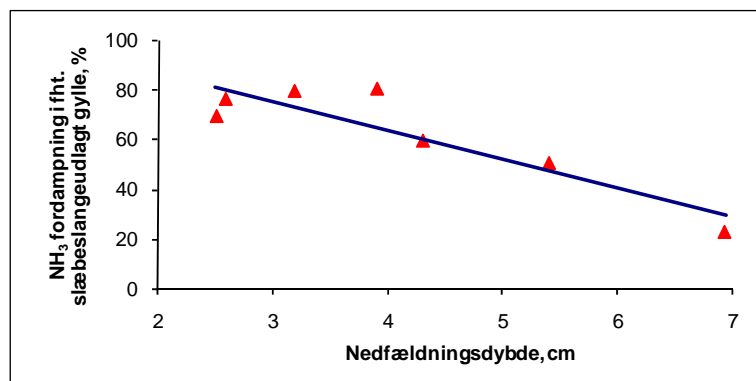
Ved nedfældning sker der en indarbejdning af gylle i jorden, hvilket begrænser gyllens kontakt med luften over gyllen og dermed potentialet for tab af ammoniak. Reduktionen i tabet af ammoniak ved nedfældning er blevet undersøgt i en række danske og udenlandske forsøg.

Som det ses i tabel 4 kan ammoniakfordampningen fra udbragt gylle begrænses ved nedfældning. Undersøgelserne er typisk gennemført i forbindelse med

nedfældning i græs, hvor man har fundet, at nedfældning, afhængig af nedfældningsdybden, reducerer ammoniakfordampningen med mellem 20 og 80 % sammenlignet med slæbeslangeudlægning. Det vurderes, at reduktionspotentialet ved nedfældning i kornafgrøder vil være lidt højere end reduktionspotentialet ved nedfældning i græs, da jord i kornafgrøder generelt yder mindre modstand for nedfældning end jord i græsafgrøder. De gennemførte undersøgelser er dog typisk gennemført ved brug af forsøgsnedfældere med en arbejdsbredde på 2 til 3 meter, der generelt er i stand til at sikre en mere effektiv nedfældning af gylle, end de kommercielle nedfældningssystemer, der i dag er på markedet. Dette er centralt, idet effektiviteten af nedfældningen har stor betydning for reduktionen af ammoniaktabet. Figur 15 viser sammenhængen mellem nedfældningsdybden og reduktionen af ammoniaktabet sammenlignet med slæbeslangeudlægning i græs.

Tabel 4. Reduktion af ammoniaktab ved nedfældning af gylle sammenlignet med slæbeslangeudlægning og bredspredning.

Kilde	Afgrøde	Nedfældnings-system	Nedfældningsdybde	Reduktion ift. slæbeslange, %	Reduktion ift. bredspredning, %
Balsari et al., 2005	Stub	Tandskær	10	72-83	
Dobbelaere and Maton, 1992	Græs	Tandskær	5-8		90
Hansen et al., 2003	Græs	Tand/-skiveskær	3-7	20-75	
Huijsmans et al., 2000	Græs	?	?	70	
Lorenz et al., 1997	Græs	?	5		90
Misselbrook et al., 1996	Græs	Tandskær	6		40-79
Misselbrook et al., 2002	Græs	Tand/-skiveskær	?		73
Misselbrook et al., 2002	Stub	Tandskær	?		23
Mattila & Joki-Tokola, 2003	Græs	Tandskær	8-10	> 80	> 80
Pahl et al., 2001	?	?	?		84
Rubaek et al., 1996	Græs	Tandskær	5	47-72	
Smith et al., 2000	Græs	Skiveskær	5	32	58
Vandre et al., 1997	Hvede	Tandskær	?		Ca. 50
Wulf et al., 2002	Græs	?	?	50	70
Peel et al., 1997	Græs	?	?		28
Huijsmans et al., 1997	Græs	Tand/-skiveskær	?		55



Figur 15. Reduktion af ammoniakfordampningen ved nedfældning sammenlignet med slæbeslangeudlægning af kvæggylle til græs. Reduktionsprocenten er bestemt ved forskellige nedfældningsdybder. Kilde: Hansen et al., 2003.

De kommercielle nedfældningssystemer, der i dag er tilgængelige til nedfældning af gylle i kornafgrøder, vurderes at kunne nedfælde gyllen i maks. 4 til 5 cm dybde. Det vurderes derfor, at nedfældning i kornafgrøder vil kunne begrænse ammoniaktabet med mellem 40 og 50 % sammenlignet med slæbeslangeudlægning. Ved at benytte dette reduktionspotentiale er reduktionen af den nationale ammoniakfordampning beregnet ved forskellige krav om nedfældning i vintersæd (tabel 5).

Tabel 5. Reduktion af ammoniakfordampningen ved ændring af nuværende praksis med slæbeslangeudlægning i vintersæd ved et generelt krav om nedfældning i vintersæd eller i vintersæd lokaliseret i bufferzoner I og II (1.000 m).

	Enhed	Slæbeslangeudlægning i vintersæd	Nedfældning i vintersæd	Nedfældning i vintersæd i bufferzoner
Areal	Ha	564.600	564.600	129.540
Gyllemængde slæbeslangeudlagt	Mio.ton	13,3	0	10,3
Gyllemængde nedfældet	Mio. ton	0	13,3	3,0
NH ₃ tab fra gødsket areal	Ton	6.708	3.687	6.030
Reduktion af NH ₃ tab fra gødsket areal	%	0	45	10
Reduktion af NH ₃ tab fra gødsket areal	Ton	0	3.021	678
Reduktion af NH ₃ tab fra husdyrgødning	%	0	5,6	1,3
Reduktion af national NH ₃ tab	%	0	4,2	0,9

4.3 Lattergas

Ved nedfældning indarbejdes gyllen i jordfasen, hvilket influerer på iltforholdene i og omkring gyllen og på omsætningen af gyllens næringsstoffer. De ændrede iltforhold kan medvirke til at øge udledningen af drivhusgassen lattergas (N₂O) fra den udbragte gylle. Lattergas er en vigtig drivhusgas, idet dens globale opvarmningspotentiale er 310 gange højere end drivhusgassen CO₂. Lattergas udledt fra landbrugsjord er den største kilde til udledning af drivhusgasser fra landbrug (DMU, 2007).

Lattergassen dannes ved en række biokemiske processer, som er stærkt afhængige af jordens fysiske forhold, herunder vandmætning, ilt tilgængelighed, temperatur og bonitet (Béline et al., 1999; Sommer et al., 1996; Chadwick, 1997; Clemens et al., 1997). Produktionen af lattergas fra udbragt gylle varierer derfor stærkt fra undersøgelse til undersøgelse.

Idet nedfældning af gylle begrænser fordampningen af ammoniak vil nedfældningen isoleret set føre til en begrænsning af emissionen af lattergas (Olesen et al., 2004). Nedfældningen betyder dog samtidig, at gyllen placeres i et bånd, som fremmer forholdene for de biokemiske processer, der fører til produktion af lattergas. Dette betyder, at nedfældning samlet set øger emissionen af lattergas. En række undersøgelser har således fundet, at udledningen af lattergas fra nedfældet gylle er højere end fra overfladeudbragt gylle. Rodhe et al. (2006) fandt således, at mens udledningen af lattergas fra græsjord tilført slæbeslangeudlagt gylle udgjorde 0,2 kg N₂O-N per ha, øgede nedfældning af gylle udledningen af lattergas til 0,75 kg N₂O-N per ha. Tilsvarende resultater er fundet af Wulf et al. (2002), som fandt at nedfældning af gylle til henholdsvis ubevokset jord og græsafgrøde øgede lattergasemissionen med en faktor på henholdsvis 2 og 3 sammenlignet med overfladeudlægning. Chadwick (1997) fandt, at nedfældning signifikant øgede lattergasemissionen fra 0,03 til 0,08 kg N₂O-N per ha. Andre undersøgelser har fundet, at en del af det ammoniaktab, der begrænses ved nedfældning, efterfølgende tabes ved øget denitrifikationstab (Rubæk et al., 1996; Misselbrook et al., 1996; Clemens & Ahlgrimm, 2001; Thomson et al., 1987).

Den forøgede risiko for udledning af lattergas ved nedfældning betyder, at miljøfordelene ved nedfældning (lavere fordampning af lugt og ammoniak) skal holdes op mod en højere risiko for udledning af drivhusgassen lattergas. I tabel 6 er forøgelsen af lattergas emissionen beregnet ved et generelt krav om nedfældning i vintersæd og ved et krav om nedfældning i bufferzoner I og II (1.000 m). I beregningerne er det indregnet at nedfældningen begrænser ammoniaktabet, og det er skønnet, at lattergasemissionen øges med en faktor 2 ved nedfældning.

Tabel 6. Reduktion af ammoniakfordampning og øgning af udledning af drivhusgassen lattergas (N₂O) ved et generelt krav om nedfældning i vintersæd eller i vintersæd lokaliseret i bufferzoner I og II (1.000 m). I beregningerne er det anslået, at nedfældning øger lattergasemissionen med en faktor 2. Beregningerne indeholder ikke CO₂ bidraget af det forøgede energiforbrug ved nedfældning.

	Enhed	Slæbeslange-udlægning i vintersæd	Nedfældning i vintersæd	Nedfældning i vintersæd i bufferzoner
Areal	Ha	598.000	598.000	137.000
Gyllemængde slæbeslangeudlagt	Mio. t	13,3	0	10,3
Gyllemængde nedfældet	Mio. t	0	13,3	3,0
NH ₃ tab fra gødsket areal	Tons	6.708	3.687	6.028
Reduktion af NH ₃ tab fra gødsket areal	%	0	45	10

Reduktion af NH ₃ tab fra husdyrgødning	%	0	5,6	1,3
Reduktion af national NH ₃ tab	%	0	4,2	0,9
Emission af N ₂ O	Tons	854	1.801	1.059
N ₂ O emission i CO ₂ ækvivalenter	Tons	264.673	558.367	328.397
Højere N ₂ O emission ved nedfældning i CO ₂ ækvivalenter	Tons	0	294.000	64.000
Forøgelse af N ₂ O emission fra gylle gødsket vintersæd	%	0	111	24
Forøgelse af N ₂ O emission fra udbragt gylle	%	0	23,9	5,2
Forøgelse af landbrugets samlede drivhusgas emission	%	0	3,0	0,6
Forøgelse af Danmarks samlede drivhusgas emission	%	0	0,5	0,1

Beregningerne viser, at nedfældning øger emissionen af lattergas. Et generelt krav om nedfældning i vintersæd er beregnet til at øge landbrugets udledning af drivhusgas emission med 3,0 %, hvilket vil øge den nationale drivhusgasudledning med 0,5 %. Dertil skal tillægges, at det ekstra energiforbrug ved nedfældning er vurderet til at øge landbrugets CO₂ udledning på 9.880.000 tons (DMU, 2007) med lidt under 0,5 % (afsnit 3.2) svarende til en øgning af den nationale CO₂ udledning på 0,08 %.

Nedfældning vil omvendt begrænse ammoniaktabet af den udbragte gylle, hvilket igen vil begrænse behovet for mineralsk N gødning og dermed CO₂ forbruget ved produktionen af denne gødning. Ved at antage, at det kræver 49 MJ at producere et kg N ved Haber-Bosch metoden (Henrik B. Møller, pers kom. 2008), vil den sparede ammoniakfordampning (3.000 tons NH₃-N) kunne reducere energiforbruget til produktion af kvælstofgødning med 147.000 GJ. Da CO₂ emissionen per GJ produceret er opgjort til 95 kg CO₂ (DMU, 2007), kan det beregnes, at den lavere ammoniakfordampning ved nedfældning sparer miljøet for 14.000 tons CO₂ per år. Denne besparelse skal sammenholdes med, at den øgede lattergasemission ved et generelt krav om nedfældning i vintersæd er estimeret til at øge emissionen af drivhusgasser med 294.000 tons CO₂ per år (tabel 6).

5 Økonomiske aspekter

5.1 Udbyttetigning og kvælstofudnyttelse

Ved traditionel slangeudlægning af gylle i vintersæd efterlades gyllen på jordoverfladen, og gyllen skal efterfølgende af sig selv infiltrere jorden. Inden gyllen er infiltreret, kan der ske tab af kvælstof i form af ammoniakfordampning (se afsnit 4.2). Tabet af kvælstof giver anledning til udbyttetab og dermed en dårligere udnyttelse af gyllens kvælstof. Ved nedfældning reduceres ammoniakfordampningen, og afgrøden tilføres mere kvælstof. Potentielt vil dette kvælstof øge høstudbyttet og proteinprocenten i kernen, fordi kvælstof normalt er det udbyttebegrænsende næringsstof i Danmark.

Stort set alt forsøgsarbejde med nedfældning af gylle til vintersæd i Danmark er gennemført i vinterhvede. Det skyldes, at det må forventes, at den største gyllemængde vil kunne nedfældes i vinterhvede. Dels er vinterhvede den dominerende vintersædsart på svinebrug og dels er vinterhvede den afgrøde, hvor gyllen normalt udbringes senest om foråret, og hvor der er de bedste muligheder for nedfældning i en tilpas afdrænet jord. I andre vintersædsarter vil det optimale nedfældningstidspunkt sandsynligvis ligge så tidligt, at jorden ikke vil være farbar til nedfældningsudstyr.

I tabel 7 og 8 er der vist resultater af Landsforsøg, hvor slangeudlægning kan sammenlignes direkte med nedfældning. De 66 forsøg i tabel 7 er udført med forsøgsudstyr, hvor nedfælderen har været monteret med nedfældertænder bestående af en smal Agrodantand. De 11 forsøg i tabel 8 er gennemført med kommercielle nedfældere (maskinstationer), hvor nedfælderen har været monteret med skiveskær, som normalt anvendes til nedfældning af kvæggylle i græs.

Tabel 7. Sammenstilling af 66 Landsforsøg med forskellige gylletyper til vinterhvede, hvor udbringning med slæbeslanger kan direkte sammenlignes med nedfældning (Pedersen, 1998, 2001, 2005, 2006 og 2007). Udbytteerne er ikke korrigeret for køreskade.

Gylletype	Antal forsøg	Udbytte, hkg pr. ha		Protein, pct. i kerne		Værdital	
		Slæbeslanger	Ned-fældet	Slæbeslanger	Ned-fældet	Slæbeslanger	Ned-fældet
Kvæggylle	15	72,7	72,8	10,0	10,8	45	57
Svinegylle	23	72,2	71,4	10,1	10,6	66	72
Minkgylle	6	72,1	68,4	10,3	10,3	88	87
Afgasset gylle	11	76,0	75,0	10,5	10,8	80	81
Væskefraktion	11	75,7	76,1	10,3	11,0	78	89
Vægtet gennemsnit	66	73,5	72,8	10,2	10,7	67	74
Øgning ved nedfældning			÷ 0,7		0,5		7

Tabel 8. Sammenstilling af 11 Landsforsøg med svinegylle til vinterhvede udført med kommercielle nedfældere, hvor udbringning med slæbeslanger kan direkte sammenlignes med nedfældning (Pedersen, 2001, 2004 og 2005). Udbytterne er ikke korrigeret for køreskade.

År	Antal forsøg	Udbytte, hkg pr. ha		Protein, pct. i kerne		Værdital	
		Slæbe-slanger	Ned-fældet	Slæbe-slanger	Ned-fældet	Slæbe-slanger	Ned-fældet
2001	3	63,2	60,9	12,6	12,7	-	-
2004	4	74,9	77,9	10,7	10,8	52	58
2005	4	76,1	82,3	9,5	9,4	90	93
Vægtet gennemsnit	11	72,1	74,8	10,8	10,8	71	76
Øgning ved nedfældning		2,7		0,0		5	

I gennemsnit af 66 forsøg har nedfældning reduceret udbyttet med 0,7 hkg per ha og øget proteinprocenten med 0,5 procentenheder i forhold til slangeudlægning. Værditallet, som er et mål for kvælstofudnyttelsen (svarende til udnyttelsesprocenten) er øget med syv enheder. I 11 forsøg med kommercielle nedfældere blev udbyttet øget med 2,7 hkg per ha ved nedfældning i forhold til slangeudlægning, medens værditallet blev øget med fem enheder og proteinprocenten var uændret.

I tabel 9 er ændringen i værdien af høstudbyttet ved nedfældning i stedet for slangeudlægning sammenregnet. Forsøgene i tabel 7 er alle beregnet uden indregning af den ekstra køreskade ved nedfældning. Derfor er der i tabel 9 indregnet en køreskade på 2,9 hkg per ha (se figur 4). Ændring i proteinprocent kan ved opfodring prissættes til 1 kr. per hkg per procentenhed (Pedersen, 2007).

Tabel 9. Ændringen i værdien af høstudbyttet ved nedfældning i stedet for slangeudlægning. Der er regnet med en kornpris på 140 kr. per hkg og en værdi af protein på 1 kr. per hkg per procentenhed.

	66 Landsforsøg med forsøgs-nedfælder, 1998-2007		11 Landsforsøg med kommercielt nedfælderudstyr, 2001-2005	
	Ændring ved nedfældning, hkg/ha eller procentenhed	Værdi, kr. per ha	Ændring ved nedfældning, hkg/ha eller procentenhed	Værdi, kr. per ha
Høstudbytte	÷ 0,7	÷ 98	2,7	378
Proteinprocent	0,5	38	0,0	0
Køreskade	÷ 2,9 ⁾	÷ 406	÷ 2,9	÷ 406
I alt		+ 466		+ 28

⁾ Landsforsøg med forsøgsnedfælder indregner ikke køreskade. Køreskaden er derfor estimeret ud fra forsøg med kommercielle nedfælder (se figur 4).

Forsøgene viser, at der er meget stor variation i gevinsten eller tabet ved nedfældning af gylle. For eksempel viser de 11 forsøg med nedfældning med kommercielt udstyr en variation mellem et tab på 920 kr. per ha og en gevinst på 1.030 kr. per ha ved at nedfælde i stedet for at slangeudlægge. Størst chan-

cen for gevinst er ved nedfældning i begyndelsen af april og under vejrforhold med en høj risiko for ammoniakfordampning (Pedersen, 2001). Ved nedfældning senere i april, hvor afgrøden har busket sig og strækning er påbegyndt (omkring stadium 30 efter decimalskalaen), vil resultatet af nedfældningen forringes, fordi afgrødeskaden forøges væsentligt. Tabet af udbytte ved nedfældning i vintersæd er ud fra forsøgene med forsøgsudstyr og kommercielt udstyr vurderet til at ligge i intervallet mellem 0,2 og 3,6 hkg per ha, svarende til mellem 28 og 466 kr. per ha (tabel 9). På den baggrund er det vurderet, at nedfældning i vintersæd i gennemsnit medfører et udbyttetab på ca. 1,8 hkg per ha svarende til 250 kr. per ha.

Udover den umiddelbare køreskade kan man forvente en længerevarende strukturskade ved færdsel på marken med tunge kørestøjer. Strukturskaderne opstår også ved slangeudlægning, men på grund af den mindre arbejdsbredde og større vægt af redskabet må det forventes, at strukturskaderne øges ved nedfældning. Denne effekt er imidlertid ikke indregnet i omkostningsberegningen.

5.2 Højere udbringningsomkostninger

Omkostningerne til nedfældning af gylle er højere end for slangeudlægning. Det skyldes flere forhold. I forhold til slangeudlægning er der:

- Lavere udbringningskapacitet per time.
- Lavere udnyttelse af udbringningskapaciteten, da den optimale udbringningssæson er relativ kort.
- Større investeringer.
- Større brændstofforbrug.
- Større vedligeholdelsesomkostninger.

5.2.1 Lavere udbringningskapacitet

Kapaciteten i marken er bestemt af flere faktorer. Fremkørselshastigheden er blandt de vigtigste. Ved slangeudlægning over for eksempel 24 meter er spredepumpes kapacitet ofte den begrænsende faktor. Ved nedfældning vil det typisk være hensyn til, at nedfælderaggregaterne kan udføre et tilfredsstillende arbejde, som begrænser hastigheden. I praksis vil fremkørselshastigheden ved begge metoder være på samme niveau. Da arbejdsbredden ved nedfældning kun er det halve eller en tredjedel af arbejdsbredden ved slangeudlægning, tager det længere tid at tømme tanken og dermed udbringe gylle på et givet areal.

Under forudsætning af blandt en transportafstand på 1.000 meter, en arbejdsbredde på henholdsvis 24 og 12 meter ved slangeudlægning og nedfældning, og en fremkørselshastighed på 7 km per time kan der udbringes ca. 60 ton per time ved slangeudlægning og ca. 49 ton per time ved nedfældning.

5.2.2 Lavere kapacitetsudnyttelse

Udbringningssæsonens længde er af stor betydning for den mulige udnyttelse af materiellets kapacitet.

Ved slangeudlægning er sæsonen lang, da man allerede kan påbegynde udbringning i februar, hvor der kan køres på nattefrossen jord uden at lave køreskader. Forsøg og erfaringer viser, at blandt andet på grund af køligt vejr giver disse tidlige udbringninger en god kvælstofudnyttelse og minimale lugtgener. Udbringning kan ske med godt resultat helt frem til midten af maj, hvor den "knæhøje" afgrøde giver læ og skygge for den udlagte gylle, hvorved ammoniakfordampningen reduceres.

Ved nedfældning er udbringningssæsonen betydeligt kortere. Tidlig nedfældning på frossen jord er ikke muligt, og sen udbringning efter, at afgrøden begynder at strække sig (ca. fra midten af april) er heller ikke muligt uden af skade afgrøden betydeligt. Dertil kommer, at udbringning ved nedfældning er mere følsom overfor regn og fugtig jord end slangeudlægning, da jorden mellem køresporerne hurtigere bliver ufarbar end køresporerne.

I tabel 10 er antallet af sandsynlige udbringningsdage estimeret ved henholdsvis slangeudlægning og nedfældning fra 1. februar til sidst i maj. Der er ikke regnet med, at der kan udbringes lørdag-søndag. Der er derimod ikke regnet med "fradrag" for helligdage.

Tabel 10. Estimat over sandsynlige mulige udbringningsdage i vintersæd med henholdsvis slæbeslanger og nedfælder i en periode på 15 uger om foråret.

Måned	Februar				Marts				April				Maj			I alt	
	Ugenr.	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20
Slanger	0	1	1	1	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	1	0	35
Nedfældning	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	4	2	0	0	0	14	

Tabel 10 viser, at der typisk kun vil være mindre end halvt så mange sandsynlige dage til nedfældning (14 dage) end til slangeudlægning (35 dage). Estimatet er temmelig groft, og der vil være store variationer mellem jordtyper og mellem årene. I "tørre" forår på sandjord vil der være flere udbringningsdage, med der vil være væsentlig færre i "våde" forår på lerjord. I foråret 2006, som var relativt våd, var det for eksempel ikke muligt at udbringe gylle med slæbeslangeudstyr på et demonstrationsareal syd for Odder før i begyndelsen af maj, og nedfældning var reelt ikke mulig uden svære afgrødeskader. Omvendt var foråret 2007 tørt, og det var muligt at nedfælde gylle med et godt resultat med forsøgsudstyr på Aarhus Universitet, Forskningscenter Bygholm i hele perioden fra den 13. marts til den 24. april (Høy, 2007).

Den gennemsnitlige kortere udbringningsperiode betyder, at det eksisterede antal gyllevogne og traktorer ikke kan nå at udbringe hele gyllemængden i den korte periode. Der skal investeres i nyt udstyr, som ikke i fuldt omfang kan finde anvendelse i andre afgrøder.

5.2.3 Større investeringer, vedligehold og brændstofforbrug

Nedfældere er dyrere end bomme med slæbeslanger. Investering i traktor og selve gyllevognen er på samme niveau uanset, om der skal anvendes slæbeslanger eller nedfælder. En typisk pris på en 20 ton gyllevogn er på ca. 800.000 kr. Dertil kommer en slæbeslangebom på 24 meter til ca. 200.000 kr.

eller en 12 meter nedfælder til anslået 450.000 kr. Prisen på en 12 meter nedfælder er usikkert bestemt, da markedet endnu er så beskedent, at et egentligt konkurrencebestemt prisleje ikke har indfundet sig. Dertil kommer en teknisk udvikling, så fremtidens system formentlig endnu ikke kendes. Den anslåede pris på 450.000 kr. er måske undervurderet. Det oplyses fra Harsø Maskiner, at listeprisen for en 12 meter nedfælder i 2008 er 625.000 kr.

På grund af, at nedfældere skal bearbejde jorden med nedfældertænder eller -skær, sker der et betydeligt slid, og sliddele skal skiftes med mellemrum. Der findes ikke undersøgelser og statistikker over vedligeholdelsesomkostninger, men Landsforeningen danske Maskinstationer anslår, at vedligeholdet af nedfældere vil være op mod dobbelt så dyrt som slangeudlæggere (Kjeldal, 2008).

Ved nedfældning er trækraftbehovet større end ved slangeudlægning (Nyord & Hansen, 2008), og derfor er brændstofforbruget også højere. En dansk undersøgelse viste, at brændstofforbruget ved nedfældning var 1,8-4,7 liter per ha større end ved slangeudlægning (Hansen *et al.*, 2003).

5.3 Vurdering af de samlede omkostninger ved nedfældning

I dette afsnit foretages en gennemregning af omkostningerne til henholdsvis slangeudlægning og nedfældning på hele vintersædsarealet i Danmark. I beregningerne anvendes en lang række forudsætninger. En del af disse forudsætninger er der gjort rede for i afsnit 5.2. Disse forudsætninger, og forudsætninger i øvrigt, er samlet i tabel 11.

Tabel 11. Forudsætninger til omkostningsberegning.

	Slange- udlægning	Ned-fældning	Enhed	Bemærkninger
Areal med vintersæd	598.000	598.000	Ha	Tabel 3
Gyllemængde til vintersæd	13.250.000	13.250.000	Ton	Tabel 3
Kvælstofindhold i gyllen	61.020	61.020	Ton N	Tabel 3
Pris, traktor	800.000	800.000	Kr.	Anslået
Pris, gyllevogn ekskl. redskab	800.000	800.000	Kr.	Listepris minus anslået rabat
Pris, redskab	200.000	450.000	Kr.	Listepris minus anslået rabat. Anslået pris på 12m nedfælder
Rente	6	6	Pct.	Inflation er 2 pct.
Beregningsperiode	10/7	10/7	År	Traktor/gyllevogn
Afskrivning	14	14	Pct. pr. år	
Timeløn, pilot	200	200	Kr.	Anslået
Brændstof	165	190	Kr. pr. ha	Ved en pris på 5,50 kr. per l
Vedligehold, traktor	40	40	Kr. pr. time	
Vedligehold, gyllevogn	1,00	1,80	Kr. pr. ton	Inkl. redskab. Anslået
Udbyttetab	0	250	Kr./ha	For vinterhvede. I forhold til slangeudlægning, tabel 9
NH ₃ -fordampning	11	6,1	Pct.	Pct. af total-N udbragt. Reduktionen af NH ₃ tabet ved nedfældning er 45 % (figur 15).
Antal udbringningsdage	35	14	Dage	Tabel 10
Udbringningstimer	10	10	Timer/dag	Effektive timer. Anslået
Kapacitet	60	49	Ton/time	Beregnet
Traktortimer, gylle vintersæd om foråret	350	140	Timer	Kapacitet pr. traktor i vintersæd
Traktortimer, gylle andet end vintersæd	100	100	Timer	Anslået, F.eks. græs eller vinterraps om efteråret
Traktortimer, andet end gylle	350	560	Timer	I alt 800 timer pr. år. Udnyttet til f.eks. pløjning, ballepresning o.l.
Vogntimer, vintersæd	350	140	Timer	Kapacitet pr. vogn i vintersæd
Vogntimer, andet end vintersæd	100	100	Timer	Anslået, F.eks. græs eller vinterraps om efteråret
Antal ekipager nødvendigt til al vintersæd	633	1.933	Stk. gyllevogne	Beregnet ud fra kapacitet og gyllemængde

I tabel 12 er forudsætningerne i tabel 11 gennemregnet for det totale danske areal med vintersæd, som får tilført gylle. Maskinomkostningerne er beregnet i programmet INVE Online.

Tabel 12. Øgede årlige omkostninger ved nedfældning i forhold til slangeudlægning. Beregnet for hele vintersædsarealet.

	Slangeudlægning	Nedfældning
Maskinomkostninger, inkl. brændstof, løn, vedligehold mv., mio. kr.	185,5	321,2
Udbyttetab i forhold til slangeudlægning, mio. kr.	-	147,8
Omkostning, kr. per ton	14	36
Meromkostning, mio. kroner i alt	-	293,5
Meromkostning, kr. per ton	-	22
Meromkostning, kr. per ha ved 30 t/ha	-	665
Meromkostning, kr. per kg sparet NH ₃ -fordampning	-	97

Meromkostningen ved nedfældning på 22 kr. per ton skyldes højere investeringsomkostninger, lavere kapacitetsudnyttelse, større driftsomkostninger og udbyttetab i marken. Omregnes meromkostningen til omkostning per kg sparet ammoniakfordampning, svarer det til 97 kr. per kg N.

I beregningerne er der ikke taget højde for, at slangebomme eventuelt ikke er afskrevet på det tidspunkt, hvor et nedfældningskrav indføres. Slangebomme vil stort set være værdiløse efter indfasning af et krav om nedfældning i vintersæd.

Hvis nedfældning kun skal ske i bufferzoner, bliver meromkostningen på landsplan ca. 70 mio. kr., hvis man antager, at meromkostningen per ton vil være den samme, som hvis kravet indføres generelt. Imidlertid vil kapacitetsudnyttelsen nok kunne øges, hvilket bringer meromkostningen per udbragt mængde ned. Det skønnes derfor, at meromkostningen vil ligge på 50-70 mio. kr.

En del af meromkostningerne er fastsat ud fra usikre forudsætninger og antagelser. For at vurdere betydningen af eventuelle fejlskøn på udvalgte antagelser, er der i tabel 13 foretaget en følsomhedsanalyse.

Af tabel 13 fremgår det, at kapacitetsudnyttelsen af især gyllevognen har stor betydning for meromkostningen. At have udstyr holdende uvirksomt i maskinhuset er ekstremt dyrt. Udbyttereduktionen på grund af køreskader (lille arbejdsbredde) bidrager også væsentligt til meromkostningen.

Derimod har en større investering, højere brændstofforbrug og vedligeholdelsesomkostninger kun mindre betydning for meromkostningen.

Omregnet til omkostning per kg N i sparet ammoniakfordampning har det naturligvis også stor betydning, at reduktionen i ammoniakfordampning ved nedfældning i vintersæd ikke er total.

Tabel 13. Følsomhedsanalyse af ændrede beregningsforudsætninger. Ændret meromkostning i forhold til grund scenarium i tabel 12.

	Ændring i forudsætning	Meromkostning:	
		Kr. pr. ton gylle udbragt	Kr. pr. kg sparet NH ₃ -fordampning
Grundscenarium, tabel 12	-	22 kr. pr. ton	97 kr. pr. kg N
Dårligere udnyttelse af traktor til alternative opgaver	÷ 400 timer	2 kr. pr. ton	9 kr. pr. kg N
Dårligere udnyttelse af gyllevogn til alternative opgaver	÷ 100 timer	9 kr. pr. ton	40 kr. pr. kg N
Dårligere udnyttelse af både traktor og gyllevogn til alternative opgaver	÷ 400 timer/ ÷ 100 timer	11 kr. pr. ton	48 kr. pr. kg N
Samme udnyttelse af gyllevogn ved nedfældning som ved slangeudlægning	+ 210 timer	÷6 kr. pr. ton	÷26 kr. pr. kg N
Samme investering ved nedfældning som ved slangeudlægning	÷ 250.000 kr.	÷3 kr. pr. ton	÷13 kr. pr. kg N
Samme brændstofforbrug ved nedfældning som ved slangeudlægning	÷ 25 liter/time	÷1 kr. pr. ton	÷4 kr. pr. kg N
Samme vedligehold ved nedfældning som ved slangeudlægning	÷ 0,80 kr./ton	÷1 kr. pr. ton	÷4 kr. pr. kg N
Samme høstudbytte ved nedfældning som ved slangeudlægning	250 kr./ha	÷11 kr. pr. ton	÷49 kr. pr. kg N
Samme kapacitet ved nedfældning som ved slangeudlægning	+ 11 ton/time	÷4 kr. pr. ton	÷17 kr. pr. kg N
Fuldstændig eliminering af ammoniakfordampning	Fra 45 til 100 % reduktion	0 kr. pr. ton	÷53 kr. pr. kg N

6 Fremtidige teknologiske og økonomiske muligheder

Omkostningsberegningerne i afsnit 5 er baseret på den nuværende teknologi. Forskning, innovation og udvikling på området kan imidlertid ændre forudsætningerne i fremtiden, så nedfældningseffekten øges og omkostninger reduceres. I dette afsnit omtales kort en række projekter, som har dette til formål.

6.1 STOP projektet

Direktoriet For Fødevarerhverv har under programmet "**Husdyrhold, naboerne og miljøet - VMPIII**" finansieret et forskningsprojekt "Strategies for odour reduction from pig production units and slurry application (STOP)". Hovedformålet med projektet er at undersøge og udvikle strategier, der kan reducere lugtgenerne fra svineproduktion. Projektet søger blandt andet at opnå større viden om den lugtreducerende effekt af gyllebehandlings- og lagringsteknologier, og at undersøge og udvikle udbringningsteknologier, der kan begrænse lugtgenerne i forbindelse med gyllens udbringning.

Et af formålene med projektet er at undersøge og udvikle nedfældningssystemer, der kan begrænse udledningen af ammoniak og lugt fra gylle udbragt i kornafgrøder. I den forbindelse er der sket en udvikling og evaluering af nedfældningssystemer til nedfældning i kornafgrøder. Fokus på udviklingen har været at sikre en effektiv reduktion af fordampningen af lugt og ammoniak ved udbringning af gylle til kornafgrøder ved lavest mulige energiforbrug og skade på afgrøden. Projektet har således bestemt miljøeffekten af forskellige nedfældningssystemer og sammenholdt dette med udbytteeffekt og energiforbrug. Projektet løber til 2010, hvor man forventer at have udviklet og evalueret et nedfældningssystem, som kan benyttes til nedfældning i kornafgrøder med lavest mulige miljøeffekt, energiforbrug og skade på afgrøden.

6.2 Innovationsprojekt om udvikling af bred nedfælderbom (UNTER)

Køreskader kan reduceres væsentligt og udbringningskapaciteten kan øges ved at øge arbejdsbredden ved nedfældning udover de 8-12 meter, som i dag er muligt. Begge dele vil forbedre økonomien væsentligt i forhold til dagens teknologi.

Samson Agro gennemfører i 2008-2010 et projekt med støtte fra Innovationsfonden. I projektet medvirker Aarhus Universitet, Ingeniørhøjskolen i Aarhus, Landscentret og CBMI. Formålet med projektet er at udvikle nedfældningsudstyr, som kan anvendes i vintersæd uden nævneværdig afgrødeskade, og som reducerer ammoniakfordampning og lugtgener til et minimum. Det konkrete mål er at udvikle, teste og markedsføre en nedfælderbom på 16-20 me-

ter, som monteres med specialudviklede nedfælderskær med stor nedfældningseffekt og minimal trækraftbehov inden udgangen af 2010.

6.3 Demonstration af fremtidens nedfælderteknologi

”Dansk Landbrugsrådgivning gennemfører i samarbejde med AgroTech og Aarhus Universitet et demonstrationsprojekt, som har til formål at afprøve og demonstrere eksisterende og nye muligheder for at nedfælde gylle i vinterhvede. Således er en lang række nedfældertænder og -skær afprøvet og bedømt i praksis. Formidling af potentielle udviklingsretninger til maskinfabrikanter og -importører er væsentlig aktivitet i projektet. Projektet gennemføres således i tæt dialog med alle aktører på området. Dele af projektets resultater er publiceret af Høy, 2007”.

7 Miljømæssige effekter af gylletype og gyllebehandlinger

Type og forbehandling af gyllen før udbringning kan have stor betydning for potentialet for tab af ammoniak og lugt fra udbragt gylle. Gyllens tørstofindhold har således betydning for, hvor hurtigt gyllen siver ned i jorden efter udbringningen og dermed for størrelsen af ammoniaktabet og lugtgenen. Tilsvarende har gyllens pH stor indflydelse på potentialet for ammoniaktab. Begge disse faktorer afhænger af typen af gylle og af en eventuel forudgående behandling. Desuden kan både gylletypen og en forudgående behandling påvirke gyllens lugtpotentiale.

7.1 Effekten af husdyrgødningstyper

De forskellige husdyr producerer forskellige gylletyper. Svin producerer således generelt gylletyper med et lavere tørstofindhold end kvæg, hvilket betyder at svinegyllen hurtigere siver ned i jorden efter udbringning end kvæggylle. Det betyder, at der generelt er større reduktionspotentiale ved at nedfælde kvæggylle end ved at nedfælde svinegylle. Omvendt har svinegylle normalt højere pH end kvæggylle, hvilket øger svinegyllens potentiale for ammoniaktab (tabel 14).

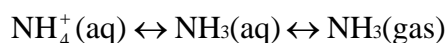
Sammenhængen mellem gylletype og effekten af nedfældning er ikke blevet undersøgt, men det vurderes, at der generelt vil kunne opnås større reduktionspotentiale ved nedfældning af kvæggylle end ved nedfældning af svinegylle.

Tabel 14. Gennemsnitligt indhold af tørstof, kvælstofindhold (Total-N), ammonium-N ($\text{NH}_4\text{-N}$) og pH i forskellige typer husdyrgødning anvendt i Landbrugsrådgivningens Landsforsøg. Antallet af prøver er vist i parentes. Kilde: Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Planteproduktion.

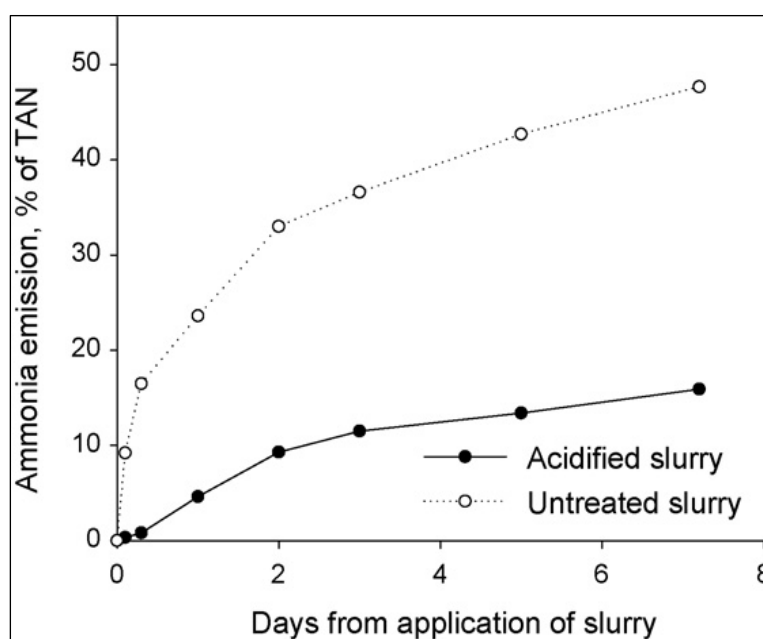
Husdyrgødningstype	Tørstof %	Total-N Kg/ton	$\text{NH}_4\text{-N}$ Kg/ton	pH
Gylle	5,48 (512)	3,44 (507)	2,36 (505)	7,16 (485)
Gylle afgasset	4,59 (145)	4,67 (145)	3,61 (145)	7,66 (144)
Gylle beluftet forsuret	5,01 (15)	4,26 (15)	3,03 (15)	5,50 (14)
Gylle kvæg	7,41 (208)	3,65 (208)	2,12 (208)	6,97 (205)
Gylle slagtesvin	4,10 (34)	4,14 (34)	3,25 (34)	7,30 (32)
Gylle svin	4,31 (274)	4,24 (274)	3,34 (273)	7,23 (265)

7.2 Forsuring

Normalt forefindes mellem 50 og 85 % af kvælstofindholdet i gylle på ammoniumform (NH_4^+). Ammonium vil normalt forefindes på vandig opløsning (NH_4^+) (aq) som vil stå i kemisk ligevægt med ammoniak indholdet i opløsning (NH_3) (aq) og ammoniak indholdet på gas form (NH_3) (gas).



Højere pH forskyder ligevægten mod højre, hvilket kan føre til et betydeligt ammoniaktab i situationer, hvor ammoniakgassen kan diffundere væk, som eksempelvis i forbindelse med gyllens udbringning, hvor gyllens overfladeareal væsentligt forøges. Et lavt pH i gyllen vil derimod forskyde ligevægten mod venstre, hvilket sikrer, at hovedparten af gyllens kvælstofindhold forbliver på ammoniumformen, der ikke tabes i forbindelse med gyllens udbringning.



Figur 15. Kumuleret ammoniakfordampning fra slæbeslangeudbragt forsuret gylle (Acidified slurry) og ubehandlet gylle (Untreated slurry). Fordampningen er vist i procent af udbragt ammonium kvælstof (TAN). Kilde: Kai et al., 2008.

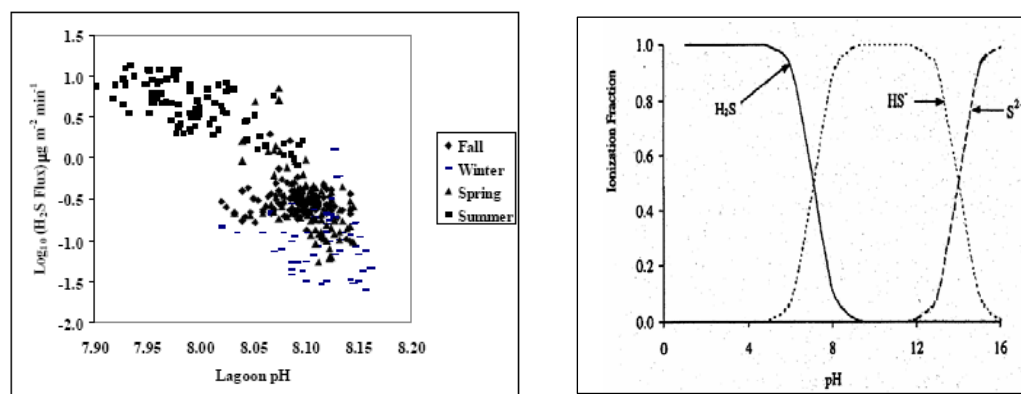
Gyllens pH kan manipuleres på forskellig måde. Tilsætning af eksempelvis svovlsyre til gyllen under stalden har vist sig at kunne reducere gyllens pH til under 6, hvilket begrænser ammoniakfordampningen fra både stald, lager og udbringning (Kai et al., 2008). Fordampningen af ammoniak fra udbragt gylle med et pH på 6,3 udgjorde således kun 33 % af ammoniakfordampningen fra gylle med et pH på 7,5 (figur 15).

Gylle indeholder en række buffersystemer, som er bestemmende for gyllens pH. Forsuret gylle kan derfor i løbet af en lagringsperiode blive mere basisk, hvilket øger risikoen for ammoniakfordampning i forbindelse med lagring og udbringning. For at sikre at gylle forsuret i forbindelse med staldlagringen har

et lavere potentiale for ammoniaktab ved udbringning, er der behov for en dokumentation af, at gyllen i forbindelse med udbringningen stadig er forsuret. En undersøgelse af pH i lagret forsuret gylle viste, at der var et lavt pH ($\text{pH} < 6$) i lagre af forsuret gylle, forudsat at forsuringen var i stabil drift (Frandsen T., 2007). I tre ud af ni undersøgte anlæg var pH forholdene i den lagrede gylle dog væsentligt højere end ønsket, hvilket blev forklaret af ustabile driftsforhold.

Forsuringen kan som nævnt ske i forbindelse med gyllens lagring, men forsuringen kan også ske i forbindelse med gyllens udbringning. Forsuring af gyllen i forbindelse med udbringning har været forsøgt, men metoden har endnu ikke slået igennem, givetvis fordi håndteringen af eksempelvis svovlsyre kan føre til skumdannelser og problemer med sikkerhed og arbejdsmiljø. Fangel Biogas tilfører dog svovlsyre til gyllen i forbindelse med udbringning af deres afgassede og separerede gylle. Svovlsyren tilføres primært for at dække afgrødernes svovlbehov, men tilsætningen sænker samtidig gyllens pH med mellem 0,3 og 0,5 enheder (Pedersen, 1996), hvilket kan have en mindre begrænsende effekt på ammoniakfordampningen af den udbragte gylle.

Thyregod er i gang med at udvikle et system, som dækker slangeudlagt gylle med et lag af forsuret skum (Biocover). Systemet er endnu ikke kommercielt tilgængeligt og effekten på ammoniakfordampningen er endnu ikke endeligt dokumenteret, men det vurderes, at en effektiv overdækning af slangeudlagt gylle med forsuret skum vil kunne begrænse ammoniakfordampningen af den udbragte gylle. Systemet er nærmere beskrevet i afsnit 3.5.5.



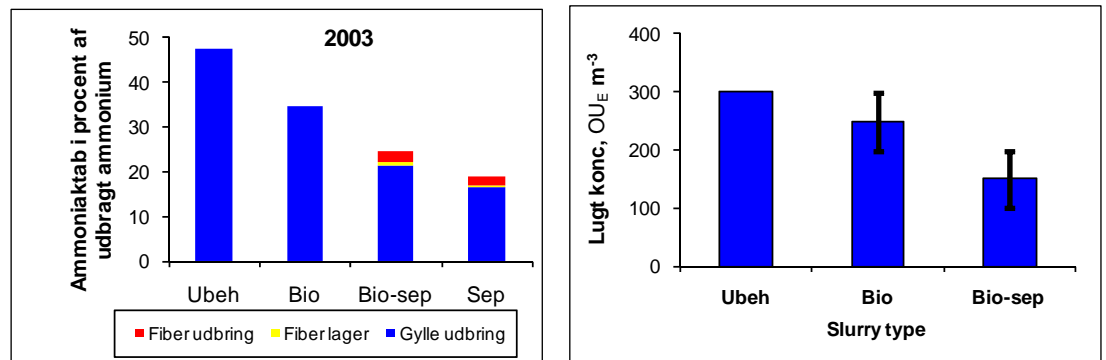
Figur 16. Til venstre ses, at en sænkning af pH kan øge emissionen af lugtstoffet svovlbrinte (H_2S) fra lagret gylle. Til højre ses et skematisk diagram, der viser at sænkning af gyllens pH øger gyllens koncentration af H_2S , der i modsætning til de ioniserede former (HS^- og S^{2-}) kan fordampe fra gyllen. Kilde: Blunden & Aneja, 2008.

Det vurderes, at forsuret gylle kan friholdes for et eventuelt nedfældningskrav, forudsat at der gives dokumentation for, at gyllen er forsuret på udbringningstidspunktet. Det skal dog i den sammenhæng pointeres, at mens forsuringen har effekt på ammoniakfordampningen af gyllen, så begrænser selve forsuringen ikke lugtgenen af gyllen (Kai et al., 2008). Forsuret gylle kan rent faktisk have et højere potentiale for udledning af lugtstoffer, dels fordi tilsætningen af

eksempelvis svovl kan øge gyllens emission af svovlholdige lugtstoffer, og dels fordi sænkningen af gyllens pH kan øge emissionen af eksempelvis svovlbrinte (H_2S), som er et betydende lugtstof i gylle (figur 16).

7.3 Separering af gylle

Separering af gylle producerer normalt to eller flere fraktioner, hvor den vandige fraktion (rejektvandet) normalt håndteres, udnyttes og udbringes som ubehandlet gylle. Tørstofindholdet i separeret gylle er normalt meget lavt (< 3 %), hvilket betyder, at separeret gylle infiltrerer meget hurtigt i jordfasen. Ammoniakfordampningen fra udbragt separeret gylle ophører derfor langt hurtigere end fra ubehandlet gylle.



Figur 17. Fordampning af ammoniak og lugt fra svinsegylle som henholdsvis var ubehandlet (Ubeh), bioforgasset (Bio), bioforgasset og separeret (Bio-sep) eller separeret (Sep). Ammoniaktabet er vist i procent af udbragt ammonium kvælstof, lugtkoncentrationen er vist som antallet af lugtenheder (OU_E) bestemt ved olfaktometri (Kilde: Hansen et al., 2004).

Effekten af separering på tabet af ammoniak efter udbringning er blevet undersøgt i en dansk undersøgelse (Hansen et al., 2004; Hansen et al., 2006). Ubehandlet og bioforgasset gylle blev mekanisk separeret, hvorefter ammoniakfordampningen og lugtgenen slæbeslangeudbringning blev bestemt. Undersøgelsen viste, at en forudgående separering reducerede ammoniaktabet af den udbragte gylle med mere end 50 % og næsten halverede lugtkoncentrationen i luften over den udbragte gylle (figur 17). Tilsvarende resultater er fundet af Pain et al. (1990a), som fandt at forudgående separering reducerede både udledningen af lugt og ammoniak fra udbragt gylle, mens andre undersøgelser har fundet at separering reducerede ammoniakfordampningen fra udbragt gylle med mere end 50 % (Amon et al., 2006; Vandre et al., 1996).

7.4 Bioforgasning af gylle

Bioforgasning påvirker ligesom separering sammensætningen af gylle. Bioforgasset gylle har normalt et lavere tørstofindhold og et højere pH end ubehandlet gylle (tabel 14). Da det lavere tørstofindhold kan begrænse fordampningen af ammoniak, mens det højere pH modsat øger potentialet for ammoniaktab, er den ammoniakbegrænsende effekt af bioforgasning ikke så klar som effekten af separering. Flere undersøgelser har fundet, at bioforgasning begrænser

gyllens lugtgener ved udbringning (Powers et al., 1999; Pain et al., 1990b; Hansen et al., 2006), mens bioforgasning ikke generelt begrænser ammoniakfordampningen af den udbragte gylle. Hansen et al (2004 og 2006) fandt i en undersøgelse gennemført i 2003, at bioforgasning medførte en mindre reduktion af ammoniakfordampning og lugtgene i forbindelse med udbringning (figur 17), mens bioforgasning ikke effektivt begrænsede ammoniakfordampningen i en undersøgelse gennemført i 2002. Andre undersøgelser har tilsvarende fundet, at forudgående bioforgasning ikke begrænsede ammoniakfordampningen ved gyllens udbringning (Amon et al., 2006, Pain et al., 1990b).

7.5 Reduktion af ammoniakfordampning ved nedfældning af forskellige gylletyper

Eftersom de forskellige gyllebehandlingsteknologier påvirker potentialet for ammoniaktab under den efterfølgende udbringning, påvirkes også effekten af nedfældning. I tabel 15 er det beregnet, hvor stor en andel af udbragt kvælstof (N), der tabes som ammoniak i forbindelse med udbringning af forskellige gylletyper med henholdsvis slæbeslangeudlægning og nedfældning til vintersæd. Det ses, at der er større ammoniakbegrænsende effekt af at nedfælde kvæggylle, end ved at nedfælde svinegylle, hvilket skyldtes at kvæggylle på grund af et større tørstofindhold siver langsommere ned i jorden end svinegylle. Det ses ligeledes, at der er større ammoniakbegrænsende effekt ved nedfældning af ubehandlede gylletyper end ved nedfældning af gylletyper, som har lavere potentiale for ammoniaktab (separerede og forsurede gylletyper). Gyllebehandlingsteknologer som separering og forsuring har således lige så stor eller større ammoniakbegrænsende effekt end nedfældning (tabel 15).

Tabel 15. Beregning af fordampningen af ammoniak (NH_3) ved udbringning af forskellige gylletyper med henholdsvis slæbeslange og nedfældning til vintersæd. I beregningerne er der forudsat, at nedfældning begrænser ammoniakfordampningen med 45 % uanset typen af gylle, og at den forsurede gylle har et pH på mindre end seks på udbringningstidspunktet. Tal i parentes viser ammoniaktabet i forhold til udbragt ammonium N ($\text{NH}_4\text{-N}$).

	N-indhold	$\text{NH}_4\text{-N}$ indhold	NH_3 tab, slæbeslange	NH_3 tab, nedfældning	NH_3 , reduktion ved nedfældning
Enheder	Kg/ton	Kg/ton	g $\text{NH}_3\text{-N/kg N}$ udbragt	g $\text{NH}_3\text{-N/kg N}$ udbragt	g $\text{NH}_3\text{-N/kg N}$ udbragt
Gylletype					
Kvæg, ubehandlet	3,65	2,12	163 (281)	90 (155)	73 (126)
Svin, ubehandlet	4,24	3,25	113 (148)	63 (81)	51 (67)
Svin, afgasset	4,67	3,61	113 (148)	63 (81)	51 (67)
Svin, separeret	3,43	2,92	63 (74)	35 (41)	28 (33)
Svin, forsuret	4,26	3,03	37 (52)	20 (28)	17 (24)

8 Evaluering af nuværende krav til nedfældning

Fra 1. august 2007 har der været krav om nedfældning af gylle på sort jord og græs i 1.000 meter bufferzoner omkring kvælstoffølsomme naturområder. Reglerne er beskrevet i husdyrgødningsbekendtgørelsen og i diverse afklaringer fra Miljøstyrelsen. Kravene evalueres på baggrund af erfaringer fra landmænd og interviews med planteavlskonsulenter.

8.1 Beskrivelse af nuværende krav

- I Husdyrgødningsbekendtgørelsens § 24 stk. 3 fremgår det: ” **Udbringning af flydende husdyrgødning på sort jord og græsmarker skal ske ved nedfældning**” .
- I § 38, stk. 5-6 står der:
 - ”§ 24, stk. 3, har virkning fra den 1. august 2007 for udbringning af husdyrgødning inden for 1.000 m til de i § 7 i lov om miljøgodkendelse mv. af husdyrbrug beskyttede naturtyper.
 - § 24, stk. 3, har virkning fra den 1. januar 2011 for al udbringning af husdyrgødning”

Bufferzonerne dækker ca. 23 % af landbrugsarealet (Hørfarter, 2007), svarende til ca. 610.000 ha.

Ifølge afklaringer fra Miljøstyrelsen gælder følgende definitioner (Kjær, 2008):

- Sort jord defineres som ubevoksede arealer (arealer, hvor høsten er afsluttet, og som endnu ikke er tilsæt med ny afgrøde).
- Græsmarker defineres som fodergræs. Frøgræs er derfor friholdt fra kravet om nedfældning.
- Nedfældning defineret således: ”**Ved nedfældning menes, at gylle nedfældes til under jordoverfladen, dvs. at ”rillen” skal kunne indeholde/bortlede den udbragte mængde husdyrgødning. Der må lige efter udbringning kun være ubetydelige mængder spildt gylle ovenpå jordoverfladen. Ved anvendelse af slæbesko efterlades en betydelig mængde gylle over jordoverfladen, hvilket ikke kan accepteres**”.

8.2 Evaluering af nuværende krav

Kravene til nedfældning af flydende husdyrgødning i bufferzoner har på nuværende tidspunkt (august 2008) været i kraft i godt et år, og erfaringerne er derfor begrænsende. Der er ikke foretaget en egentlig undersøgelse af erfaringerne i praksis. Evalueringen er derfor foretaget på baggrund af erfaringer fra

landmænd og samtaler med planteavlskonsulenter i Brønderslev, Ringkøbing, Varde, Djursland, Åbenrå, Vojens, Vissenbjerg og Borup. Mulighederne for at overholde kravene om nedfældning af flydende husdyrgødning er ret forskellige i græs og på sort jord. Evalueringen vil derfor ske særskilt.

8.2.1 Generelle bemærkninger

Generelt er der rapporteret om relativt få problemer. Landmænd, der har arealer i bufferzonerne, har accepteret kravet om nedfældning. Kun sjældent ændres sædskiftet (f.eks. fra vårbyg til vintersæd) for at undgå kravet, og erfaringerne med udbringning af gylle på etableret vørsæd er generelt så dårlige, at denne løsning fravælges.

En gennemgående tilbagemelding er, at landmænd, som selv udbringer gyllen med eget slæbeslangeudstyr, er kede af, at de ikke kan udnytte udstyret fuldt ud, men er nødsagede til at rekvirere maskinstation og lade eget udstyr stå i maskinhuset. En anden tilbagemelding går imidlertid på, at gylleudbringning i stadigt stigende omfang bliver maskinstationsarbejde, hvilket giver stigende fleksibilitet med hensyn til det redskab, som kan rekvireres til udbringning på et givet areal.

Det nævnes, at maskinstationernes kapacitet til gylleudbringning i marts-april allerede nu er fuldt udnyttet, og flere maskinstationer siger nej til flere gylleopgaver i den periode, fordi man ikke kan finde kvalificeret arbejdskraft i den korte periode, som man ikke kan udnytte resten af året.

Generelt nævnes også, at kapaciteten bliver lavere, fordi tidsrummet, hvor jordens farbarhed og fugtighed er tilpas, er kortere, end hvis man anvender slæbeslanger.

8.2.2 Sort jord (ubevoksede arealer)

En meget stor andel af gyllen på ubevokset jord udbringes allerede med nedfælder, og generelt er der også gode erfaringer i bufferzonerne. Der tages umiddelbart ingen forbehold med hensyn til afgrøder – hvis den vørsæede afgrøde skal have gylle, nedfældes den inden såning. Enkelte landmænd vælger dog at undlade gylleudbringning på vørsæd i bufferzonen og udbringe handelsgødning i stedet. Ingen af de interviewede konsulenter har givet udtryk for, at landmænd i bufferzonerne vælger at udbringe gylle med slæbeslanger efter f.eks. vårbyggens fremspiring frem for at nedfælde inden såning.

Fra Fyn og Sjælland nævnes det som problem, at der på lerjord (JB 5-7) er problemer med nedfældningen forud for eksempelvis vårbyg. Der skal man være meget varsom med at finde det optimale udbringningstidspunkt. Især for våd jord kan resultere i et dårligt resultat. Det betyder, at der kommer ekstra pres på udbringningskapaciteten, og det bliver sværere at nå alle udbringninger på det optimale tidspunkt.

8.2.3 Fodergræs

For fodergræs nævnes næsten samstemmende, at det er et stort problem, at man skal nedfælde gylle i det tidlige forår forud for første slæt. På dette tidspunkt er græsset skrøbeligt, og det medfører skader på planter og jordstruktur. Landmændene ved godt, at den positive effekt af nedfældningen på det tidspunkt er tvivlsom, fordi vejret normalt er køligt.

Det nævnes, at udlægsmarker af græs eller kløvergræs i f.eks. vårbyg kan skades betydeligt af nedfældning, især, hvis jorden er tør, og hvis nedfældningen er "voldsom" (= effektiv). I f.eks. 2008 er der kendskab til flere tilfælde af, at udlægsmarker er omlagt, fordi de er ødelagt af nedfældning.

Et andet gennemgående problem er, at nedfældning på tør og især leret jord om sommeren er svært eller umuligt. Rillerne bliver for små, og gyllen løber over. Dette fænomen kaldes til tider "pseudo-nedfældning".

På skrånede arealer er der risiko for, at rillerne danner kanaler, som leder gyllen ned mod lavere liggende områder af marken.

Endelig er det nævnt, at gentagne nedfældninger i samme sæson kan give problemer med, at ukrudt fremspirer i rillerne, at græsset fortrænges på de arealer, hvor der er riller, og at nedfælderskærrerne har en negativ indflydelse på for eksempel hvidkløvernes udløbere, og dette medfører et dårligt plantedække. I praksis anbefaler man derfor ofte at begrænse nedfældningen til højst to gange per år hen over sommeren.

9 Konklusion

Der findes i dag et mindre antal kommercielt tilgængelige nedfældningssystemer, som potentielt kan benyttes til nedfældning i vintersæd. Disse systemer er som hovedregel udviklet til nedfældning i græs og har en begrænset arbejdsbredde, hvilket øger køreskader i afgrøden og tab af udbytte sammenlignet med slæbeslangeudlægning.

Køreskaderne vurderes at medføre til et tab af udbytte på 1,9 hkg per ha. Dette tab sammenholdt med lavere kapacitetsudnyttelse og højere drifts- og investeringsomkostninger vil ved et generelt krav om nedfældning i vintersæd medføre årlige meromkostninger for erhvervet på knap 300 mio. kr. Ved at sammenholde denne omkostning med sparet ammoniaktab, er det beregnet, at meromkostningen udgør 97 kr. per kg reduceret N tab.

Nedfældning med nuværende tilgængelige systemer vurderes at kunne begrænse fordampningen af ammoniak med mellem 40 og 50 % sammenlignet med slæbeslangeudlægning, mens nedfældning med disse systemer kun har en begrænset effekt på lugtgenen af gylleudbringningen. Omvendt vurderes det, at nedfældning forøger emissionen af drivhusgassen lattergas fra den udbragte gylle.

Der er igangsat flere initiativer med henblik på at udvikle nedfældningssystemer tilpasset nedfældning i vintersæd. Denne udvikling er dog generelt endnu på et så tidligt stadie, at de økonomiske, driftsmæssige og miljømæssige effekter ved nedfældning med disse systemer endnu ikke kan vurderes.

Samlet set vurderes det, at teknologien endnu ikke er tilstrækkelig udviklet og dokumenteret til, at det er hensigtsmæssigt at indføre et generelt krav om nedfældning i vintersæd.

Det bør overvejes, om alternative teknologier til nedfældning, som også har effekt på emission af ammoniak - f.eks. gylleseparatoring eller forsuring af gylle - kan sidestilles med nedfældning, således at der i givet fald stilles krav om reduktion af emission og ikke krav om en bestemt teknologi.

De eksisterende krav til nedfældning i sort jord og græs er evalueret, og umiddelbart vurderes der ikke at være behov for justeringer af kravet på sort jord. Derimod er der behov for lempelser på græsarealer, hvor nedfældning fungerer dårligt i praksis. Herunder i det tidlige forår, på svær lerjord, på stærkt skrånende arealer og i udlæg efter høst af dæksæden.

10 Referencer

- Amon B., Kryvoruchko V., Amon T., and 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.
- Bang M. 2005. Lugt fra gylle udbragt i vinterhvede. *Farmtest, Maskiner og Planteavl* nr. 40.
- Balsari P.; Airoidi G.; Gioelli F. 2005. Improved recycling of livestock slurries on maize by means of a modular tanker and spreader. *Bioresource Technology* 96: 229-234.
- Beline, F.; Martinez, J.; Chadwick, D.; Guiziou, F.; Coste, C.M. 1999. Factors affecting nitrogen transformations and related nitrous oxide emissions from aerobically treated piggy slurry. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 73:(3), 235-243..
- Blunden J.; Aneja V.P. 2008. Characterizing ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine waste treatment lagoon in North Carolina. *Atmospheric Environment* 42:(14), 3277-3290
- Chadwick D. 1997. Nitrous oxide and ammonia emissions from grassland following application of slurry: Potential abatement practices. In: *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. Eds. Jarvis S.C. Pain B.F. 257-264.
- Christensen, O.H. (2008) Gyllenedfælder og slåmaskine til styret trafik. *Landbrugsavisen* 11. juli 2008, 2. sektion.
- Clemens J. & Ahlgrimm H-J. 2001. Greenhouse gases from animal husbandry: Mitigation options. *Nutrient cycling in agroecosystems* 60: 287-300.
- Clemens J.; Vandre R.; Kaupenjohann M. & Goldbach H. 1997. Ammonia and Nitrous oxide emissions after landspreading of slurry as influenced by application technique and dry matter reduction. II. Short term Nitrous oxide emissions. *Z. Pflanzenernähr Hodenk* 160: 491-496.
- Danmarks Statistik (2008). Statistikbanken, www.statistikbanken.dk
- Dansk Landbrug. 2004. Statistisk bearbejdning af GFK data vedrørende husdyrgødningsteknologier, foråret 2004.
- DMU. 2007. NERI Technical report No. 632, 2007. Denmark's national inventory report. Emission inventory.

- Dobbelaere, A. and A. Maton. 1992. A Research on the Technology of Slurry Application to Arable Land and Grassland. *Landbouwtijdschrift-Revue de l'Agriculture* 45:(5), 929-47.
- Frandsen T. 2007. Farntest, Gylleforsuring, Infarm A/S., Bygninger nr. 41, 2007.
- Glæsner N., Kjaergaard C., Rubæk G., Magid J. (in press). Phosphorus leaching from a textual gradient applied with cattle manure comparing two application techniques. *Proceeding of Phosphorus management in Nordic-Baltic agriculture – reconciling productivity and environmental protection*. Uppsala, Sweden - 22-23 September 2008.
- Green, O.; Lindstrøm, J.; og Jørgensen, R. 2008. Køreskader og påvirkning af udbyttet i kløvergræs., *Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, AU, indlæg ved Plantekongres 2008*.
- Hanna H.M., Bundy D.S., Lorimor J.C., Mickelson S.K., Melvin S.W., and Erbach D.C. 2000. Manure incorporation equipment effects on odor, residue cover, and crop yield. *Applied Engineering in Agriculture*. 16:(6). 621-627.
- Hansen M.N.; Sommer S.G.; Madsen N.P. 2003. Reduction of ammonia emission by shallow slurry injection: Injection efficiency and additional energy demand. *Journal of Environmental Quality* 32: 1099-1104.
- Hansen M.N.; Kai P.; Møller H.B. 2006. Effects of anaerobic digestion and separation of pig slurry on odor emission. *Applied Engineering in Agriculture*. 22(1): 135-139.
- Hansen M.N., Birkmose T.S. 2008. Reduktion af lugt ved nedfældning af gylle i vintersæd. *LandboInfo*.
http://www.lr.dk/planteavl/informationsserier/artikler/lpart131_b1.pdf.
- Hansen M.N, Birkmose, T.S., Mortensen, B., Skaaning, K. 2004. Environmental impact of anaerobic digestion and separation of pig slurry – effects on odour, ammonia volatilisation and plant utilisation. (Miljøeffekter af bioforgasning og separering af gylle – indflydelse på lugt, ammoniakfordampning og planteudnyttelse). *Grøn Viden, Markbrug No. 296*. 6 pages.
- Huijsmans J.F.M., Hol J.M.G., Bussink D.W. 1997. Reduction of ammonia emission by new slurry application techniques on grassland. p. 281–285. In: *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*, (Jarvis S.C. and Pain B.F. ed). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Huijsmans, J.F.M., J.G.F.L. Hendriks, and G.D. Vermeulen. 1998. Draught requirement of trailing-foot and shallow injection equipment for applying slurry to grassland. *J. Agric. Eng. Res.* 71:347-356.
- Huijsmans, J. F. M., Hol J.M.G. & Hendriks M.M.W. 2000. Effect of application technique and external factors on ammonia volatilization from manure

- applied to grassland. Ramiran 2000, Proceedings of the 9th International Workshop of the Network. Gargnano (Italy). 357-360.
- Husdyrgødningsbekendtgørelsen. 2006. Bekendtgørelse om husdyrbrug og dyrehold for mere end 3 dyreenheder, husdyrgødning, ensilage m.v. Miljøministeriet.
- Hørfarter (2007). Bufferzone II, hvor der er krav om gyllenedfældning - klar til download. Konsulentmeddelelse 07-446. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.
- Høy, J.J. 2007. Forskellige gyllenedfældertænder i vinterhvede i marts og april. Afsluttet Farmtest. Farmtest – Maskiner og Planteavl nr. 80. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.
http://www.lr.dk/bygningerogmaskiner/informationsserier/farmtest/ft_mas_080_gyllenedf.htm
- Kai P., Pedersen P., Jensen J.E., Hansen M.N., Sommer S.G. 2008. A whole farm assessment of the efficacy of slurry acidification on ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*. **28**: 148-154.
- Kjeldal, M. 2008. Landsforeningen Danske Maskinstationer. Personlig kommunikation.
- Kjær, H. 2008. Miljøstyrelsen. Personlig kommunikation.
- Knudsen, 2008. Impact on winter wheat yields from 1997 to 2007 as a result of changed fertilization praxis. Bilag til workshoppen Causes of yield stagnation in winter wheat på Koldkærgaard den 4. november 2007.
- Lorenz F. and Steffens G. 1997. Effect of application techniques on ammonia losses and herbage yield following slurry application to grassland. In: *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. Eds. Jarvis S.C. Pain B.F. 287-293.
- Mattila P.K. and Joki-Tokola E. 2003. Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley. Part 1. Nutrient cycling in agroecosystems. **65**:(3), 221-230.
- Misselbrook T.H. Laws J.A.; Pain B.F. 1996. Surface application and shallow injection of cattle slurry on grassland: nitrogen losses, herbage yields and nitrogen recovery. *Grass and forage science*, 51: 270-277.
- Misselbrook, T. H. et al 2002. Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: Results of some UK field-scale experiments." *Biosystems Engineering* 81:(3), 313-321.
- Morken, J. 1991 Slurry application techniques for grassland: effects on herbage yield, nutrient utilization and ammonia volatilization. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 5:(2), 153-162.

- Moseley P.J., Misselbrook T.H., Pain B.F., Earl R., and Godwin R.J. 1998. The effect of injector tine design on odour and ammonia emissions following injection of bio-solids into arable cropping. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 71:(4). 385-394.
- Møller H.B. 2008. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet Århus Universitet. Personlig kommunikation
- Nielsen, K.A. 2008. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret. Personlig kommunikation.
- Nyord, T. 2008. Ammoniaktab fra svinegylle ved anvendelse af Biocover. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- Nyord T.; Hansen M.N. 2008. Soil injection of animal slurry to growing cereals – effects on odour emission, draught requirement and yield. *Proceeding of the 13th RAMIRAN international conference, Bulgaria 2008*. 147-152.
- Olesen J.E., Gyldenkerne S., Petersen S.O., Mikkelsen M.H., Jacobsen B.H., Vesterdal L., Jørgensen A.M.K., Christensen B.C., Abiltrup j., Heideman T., Rubæk G. 2004. Jordbrug og klimaændringer – Samspil til Vandmiljøplaner. Danmarks JordbrugsForskning. Markbrug nr. 109.
- Pahl O., Godwin R.J., Hann M.J., and Waine T.W. 2001. Cost-effective pollution control by shallow injection of pig slurry into growing crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 80:(4). 381-390.
- Pain, B. F., V. R. Phillips, C. R. Clarkson, T. H. Misselbrook, Y. J., Rees, and J. W. Farrent. 1990a. Odour and ammonia emissions following the spreading of aerobically-treated pig slurry on grassland. *Biol. Wastes* 34(2): 149-160.
- Pain, B.F.; Misselbrook, T.H.; Clarkson, C.R.; Rees, Y.J. 1990b. Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically-digested pig slurry on grassland. *Biological Wastes*. 34:(3), 259-267.
- Pedersen, C.Å. (1996, 1998, 2001, 2002, 2004, 2005, 2005 og 2006). Oversigt over Landsforsøgene, diverse årgange. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.
- Pedersen, J.B. 2007. Oversigt over Landsforsøgene, 2007. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.
- Peel, S.; Chambers B.J.; Harrison R.; Jarvis S.C. 1997. Reducing nitrogen emissions from complete dairy farms systems. In. *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. Eds. Jarvis S.C. Pain B.F. 383-390.
- Petersen J. 1997. Risici for tab af næringsstoffer ved brug af husdyrgødning. *Tidsskrift for Landøkonomi* 2: 81-86.

- Poulsen, H.D. 2008. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet. Personlig kommunikation.
- Poulsen, H.D. Børsting, C.F., Rom, H.B & Sommer, S.G. 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning - normtal 2000. DjF Rapport. Husdyrbrug nr. 36.
- Rodhe L.; Peel M.; Yamulki S. 2006. Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. *Soil use and management*, **22**: 229-237.
- Rubæk G.H.; Henriksen K.; Petersen J.; Rasmussen B.; Sommer S.G. 1996. Effect of application technique and anaerobic digestion on gaseous nitrogen loss from animal slurry applied to ryegrass (*Lolium perenne*). *Journal of Agricultural Science* 126: 481-492.
- Smith, K. A., et al. 2000. Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77:(3), 277-287.
- Sommer S.G.; Sherlock R.R and Khan R.Z. 1996. Nitrous oxide and methane emissions from pig slurry amended soils. *Soil Biol. Biochem.* 28:(10) 1541-1544.
- Sørensen, P. 2007. Gyllenedfældning i vinterhvede – betydning for afgrødeudvikling, kvælstofdynamik og høstudbytte. *Planteavlsorientering* nr. 07-588. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.
- Thomson R.B.; Ryden J.C.; Lockyer D.R. 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *Journal of Soil Science*. **38**: 689-700.
- Vandre R., Clemens J. 1997. Studies on the relationship between slurry pH, volatilization processes and the influence of acidifying additives. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 47:(2) 157-165.
- Vandre R.; Clemens J.; Goldbach H.; Kaupenjohann M. 1996. NH₃ and N₂O emissions after landspreading of slurry as influenced by application technique and dry matter reduction. I. NH₃ emissions. *Z. Pflanzenernähr Ho-denk.* 160: 303-307.
- Wulf, S., Maeting M. & Clemens J. 2002. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: I Ammonia volatilization. *Journal of Environmental Quality* 31:(6) 1789-1794.