



Fødevareministeriet
Departementet

Vedrørende supplement til notat til Natur- og Landbrugskommissionen om teknologi

DCA - Nationalt Center for
Fødevarer og Jordbrug

Dato: 02. juli 2012

Direkte tlf.: 8715 7685
E-mail:
susanne.elmholt@agrsci.dk

Afs. CVR-nr.: 31119103
Reference: sel

Side 1/1

På vegne af Natur- og Landbrugskommissionen (NLK) har Fødevareministeriets departement den 11. maj 2012 fremsendt en bestilling til DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug på et notat om teknologi. Notatet blev fremsendt den 11. juni.

Anders Larsen fra NLK's sekretariat har efterfølgende telefonisk bedt os supplere notatet med et afsnit om miljøpåvirkning ved brug af bioteknologi i husdyravl. Supplementet (notatets afsnit 7.2) er udarbejdet af Mogens Sandø Lund, der er centerleder for Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning ved Institut for Molekylærbiologi og Genetik.

Med venlig hilsen
Susanne Elmholt
Seniorforsker, koordinator for myndighedsrådgivning

2. juli 2012

Notat om status for anvendelsen af og udvikling af miljøteknologier på primære jordbrugsbedrifter

Tavs Nyord, Michael Jørgen Hansen, Claus Grøn Sørensen og Allan Leck Jensen, Institut for Ingeniørvidenskab;

Hanne Damgaard Poulsen og Peter Lund, Institut for Husdyrvidenskab;

Peter Kryger Jensen, Bo Melander, Christen D. Børghesen, Ingrid K. Thomsen, Elly M. Hansen, Charlotte Kjærgaard, Peter Sørensen og Jørgen E. Olesen, Institut for Agroøkologi;

Preben Bach Holm, Institut for Molekylærbiologi og Genetik, og Mogens Sandø Lund, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning, Institut for Molekylærbiologi og Genetik.

1 Miljøteknologier til reduktion af ammoniak- og lugtemission

På vegne af Natur- og Landbrugskommissionen har Fødevarerministeriets departement den 11. maj 2012 fremsendt en bestilling til DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug på et notat om teknologi. Efterfølgende er bestillingen præciseret og udbygget, og endelig bestilling er modtaget 25. maj med frist 30. maj. Notatet skal indgå som bidrag til kommissionens statusredegørelse, som er afrapportering af første fase af dens arbejde.

I det nedenstående gives et overblik over anvendte teknologier til reduktion af ammoniak og lugtemission fra husdyrproduktionen i Danmark. For et mere fyldestgørende indblik, henvises til (Hansen et al., 2012) samt Bilag 1. Her er de fleste anvendte teknologier inden for dette område anført med hensyn til deres udbredelse, effekt og evt. sideeffekter.

Det forsøges også, at give et bud på "morgendagens" teknologier. Her er det vigtigt at gøre opmærksom på, at udvælgelsen af de nævnte teknologier, udelukkende er baseret på forfatterens forventning og opfattelse, da det selvsagt ikke er nemt at skaffe valide data til at underbygge forventningerne.

1.1 Miljøteknologier til stalde

I forhold til reduktion af ammoniak og lugt fra staldsystemer kan miljøteknologierne opdeles i tre overordnede grupper, 1. gyllebehandling, 2. luftrensning og 3. gyllekøling.

1.1.1 Gyllebehandling: Forsuring af gylle er den mest udbredte form for gyllebehandling. Ved staldforsuring af gylle pumpes gyllen fra stalden til en procestank, hvor der tilsættes syre (typisk svovlsyre) og efterfølgende pumpes en del af gyllen retur til stalden, og den resterende mængde overføres til gylletanken. Forsuring af gylle har en effekt på ammoniak og kan anvendes til både svin, ca. 70% (Pedersen, 2004; Pedersen & Albrechtsen, 2012), og kvæg, ca. 50% (Mikkelsen et al., 2006). Staldforsuring er en teknologi, som reducerer ammoniakemissionen fra stald, lager og udbringning. Det er endvidere vist, at forsuring reducerer emissionen af metan (Petersen et al., 2012). Forsuring af gylle har ikke nogen effekt på lugt, og forsøg med at supplere forsuring med efterfølgende behandling af gyllen med brintoverilte viste ikke nogen effekt på lugt (Pedersen, 2007). Forsøg med en kombination af forsuring og ozonbehandling af svinegylle har vist en effekt (ca. 40%) på både ammoniak og lugt (Jonassen et al., 2010), men teknologien mangler stadig at blive videreudviklet til fuldskala.

1.1.2 Luftrensning: Luftrensningsteknologier til stalde kan inddeles i to grupper, a) kemisk luftrensning og b) biologisk luftrensning. Luftrensning kan primært anvendes i svinestalde, hvor der anvendes mekanisk ventilation. Luftrensning kan også anvendes i fjerkræstalde, men den høje støvkonzentration i disse stalde kan give problemer med tilstopning af luftrensere. Ved kemisk luftrensning ledes staldluften gennem et filter som overrisles med syre (typisk svovlsyre). Kemisk luftrensning har en effekt på ammoniak, over 90% (Riis 2009), men ikke nogen effekt på lugt. Ved biologisk luftrensning ledes staldluften gennem et filter som overrisles med vand. På overfladen af filterelementerne sidder en biofilm af bakterier og svampe som omsætter ammoniak og lugtstoffer i staldluften. Vandet til filteret recirkuleres, og for at opretholde optimale forhold for biofilmen læses der overrislingsvand til gylletanken, og der tilføres frisk vand. Biologisk luftrensning har både en effekt på ammoniak (70-90%) og lugt (40-70%), (Sørensen, 2011; Riis, 2012).

1.1.3 Gyllekøling: Gyllekøling er en teknologi, som både kan anvendes i stalde med gyllekanal og mekanisk udmugning (linespil/skraber). Ved gyllekøling nedstøbes der køleslanger i bunden af gyllekanalen/gødningskanalen, og disse tilsluttes en varmepumpe. Gyllekøling har en effekt på ammoniak, mens der ikke er fundet nogen effekt på lugt. Effekten af gyllekøling på ammoniakemissionen afhænger af køleeffekten der installeres (W/m^2), men det er tidligere vist at ammoniakemissionen reduceres med op til ca. 30% i svinestalde (Pedersen, 1997; Pedersen, 2005). Omkostningseffektiviteten ved gyllekøling afhænger primært af, om varmen kan anvendes andet sted på bedriften til opvarmning af fare- og smågrisestalde og andre driftsbygninger.

Forventning til fremtidige miljøteknologier til stalde

I forhold til reduktion af ammoniak og lugt fra stalde vurderes luftrensning at være en af de mest lovende teknologier. Fremtidige miljøteknologier vil derfor være baseret på en videreudvikling af nuværende luftrensningsteknologier og en mere optimal integrering i staldsystemet. I forhold til svinestalde ligger potentialet i forhold til at kombinere luftrensning med udsugning i gyllekanalen. Ved at suge ca. 10-20% af den maksimale ventilation gennem en ventilationskanal placeret i tilknytning til gyllekanalen, mens den resterende luftmængde ventileres gennem en udsugning placeret i loftet, koncentrerer hovedparten af ammoniak- og lugtemissionen i en lille luftmængde, hvorved størrelsen på luftrenseren kan reduceres og omkostningseffektiviteten forbedres. Et igangværende GUDP-projekt skal afklare potentialet i at kombinere punktudsugning og luftrensning. I forhold til kvægstalde ligger potentialet i at kombinere mekanisk og naturlig ventilation, således at der også kan anvendes luftrensning til kvægstalde. Princippet vil være at minimums-ventilationen i kvægstalden ventileres mekanisk (eventuelt som punktudsugning) og ledes gennem en luftrenser, mens den resterende luftmængde ventileres naturligt igennem åbninger i staldene.

Biologisk luftrensning har et stort potentiale i forhold til at reducere lugtemissionen fra stalde. Undersøgelser, baseret på målinger af de enkelte lugtstoffer i staldluften, indikerer, at det specielt er reducerede svovlforbindelser (bl.a. svovlbrinte og methanthiol), som kan være vanskelige at fjerne (Hansen et al., 2012). Disse lugtstoffer menes at have afgørende betydning for lugt fra stalde, og der er derfor et behov for at udvikle teknologier som eventuelt i kombination med biologisk luftrensning kan fjerne reducerede svovlforbindelser. Avancerede oxidationsprocesser (AOP) er en teknologi, hvor lugtstoffer i staldluften reduceres ved oxidation med forskellige reagenter og eventuelt i kombination med UV-lys og katalysatorer. AOP-teknologien er kendt fra spildevandsrensning, men der er behov for at undersøge, om der kan laves en omkostningseffektiv teknologi, som kan bruges til stalde. Luftrensning baseret på kombinationen af et syre- og basefilter er en anden teknologi, hvor der er behov for at afklare, hvorledes et modul med base i en kemisk luftrenser kan forbedre lugtreduktionen.

1.2 Miljøteknologier til lagring og udbringning af gylle

De langt mest anvendte teknologier til reduktion af ammoniak- og lugtemission under lagring og udbringning, kan opdeles i to hovedgrupper: 1. Forsuring og 2. Nedfældning.

1.2.1 Forsuring af gylle i stalden (typisk med svovlsyre) reducerer ammoniakemissionen under lagring og udbringning af gylle til marken. Reduktionsgraden for lager er ikke endeligt dokumenteret, men det vurderes, at ammoniaktabet fra en beholder med forsuret gylle udgør 1 % af den tilførte kvælstofmængde (Kai et al., 2008), svarende til en reduktion på 50 %, sammenlignet med gyllebeholdere med flydelag. Forsuring kan også ske samtidig med udbringning. Forsuring af gylle ved udbringning kan ske på to måder: a) tildele svovlsyre i lagertanken umiddelbart før udbringning (herefter benævnt tankforsuring) eller b) forsuring på gyllevognen under udbringning af gylle på marken (herefter benævnt markforsuring). For begge teknikker gælder, at det er muligt at tilpasse syretildeling til netop den type gylle, som teknikken anvendes til. Det vil sige at syreforbruget per kubikmeter gylle (og derved miljøomkostningseffektiviteten), vil variere efter gylletype. Så vidt vides, er det indtil nu kun undersøgt, hvor meget markforsuring reducerer ammoniak emissionen. To forskellige undersøgelser i 2010 og 2011 har vist, at reduceres pH i gyllen til under pH 6,1-6,3, vil ammoniakemissionen blive reduceret med ca. 50% i forhold til slæbeslangeudbringning, som er langt den mest almindelige metode til gylleudbringning i Danmark (Nyord et al. 2010; upublicerede data). Det må formodes, at tankforsuring, hvor pH sænkes til samme pH-niveau, vil have omtrent samme effekt på ammoniakfordampningen. Målinger af koncentrationer af en række lugtstoffer efter udbringning af forsuret gylle, har ikke vist en nedsat lugt under udbringning.

1.2.2 Nedfældning af gylle begrænser ammoniak- og lugtemissionen af den udbragte gylle i forhold til slæbeslangeudlægning. Begrænsningen afhænger af den benyttede teknik, og i hvor høj grad gyllen indarbejdes i jorden. Benyttes nedfældning i "sort jord" (marker hvor afgrøden endnu ikke er etableret) reduceres både ammoniak- og lugtemissionen nær ved 100% set i forhold til slæbeslangeudbringning. Hvis gyllen ikke dækkes helt med jord under nedfældningen, kan ammoniakfordampningen forløbe over en periode på op til 3-10 døgn. Dette er typisk ikke tilfældet ved nedfældning i en voksende afgrøde, f.eks. græs. To forskellige undersøgelser i 2010 og 2011 viser entydigt at ammoniakemissionen reduceres med ca. 50 % ved nedfældning i forhold til slæbeslangeudbringning (Nyord et al. 2010; upublicerede data).

Forventning til fremtidige miljøteknologier til udbringning af gylle

Det er ikke kendskab til "ikke-modne" teknologier som vil kunne reducere ammoniak- og lugtemission fra lagring og udbringning af gylle markant mere end de kendte teknologier. Dog er det kendt, at der i øjeblikket arbejdes på at gøre både nedfældning og forsuring af gylle til mere omkostningseffektive teknologier. Desuden forventes det, at udbringning af gylle kan gøres mere miljøvenlig ved at benytte IKT til f.eks. præcis dosering af næringsstoffer efter markens behov, ved udvikling af næringsstofsensorer, dosering efter markens udbyttepotentiale og tilsætning af næringsstoffer til gyllen, således at næringsstofindholdet balanceres efter afgrødens behov.

2 Miljøteknologier til reduktion af fosfor- og kvælstofindhold i gylle

2.1 Fodringsmæssige tiltag som miljøteknologier

Husdyrenes produktivitet og sundhed er afhængige af tildelingen af næringsstoffer og energi, hvorfor der er stort fokus på tilstrækkelig forsyning til at sikre produktion, sundhed, velfærd, produktkvalitet mv. Samtidig er

der stor bevågenhed på den mængde næringsstoffer, der ikke udnyttes til produktion, og som derfor udskilles med gødningen og dermed kan tabes til det omgivende miljø. Over årene har forskning, forsøg og rådgivning resulteret i en stærkt reduceret udledning af næringsstoffer som kvælstof og fosfor samt fordampet ammoniak pr. kg produkt. Mængden af udskilt kvælstof og fosfor er for nogle husdyrkattegrupper halveret pr. kg produkt siden 1985, men forskning og forsøg afdækker til stadighed nye muligheder for reduktioner. Virkemidlerne bag forbedringerne (opnåede og forventede) kan relateres til: 1. Effektivitetsstigninger (foderudnyttelse) opnået gennem avl og management, 2. Foderoptimering (fodervurdering, fastlæggelse af næringsstofbehov), 3. Tilpasset fodring til dyrenes behov (fasefodring, flere foderblandingsstyper), 4. Erstatning af råprotein med industrielle aminosyrer (svin, fjerkræ, (kvæg?)), 5. Brug af høj kvalitets foderfosfater (MCP), 6. Brug af enzymer som fytase til erstatning af foderfosfat, og 7. Andre foderadditiver (senest benzosyre) og andet.

Det skal bemærkes at de effekter, der opnås i det første led (husdyrenes genetik og fodring) har effekter i de efterfølgende led (stalde, lagring af husdyrgødning, udbringning eller anden brug af husdyrgødning) selv uden, at der bygges andre miljøteknologier på. Samtidig skal man være opmærksom på at effekten af andre miljøteknologier i stald, lager, udbringning mv. afhænger af, hvilke fodringsmæssige tiltag de anvendes sammen med. Effekterne er derfor sjældent additive. De fodringsmæssige tiltag angriber ved "kildens rod" og vil kunne begrænse effekten af efterfølgende teknologiske tiltag. Samtidig har de fodringsmæssige tiltag ofte effekter på flere miljøfaktorer, som f.eks.: 1. Nedsat kvælstofudledning pr. kg produkt (og dermed reduceret udvaskning), 2. Nedsat dannelse af ammoniak (og dermed reduceret emission af ammoniak), 3. Nedsat fosforudledning pr. kg produkt og 4. Nedsat emission af CO₂ ækvivalenter (eks. metan).

Forventning til fodringsmæssige tiltag som fremtidige miljøteknologier

Eksempler: 1. fortsat erstatning af råprotein i foderet med industrielle aminosyrer (kræver udvikling og test af nye aminosyrer), 2. forbedrede redskaber til fodervurdering i forskning og i praksis (især af nye foderstoffer, herunder biprodukter), 3. brug af enzymer til stimulering af fordøjeligheden af næringsstoffer og energi, 4. andre foderadditiver (forsuring af urin, nedbrydning af antinutritionelle stoffer mv.), 5. brug af specifikke fodermidler med positiv miljømæssig effekt (til begrænsning af f.eks. metan produktion), 6. udvikling af udstyr til præcisionsfodring (udfodringsudstyr, staldindretning, vejeudstyr mv.; se tabel 1), og 7. forbehandling af foder (ensilering, vådfodring mv.) til forbedring af fordøjeligheden af næringsstoffer og energi.

Tabel 1. Samlet oversigt og vurdering af teknologier, der knytter sig til præcisionsfodring af husdyrene og disses omsætning af næringsstoffer i foder og foderstoffer. Effekterne er angivet i % i forhold til normal 2011/2012-værdierne for udskillelse af næringsstoffer og emission af ammoniak. Effektens størrelse er vurderet ud fra effekt af helt ny teknologi eller effekt af opgradering af gammel med ny version af teknologien. Bemærk at effekterne ikke er additive.

Type ¹	Teknik	Uddybning	N	Ammoniak	P	Gas/metan ²⁾	Samlet
Kvæg	1. Gruppe-opdeling	Brug af specifikt udfodringsudstyr til faseopdelt fodring (punkt 2) kræver gruppeopdeling af dyr i samme fase	5-7	13-17	10-25	2	
Andet		Brug af specifikt udfodringsudstyr til faseopdelt fodring (punkt 2) kræver gruppeopdeling af dyr i samme fase	5-15	5-20	5-10	-	
Kvæg	2. Udfodringsudstyr og fodring	Automatisk fodring	5-7	13-17	10-25	2	*
Kvæg		Kraftfoderanlæg	5-7	13-17	10-25	2	*
Kvæg		Foderblander med vejeudstyr	10-15	13-17	20-50	4	***
Kvæg		Udstyr til fedttillsætning (tanke og doseringsudstyr)	-	-	-	9-11	Kun effekt på metan

Andet		Udstyr til etablering af fasefodring ved nyetablering af fasefodring	5-10	5-15	5-10	-	
Kvæg	3. <i>Overvågnings-udstyr</i>	On-line analyse af mælkeprøver - eksempelvis herd navigator	7-10	13-17	15-40	3	**
Kvæg + andet	4. <i>Foderhåndtering</i>	Vejeudstyr i foderproduktionen Udstyr til finere formaling af foderkorn	8-12	0	15-40	0	
Kvæg + andet		Udstyr til udtagning af ensilage	2-4	0	5-15	0	

¹⁾ Andet = svin/fjerkræ

²⁾ Dyreeffekt (ekskl. mark og lager); kun hos drøvtyggere

Stjerner (*, **, ***) angiver den samlede vurderede effekt, hvor antallet af stjerner angiver størrelsen (tre stjerner har størst effekt).

Hertil kommer, at avlsmæssig fremgang generelt vil reducere udskillelsen af næringsstoffer og gasser og dermed have positiv miljøteknologisk effekt (reduceret foderforbrug, øget produktivitet m.v.). Nedenstående tabel uddyber punkt 6 og giver en oversigt og vurdering af de aktuelle teknologier der bidrager til en mere præcis fodring (se Hansen et al. (2012) for uddybning).

3 Miljøteknologier der bidrager til reduktion af pesticider

I konventionelt jordbrug reguleres ukrudt, sygdomme og skadedyr med anvendelse af pesticider. Pesticider anvendes ligeledes til vækstregulering og nedvisning i en række afgrøder. I landbrugsafgrøder er der få færdigudviklede teknologier, der medfører en væsentlig reduktion i pesticidanvendelsen. Den altdominerende sprøjtetype, der anvendes til udbringning af pesticider i landbrugsafgrøder, er principielt uændret gennem de sidste 10-20 år. De pesticidreducerende teknologier kan groft opdeles i to kategorier: 1) teknologier til rækkeafgrøder og 2) teknologier til bredsåede afgrøder. De væsentligste teknologier til pesticidreduktion er beskrevet i Hansen et al. (2012) og er angivet i Bilag 1.

3.1 Rækkeafgrøder

3.1.1 Båndsprøjtning: I landbrugsafgrøder er båndsprøjtning og radrensning af rækkedyrkede afgrøder ved ukrudtsbekæmpelse den væsentligste teknologi til reduktion af pesticidanvendelsen. Metoden er gammelkendt men har fået fornyet interesse efter introduktionen af GPS styring, der aflaster traktorføreren og samtidig muliggør, at båndbredden kan reduceres. Teknologien er ligeledes relevant i rækkedyrkede frilandsgrønsager. GPS styring ved såning og sprøjtning kan ligeledes sikre at overlap ved sprøjtning minimeres.

3.1.2 Tunnelsprøjtning: Ved sprøjtning med fungicider og insekticider i frugt- og bærkulturer anvendes tågesprøjter. Sprøjttevæsken udsprøjtes horisontalt fra sprøjten samt opad for at kunne dække hele kulturhøjden. Sprøjteteknologien forudsætter således, at der sprøjtes mod en "kulturvæg" med konstant højde. I unge kulturer vil der være huller i denne "væg", og ved tidlige sprøjtninger før udspring vil en stor del af sprøjttevæsken ligeledes gå tabt. Når det tilstræbes at dække i maksimal kulturhøjde, vil dette også medføre et tab. Der er udviklet to teknologier med henblik på at reducere disse tab samt reducere afdriften ved tågesprøjtning. Med tunnelsprøjter foretages applicering som beskrevet overfor, men væske, der ikke afsættes i kulturen, opsamles på tunnelvæggen og recirkuleres. På sensorsprøjter registrerer sensorer eventuelle huller i plantebestanden og slukker for den tilhørende dyse. Reduktionspotentialet med de 2 teknikker er sammenligneligt. Der er afsat enkelte af de 2 typer på det danske marked.

3.1.3 Mekanisk ukrudtsbekæmpelse: Manuel ukrudtsbekæmpelse er en stor omkostning ved dyrkning af økologiske frilandsgrønsager. Det har medført udvikling af teknologier der kan udføre opgaven eller reducere den manuelle indsats. Teknologierne er også interessante ved konventionel dyrkning hvor der ofte er

begrænsede muligheder for kemisk bekæmpelse. Til udplantede grønsager er der udviklet en lugerobot der kan bekæmpe ukrudt både mellem og i rækkerne og denne har vist stor effektivitet og har vundet nogen udbredelse.

3.1.4 Rækkedampning: Denne teknologi bruges til bekæmpelse af ukrudt i rækken forud for såning af grønsagskulturer i det rækkedampede område og med anvendelse af radrensning mellem rækkerne. Der påregnes en bekæmpelseseffekt på 80-90 % i praksis.

3.2 Bredsåede afgrøder

I perioden er der markedsført nye afdriftsreducerende dysetyper, som sikrer et mindre tab til omgivelserne ved sprøjtning under ugunstige vindforhold. Effektmæssigt er der derimod ikke sket væsentlige forbedringer i sprøjteteknologien, som har kunnet bidrage til en reduktion i pesticidanvendelsen.

Der vurderes at være et stort potentiale for pesticidreduktion, såfremt indsatsen af pesticider i den enkelte mark tilpasses stedspecifikt. Dette gælder specielt ved ukrudtsbekæmpelse. Den væsentligste barriere for anvendelse af stedspecifik ukrudtsbekæmpelse er registreringsarbejdet. Udvikling af automatiske systemer til registrering af ukrudtsarter og -planter er en forudsætning for udvikling og implementering af konceptet. Sådanne koncepter arbejdes der med i flere forskningsprojekter. Pt. er det muligt med simpel sensorteknologi, der registrerer biomasse/klorofyl, at foretage ukrudtsbekæmpelse på arealer, hvor al plantevækst er uønsket med denne teknologi. Teknologien kan være relevant ved total ukrudtsbekæmpelse af ukrudt før afgrødens fremspiring samt ved bekæmpelse af rod ukrudt i stubmarker.

4 Kendte teknologier til reduktion af nitratudvaskningen

Teknologier til reduktion af nitratudvaskningen defineres i notatet både som tiltag på marken, der kan hindre/reducere kvælstoftabet ud af rodzonen, og som tiltag i afvandingssystemerne, som renser/reducerer indholdet af nitrat i drænvandet (overskudsnedbøren) inden det når frem til hovedvandløbet. Grøfter og mindre kanaler betragtes her som afvandingssystemer.

Der er tale om en bred vifte af metoder/teknologier, som har forskellig effekt afhængig af bl.a. belastning, jordtype, dyrkningshistorie, klimaforhold, m.fl. I nedenstående er kun beskrevet to teknologier, der anvendes meget i dag: 1) Efter-/mellemafgrøder og 2) Bioforgasning. Desuden er der beskrevet en række teknologier, der er under udvikling og som p.t. afprøves i forsøgssammenhæng. Andre teknologier til reduktion af nitratudvaskningen er beskrevet detaljeret i Schou et al. (2007) og Andersen et al. (2011).

4.1 Anvendt teknologi

4.1.1 Efter- og mellemafgrøder

Efterafgrøder dyrkes efter høst af en hovedafgrøde og ind til såning af en vårafgrøde. Efterafgrøden virker ved, at mineralisk kvælstof optages om efteråret og indlejres i organisk biomasse. Kvælstoffet frigives efter ompløjning/nedmuldning og vil for størstedelen blive optaget i de efterfølgende afgrøder. Efterafgrøder flytter således kvælstof fra udvaskning over i jordpuljen, hvorfra det løbende mineraliseres.

Der skal efter de nugældende regler etableres (lov)pligtige efterafgrøder på 10-14% af landbrugsarealet afhængigt af brugstype. De godkendte efterafgrøder for 2011/12 er udlæg af græs (uden kløver), korsblomstrede afgrøder og cikorie, korn og græs sået senest 1. august, korsblomstrede afgrøder sået senest

20. august eller frøgræs, der efter høst fortsætter væksten som efterafgrøde. Veletablerede ikke kvælstof-fikserende efterafgrøder dyrket efter almindelige landbrugsafgrøder vurderes at kunne reducere udvaskningen med i gennemsnit 25 kg N/ha. På arealer med store mængder plantetilgængeligt N i jorden om efteråret kan den udvaskningsreducerende effekt blive større. For yderligere oplysninger henvises til Hansen (2004).

Pligtige efterafgrøder kan helt eller delvist erstattes ved at udlægge mellemafgrøder. Mellemafgrøder etableres før dyrkning af vintersædsafgrøder og kan enten være olieræddike, gul sennep eller frøgræs. Mellemafgrøden skal være udsået senest den 20. juli og må tidligst nedmuldes eller nedvisnes den 20. september. Da mellemafgrøder vurderes kun at give den halve udvaskningsreduktion i forhold til efterafgrøder, skal mellemafgrøder dyrkes i forholdet 2:1 for at erstatte pligtige efterafgrøder.

Efter- og mellemafgrøder kan helt eller delvist erstattes af nedsættelse af en ejendoms kvælstofkvote.

4.1.2 Bioforgasning

Ved bioforgasning af husdyrgødning sker der en omsætning af organisk bundet kvælstof til mineralsk N, og let omsætteligt kulstof i gødningen reduceres. Det betyder, at plantetilgængeligheden af N i gylle stiger med typisk 10-20% point i tilførselsåret, hvis N tabene holdes uændret (Sørensen og Møller, 2009; Sørensen et al., 2011). Til gengæld er der en lavere eftervirkning i årene efter tilførslen (Schröder et al, 2007). Bioforgasning af organiske gødninger med en større andel af organisk N, som f.eks. fast gødning, fiberfraktion og plantemateriale, medfører en større stigning i plantetilgængelighed. Set over en 10-årig horisont kan det forventes at der kan opnås en N-udnyttelse på mindst 80% for blandet biogasgylle, svarende til en stigning på ca. 10 procentpoint (Petersen og Sørensen, 2008).

Udvaskningseffekt ved uændret N tilførsel efter bioforgasning: Der må forventes omtrent uændret udvaskning set over en kortere horisont (5-10 år), idet der sker en uændret tilførsel af total N. På meget langt sigt (100-200 år) kan der forventes en lidt lavere udvaskning efter bioforgasning. Den langsigtede reduktion ved afgasning af svinegylle kan beregnes til 2,3%.

Udvaskningseffekt ved tilpasset N tilførsel efter bioforgasning: På kort sigt (5-10 år) må der forventes en lidt lavere N udvaskning idet tilførslen af total N reduceres. Modelberegninger ved AU viser at bioforgasning af ren svinegylle og samtidig reduktion i tilførsel af handelsgødning på 9 kg N/DE medfører en reduktion i N udvaskningen på 2,1 % set over en 50 årig horisont (Schou et al. 2007). Set over 100-200 år må effekten forventes at være cirka det dobbelte. For andre gødningstyper kan der forventes en større effekt, men der er ikke lavet beregninger heraf.

Nye teknologier

Drænfiltertechnologier, herunder konstruerede vådområder

Se afsnit 5.

Kontrolleret dræning

Der er under GUDP programmet 2011 givet en 4-årig bevilling (2012-2015) til undersøgelse af potentialet i brugen af kontrolleret dræning som virkemiddel til reduktion af nitratudvaskningen. Ved kontrolleret dræning hæves grundvandspejlet i udvalgte (vinter)perioder på drænedede marker (lerjorde), hvorved en større del af underjorden bliver vandfyldt og en større del af opløste næringsstoffer potentielt kan forblive i jorden frem for at udvaskes. De anaerobe forhold, der dannes ved den hævede vandstand, påvirker samtidig de biologiske processer i jorden, og opløst nitrat kan i højere grad gå tabt ved denitrifikation (Vinther, 1992). Kontrolleret dræning ser generelt ud til effektivt at mindske udvaskningen af næringsstoffer (Lalonde et al., 1996; Borin et al., 2001; Wesström et al., 2001, Drury et al., 2010; Wesström & Messing, 2007). Det primære formål med

kontrolleret dræning er at reducere N-udledningen, men der kan være utilsigtede negative sideeffekter, så som øget risiko mobilisering af P, samt udvikling af den kraftige drivhusgas lattergas. Effekten af kontrolleret dræning vil derfor være en afvejning mellem forbedret vandkvalitet ved mindsket næringsstofudvaskning, øgede gasformige tab og dannelse af drivhusgas (Kliewer & Gilliam, 1995).

Afbrænding af husdyrgødning

Afbrænding af husdyrgødning er i dag kun tilladt, hvis der betales affaldsafgift for den afbrændte husdyrgødning, hvilket ikke gør det økonomisk attraktivt. Dog giver afbrænding mulighed for at reducere fosforoverskuddet i husdyrintensive områder, overholde harmonikravene, samt implementere tiltag, hvor harmoniarealet reduceres (fx udtagning af højbundsjord og skovrejsning), hvilket er årsagen til at teknologien medtages og beskrives her.

Det er alene fast husdyrgødning, herunder den faste fraktion efter separering af gylle, der kan komme på tale til afbrænding. Afbrænding af fiberfraktion fra bioforgasset svinegylle er beregnet til at reducere udvaskningen fra rodzonen med 1,9 kg N/DE (1,4 – 2,9) set over en 50 årig horisont (Schou et al., 2007). Set over en 10-årig horisont reduceres udvaskningen fra rodzonen med ca. det halve, svarende til 1 kg N/DE i svinegylle. For kvæggylle kan forventes en lidt højere effekt (Peter Sørensen, pers. medd.). Udvasningsreduktionen ved afbrænding af fast staldgødning er estimeret til 7 kg N/DE, og reduktionen ved afbrænding af dybstrøelse er 13 kg N/DE over 10-årig horisont. Dette er baseret på simple beregninger, hvor det er antaget, at 30% udvaskes fra handelsgødning/mineralsk N og 26% fra organisk N, samt med de nuværende udnyttelseskrav på hhv. 65% og 45%. Udvasningsreduktionen over en 50årig horisont ved afbrænding af fast staldgødning er estimeret til 18 kg N/DE og reduktionen ved afbrænding af dybstrøelse er 24 kg N/DE.

5 Drænfilterteknologier til reduktion af kvælstof, fosfor og andre miljøfremmede stoffer

Ifølge Grøn Vækst skal udledningen af kvælstof reduceres med 33% og udledningen af fosfor med 50%. Reduktionskravet er ikke jævnt fordelt og størst reduktionskrav findes i områder, hvor en stor del af arealerne er dræned (estimeret 50% af landbrugsarealet). Effektiv dræning er en forudsætning for fødevareproduktion, men afstrømning via dræn bidrager med en betydelig del af næringsstoffetab fra marken, hhv. 45-60% af det total kvælstoftab og 33% af det totale fosfortab.

5.1 Konstruerede vådområder

Konstruerede vådområder (constructed wetlands eller populært minivådområder) er vådområder der er konstrueret specifikt til at omsætte og tilbageholde næringsstoffer i vand der afstrømmer fra et tilgrænsende landbrugsopland. Konstruerede vådområder er drænfilterteknologier, hvor den direkte transport mellem mark og vandmiljø brydes med en såkaldt "filterzone" i form af et åbent vådområde eller en infiltrationsmatrice, der målrettet kan omsætte/opsamle næringsstofferne, hvor det har størst effekt. Konstruerede vådområder omfatter principielt to meget forskellige hovedtyper: (I) vådområder hvor vandgennemstrømningen foregår over jordoverfladen (systemer med åben vandflade) og (II) vådområder hvor vandgennemstrømningen foregår igennem jordmatricen (infiltrationssystemer). Begge typer er beskrevet i Kjærgaard et al. (2006) og Kjærgaard og Hoffmann (2010).

5.1.1 Åbne konstruerede vådområder

Internationalt er der betydelig erfaring med åbne konstruerede vådområder (type I) fra især Sverige, New Zealand og USA. Resultaterne varierer dog meget med målt kvælstofreduktionseffektivitet fra <5 til 80 % og

fosfortilbageholdelse fra <0 til 75%. Internationale erfaringer viser af næringsstofbelastningen samt opholdstiden i vådområdet har afgørende betydning for virkemiddelseffekten. På baggrund af de internationale erfaringer er der i forbindelse med det strategiske forskningsrådsprojekt "SUPREME-TECH" (2010-2015), det GUDP finansierede projekt "iDRÆN" (2011-2015) samt Miljøteknologiordningen (2012) etableret og igangsat/igangsættes undersøgelser på foreløbigt 12 konstruerede vådområder. De første resultater fra disse anlæg forventes klar i 2014. Forventede estimater for N-virkemiddelseffekten afhænger af størrelsen af drænopland og kvælstoftab via dræn, men vurderes for høj-risikoområder (TN dræn >10 mg/L) i størrelsesorden 50-100 kg TN/ha drænet opland, mens effekten for arealer med lavere tabsrisiko (TN dræn 5-10 mg/L) vurderes i størrelsesorden 20-50 kg TN/ha drænet opland. Effekten på tilbageholdelse af partikulært fosfor forventes generelt høj 50-75%, mens effekten på opløst fosfat generelt ikke er betydelig i disse systemer. Den samlede effekt på fosfor afhænger således af fosfortilførslen samt forholdet mellem opløst og partikulært fosfor. Etableringsomkostninger afhænger af størrelse af vådområde (drænopland), omfanget af bortgravning af jord samt evt. beplantning. På nuværende tidspunkt anbefales at de konstruerede vådområder udgør størrelsesmæssigt min. 1% af drænoplandet, og omkostninger til 1 ha konstrueret vådområde forventes i størrelsesorden 75.000 til 150.000 kr afhængigt af omfanget af jordarbejde og beplantning. Når systemet er etableret er der meget begrænset vedligeholdelse af systemet og vedligeholdelsesudgifterne omfatter primært bortgravning af sediment fra sedimentationsbassin samt evt. vedligeholdelse af vådbundsvegetationen. Omfanget er pt uafklaret, men forventes at være omkostningsmæssigt beskedent. Omkostningseffektiviteten er ikke endeligt opgjort men forventes at være under 20 kr/kg N baseret alene på etableringsomkostningerne ved afskrivning over 15 år. Dertil kommer udgift ved udtagning af markareal svarende til 1% af drænoplandet.

5.1.2 Konstruerede vådområder med infiltrationsmatrice

Konstruerede vådområder med infiltrationsmatrice (type II) kendes primært fra spildevandsrensning, og der er pt ikke veldokumenterede nationale eller internationale erfaringer med effekten på diffus drænafstrømning. Der arbejdes i forbindelse med det strategiske forskningsrådsprojekt "SUPREME-TECH" (2010-2015), det GUDP finansierede projekt "iDRÆN" (2011-2015) samt et udviklingsprojekt ved Orbicon med udvikling og undersøgelser af konstruerede vådområder med infiltrationsmatrice. Foreløbige 1-2 årige erfaringer viser generelt gode potentialer for såvel kvælstoffjernelse og fosfortilbageholdelse. Der er dog stadig nogle udfordringer omkring systemernes effekt og funktion, mulige bieffekter og især systemernes levetid der afventes mere viden omkring. I SUPREME-TECH undersøges ligeledes effekten af drænfiltre på andre miljøfremmede stoffer herunder en række pesticider, hormoner og tungmetaller.

5.2 Brøndfilterteknologier

Der arbejdes i forbindelse med det strategiske forskningsrådsprojekt "SUPREME-TECH" (2010-2015) og det GUDP finansierede projekt "iDRÆN" (2011-2015) på udvikling af filterløsninger tilpasset drænbrøndssystemer. Drænbrøndfilterløsninger kan være specielt velegnede til mindre drænoplande (<25 ha). Drænbrøndfiltrene består af hhv. et fysisk partikelfilter samt et porøst filter der skal opsamle/omsætte næringsstofferne. I "SUPREME-TECH" er der fundet filterløsninger der kan reducere fosfatkoncentrationen til under biologiske grænseværdier (<50 mikrogram/l) med reduktionseffektiviteter på op til 98-99%. Filtrenes totale kapacitet og levetid bliver pt undersøgt. Samtidig arbejdes videre med mulighederne for kvælstoffiltre tilpasset drænbrøndssystemer. I SUPREME-TECH undersøges ligeledes effekten af drænfiltre på andre miljøfremmede stoffer herunder en række pesticider, hormoner og tungmetaller.

6 IKT - tiltag som miljøteknologier og produktivetsforbedringer

De stigende krav om miljøhensyn og produktivetsforbedringer, som primærproduktionen i jordbruget er underlagt, stiller krav om en effektiv planlægning, styring og kontrol af primærproduktionens operationer og aktiviteter. Sidstnævnte opgave er nu så kompleks, at den kun kan udføres rettidigt og effektivt ved hjælp af målrettet informations- og kommunikationsteknologi, der automatisk kan registrere beslutninger og handlinger i produktionen og efterfølgende facilitere udførelsen af nye beslutninger og handlinger. Der er gennem mange år udviklet off-line beslutningsstøttesystemer, men disse er kun i begrænset omfang adapteret i landbruget pga. manglende integrering i brugervenlige informationssystemer. Derfor ses nu en udvikling og implementering af systemer, hvor beslutningsprocessen lægges mere ud på den udførende enhed/maskine.

I den fremtidige udvikling af både konventionelt og økologisk landbrug, især med hensyn til rentabilitet og kvalitetskrav, men også i forhold til energibesparelse og overholdelse af miljøkrav, vil avancerede informationssystemer og on-line beslutningsstøttesystemer (BSS) derfor få stigende betydning. On-line driftsledelsesværktøjer i forbindelse med planlægning af og udførelse af arbejdsoperationer vil i mange tilfælde umiddelbart kunne øge ressourceudnyttelsen med 20-25 % (Sørensen, 2000). Ligeledes reduceres usikkerheden omkring driftsledelsesbeslutninger betydeligt (Sørensen et al., 2007). BSS er sted-specifikke og kan give on-line anbefalinger om sortsvalg, mekanisk ukrudtsbekæmpelse, gødskning, sædskifte og afgrødestyring. Potentialet består i at designe værktøjer til specifikke målsætninger, såsom høj kvalitets kornproduktion eller bekæmpelsesstrategier for ukrudt i afgrøder ud fra opdateret vejrdato, markkort, maskindata og andre lokale on-line variable. Andre værktøjer kan hjælpe landmændene med at vælge egnede sorter til særlige betingelser og målsætninger. On-line DSS for planteværn m.v. for konventionelt landbrug og vanding er markedsført i Danmark (Jensen et al., 2000; Thysen & Detlefsen, 2006), som for brugerne i de fleste tilfælde har betydet besparelser på planteværn og vanding. Mulighederne for at adaptere DSS systemer fra udlandet er til stede, men vil oftest kræve justeringer til danske forhold.

Producenter af landbrugsmaskiner er for nuværende i fuld gang med at implementere informationsteknologi i deres produkter (f.eks. GPS, auto-styring, kommunikerende job computere, etc.). Som et ekstra lag etableres kommunikation med management systemer gennem f.eks. trådløst netværk, hvorved der skabes mulighed for automatisk dataopsamling samt indlejring af information i analyse og beslutningsstøttesystemer for videre processering. For eksempel kan en skånsom jordbehandling (så som reduceret jordpakning, effektiv ukrudtsbekæmpelse) kontrolleres via download af instruktioner (optimalt kørselsmønster, korrekt arbejdsdybde m.m.) fra driftslederens pc. Desuden vil efterfølgende registreringer vedr. den aktuelle udførelse af operationen kunne sendes tilbage til driftslederen. En vigtig forudsætning er samtidig en integration af dedikerede driftstekniske optimeringsværktøjer i driftslederens planlægningsmodul. Kun derved kan de opsamlede samt øvrige data og informationer udnyttes effektivt. Nuværende løsninger er karakteriseret ved tilstedeværelsen af store mængder data men ringe integration og intelligent brug af data.

Opnåede og forventede fordele i forbindelse med indførelse af IKT kan relateres til følgende faktorer:

- 1) Effektivitetsstigninger opnået gennem forbedret management (øget produktivitet, øget kapacitet)
- 2) Ressourceoptimering (reduceret arbejdsinput, reduceret energiinput, reduceret gødningsinput m.m.)
- 3) Kvalitetsforbedringer gennem bedre timing af operationer samt bedre processtyring
- 4) Dokumentation og sporbarhed i forsyningskæden (f.eks. dokumentation i forhold til miljøregler og myndigheder)
- 5) Automatisk sikring af miljøregler under udførelsen af operationer (f.eks. vil sprøjten automatisk lukke for sprøjtning ved kørsel ved vandløb i forhold til foruddefinerede afstandskrav, osv.)
- 6) Automatisk data- og informationsbehandling reducerende arbejdsbehovet til administration samt forbedre datakvalitet (giver overblik og fokus på strategiske beslutninger i stedet for rutineopgaver)

Tabel 2. Oversigt over udvalgte IKT teknologier der bidrager til en mere præcis planlægning og kontrol af operationer i landbruget. Bemærk at effekterne ikke er additive.

Teknologi	Uddybning	Effekt				Grad af udbredelse
		Reduceret energi	Reduceret CO2	Øget produktivitet	Andre miljøpåvirkninger	
Optimeret kørsel	Ruteplanlægnings-system til markoperationer	15-18 %	15-18 % (63 til 84 mill. kg pr. år på landsplan)	9-17 %	Reduceret indirekte energi til det sparede brændstof	Prototype
Optimeret planlægning	Allokering og planlægning af ressourceindsats i forhold til afgrødeudvikling og maskinkapacitet	15-20 %	15-20 %	15-20 %		Prototype
Design af kørselsmønster	Optimering og tilrettelæggelse af kørselsmønster, således at arealet med overlappende behandling minimeres	15-18 %	15-18 %		Overlappende pesticid- og gødningsbehandling kan under specifikke forudsætninger reduceres 76-87%	Prototype
Logistik	Optimeret logistik ved transport mellem marker, mellem gård og marker og mellem marker og lagring/forarbejdning m.m.	25 %	25 %			Prototype
SmartTill	Intelligent jordbehandling baseret på datainput vedr. jordparametre og brugerpreferencer				Reduceret brændstofforbrug forbedret jordstruktur m.m.	Pipeline
PlanteværnOnline	Behovsspecifik planlægning af dosering af sprøjtemidler				Reduktionspotentiale 25-50%	Stor udbredelse
"Drop on demand" sprøjtning	Dosering på enkeltplanteniveau				Op til 90% reduktion af pesticidforbrug	Pipeline
SortsInfo/SortsValg	Internetbaseret valg af sorter baseret på forsøgsresultater					Stor udbredelse
DRIFT/Optimering af maskinstørrelser	Planlægning af kapaciteter på maskiner				Spare energi pga. tilpasset kapacitet til behov/forøget kvalitet pga. bedre rettidighed	Stor udbredelse
Autonome letvægts markrobotter	Kombination af ruteplanlægning, GPS teknologier, sensorer til landbrugsmaskiner i letvægtsmaterialer	Forbedret driftsøkonomi på marken, samt en bedre udnyttelse af lavbundsarealer eller andre jordfølsomme områder. Højere produktivitet i forhold til lønudgifter. Miljømæssigt vil det medvirke til en øget høst af biomasse fra lavbundsarealer, og derved bedre vækstbetingelser for græs. Dette vil igen medføre et øget optag af næringsstoffer og mindre udvaskning af disse til vandløb. Endvidere vil de mindre maskiner have et lavere input af energi i forhold til ydeevne, hvilket er bidragende til at mindske kuldioxidudslippet fra landbrugsproduktion. Dette skyldes blandt andet at letvægtssystemet minimerer jordkomprimering, som derved nedsætter behovet for energiintensiv jordbehandling og højner jorden dyrkningskvaliteter.			Pipeline	
Behovsbestemt dosering af husdyrgødning	On-line dosering af husdyrgødning efter næringsstofindhold og afgrødens næringsstofbehov	Tilpasning af næringsstoffordelingen til afgrøden, efter gyllens aktuelle næringsstofindhold og ikke som i dag, efter gyllens forventede næringsstofindhold. Vil primært have reducerende effekt på kvælstofudvaskning, men vil også indeholde en række produktionsmæssige fordele.			Pipeline	

7 Reduceret miljøpåvirkning ved brug af bioteknologi

7.1 Planteavl

For en beskrivelse af den klassiske forædling såvel som de nye forædlingsteknologier, baseret på DNA markører og genetisk modifikation henvises der til Freibauer et al. (2011) samt Anonymous (2009). Der henvises ligeledes til disse to publikationer for en generel status, hvad angår GM afgrøder.

Det kan ikke betvivles, at den konventionelle planteforædling har haft umådelig betydning for udbytte, kvalitet, næringsstofudnyttelse og tolerance overfor abiotisk/abiotisk stress i vore afgrøder. Disse forbedringer bliver sjældent værdisat, men det vurderes, at den grønne revolution, der førte til en 2-3-dobling af udbytterne i afgrøder som ris, majs og hvede var et resultat af en ligelig effekt af planteforædling og agronomiske tiltag. Ligeledes fremføres det ofte, at planteforædling på det lange sigt er den teknologi, der giver den største indtjening. Det er imidlertid også klart, at den stigende intensivisering af planteproduktionen har ført til en større miljøbelastning med pesticider og gødsning med kvælstof og fosfatnæringsstoffer.

Med introduktionen af nye DNA teknikker for genetisk kortlægning og karakterisering samt genetisk modifikation er der sket en meget markant ændring i planteforædlingens potentiale. Det er imidlertid vanskeligt at lave en status for effekterne af den konventionelle forædling kombineret med DNA teknikker. Forædlingsindustrien er ikke forpligtiget til at publicere hvilke ændringer, der er sket i de nye sorter som de ønsker at markedsføre, og i langt de fleste lande er der ikke nogen form for evaluering og regulering ud over at sorterne skal opfylde de såkaldte SES kriterier (selvstændighed, ensartethed og stabilitet). Nye sorter markedsføres primært ud fra udbytte og sygdomsresistensprofil og ikke ud fra andre karakteristika så som næringsstofudnyttelse og miljøbelastning. Manglen på åbenhed og den høje grad af empiri, der stadigvæk præger denne type forædling gør, at det er vanskeligt at vurdere de potentielle effekter på miljø og klima.

I modsætning hertil er sorter udviklet via genetisk modifikation særdeles regulerede og med meget høje krav om dokumentation for planternes egenskaber. En lang række undersøgelser er pågået i offentlig regi hvad angår udbytte og effekter på klima og miljø. Organisationen ISAAA udgiver årligt en oversigt over dyrkningsomfang af GM afgrøder globalt, regionalt og nationalt, hvilke arter der dyrkes samt en række øvrige temaer i de forskellige årsrapporter. I 2011 (James, 2011) blev der globalt dyrket 160 mio. ha GM afgrøder. De dyrkede afgrøder er primært soja, majs, bomuld og raps, der blev dyrket på henholdsvis 75,4; 51,0; 24,7 og 8,2 mio. ha. Sorterne er gensplejsede for tolerance over for herbicider og/eller insekter og i stigende grad er der indsat flere forskellige egenskaber. Af øvrige gensplejsede plantesorter egenskaber kan nævnes papaya, sukkerroer, lucerne, nelliker og roser.

Graham Brookes og Peter Barfoot udgiver via deres firma PG Economics Ltd. en meget omfattende oversigt over GM afgrødernes socioøkonomiske og miljømæssige effekter (Brookes og Barfoot, 2012). Resultaterne af deres sidste oversigt for perioden op til 2010 kan resumeres som følger:

- GM plantedyrkernes nettoindkomst udgjorde i 2010 \$14 milliarder. For perioden siden GM afgrøderne blev introduceret (1996-2010) har den akkumulerede nettofortjeneste været \$78.4 milliarder
- Insektresistensteknologien, anvendt især i bomuld og majs, har givet de største indtjeninger, især i Kina og Indien, med et gennemsnit på for 2010 på \$284/ha and \$89/ha for henholdsvis bomuld og majs
- Hovedparten af indtjening (55%) fandt sted i udviklingslandene, primært i små landbrug
- Teknologifgiften til frøfirmaerne udgjorde \$5.3 milliarder
- GM teknologien resulterede i perioden 1996-2010 i en ekstra produktion på 97,5 mil. tons sojabønner, 159,4 mil. tons majs, 12,5 mil. tons bomuld og 6,1 mil. tons raps
- Hvis der var anvendt konventionelle sorter i 2010 ville det have været nødvendigt at dyrke yderligere 5,1 mil. ha sojabønner, 5,6 mil. ha majs, 3 mil. ha bomuld og 0,35 mil. ha raps.

- GM teknologien har bidraget signifikant til reduktion af frigørelse af drivhusgasser. Dette skyldes mindre brændstofforbrug og opbygning af kulstofreserver i jorden grundet introduktionen af pløjefri dyrkning. I 2010, svarede dette til en reduktion i CO₂ udledningen på 19,4 mil. tons.
- GM teknologien har for perioden 1996-2010 ført til reduceret anvendelse af pesticider på 438 mil. kg (-8,6%).

Ifølge Brookes og Barfoot, er der således ikke nogen tvivl om, at i det globale perspektiv har dyrkningen af GM afgrøder ført til forøgede udbytter, bedre økonomi for planteavleren, reduceret miljøbelastning med pesticider og mindre CO₂ udledning. Der er efter undertegnede vurdering heller ikke nogen evidens i den meget omfattende litteratur, for negative effekter på flora og fauna i det omgivende miljø. En uddybning vedrørende den viden, der findes om effekter af GM afgrøder på miljø, klima og fødevarer kan findes i den udredning, som Aarhus Universitet forestod i 2009 (Fødevarerministeriet, 2009).

Udviklingen af GM afgrøder foregår for nærværende primært i regi af multinationale selskaber, og det er ikke muligt at få et klart billede over deres strategi. Det synes imidlertid klart, at der i høj grad satses på udvikling af majs med en bedre udnyttelse af kvælstof samt bedre tolerance over for tørke. De nye sorter forventes introduceret i 2013. Disse egenskaber vil senere blive overført til bomuld, raps og hvede. Derudover hævder firmaet Monsanto, at de vil være i stand til at fordoble udbyttet i soja, majs, bomuld og raps inden 2030.

Der er næppe tvivl om, at den globale udvikling indenfor planteforædling vil fortsætte. Lande som Brasilien, Indien og Kina er nået langt med at etablere deres egne forædlingsprogrammer. Der foregår en meget stor udvikling indenfor sekventering, hvor det i dag er muligt at sekventere en plantes genom for et beløb der med tiden vil der vil gå fra realiserbart til særdeles billigt. Mange klassiske strategier for genidentifikation vil blive erstattet med sekventering af hele genomet. Genomsekventering vil også i stigende grad blive koblet til selektion der ikke længere er baseret på den klassiske fænotype men på identifikation af sekvensvarianter over hele genomet. På GM området er der en teknologiudvikling i gang, der vil gøre genetisk modifikation langt mere præcis og muliggøre målrettede genetiske ændringer med et minimum af indgreb. En af teknologiudviklingerne er det såkaldte cisgenesekoncept, hvor man kun anvender gener fra planten selv eller fra nære slægtninge. Fokusgruppeundersøgelser tyder på, at denne angrebsvinkel vil være langt nemmere at acceptere for befolkningen (Gaskell et al 2011, Mielby, 2011).

Den teknologiske udvikling muliggør også, at det er muligt at adressere mere komplekse forædlingsmål samt at kombinere et antal karakterer i den samme sort, såkaldt pyramidisering af gener. Dette implicerer, at en sort med pyramidiserede egenskaber vil have en større værdi for planteavleren. Skærpede miljøkrav vil kunne blive en anden meget væsentlig "driver" for avanceret planteforædling idet forædling for f.eks. næringsstof-udnyttelse eller sygdomsresistens under skærpede miljøkrav vil være konkurrencedygtig med anvendelse af omfattende gødsning og pesticider.

Der er i dansk regi en del forskning i gang inden for genomisk selektion og genetisk modifikation, herunder cisgenese. En række projekter er rettet imod sygdomsresistens, bedre næringsstofudnyttelse (kvælstof og fosfat), effekter af stigende CO₂ indhold i atmosfæren, tørketolerance, større udbytte og design af biomasse rettet mod anvendelse til bioraffinering. Der er imidlertid ikke foretaget omfattende forsøg på at værdisætte disse tiltag. På længere sigt er der dog næppe tvivl om, at forædling af planter for en række egenskaber vil være konkurrencedygtig med nuværende teknologier baseret på gødsning, sprøjtning, tilsætning og kunstvanding ligesom plantevækst og udbytte vil være helt centrale aspekter i klimaproblemstillinger og fornybar energi.

7.2 Husdyravl

Avlsarbejdet inden for husdyr revolutioneres i øjeblikket som følge af udviklingen af den nye bioteknologi *genomisk selektion*. Genomisk selektion er udvælgelse af dyr til avl baseret på en genomisk avlsværdi, som beregnes på baggrund af information om DNA-markører spredt ud over hele arvematerialet (Meuwissen et al. 2001). En genomisk prædiktionsmodel udvikles ud fra et stort dyremateriale – en såkaldt referencepopulation. Referencepopulationen er genotyperet for over 50.000 DNA-markører, har mange fænotypiske registreringer og en meget præcis bestemt totalgenetisk værdi for DNA-markørerne. Modellen anvendes efterfølgende til at prædiktere den genetiske værdi af alle avlskandidater, så snart disse kandidater er tilgængelige for en DNA-prøve. Baseret på forskning ved AU er metoden, der har et stort potentiale til at forbedre effektiviteten af avlsarbejdet, nu taget i brug i både kvæg- og svineavl, men har også potentiale for andre husdyrarter og forventes at blive anvendt i eksempelvis pelsdyravlen og ørredavl.

Genomisk selektion giver især mulighed for en effektiv avlsfremgang i egenskaber, der er svære at forbedre med traditionelle avlsmetoder (König et al. 2009). Således forventes en relativt mere fordelagtig avlsfremgang for egenskaber med lav arvbarhed som f.eks. funktionelle egenskaber og egenskaber relateret til sygdom, dødelighed samt miljøpåvirkning. I forhold til sidstnævnte fokuserer AU i øjeblikket på at generere data til at undersøge mulighederne for at reducere den enkelte kos metanudledning med genomisk selektion. Genomisk selektion er nemlig også velegnet til at inddrage nye vigtige egenskaber, der er vanskelige at registrere på alle produktionsdyr i avlsarbejdet. Med baggrund i dette forsker AU specifikt i at opnå genomisk information for ikke-traditionelle egenskaber. For kvæg er der tale om online målinger af mastitis i malkerobotter, mælkekvalitetsegenskaber, individuel foderoptagelse i forhold til fodereffektivitet og individuel metanudskillelse i forhold til genetisk variation i kørrernes miljøpåvirkning. Den forventede avlsfremgang i egenskaberne med lav arvbarhed og vanskelige registreringer vil samlet set kunne resultere i dyr, der er sundere, mere robuste og har lavere miljøbelastning som følge af køer med lavere metanudledning samt svin og kvæg med mere effektiv udnyttelse af fosfor og nitrat og lavere udledning af CO₂ (som følge af øget fodereffektivitet). Endelig har genomisk selektion også potentiale til at reducere indavlsstigningen og dermed i højere grad bevare den eksisterende genetiske variation i husdyrpopulationerne end traditionelle avlsmetoder (Daetwyler et al. 2007).

Genomisk selektion har allerede vist sig meget effektivt inden for homogene kvægracer, hvor der er en stor referencepopulation. Derimod har det vist sig vanskeligt at opnå en tilstrækkelig høj sikkerhed på genetiske værdier for mindre racer (Lund et al. 2011). Det giver en u hensigtsmæssig fokusering på de store racer, og det er derfor af afgørende betydning, at metoden bliver effektiviseret for mindre racer. En måde at opnå dette på vil være at samle alle racer i en fælles referencepopulation og prædiktere på tværs af racer. For at denne strategi bliver effektiv, er der imidlertid brug for endnu mere præcis DNA-information. Fremtidig forskning og implementering af genomisk selektion vil derfor fokusere på inddragelsen af information fra total sekventering af en stor del af referencepopulationen. Herved øges antallet af DNA-markører fra 50.000 til ca. 20 millioner. Da metoden er et meget effektivt selektionsredskab, vil mange flere dyr blive testet. For kvægproduktion forventer vi, at alle køer på et tidspunkt vil blive testet, da informationen også kan bruges til managementrelaterede tiltag. Samlet set betyder det, at kravene til beregningsmodeller og -kapacitet vil eskalere drastisk. En væsentlig forskningsindsats bliver derfor også at udvikle effektive algoritmer og strategier til beregning af genomiske værdier.

Genomisk selektion er i sin nuværende form en "black box"-teknologi, som ikke inddrager viden om de enkelte gener og genetiske netværk, der forventeligt påvirker en given egenskab. Med øget fokus på sekvensinformation samt øget viden om geners effekt og interaktioner fra bioinformatiske databaser vil denne viden kunne inddrages i fremtiden. Herved øges forståelsen for de genetiske forandringer, som avlen forårsager foruden potentielt at bidrage til en mere effektiv avl.

Genomisk selektion er en effektiv teknologi med vidtrækkende konsekvenser. Det er derfor afgørende at forske i metoder til at vurdere disse konsekvenser. Metoderne skal bruges til at anbefale selektionsstrategier, der resulterer i en balanceret avlsfremgang og minimerer risikoen for negative konsekvenser som følge af f.eks. indavl.

8 Teknologier og tiltag til reduktion af landbrugets klimabelastning

Landbrugets udledninger af drivhusgasser omfatter primært udledninger af metan og lattergas. Hertil kommer dog at ændringer i jordens indhold af kulstof kan føre til netto udledninger eller binding af CO₂. Desuden bidrager biomasseproduktionen i landbruget til samfundets energiforsyning og dermed til substitution af forbrug af fossil energi. Der er en række teknologier og tiltag, der vil kunne reducere udledningerne af drivhusgasser, men der er dog her primært medtaget tiltag, som skønnes relevante at gennemføre uden væsentlige reduktioner i landbrugsproduktionens størrelse. Da gødskningsniveauet for kvælstof i Danmark allerede ligger ca. 15 % under det økonomisk optimale, vil yderligere reduktioner medføre uforholdsmæssigt store udbyttenedgange, og samtidig vil effekt på emissioner fra reduceret N-udvaskning formentlig være forholdsvis lille. Tiltag til yderligere reduktion af N-normer eller øget krav om N-udnyttelse i husdyrgødningen er derfor ikke medtaget.

Udledningen fra dyreholdet er i Danmark blandt de laveste i verden, hvorfor en reduktion i det danske husdyrhold uden en samtidig reduktion i forbruget af animalske fødevarer globalt, vil betyde at produktionen gennemføres andre steder med samme eller sandsynligt større udledninger af drivhusgasser. En generel forbedring af effektiviteten i husdyrbruget (højere produktion pr. dyr, højere udnyttelse af indtaget energi og næringsstoffer, specielt kvælstof) vil dog have en betydende effekt (Dalgaard et al, 2011).

8.1 Bioenergi

8.1.1 Halm til brændsel

Ved anvendelse af halm til brændsel i kraftvarmeproduktion vil energiproduktionen i halmen kunne erstatte anvendelse af fossile brændsler. Afbrænding af halm bevirker dog en mindre tilførsel af kulstof og kvælstof til landbrugsjorden, som vil påvirke udledningerne af lattergas og lagringen af kulstof i jorden. Fjernelse af halm påvirker lattergasemissionerne gennem en mindsket N-tilførsel i planterester. Dette giver en reduktion i lattergasudledninger på 31 kg CO₂-ækv./ton fjernet halm af korn. Der regnes her med et halmudbytte på 3,5 ton/ha. Tilførsel af kulstof i halm vil øge jordens kulstofindhold, indtil der opnås en ny ligevægt mellem opbygning og nedbrydning af jordens puljer af labilt og stabiliseret organisk stof. Tidshorizonten for opnåelse af en ny ligevægt er dog temmelig lang (>50 år). Over en 20-årig periode vurderes ca. 15 % af det tilførte kulstof at blive ophobet i normalt dyrket jord. Dette giver over 20 år en øget kulstoflagring svarende til 210 kg CO₂ pr. ton nedmuldet halm. Hvis halmen fjernes, vil der være en tilsvarende nettoudledning af CO₂.

8.1.2 Græs fra naturpleje til biogas

Vedvarende græsmarker og engarealer udgør et ressourcegrundlag for biomasse til anvendelse i biogasanlæg. Denne udnyttelse vil ikke alene kunne bidrage til energiproduktion, men også medvirke til naturpleje på disse arealer. Endvidere vil udnyttelse af græs fra vedvarende engarealer i biogasanlæg formentlig på længere sigt kunne fjerne næringsstoffer fra ådalene og dermed bidrage til et renere vandmiljø. Der vil formentlig kunne opnås et udbytte på 3,5 tons tørstof pr. ha (Jørgensen et al., 2008b). Der vil være risiko for metan-lækage i forbindelse med biogasproduktionen. Derimod forventes høst af græs på engarealerne ikke at påvirke jordens kulstofindhold.

8.1.3 Flerårige energiafgrøder

Flis af pil, poppel og andre flerårige energiafgrøder kan umiddelbart indgå som brændsel i kraftvarmeproduktion. Pil kan ligesom elefantgræs dyrkes med et meget lavt input af energi og gødning (Jørgensen et al., 2008a). Der kan regnes med et udbytte på 10-12 ton tørstof per ha per år i pil. Arealet med pil er for nærværende omkring 5.000 ha, og arealet med poppel omkring 1.000 ha. Et skift fra almindelig korndyrkning til dyrkning af flerårige energiafgrøder medfører en lang række effekter på drivhusgasemissionerne. Der vil således være effekter på kvælstofanvendelse og kvælstoftab, som har konsekvenser for lattergasemissioner, samt effekter på brændstofforbruget og på kulstoflagringen i jorden. Samlet vurderes dyrkning af pil i forhold til vårbyg med udlæg at føre til en årlig reduktion i lattergasemissioner på 0,43 CO₂-ækv/ha. Kulstoflagring er tilsvarende vurderet til 0,83 ton CO₂-ækv/ha/år ved at skifte fra vårbyg med efterafgrøde til dyrkning af pil.

8.2 Husdyr

8.2.1 Ændret fodring til kvæg

Dette tiltag vil indebære øget fodring med kraftfoder, fedt og let fordøjeligt grovfoder, som vil kunne reducere udledningerne af metan fra malkekøerne med ca. 10 %. Disse tiltag er mulige på konventionelle malkekvægsbedrifter, men kun i mindre grad på økologiske kvægbedrifter. Ved 100 % udbredelse, under hensyn til lavere effekt ved økologi og ingen effekt for dyr på græs, kan der for alt kvæg (malke- og ammekvæg) regnes med en samlet reduktion på 8 % i udledningen af metan, men mindre ved stigende andel økologi (ca. 0,6 %-enheder mindre pr. 10 % mere økologi). Der kan antages en 10 % reduktion for malkekvæg og 5 % reduktion for andet kvæg.

Vurdering af de samlede miljømæssige gevinster kræver at der ses på hele kæden, inklusive foderproduktionen og metanudledningen fra gødningen, og evt. biogas-potentialet. Mogensen et al. (2011) har f.eks. vist at CO₂ udledningen fra produktion af 1 kg tørstof i grovfoder (majsensilage) er 60 % af udledningen fra 1 kg tørstof i kraftfoder. Øget fodring med kraftfoder vil således reducere metanudledningen fra kvæg, men øge udledningen fra foderproduktionen. Et andet eksempel på afledte effekter er at værdien af gylle som biogas forøges svarende til den reduktion der opnås i udledningen af metan fra dyrenes omsætning af foderet. Tilsvarende vil metanudledningerne øges fra lagret gylle, hvis der ikke tages tiltag til reduktion af disse.

8.2.2 Forlænget laktation til køer

Ved dette tiltag forlænges laktationsperioden fra 13 til 18 måneder hos malkekøer. Dette vil kunne reducere udledningen fra mælkeproduktionen med op til 10 % ved et væsentligt mindre forbrug af foder til dyr, der ikke er lakterende (goldkøer og opdræt). Ved påvirkninger af hele produktionssystemer, som ovenstående er et eksempel på, er det afgørende at se på de afledte effekter. Som diskuteret af bl.a. Martin et al. (2010) er det helt afgørende at partielle erkendte reduktioner vurderes i forhold til deres indflydelse, dels på andre emissioner fra systemet, dels på hvorledes ændringer i systemet påvirker emissionen fra afledte systemer. Her er en vigtig sondring, om der udelukkende ses på nationale emissioner, eller der ses på de globale effekter. Således fandt Kristensen et al. (2011), at mælkeproduktion med en høj intensitet (DE pr. ha) havde en lav emission fra bedriften, men samlet, når foderimport blev indregnet, var det blandt de strategier med højest emission pr. kg mælk.

8.3 Husdyrgødning

Kendte miljøteknologier til behandling af husdyrgødning kan reducere potentialet for drivhusgasemission ved at fjerne organisk tørstof (biogasbehandling, gylleseparation). Kun biogasbehandling har i dag et signifikant omfang med 8 % af gødningsmængden (Nielsen et al., 2011), og her forudsættes i den danske opgørelse en

reduktion af metanemission under lagring på 23 og 40 % for hhv. kvæg og svin, og tilsvarende en reduktion af lattergas i marken på 36 og 40 % (Nielsen et al., 2011); dokumentationen for disse effekter er dog fortsat sparsom. Nye undersøgelser har vist, at også gylleforsuring, ved at hæmme metanogene bakterier, kan reducere metanemissionen under lagring med væsentligt over 50 % (Petersen et al., 2012).

8.3.1 Biogas af husdyrgødning

Omkring 8 % af den samlede gylleproduktion behandles i dag i biogasanlæg, typisk sammen med andre kilder til organisk tørstof, som kan øge den specifikke gasproduktion. Biogasproduktion kan substituere fossile brændsler, idet der regnes med en energiudnyttelse på omkring 80 % i overensstemmelse med en tidligere opgørelse (Fødevareministeriet, 2008). På samme tid reduceres potentialet for metanemission under lagring, og det samme antages for lattergasemission efter udbringning (Nielsen et al., 2011). Fødevareministeriet (2008) beregnede effekterne af biogas på reduktion af metan og lattergas til 21,8 og 24,8 kg CO₂-ækv pr. ton gylle for henholdsvis svine- og kvæggylle. I den nationale emissionsopgørelse (Nielsen et al., 2011) benyttes andre standarder for husdyrgødning samt en anden metode til beregning af metanemission fra husdyrgødningen end den der lå til grund for Fødevareministeriet (2008). Dette medfører en lidt lavere beregnet emissionsreduktion. Desuden inkluderede beregningerne i Fødevareministeriet (2008) reducerede udledninger af lattergas som følge af mindre kvælstofudvaskning ved anvendelse af biogas. Denne effekt er ikke medtaget i Nielsen et al. (2011) som en direkte effekt af biogas. Tilsvarende gælder for effekten af biogasbehandling på kvælstofudvaskningen, som også vil påvirke lattergasudledningerne. Effekten af biogasbehandling af gyllen på kulstoflagring i jorden er endnu dårligt kendt, men der er målt en lidt mindre kulstoflagring i jorden ved bioforgasning.

8.3.2 Forsuring af gylle

Flere teknologier er på markedet til forsuring af gylle. De er målrettet forsuring i stalden, i lagertanken, eller i forbindelse med udbringning, og anvendes for at reducere ammoniaktab. Nye undersøgelser både i laboratorieskala og under praksisnære lagringsforhold har dokumenteret en langtidsholdbar hæmning af metanproduktionen ved forsuring med svovlsyre (Petersen et al., 2012). Der vil kunne opnås en reduktion af metanudledningen på 60 %. Den reducerede ammoniakfordampning har dog ingen effekt på lattergasemissionerne, da reduktionen i lattergas fra kvælstof tabt ved ammoniakfordampning opvejes af en øget lattergasemission fra udbragt kvælstof i marken. Effekten på lattergas fra lagringen vurderes at være beskedent. Det gælder for både ammoniak og metan, at den største effekt opnås ved forsuring i stalden eller ved overførsel til lager, eventuelt efter separation og/eller biogasbehandling. Effekten af staldforsuring som enkelttiltag kan anslås til ca. 345 og 435 kg CO₂ ækv. pr. DE for henholdsvis svinegylle og kvæggylle.

8.3.3 Overdækning af gyllebeholdere

Siden 2007 har der været krav om, at nye gyllebeholdere som er nærmere end 300 m fra bebyggelse skal have en fast overdækning, f.eks. teltdug. Et flydelag er dog fortsat den dominerende løsning på kravet om overdækning. Ved lagring af kvæggylle vil der typisk etableres et naturligt flydelag af fibre i gødningen samt strøelse fra stalden. Et flydelag kan også etableres ved iblanding af snittet halm eller med andre materialer. Et flydelag reducerer ammoniakfordampningen, men flydelaget er også direkte involveret i omsætning af drivhusgasser via mikroorganismer, som koloniserer flydelaget under lagringen. Flydelaget vil have et potentiale for metanoxidation, en mikrobiel omsætning af metan til CO₂. Metanoxidationen i flydelag kan stimuleres ved at øge luftens metankoncentration, ligesom også tilgængeligheden af ilt i flydelaget er vigtig. Det er i udenlandske studier fundet, at en fast overdækning over kvæggylle med et flydelag reducerede metanudledningen med 10-20 %. Effekten af en fast overdækning på gylle med flydelag kan derfor for svine- og kvæggylle sættes til hhv. 85 og 105 kg CO₂ ækv. DE⁻¹, idet der antages en reduktion af metanemissionen på 15 %.

8.3.4 Afbrænding af fiberfraktion

Ved gylleseparation produceres en tørstoffraktion, som man kan vælge at brænde og dermed opnå et energiudbytte. Energiudbyttet er i høj grad afhængig af forbrændingsteknologien, hvor det mest effektive vil være en afbrænding på centrale kraftvarmeværker med mulighed for røggaskondensering. Separation og afbrænding af tørstoffractionen kan ske på grundlag af ubehandlet gylle eller efter forudgående biogasbehandling. Afbrænding af fibre vil mindske tilbageførslen af kulstof til jorden, en effekt som skal modregnes i den samlede balance. I henhold til Fødevareministeriet (2008) vil dette føre til reduceret metanudledning på 0,9 kg CO₂-ækv pr. ton gylle, reducerede lattergasemissioner på 27,0 kg CO₂-ækv pr. ton gylle og øgede CO₂-udledninger fra mindsket kulstoflagring i jorden på 11,6 kg CO₂ pr. ton gylle.

8.4 Kvælstofhåndtering

8.4.1 Nitrifikationshæmmere

Der har i en årrække været forskellige produkter på markedet, som kan hæmme nitrifikation af ammoniumholdige gødninger. Herved mindskes både risikoen for N-udvaskning og potentialet for denitrifikation og dermed for dannelse af lattergas. Praktiske forsøg har vist varierende, men generelt små positive effekter på planteudnyttelse og udbytte ved udbringning sammen med ammoniumholdige gødninger. Forsøg har vist, at tilsætning af nitrifikationsinhibitorer til ammoniumholdige handelsgødninger reducerer lattergasemissionerne med ca. 30-70 %. Nitrifikationsinhibitorer kan også blandes i husdyrgødning, men effekten er typisk mindre, fordi det organiske stof i gødningen binder det aktive stof og omsætningen i gødningen fremmer nedbrydningen. Derfor kan der foreløbigt alene regnes med effekt for ammoniumholdige handelsgødninger, hvor effekten for blandede ammonium- og nitratholdige handelsgødninger kan anslås til en reduktion i lattergasemissionerne på 30 %. Dette giver en reduktion i udledningerne på 1,8 kg CO₂-ækv/kg N. Det er muligt at nyere nitrifikationsinhibitorer også vil kunne anvendes i husdyrgødning, især hvis denne har et lavt indhold af organisk stof, hvilket vil være tilfældet ved behandling i biogas eller efter separation.

8.4.2 Flere bælplanter i græsmarker

Ved normalt udbyttensniveau er N-normen til kløvergræs under 50 % kløver 246 kg N/ha og for græs uden kløver 346 kg N/ha for vandet sandjord. Ved at reducere N-gødsningen vil der kunne opnås en tilsvarende reduktion i lattergasemissionerne, og i det omfang en sådan reduktion vil kunne kompenseres gennem øget N-fiksering af kløveren i kløvergræsset, vil dette også kunne ske uden væsentlige reduktioner i udbyttet. Der er imidlertid betydelig usikkerhed omkring effekter af reduceret gødsning på udbyttensniveau i praksis. Det skønnes, at det med yderligere forskning og udvikling af nye styringsværktøjer vil være muligt at reducere kvælstoftildelingen i græsmarker med op til 100 kg N/ha med forholdsvis beskedne udbyttetab. Dette vil indebære, at der i højere grad fokuseres på bælplanter, der fikserer kvælstof fra atmosfæren uden at det fører til emissioner af lattergas. Ved en reduktion af kvælstofgødsningen må det med god styring af kløvergræsset formodes at dette opvejes af en tilsvarende stor biologisk kvælstoffiksering. En reduktion af kvælstofgødsningen vil derfor ikke reducere kvælstofudvaskningen. Hvis det antages, at kvælstofgødsningen kan reduceres med 100 kg N/ha gennem en reduktion af kvælstofnormen til kløvergræsmarker fås en reduktion i drivhusgasudledningen på 465 kg CO₂-ækv/ha.

8.5 Arealrelaterede tiltag

8.5.1 Udtagning af lavbundsarealer med ophør af dræning

En ny kortlægning af arealet med organogen jord (tørvejord) i landbrugsmæssig anvendelse er netop afsluttet. I følge den nye kortlægning er det i dag omkring 70.000 ha af landbrugsarealet, der klassificeres som organogen (>12 % C), mens yderligere 45.000 ha har et forhøjet indhold af organisk stof (6-12 % C). Det er relevant at overveje ændret arealanvendelse for begge disse kategorier, som har en høj risiko for tab af kulstof. Der er tale

om en markant reduktion i arealomfanget af disse jorde sammenlignet med en tidligere opgørelse fra 1975, som er udtryk for at der sker et udbredt tab af organisk kulstof i forbindelse med dræning og opdyrkning af disse arealer. Nedbrydningen af organisk stof medfører også frigivelse af kvælstof, og der er således også store udledninger af lattergas forbundet med nedbrydning af organisk stof.

Udtagning af lavbundslande er et muligt tiltag til drivhusgasreduktion. Den anvendte emissionsfaktor for organiske jorde i omdrift er $8,7 \text{ t C ha}^{-1}$, mens den for permanent græs uden gødskning er sat til $1,25 \text{ t C ha}^{-1}$, og for permanent græs, som gødes eller afgræsses, til $5,7 \text{ t C ha}^{-1}$. Forskellene i emissionsfaktorer begrundes med en typisk mindre grad af dræning af de ekstensive græsarealer, dels den manglende jordbearbejdning. Udtagning af arealer i omdrift, der omfatter 40.000 ha med organogen jord og 30.000 ha med 6-12 % C, vil være mest effektiv som tiltag til drivhusgasreduktion, forudsat at dræning ophører. Dels er kulstoffabet her stort pga. intensiv dræning og jordbearbejdning, men disse arealer kan også være en betydelig kilde til lattergas. Danmark benytter en emissionsfaktor for lattergas på $8 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$.

Det største potentiale for drivhusgasreduktion ligger på organogene jorde i omdrift, hvor den samlede drivhusgasemission i form af CO_2 og lattergas er opgjort til i gennemsnit $34 \text{ t CO}_2 \text{ ækv ha}^{-1}$ årligt. Emissioner af metan har her ingen betydning for den samlede balance. På baggrund af omfattende undersøgelser i Tyskland (Drösler og Sutton, 2010) vurderes det, at effekten af udtagning og afbrydelse af dræning vil være i størrelsesordenen $10 \text{ t CO}_2 \text{ ækv ha}^{-1}$. Det er uvist, om et tilsvarende reduktionspotentiale vil gælde for arealer i omdrift med 6-12 % organisk C, men det er sandsynligt at kulstoffabet og lattergasemission fra disse arealer, og dermed reduktionspotentialet, er højt.

8.5.2 Skovrejsning

Ved udtagning af landbrugsjord på højbund til skovrejsning forventes en reduktion i N-udvaskningen på 50 kg N ha^{-1} (Olesen et al., 2004). Det antages desuden, at der sker en reduktion i lattergasemissioner fra gødskning, N-udvaskning og ammoniakfordampning. Ved skovrejsning sker der hovedsageligt en binding i træernes vedmasse samt i løvlaget over mineraljorden. Den årlige tilvækst afhænger dog i betydelig grad af skovens alder og er mindst lige efter etableringen. Effekten af skovrejsning på kulstoflagringen vil være betydeligt større jo tidligere skoven etableres, da den årlige tilvækst af kulstof i vedmassen tiltager efter en etableringsperiode.

8.5.3 Vedvarende græsmarker

Hvis jord i omdrift omlægges til vedvarende græs, sker der en opbygning af jordens kulstofpulje i størrelsesordenen $0,3-1,9 \text{ t C/ha/år}$ og med 1 t C/ha/år som en typisk værdi, der også er fundet under danske forhold (Christensen et al., 2009). En tilsvarende opbygning sker under græs i omdrift, men ved ompløjning efter 2-4 år sker der en omsætning og frigivelse af store dele af det bundne kulstof. En samtidig stor frigivelse af kvælstof ved ompløjning af græs giver formentlig også anledning til en frigivelse af lattergas, men det findes der ikke gode data på. Der findes ikke egentlige data på effekt af unladelse af pløjning af græsmarker, men effekten er formentlig noget mindre end omlægning af marker i omdrift til vedvarende græs.

8.5.4 Efterafgrøder og mellemafgrøder

Etablering af efterafgrøder i perioden mellem høst og etablering af en forårssået afgrøde næste forår vil reducere kvælstofudvaskningen, da efterafgrøden vil optage en del af det kvælstof, der ellers ville være blevet udvasket i løbet af efteråret og vinteren. Den årlige udvaskningsreduktion er størst på sandjord og mindst på lerjord og desuden større på husdyrbrug end på planteavlbrug, og tilsvarende effekter vil optræde i forhold til effekter på gødningsforbruget. Efterafgrøder kan antages at give et nettobidrag til jordens kulstofpulje på 200 kg C/ha/år (Fødevareministeriet, 2008). Samlet betyder dette, at efterafgrøder giver en reduktion i emissionerne på $0,8$ til $1,0 \text{ ton CO}_2/\text{ha}$ afhængig af jordtype og husdyrhold.

Der er gennemført forsøg omkring dyrkning af såkaldte mellemafgrøder, der f.eks. er en afgrøde af olieræddike som dyrkes mellem to afgrøder af vintersæd. Olieræddiken udsås før høst i f.eks. vinterhvede og nedmuldes inden den efterfølgende vinterhvede. Dette har formentlig ingen effekt på emissionerne af lattergas. Derimod vil det kunne binde kulstof i jorden, formentlig i samme størrelsesorden som for efterafgrøder.

8.5.5 Reduceret jordbearbejdning

Pløjefri dyrkning omfatter mange forskellige jordbearbejdningsmetoder med reduceret arbejds- og energiindsats. Pløjefri dyrkning reducerer energiforbruget og den tilhørende CO₂-udledning med 33-64 %, afhængigt af metode og teknik. Med den form for reduceret jordbearbejdning, der praktiseres i Danmark må reduktionen i brændstofforbrug skønnes at ligge på ca. 40 kg CO₂ ha⁻¹. Nyere resultater, sammenholdt med internationale undersøgelser, viser dog, at der ved reduceret jordbearbejdning er mulighed for lagring af kulstof i jorden, forudsat at afgrødeproduktionen kan opretholdes på nogenlunde samme niveau som ved traditionel jordbearbejdning med pløjning og harvning. Denne effekt ligger formentlig i størrelsesordenen 300 kg CO₂/ha. Der er derimod større usikkerhed om effekten af reduceret jordbearbejdning på lattergas-emissioner.

8.5.6 Kulstoflagring i form af biochar

Muligheden for at anvende biochar (biokoks) til kulstoflagring i jord er fremført med stigende vægt i internationale undersøgelser. Biochar er stabilt kulstof (analogt til trækul), der dannes, når biomasse behandles ved høj temperatur og lavt iltryk, for eksempel i pyrolyseanlæg. Processen danner bioenergi, men som følge af ufuldstændig forbrænding bevares cirka halvdelen af biomassens kulstof i fast form (biochar) i stedet for at ende som CO₂. Via dette biochar kan biomasse tilbageføres til jorden som en stabil kulstofpulje, da biochar har høj resistens overfor kemisk og mikrobiel nedbrydning. Biochar kan fungere som et direkte kulstoflager, men herudover viser undersøgelser, at det porøse kulstof-materiale kan forbedre jordens dyrkningsegenskaber gennem effekter på faktorer som pH, vandholdende evne og fastholdelse af N og P i rodzonen.

8.6 Samspil mellem teknologier og tiltag

Introduktion af en teknologi på et sted i landbrugsbedriften risikerer at påvirke emissioner fra andre kilder. Et eksempel er, at tilsætning af visse fedtkilder til kvægfoder ligesom en øget andel af kraftfoder, reducerer drøvtyggers metanemission fra fordøjelsen med omkring 10 %, men meget tyder på at det kan øge potentialet for metanproduktion i husdyrgødningen. Foreløbige beregninger har vist, at dette i visse situationer mere end kompenseres af en øget metanemission fra gyllelageret. En kombination af tiltag, der forhindrer kompenserende sideeffekter, vil derfor have det største potentiale for drivhusgasreduktion. På nogle bedrifter kan fodring med fedt måske kombineres med biogasbehandling; dette vil mindske metanemission i stald og lager, og den fortrængte metan kan substituere fossile energikilder.

Den samlede drivhusgasreduktion for kombinationer af teknologier og tiltag bør analyseres nøje for at identificere synergier og kompenserende effekter. Det er nødvendigt at overveje en vifte af strategier til håndtering af husdyrgødning, og at klarlægge tekniske og andre barrierer mod implementering. For bedrifter uden adgang til biogasanlæg kan den optimale løsning være gylleforsuring i stalden, der forventes at reducere emissioner af både ammoniak og metan, og muligvis også lattergasemission fra flydelag under lagringen.

Litteraturliste

- Andersen, H.E., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Nordemann Jensen, P., Vinther, F.P., Sørensen, P., Møller Hansen, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, U., Jacobsen, B., 2011. Virkemidler til N-reduktion – potentialer og effekter. Notat til "Kvælstofudvalget" fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi og DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Borin, M., Bonaiti, G., Giardini, L., 2001. Controlled drainage and wetlands to reduce agricultural pollution: A lysimetric study. *J. Environ. Qual.* 30, 1330-1340.
- Brisson, N., Rebière, B., Zimmer, D., Renault, P., 2002. Response of the root system of a winter wheat crop to waterlogging. *Plant Soil* 243, 43-55.
- Brookes, G and Barfoot, P., 2012. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2010, pp. 187.
- Christensen, B.T., Rasmussen, J., Eriksen, J., Hansen, E.M., 2009. Soil carbon storage and yields of spring barley following grass leys of different age. *European Journal of Agronomy* 31: 29-35.
- Daetwyler, H. D., B. Villanueva, P. Bijma, and J. A. Woolliams. 2007. Inbreeding in genome-wide selection. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 124, 369-376.
- Dalgaard, T., Hutchings, N., Dragosits, U., Olesen, J.E., Kjeldsen, C., Drouet, J.L., Cellier, P., 2011. Effects of farm heterogeneity and methods for upscaling on modelled nitrogen losses in agricultural landscapes. *Environmental Pollution* 159, 3183-3192.
- Drury, C.F., Tan, C.S., Reynolds, W.D., Welacky, T.W., Oloya, T.O., Gaynor, J.D., 2009. Managing tile drainage, subirrigation, and nitrogen fertilization to enhance crop yields and reduce nitrate loss. *J. Environ. Qual.* 38, 1193-1204.
- Drösler, M., Sutton, M., 2010. Peatland synthesis. Rapport GHG Europe kick-off møde, Orvieto, 29.-29.1. 2010. http://www.ghg-europe.eu/fileadmin/user_upload/ghg/2_Meetings/2_GHG_Kick-off_Meeting/Parellel_session_10_Peatlands.pdf
- Freibauer, A., Mathijs, E., Brunori, G., Damianova, Z., Faroult, E., Girona i Gomis, J., O'Brien, L., Treyer, S., 2011. Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world. European Commission – Standing Committee on Agricultural Research (SCAR), The 3rd SCAR Foresight Exercise.
- Fødevarerministeriet, 2008. Landbrug og Klima – analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvenser. 146 pp.
- Fødevarerministeriet, 2009. GMO – hvad kan vi bruge det til. Fødevarerministeriets vidensyntese om brug af genmodificerede afgrøder i landbrugs- og fødevarerproduktion. Fødevarerministeriet, 235 pp.
- Gaskell, G., Allansdottir, A., Allum, N., Castro, P., Esmer, Y., Fischler, C., Jackson, J., Kronberger, N., Hampel, J., Mejlgaard, N., Quintanilha, A., Rammer, A., Revuelta, G., Stares, S., Torgersen, H. and Wager, W., 2011. The 2010 Euro barometer on the life sciences. *Nat. Biotechnol.* 29,113–114.
- Hansen, E.M., 2004. Efterafgrøder under nuværende praksis. I: Jørgensen, U. (red.). Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab. Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III. DJF rapport - Markbrug 103, 93-102.

Hansen, M.J., T. Nyord, P.K. Jensen, B. Melander, A. Thomsen, H.D. Poulsen, P. Lund og L. Andersen, 2012. Oversigt over miljøteknologier i det primære jordbrug - driftsøkonomi og miljøeffektivitet. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug; Rapport fremsendt til NaturErhvervstyrelsen 1. maj 2012, 62 pp.

Hansen, M.J., D. Liu, L.B. Guldborg & A. Feilberg, 2012. Application of Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry to the Assessment of Odorant Removal in a Biological Air Cleaner for Pig Production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, pp. 2599-2606.

James, C., 2011. Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2011, ISAAA Briefs, Brief 43. 323pp

Jensen, A.L., Boll, P.S., Thysen, I., Pathak, B.K., 2000. Pl@ntelInfo® — a web-based system for personalised decision support in crop management. *Computers and Electronics in Agriculture* 25, 271–293.

Jonassen, K.E.N, M. Lyngbye, K. Sørensen & C. Christophersen, 2010. Mechanical and chemical treatment of slurry from pig finishing units to reduce odor and ammonia emissions. International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture, 13-16 September, Dallas, USA.

Jørgensen, U., Christensen, B.T., Olesen, J.E., Rubæk, G., Petersen, B.M., Halberg, N., 2008a. Miljø- og naturmæssige konsekvenser af øget biomasseudnyttelse i Danmark. I *Jorden – en knap ressource*. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, s. 125-149.

Jørgensen, U., Sørensen, P., Adamsen, A.P., Kristensen, I.T., 2008b. Energi fra biomasse - Ressourcer og teknologier vurderet i et regionalt perspektiv. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, DJF Markbrug nr. 134.

Kai, P., P. Pedersen, J.E. Jensen, M.N. Hansen & S.G. Sommer, 2008. A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Europ. J. Agronomy* 28 (2008): 148–154.

Kjærgaard, C., C.C. Hoffmann, A. Baattrup-Pedersen, & P.L. Jensen. 2006. Konstruerede vådområder. Miljøforvaltning i risikoområder. *Virkemiddelsfaktblad, Kortlægning af risikoarealer for fosfortab i Danmark; C2*, 9 pp.

Kjærgaard, C. og C.C. Hoffmann. 2010. Konstruerede vådområder som effektive landskabsfiltre. *Vand & Jord*, 17. årgang, nr. 2.

Kliewer, B.A., Gilliam, J.W., 1995. Water table management effects on denitrification and nitrous oxide evolution. *Soil Science Society of America Journal* 59, 1694-1701.

König, S., H. Simianer, and A. Willam. 2009. Economic evaluation of genomic breeding programs. *Journal of Dairy Science* 92, 382-391.

Lalonde, V., Madramootoo, C.A., Trenholm, L., Broughton, R.S., 1996. Effects of controlled drainage on nitrate concentrations in subsurface drain discharge. *Agricultural Water Management* 29, 187-199.

Lund, M.S., A.P.W. de Roos, A.G. de Vries, T. Druet, V. Ducrocq, S. Fritz, F. Guillaume, B. Guldborg, Z.T. Liu, R. Reents, C. Schrooten, F. Seefried, G.S. Su. 2011. A common reference population from four European Holstein populations increases reliability of genomic predictions. *Genetics Selection Evolution* 43, 43.

Meuwissen, T.H.E., B.J. Hayes, M.E. Goddard. 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157, 1819-1829.

Mielby, H., 2011. Public attitudes to cisgenic crops. PhD Thesis Department of Human Nutrition, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen

Nyord, T., A.P.S. Adamsen, D. Liu, S.O Petersen, M.N. Hansen. 2010, Emission af ammoniak, lugt og lattergas ved udbringning af gylle med slæbeslange, nedfældning og forsuring med SyreN- og Infarmsystemer. Notat til Miljøstyrelsen. Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Mikkelsen, S.A., S. Christensen, P.H. Schaarup, L. Vejrbæk, I. Ravn, N.H Lundgaard, O. Aaes, M. Lyngbye, R. Damkjer, B. Jacobsen, M. Qwist, E. Sommer & F. Larsen. 2006. Udredningsrapport for teknologier – med særligt henblik på miljøeffektive teknologier til husdyrproduktionen. Miljøministeriet.

Mogensen, L. Kristensen, T. Nguyen, T.L.T. Knudsen, M.T. 2011. Udledning af klimagasser fra dyrkning, forarbejdning og transport af foder. In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, 73-90.

Nielsen, O.-K., Lyck, E., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Winther, M., Nielsen, M., Fauser, P., Thomsen, M., Plejdrup, M.S., Albrechtsen, R., Hjelgaard, K., Johannsen, V.K., Vesterdal, L., Rasmussen, E., Arfaoui, K. & Baunbæk, L. 2010: Denmark's National Inventory Report 2010. Emission Inventories 1990-2008 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 1178 pp. – NERI Technical Report No 784. <http://www.dmu.dk/Pub/FR784.pdf>

Pedersen, P., 1997. Køling af gylle i slagtesvinestalde med fuldspaltegulv. Meddelelse nr. 357. Landsudvalget for svin, Den Rullende Afprøvning.

Pedersen, P., 2004. Svovlsyrebehandling af gylle i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 683. Landsudvalget for Svin, Den Rullende Afprøvning.

Pedersen, P., 2005. Linespilsanlæg med køling i drægtighedsstalde. Meddelelse nr. 694. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Pedersen, P., 2007. Tilsætning af brintoverilte til forsuret gylle i slagtesvinestalde med drænet gulv. Meddelelse nr. 792. Dansk Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Pedersen, P., K. Albrechtsen, 2012. JH Forsuringsanlæg i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 932. Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Petersen, J., Sørensen, P., 2008. Gødningsvirkning af kvælstof i husdyrgødning – Grundlag for fastlæggelse af substitutionskrav. DJF Rapport Markbrug nr 138. 111 pp.

Petersen, S.O., A.J. Andersen & J. Eriksen, 2012. Effects of Cattle Slurry Acidification on Ammonia and Methane Evolution during Storage. Journal of Environmental Quality, 41, pp. 88-94.

Riis, A.L., 2009. Central luftrensere fra ScanAirclean A/S afprøvet i en kombineret smågrise- og poltestald. Meddelelse nr. 842, Dansk Svineproduktion, Den rullende Afprøvning.

Riis, A.L., 2012. Test af Farm Airclean 3-trins Bio Flex fra SKOV A/S i en slagtesvinestald. Meddelelse nr. 930, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.

Schou, J.S., Kronvang, B., Birr-Pedersen, K., Jensen, P.L., Rubæk, G.H., Jørgensen, U. & Jacobsen, B., 2007. Virkemidler til realisering af målene i EUs Vandrammedirektiv. Udredning for udvalg nedsat af Finansministeriet og Miljøministeriet:

- Langsigtet indsats for bedre vandmiljø. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Faglig rapport fra DMU nr. 625. 132 s. <http://www.dmu.dk/Pub/FR625.pdf>
- Schröder, J. J., Uenk, D., and Hilhorst, G.J., 2007. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant Soil* 299, 83–99.
- Sørensen, C.G., 2000. A Bayesian Network Based Decision Support System for the Management of Field Operations. Case: Harvesting Operations. Ph.D.-Thesis, Technical University of Denmark, 193 sider.
- Sørensen, C.G., Suomi, P., Kaivosoja, J., Pesonen, L., 2007. Functional Environment of a Mobile Work Unit. InfoXT – User-centric Mobile Information Management in Automated Plant Production. MTT Agrifood Research Finland.
- Sørensen, K., 2011. Afprøvning af biologisk lufttenser fra Dorset Milieutechniek B.V. Meddelelse nr. 925, Videncenter for Svineproduktion, Den Rullende Afprøvning.
- Sørensen, P. Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi - Jord og Næringsstoffer, Blichers Allé 20, 8830, Tjele, Danmark. E-mail: peter.sorensen@agrsci.dk . Telefon: 8715 7738.
- Sørensen, P., Birkmose, T., 2002. Kvælstofudvaskning efter gødsning med afgasset gylle. *Grøn Viden, Markbrug* nr. 266. p.1-4.
- Sørensen, P., Mejnertsen, P., Møller, H.B., 2011. Nitrogen fertilizer value of digestates from anaerobic digestion of animal manures and crops. NJF seminar 443. Utilization of manure and other residues as fertilizers. Falköping, Sweden. NJF Report Vol 7 no 8, 42-44.
- Sørensen, P. & Møller, H.B., 2009. The fate of nitrogen in pig and cattle slurries applied to the soil-crop system. In: Adani, F., Scievano, A., Boccasile, G. (eds.). *Anaerobic digestion: Opportunities for agriculture and environment. Proceeding from the conference: Anaerobic digestion: Opportunity for agriculture and environment, Milano January 2008.* DiProVe University of Milan, p.27-37.
- Thomsen, I.K., Kjellerup, V., and Jensen, B., 1997. Crop uptake and leaching of 15N applied in ruminant slurry with selectively labelled faeces and urine fractions. *Plant Soil* 197, 233-239.
- Thyssen, I., Detlefsen, N.K., 2006. Online decision support for irrigation for farmers *Agricultural Water Management*. Volume 86(3), 269-276.
- Vinther, F. P., 1992. Measured and simulated denitrification activity in a cropped sandy and loamy soil. *Biol. Fertil. Soils* 14, 43-48.
- Wesström, I., Messing, I., Linnér, H., Lindström, J. 2001. Controlled drainage – effects on drain outflow and water quality. *Agricultural Water Management* 47, 85-100.
- Wesström, I., Messing, I. 2007. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. *Agricultural Water Management* 87, 229-240.