

KVÆG OG KLIMA

Udledning af klimagasser fra kvægbedriften
med fokus på metan emissionen

TROELS KRISTENSEN OG PETER LUND *(RED.)*
DCA RAPPORT NR. 001 · DECEMBER 2011



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER
FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



KVÆG OG KLIMA

Udledning af klimagasser fra kvægbedriften
med fokus på metan emissionen

DCA RAPPORT NR. 001 · DECEMBER 2011



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER
FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

Troels Kristensen, Institut for Agroøkologi og
Peter Lund, Institut for Husdyrvidenskab (*RED*)

Aarhus Universitet
Institut for Agroøkologi
Blichers Allé 20
8830 Tjele

KVÆG OG KLIMA

Udledning af klimagasser fra kvægbedriften med fokus på metan emissionen

Serietitel: DCA rapport
Nr.: 001
Forfattere: Troels Kristensen, Institut for Agroøkologi og
Peter Lund, Institut for Husdyrvidenskab (RED.)
Udgiver: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug,
Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248,
e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: www.dca.au.dk
Fotograf: Forsidefoto: Jesper Rais, AU Kommunikation
Tryk: www.digisource.dk
Udgivelsesår: 2011
Copyright: Gengivelse er tilladt med kildeangivelse
ISBN: 978-87-92869-06-7
ISSN: 2245-1684

Rapporterne kan hentes gratis på www.dca.au.dk

Videnskabelig rapport

Rapporterne indeholder hovedsageligt afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, vidensynteser, udredninger til myndigheder, tekniske afprøvninger, vejledninger osv.

Forord

Der er en stigende opmærksomhed på, at den menneskeskabte aktivitet forøger udledningen af drivhusgasser til atmosfæren og dermed bidrager til den globale temperaturstigning. En af årsagerne til den stigende udledning af klimagasser er, at produktionen af landbrugsprodukter øges for at tilgodese behovet for fødevarer til det stigende antal mennesker på kloden. Det er derfor nødvendigt at se på, hvorledes udledningen kan reduceres samtidigt med at den stigende befolkning kan sikres fødevarer.

En målrettet indsats fra jordbruget med at reducere udledningen af drivhusgasser kræver indsigt i, hvor i produktionskæden der sker en udledning og hvilke handlemuligheder der er for at reducere udledningen. Det velkendt, at metan udgør en betydende del af udledningen af drivhusgasser fra kvæg, hvorfor der i de seneste år er iværksat en række aktiviteter indenfor dette område, således at udledningen af drivhusgasser kan reduceres på en hensigtsmæssig måde der samtidigt tilgodeser en fortsat bæredygtig udvikling indenfor kvægbruget og dens følgeindustrier.

I nærværende rapport, der er udarbejdet som bilagssamling til temadagen ”Udledning af klimagasser fra kvægbedriften med fokus på metan”, præsenteres resultater og perspektiver fra igangværende forskning som arbejder med problemstillingen ud fra flere forskellige perspektiver. Rapporten er udarbejdet, mens projekterne stadig er i gang, så der vil løbende komme en række yderligere resultater. Der er dog allerede nu resultater der kan bidrage til en samlet forståelse af den komplekse problemstilling og pege på aktuelle handlemuligheder.

Vi vil gerne sige tak til alle projektdeltagere og bidragsydere i øvrigt.

Foulum
December 2011

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Klimaet i den politiske debat - nationalt og globalt	5
<i>Jørgen E. Olesen</i>	
Kvægbedriften – udledning af klimagasser	11
<i>Troels Kristensen og Lisbeth Mogensen</i>	
Metan - overblik	21
<i>Peter Lund, Rikke Albrechtsen, Lisbeth Mogensen & Jørgen Madsen</i>	
Modellering og måling af metan-emission fra kvæg	31
<i>Ida ML Drejer Storm, Anne Louise F. Helwing, Nicolaj I. Nielsen, Jørgen Madsen</i>	
Hvad betyder mikroorganismene for metanemission fra vommen?	45
<i>Ole Højberg, Morten Poulsen og Ricarda M. Engberg</i>	
Hvad betyder fodring for metanemission?	53
<i>Maike Johannes, Peter Lund, Anne Louise F. Hellwing og Martin Riis Weisbjerg</i>	
Selektion for nedsat metanproduktion og forbedret fodereffektivitet hos malkekvæg	64
<i>Jan Lassen, Jørgen Madsen og Peter Løvendahl</i>	
Udledningen af klimagasser fra dyrkning, forarbejdning og transport af foder	73
<i>Lisbeth Mogensen, Troels Kristensen, Thu Lan T. Nguyen, Marie Trydeman Knudsen</i>	
Drivhusgasreduktion via gødningshåndtering	91
<i>Søren O. Petersen</i>	

Klimaet i den politiske debat - nationalt og globalt

*Jørgen E. Olesen, Aarhus Universitet
Institut for Agroøkologi*

Sammendrag

Der er ringe tvivl om alvorligheden i de menneskeskabte klimaændringer, og der er samtidig heller ingen tvivl om at der er behov for hurtig handling til reduktion af udledningerne af drivhusgasser, hvis globale klimaændringer skal begrænses til 2 grader. Forhandlingerne under Klimakonventionen synes ikke foreløbig at føre til en global aftale, der kan sikre tilstrækkelige reduktioner til at opnå den politiske målsætning om at undgå farlige klimaændringer. I EU er tiltagene især knyttet til EU's Klima- og Energipakke, der har som målsætning at reducere udledningerne med 20% i 2020. Heri indgår dog større reduktionsmål for Danmark, og det vil også indebære betydelige reduktionsmål for dansk landbrug.

Indledning

De menneskeskabte klimaændringer udgør uden tvivl en af de største udfordringer, menneskeheden har stået over for. Det skyldes ikke mindst de enorme konsekvenser, som klimaændringerne vil have for verdens økosystemer og for menneskelige levevilkår. Uanset at det ikke opleves sådan, er det også en meget hastende sag. For hver dag der går med stigende udslip af drivhusgasser, jo sværere bliver det at undgå selvforstærkende klimaændringer, som ikke alene bliver enormt skadelige for udviklingslandene, men også meget dyre at tilpasse sig i industrilandene.

Klimaændringer udgør samtidig en kolossal politisk udfordring, hvor verdens demokratier (og såmænd også diktaturerne) nemt risikerer at komme til kort over for de beslutninger, der må træffes. Det politiske og demokratiske problem bunder i, at det er vanskeligt direkte at opleve en sammenhæng mellem udledninger af drivhusgasser, klimaændringer og deres effekter på det enkelte menneskes levevilkår. Der er nemlig både en rumlig og tidsmæssig adskillelse mellem udledningerne og deres effekter. Verdens industrilande, som udleder størstedelen af drivhusgasserne, er umiddelbart de mindst sårbare over for effekterne af klimaændringerne. Desuden vil de alvorlige effekter indtræffe langt senere (årtier til århundreder) end udledningerne. Det kan derfor være meget vanskeligt at skabe folkelig opbakning til virkningsfulde indgreb over for udledningerne af drivhusgasser. Vi har som mennesker en tendens til at prioritere opfyldelse af vores egne behov her og nu, snarere end behov der vedrører en fremtidig befolkning og en natur, der måske ikke engang har vores egen interesse.

2 graders målsætningen

Efter klimatopmødet i København i december 2009 har der meldt sig en form for klimatræthed i medierne og blandt befolkningen. Det er sikkert hjulpet på vej af et par kolde vintre i Danmark. Oplevelsen blandt mange danskere er, at klimaændringerne ikke er no-

get akut problem. Det er danskerne ikke alene om at mene. I USA er skepsis overfor de menneskeskabte klimaændringer stigende, primært som følge af en intens lobby-aktivitet fra klimaskeptikere og energiindustrien. Måske spiller det også ind, at det ikke er lykkedes at skabe en global aftale om reduktion af drivhusgasemissionerne.

Verdens politikere taler stadig om at undgå farlige klimaændringer, hvilket tolkes som en global opvarmning på under 2 grader. Politikerne har altså tilsyneladende fuldt ud accepteret enigheden blandt forskere omkring realiteterne i de menneskeskabte klimaændringer. Konsekvenserne af dette er efterhånden stadigt mere tydelige, især i særlige følsomme områder som f.eks. Grønland og Afrika syd for Sahara.

Når det drejer sig om begrænse klimaændringer er Danmarks udledninger jo kun en dråbe i havet, og selv om vi reducerede vores indenlandske udledninger med 90%, ville en gennemsnitlig dansk statsborger formentlig stadig have et CO₂ fodaftryk, der nærmer sig 10 ton CO₂ om året, alene i kraft af bidraget til international transport og import af industriprodukter og fødevarer. Det er langt mere end de ca. 2 ton CO₂ per indbygger som vi bør stræbe efter i 2050.

Selv med alle de gode viljer (dog uden konkret aktion), der mønstres for tiden på det internationale plan, så bevæger vores klode sig mod en global opvarmning på 3-4 grader. Politikerne har stadig en retorik om at holde den globale opvarmning på under de magiske 2 grader, men det bliver stedse mere illusorisk. Grænsen på de 2 grader er vigtig, fordi en højere temperaturstigning formentlig sætter gang i selvforstærkende effekter i klimasystemet, hvor f.eks. kulstof bundet i permafrost i Sibirien og Canada vil blive frigivet som CO₂ i enorme mængder.

FN's Klimakonvention

I 1990 besluttede FN's Generalforsamling at starte udarbejdelsen af en egentlig klimakonvention. Baggrunden var dystre. FN's Klimapanel (IPCC) havde samme år i sin første syn-teserapport peget på, at der var en reel risiko for, at den stigende udledning af drivhusgasser kan påvirke jordens miljø i hidtil uset og potentielt meget voldsomt omfang.

Klimakonventionen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) blev vedtaget i juni 1992 ved en global miljøkonference i Rio, Brasilien, hvor 154 lande inklusive Danmark underskrev konventionen. Konventionen er siden ratificeret af 192 lande, herunder også lande som f.eks. USA, der ikke lever op til konventionens målsætning. Målet med Klimakonventionen er at stabilisere atmosfærens indhold af drivhusgasser på et niveau, der forhindrer farlige menneskeskabte klimaændringer. Ifølge formålsparagraffen skal denne stabilisering ske på en måde, der giver økosystemerne mulighed for at tilpasse sig på en naturlig måde. Det vil sige, at fødevarer sikkerheden ikke må skades, og at muligheden for at skabe en bæredygtig udvikling - socialt og økonomisk - ikke bringes i fare.

Konventionen er en såkaldt rammekonvention. Det vil sige, at den indgår som et overordnet værktøj for reduktionen af drivhusgasser, men indeholder ingen bindende krav til at reducere udledningen af drivhusgasser. Konventionens medlemmer er dog forpligtigede til at opføre deres udledninger af drivhusgasser i henhold til fælles retningslinjer.

Hvert år holder parterne under konventionen en klimakonference kaldet en COP (Conference Of the Parties). Det er det øverste organ i klimaforhandlingerne og større beslutninger med betydning for udmøntningen af klimakonventionen bliver taget på disse konferencer. Konferencen varer som regel omkring 14 dage og alle lande, der har underskrevet Klimakonventionen, er repræsenteret. Typisk deltager flere tusinde delegerede fra medlemslandenes regeringer og observatørorganisationer, journalister samt erhvervs- og civilsamfundsrepræsentanter. COP15 blev afholdt i København i december 2010.

Kyoto-protokollen

Under den tredje partskonference (COP3) under Klimakonventionen blev der enighed om en konkret aftale til at reducere udledningerne af drivhusgasser. Aftalen blev indgået i den japanske by Kyoto i 1997. Kyoto-protokollen trådte i kraft i 2005 og er tiltrådt af stort set alle lande under Klimakonventionen, herunder Danmark, men ikke USA. Efter protokollen, skal i-lande – herunder Rusland og en række andre Central- og Østeuropæiske lande – i perioden 2008-12 nedsætte udslippet med 5% i forhold til 1990. De fleste lande har reduktionsmål på mellem 6 og 8%. EU-landene har aftalt sin egen interne fordeling af reduktionsmålet, den såkaldte "byrdefordelingsaftale". Danmark har forpligtet sig til at reducere udslippet med 21%, mens EU som helhed vil nedsætte med 8%.

Kyoto-protokollen har en række fleksible mekanismer, som gør at der er muligt for landene med de største reduktionsforpligtelser at opnå disse på anden måde end gennem nedskæringer på nationale udledninger. De fleksible mekanismer omfatter handel med emissionsrettigheder, Clean Development Mechanism (CDM) og Joint Implementation (JI), der tillader UNFCCC-lande til at opfylde deres forpligtelser ved at købe emissionsreduktioner fra andre lande med forpligtelser under protokollen, samt gennem projekter, som mindsker emissioner i lande, som ikke har forpligtelser under protokollen. Der har været stor diskussion om de fleksible mekanismer, da disse ikke nødvendigvis fører til reduktioner af drivhusgasser, fordi det i nogle tilfælde drejer sig om handel med reduktioner, som ville være opnået under alle omstændigheder.

I 2005 begyndte forhandlingerne om tiden efter 2012. De handler om yderligere reduktionsforpligtelser, og om hvordan lande som USA, Kina, Indien og Brasilien kan deltage efter 2012. EU har besluttet sig for en strategi, som vil betyde en global opvarmning på maksimalt 2 °C. Dette vil formentlig i 2020 indebære reduktioner på 15-30% af 1990-niveauet for industrilandene, og i 2050 indebærer det reduktioner på 80-95%. Målsætningen var at få en ny aftale ved klimatopmødet (COP15) i København i 2009. Dette lykkedes ikke, især på grund af modstand fra USA, Kina og Indien, som har andre prioriteringer end klima. Da det også er disse lande, der har store og stærkt stigende udledninger, er det afgørende at få både USA og det store vækstøkonomier med i en global klimaaftale. Udsigterne til at opnå dette er desværre meget små.

EU's klima- og energipakke

EU vedtog i 2008 en klima- og energipakke, bl.a. som oplæg til klimaforhandlingerne ved COP15 klimakonferencen i København. Denne pakke nævnes ofte som 20-20-20 målsætningen, og indeholder mål om 20% reduktion af drivhusgasemissionerne i 2020, 20% vedvarende energi i 2020, og 10% biobrændstoffer i transportsektoren i 2020. Op til klimakonferencen i København foreslog EU at ambitionen kunne øges til en 30% reduktion i 2020, hvis andre lande forpligtede sig på tilsvarende reduktioner. Dette lykkedes som bekendt ikke, men det diskuteres fortsat at have en mere ambitiøs reduktionsforpligtelse i EU.

Vedtagelsen af EU-pakken betød, at Danmark forpligtede sig til at opfylde en række ambitiøse og bindende 2020-målsætninger for henholdsvis udbygning med vedvarende energi og reduktion af drivhusgasser. Målene er blandt de absolut højeste i EU: Vedvarende energi skal i 2020 udgøre 30 pct. af det endelige energiforbrug, og i 2020 skal vi nå en reduktion på 20 pct. af drivhusgasudledningen fra de ikke-kvoteomfattede sektorer i forhold til 2005. Med tiltrædelse af S-SF-R regeringen i efteråret 2011 er ambitionen endda i henhold til regeringsgrundlaget øget til en 40% reduktion af de danske udledninger i 2020.

Klimakommissionen

Klimakommissionen kom med sin rapport i efteråret 2010 (Klimakommissionen, 2010). Det var i virkeligheden hovedsageligt en energikommission, som skulle belyse, hvorledes Danmark på langt sigt kan frigøre sig fra afhængigheden af fossile brændstoffer. Kommissionen skulle ved belysningen beskrive virkeliggørelsen af den langsigtede vision.

Kommissionen forholdt sig til to store udfordringer, som både det danske og internationale samfund står overfor: For det første skal den menneskeskabte globale opvarmning begrænses. Det kræver i henhold til EU-målsætninger en reduktion i danske udledninger på 80-95% i 2050. For det andet vil den globale vækst i de kommende årtier drive prisen i vejret på fossile brændsler. Begge dele vil øge efterspørgsel på vedvarende energi, og villigheden til at investere i teknologier til vedvarende energi.

Klimakommissionen vurderede at der er nogle grundlæggende præmisser, der vil fungere som drivende kræfter for den globale udvikling på området. For det første vil prisen på fossile brændsler stige. Det gælder især for olie. De kendte reserver rækker med det nuværende forbrug kun til godt 40 års forbrug. Med svigtende forsyning vil prisen stige – eller i det mindste blive meget svingende – til stor skade for den økonomiske udvikling, hvis vi vel at mærke er afhængige af olien. For det andet begrænses olie og gas i stigende grad på nogle få hænder (nationer), og det mindsker vores politiske handlefrihed.

Sidst men ikke mindst giver situationen en række unikke muligheder for dansk erhvervsliv – hvis vi tør. Danmark har en lang række virksomheder med stor international styrke inden for bl.a. vindmøller, fjernvarme, procesoptimering, isolering og fremstilling af biobrændstoffer. For dele af dansk erhvervsliv kan det derfor være en afgørende løftestang til grøn vækst og flere arbejdspladser, at der bliver taget fat på de store klima- og energipoliti-

ske udfordringer. Det kan give gode muligheder på et stærkt stigende globalt marked, der i stigende grad vil efterspørge innovative løsninger inden for grøn energi.

Klimakommissionens beregninger viser, at Danmark vil kunne indfri målsætningen om at blive uafhængig af fossile brændsler inden 2050. Det kræver dog et markant anderledes energisystem end det vi kender i dag. Kommissionen har forudsat, at den økonomiske vækst vil fortsætte med at vokse i fremover i samme takt som tidligere. Flere varer skal transporteres, vi vil rejse mere, forbruge mere og bo i større huse med tilsvarende større opvarmningsbehov. Omlægningen til et system uden fossile brændsler skal og kan derfor ske samtidig med, at familier og virksomheder oplever øget vækst og velstand.

Omkostningerne ved kommissionens visioner vil være markant større investeringer i energieffektivisering og vedvarende energi. Men dette skal ses i forhold til prisen for fortsat at benytte fossile brændsler samt gevinsten ved at bidrage til klimamålsætningen. Højere priser på energi og behovet for at reducere udledningen af drivhusgasser betyder, at Danmarks energisystem i de kommende år under alle omstændigheder vil skulle tilpasse sig. Omkostningerne ved helt at udfase fossile energikilder i 2050 er derfor små. Faktisk svarer de ekstra omkostninger til 3 måneders økonomisk vækst i 2050. Altså: I et samfund uden brug af fossil energi vil vi skulle vente 3 måneder længere på at blive lige så rige som i et samfund, hvor vi fortsætter med at bruge løs af de sparsomme fossile energiressourcer.

Klimakommissionens analyser viser, at omstillingen skal begynde nu, hvis vi skal nå målet inden 2050. Omstilling af energisystemet til at blive uafhængigt af fossile brændsler skal gøres til en national målsætning. Langsigtede og stabile rammer for omstillingsprocessen er afgørende, og det kræver væsentlige investeringer i infrastruktur til vedvarende energi. Det giver til gengæld en lang række fordele for erhvervsliv, samfund, natur og miljø, hvis vi griber det rigtigt an. Men udfordringerne stopper ikke der. Når vi har frigjort os fra de fossile energikilder, så er der stadig en opgave i at reducere de sidste udledninger af drivhusgasser, som især vil være metan og lattergas fra landbruget.

I Klimakommissionens fremskrivninger og anbefalinger indgår også behovet for at reducere udledninger af drivhusgasser fra landbruget. Beregninger viser at der er muligt at reducere udledningerne fra landbruget med omtrent 50% i 2050 (Dalgaard et al., 2011). En del af disse reduktioner vil dog være omkostningskrævende og yderligere reduktioner kræver forskning og teknologiudvikling.

Konklusion

Verden står overfor to store klima- og energipolitiske udfordringer: stigende knaphed på fossile brændsler og behovet for at reducere udledningerne af drivhusgasser for at sikre vitale naturressourcer og samfundsværdier. Før eller siden vil en begrænset adgang til fossile brændsler tvinge Danmark og den øvrige verden til at gøre op med sin afhængighed af disse. Det drejer sig om forsyningssikkerhed, som det er meget vanskeligt at sætte en pris på. En samfundsudvikling uden en betydelig afhængighed af importerede fossile energikilder giver en yderligere gevinst i form af en mere stabil samfunds- og erhvervsudvikling.

Selvom vi står over for en kolossal opgave, så må vi ikke give op. Det er jo i sådanne situationer vi må vise vort værd som mennesker og ansvarlige borgere. I Danmark råder vi over viden og teknologi til at nedsætte vores CO₂-fodafttrykmet væsentligt, og det kan endda gøres stort set uden tab af velfærd. Snarere vil der være en række miljø- og sundhedsmæssige fordele ved at komme i gang. Et sådant ”grønt” Danmark vil være et eksempel for resten af verden, og med sikkerhed indebære mange nye arbejdspladser.

Referencer

- Dalgaard, T., Olesen, J.E., Petersen, S.O., Petersen, B.M., Jørgensen, U., Kristensen, T., Hutchings, N.J., Gyldenkerne, S. & Hermansen, J.E. (2011). Developments in greenhouse gas emissions and net energy use in Danish agriculture – How to achieve a CO₂-neutral production? *Environmental Pollution* 159, 3193-3203.
- Klimakommissionen, 2010. Grøn energi - vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler.

Kvægbedriften – udledning af klimagasser

*Troels Kristensen og Lisbeth Mogensen
Århus Universitet, Institut for Agroøkologi*

Sammendrag

Med et klimaregnskab for kvægbedriften får driftslederen et grundlag for at vurdere bedriftens status og muligheder for at nedbringe udledningen af drivhusgasser. I klimaregnskabet er den enkelte bedrifts årlige udledning af klimagasser fra produktion og forbrug af foder, gødning og andre driftsfaktorer beregnet som summen af drivhusgasserne metan, lattergas og kuldioxid. Den samlede udledning er efterfølgende fordelt på produkterne mælk, kød og salgsafgrøder.

I denne artikel beskrives grundlaget for klimaregnskabet og resultaterne præsenteres baseret på data fra 20 kvægbedrifter fra 2010. Metan udgør over halvdelen af den samlede udledning fra bedriften primært forårsaget dannelsen af metan i forbindelse med dyrenes omsætning af foderet. Lattergas udgør omkring 20% af den samlede udledning. Her er der flere kilder, der bidrager, men overordnet er det omsætningen af kvælstof fra især husdyrgødning, men også handelsgødning, der er den største kilde. Derimod forårsager forbruget af fossil energi kun 12% af bedriftens samlede udledning. Betydende reduktion i udledningen per kg mælk kan derfor kun opnås ved tiltag, der reducerer metan og/eller lattergas. Derfor er en høj foderudnyttelse (kg mælk per kg ts) meget centralt da det både reducerer metan udledningen pga. mindre foder der skal fordøjes i vommen og lattergas udledningen pga. en mindre mængde kvælstof udskilt som husdyrgødning per kg mælk produceret.

Kvægbruget har betydning for den samlede udledning af klimagasser

Der er en stigende opmærksomhed på, at den menneske skabte aktivitet forøger udledningen af drivhusgasser til atmosfæren og dermed bidrager til den globale temperaturstigning. I et globalt perspektiv er det anslået, at jordbruget er årsagen til 18% af den samlede udledning af drivhusgasser og i de seneste opgørelser fra FAO (2010) henføres ca. 22% heraf til at stamme fra mælkeproduktionen. Også i Danmark er bidraget fra jordbruget markant, 16% ifølge den seneste nationale opgørelse (Mikkelsen et al., 2011). Ved en skønsmæssig opdeling på produktionsgrene udgør kvægbruget ca. 40% heraf i Danmark.

I den nationale opgørelse af Danmarks samlede udledning af klimagasser, indgår kun den udledning, som rent faktisk sker i Danmark, i forbindelse med produktionen af mælk og kød. Mens den udledning der forårsages af produktionen af importerede ressourcer som foder og handelsgødning ikke medregnes. Dette er i overensstemmelse med de principper som ligger i forpligtelserne som Danmark har tilsluttet sig med Kyoto-aftalen. Men en hensigtsmæssig tilpasning af produktionen på den enkelte bedrift, bør baseres på udledningen i hele kæden, fra produktion af gødning og foder, til produktet leveres til forbrugeren. I tidligere undersøgelser er det vist, at udledningen af drivhusgasser i kæden indtil mælken forlader gården udgør 80-90% af det samlede bidrag frem til forbrugeren. For at opnå mar-

kante reduktioner i bidraget fra produktionen af mælkeprodukter, er det dermed afgørende at der sker en reduktion i udledningen fra primærproduktionen. Formålet med dette indlæg er at præsentere en metode, baseret på liv cyklus vurdering (LCA), til at opstille et årsregnskab for udledningen af klimagasser fra et kvægbrug. Herefter dokumenteres udledningen af klimagasser fra typiske danske kvægbrug og mulighederne for at nedbringe udledningen analyser i forhold til variationen mellem bedrifterne, samt resultater fra litteraturen.

Metode til beregning af udledningen

Fra kvægbedriften udledes der tre betydende drivhusgasser, metan (CH_4), lattergas (N_2O) og kuldioxid (CO_2). Den samlede udledningen af drivhusgasser opgøres i CO_2 ækvivalenter (eq.) som er en fællesregneenhed, hvor udledningen af drivhusgasser omregnes ud fra deres relative drivhuseffekt i forhold til effekten af CO_2 i atmosfæren i et 100-årigt perspektiv. Det betyder, at 1 kg metan svarer til 25 kg CO_2 eq, mens 1 kg lattergas N svarer til 298 kg CO_2 eq og 1 kg kuldioxid svarer til 1 kg CO_2 eq.

Kuldioxid stammer fra forbruget af energi i form af el og diesel, mens metan primært stammer fra dyrenes omsætning af foder og lattergas dannes i forbindelse med anvendelse af handels- og husdyrgødning i planteproduktionen. Det er karakteristisk for drivhusgasserne, at det ikke er muligt at måle mængde eller koncentration på bedriften. Princippet i beregninger er derfor at der til indkøbte mængder af produktionsfaktorer som foder, gødning og energi og den interne produktion og omsætning af foder og gødning på bedriften over et år knyttes et estimat for dannelsen af drivhusgasser ud fra principperne opstillet af det Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Emissionsfaktorer

Udledningen er typisk estimeret ved de såkaldte Tier 2 metoder, hvor emissionsfaktorerne er fastlagt ud fra omsætning og forbrug indenfor forskellige produktionssystemer. Mens der kun i begrænset omfang tages direkte hensyn til effekten af forskelle i den direkte gennemførelse af produktionen, som f.eks. tidspunkter for udbringning af husdyrgødning. Såfremt effekten heraf er betydelig for udledningen af N vil det dog indgå indirekte via beregning af N omsætning og udnyttelse på bedriftsniveau.

I tabel 1 er vist en oversigt over de anvendte emissionsfaktorer, idet der henvises til Kristensen et al. (2011a) for en nærmere redegørelse for beregning af kvægbedriftens udledning af klimagasser. Her skal fremhæves et par væsentlige områder. Indkøbt foder er opgjort i FE og kvælstof, hvorefter emissionen er beregnet ved en fordeling mellem byg (0,531 kg CO_2 eq. pr FE) og sojaskrå (0,632 kg CO_2 eq. pr FE) der svarer til kvælstof koncentrationen i det indkøbte foder. Tilsvarende princip er anvendt for solgte afgrøder. For husdyrgødning er kvægbedriften ansvarlig for emissionen indtil efter lageret for eget produceret gødning der sælges, og tilsvarende er der på bedrifter hvor der købes husdyrgødning kun medtaget emissionen efter lageret. Køb af husdyrgødning er antaget udnyttet med 70%, hvorefter der er regnet med samme emission som for handelsgødning (5,44 kg CO_2 eq. pr kg N) til fremstilling og transport af gødningen.

Der er indregnet en ændring i jordens C/N forhold på bedrifternes arealer baseret på værdierne angivet i tabel 1, mens der ikke er indregnet effekten af ændret arealanvendelse forårsaget af rydning af regnskov og vedvarende græsarealer til dyrkning af f.eks. soja i Sydamerika. Betydningen heraf er omtalt af Mogensen et al. (2011).

Tabel 1. Emissionsfaktorer (EF) for metan og lattergas.

CH ₄ , kg	Kilde	Mængde	EF	Litteratur
	Fordøjelse	Tørstof optag x 18.45 MJ brutto energi / 55.65	0.06	Mikkelsen, et al., 2006 IPCC, 2006
	Gødning	Ikke fordøjeligt org stof + organisk strøelse; Metan kapacitet=0.22		Mikkelsen, et al., 2006
	- gylle		0.1	
	- dybstrøelse ¹⁾		0.01	
	- afgræsning ²⁾		0.01	
N ₂ O-N, kg Direkte	Stald	N ab dyr		IPCC, 2006
	- gylle		0.005	
	- dybstrøelse ¹⁾		0.01	
	Udspredning	N ab lager ³⁾		IPCC, 2006
	- gylle		0.01	
	- dybstrøelse ¹⁾		0.01	
	- afgræsning ²⁾		0.02	
	Handelsgødn.	N import	0.01	IPCC, 2006
	Afgrøderester	Afgrøde kg N pr ha pr år	0.01	IPCC, 2006 Mikkelsen et al., 2006
		Græs, konv. 60 N		
		Græs, økologisk 47 N		
		Græs, permanent 5 N		
		Majs- og helsædsens 25 N		
		Andre sædskifte afgrøde 28 N		
		Efterafgrøde 35 N		
	Mineralisering	Jord C ændring ⁴⁾ *0,27*0.1	0.01	IPCC, 2006
NH ₃ -N, kg	Stald	N ab dyr		Poulsen & Kristensen, 1998 Mikkelsen, et al., 2006
	- gylle		0.08	
	- dybstrøelse ¹⁾		0.06	
	Lager	N ab dyr		Mikkelsen, et al., 2006
	- gylle		0.022	
	- dybstrøelse ¹⁾		0.25	
	Udspredning	N ab lager ³⁾		Mikkelsen, et al., 2006
	- gylle		0.12	
	- dybstrøelse ¹⁾		0.06	
	- afgræsning ²⁾		0.07	
	Handelsgødn.	N import	0.022	Mikkelsen, et al., 2006
	Afgrøderester	Ha årligt		Gyldenkerne & Albrechtsen, 2008
	- græs		0.5 kg / ha	
	- andre afg.		2.0 kg / ha	
N ₂ O-N, kg indirekte	Fra NH ₃	NH ₃ -N	0.01	IPCC, 2006
	Fra udvaskning	NO ₃ -N=0.33*(N ab lager+N handels-gødning)	0.0075	Nielsen et al., 2009 IPCC, 2006

1) Dybstrøelsesstalde: Som standard 40% gylle og 60% dybstrøelse.

2) Andel af N afsat under afgræsning regnes proportional med N foder fra græs.

3) N ab dyr – NH₃-N tab stald og lager – N købt – N solgt

4) Jord kulstof ændringer, kg CO₂ pr ha pr år: græs, sædskifte +1900; græs permanent 0; majs og andre sædskifte afgrøder -3000; efterafgrøde 1500; snittet halm 1000.

Estimaterne for emissionen af drivhusgasserne er baseret på eksperimentelle forsøg, hvor det er muligt at måle udledningen i forhold til f.eks. koens foderoptagelse eller mængde af kvælstof tildelt marken. Typisk for disse forsøg er, at de er gennemført i mindre skala end bedriften og over kortere tid end som her et år. Når disse estimater anvendes på større skala som bedriften og over en længere tidsperiode, som her et år, vil der være nogen usikkerhed. Hertil kommer usikkerhed forårsaget af, at forholdene på bedriften kan afvige fra de betingelser der var gældende for forsøgene. Det er dog almindeligt anerkendt at den anvendte metode samlet for bedriften og de enkelte produkter giver et rimeligt sikkert bud på udledningen af drivhusgasser, mens der kan være større usikkerhed på fordelingen specielt af lattergas på de enkelte poster i regnskabet. Der arbejdes videre med at indregne usikkerheden i beregningerne, som pt. antages at være 10-20% på den samlede udledning, heri indregnet usikkerhed på såvel emissionen som de mængder der indgår i beregningerne.

Produktionsdata

Ved udviklingen af metoden til beregningen af udledningen af klimagasser, er der taget udgangspunkt i at de anvendte data skal være eksisterende generelle registreringer, som er til rådighed fra kvægbedriften i form af økonomiregnskab, gødningsregnskab, markplan, mælkeleverance og opgørelser af foderforbrug fordelt på driftsgrene, på niveau med det som findes i KvægNøglen. I 2009 og 2010 blev der i samarbejde med AgroTech indsamlet data fra som udgangspunkt 36 kvægbrug. Det har været nødvendigt at udelade nogle af bedrifterne fra den endelige opgørelse pga. diverse fejl og mangler i data. Desuden har der på nogle af de anvendte bedrifter været mindre mangler i data f.eks. ukendt foderforbrug til en mindre produktion af tyrekalve. I disse tilfælde er data estimeret ud fra standardtal eller gennemsnit fra de bedrifter med valide data.

I det følgende præsenteres resultater fra kalenderåret 2010, dog er der anvendt data fra gødningsregnskabet fra perioden 1/8 2009 til 31/7 2010 til fastlæggelse af gødningsforbruget og omsætningen. Blandt de 20 bedrifter er der en med økologisk produktion, mens alle bedrifter har en besætning af Holstein Frisian køer. Gødningssystemet er gylle på alle bedrifter, dog med en mindre andel som dybstrøelse fastlagt ud fra gødningsregnskabet. Disse resultater suppleres med resultaterne 29 bedrifter fra 2009 (Kristensen et al., 2011b) og resultater baseret på data indsamlet i Studielandbrugene 2001-2003 fra 67 bedrifter (Kristensen et al., 2011a) ved analysen af mulige tiltag til reduktion af klimagasudledningen.

Resultater

Resultaterne for den enkelte bedrift præsenteres i et klimaregnskab hvor der samtidigt vises gennemsnittet, min og max indenfor hver enkelt faktor for en sammenlignelig gruppe det pågældende år, samt bedriftens eget resultat foregående år.

Produktionsgrundlag

I tabel 2 er angivet produktionsgrundlaget og de overordnede resultater fra mark og kvægdelen som har en indvirkning på drivhusgasudledningen, så som belægning, foder- og gødningsforbrug samt produktion baseret på 20 bedrifter. De efterfølgende resultater viser ud-

ledningen dels for den konkrete bedrift ”99999” i 2010 og det foregående år dels fra gruppen på 20 bedrifter.

Tabel 2. Produktionsnøgletal – din bedrift sammenlignet med andre mælkeproducenter.

	Enhed	Bedriften CHR 99999		Sammenligningsgruppe 20 bedrifter		
		2010	Sidste år	Gns	Min	Maks
Areal i alt	ha	269,3	270,2	251	103	547
-heraf vedv.	ha	13,9	15,7	12,6	0	50,5
Afgrøde udbytte	FE pr ha	6910	7133	7599	5048	10761
-heraf solgt	FE pr ha	0	0	932	0	4032
N gødning brutto	Kg N pr ha	249	248	209	140	249
-heraf husdyrgødning	Kg N pr ha	163	161	157	88	216
Besætning	DE	534	549	419	190	1337
Årskøer	Stk	315	317	244	111	758
Mælkeproduktion (leveret)	Kg EKM pr ko	9065	9394	9271	8100	10366
Årsopdræt	Stk	266	281	201	36	730
Foderforbrug	FE pr DE	5227	5056	5281	4910	5598
Tilvækst besætningen	Kg pr DE	159	163	164	36	275
Belægning	DE pr ha	1,98	2,03	1,78	0,79	3,42
Selvforsyning, FE	%	67	69	85	46	121

Udledningen fordelt på kilder

Bedriftens samlede drivhusgasudledning er i tabel 3 vist totalt og udtrykt i forhold til bedriftens areal (ha) og i forhold til husdyrholdet (DE). Desuden er emissionen fordelt på bidrag fra metan og lattergas, fra omsætningen på bedriften, samt bidrag fra import af henholdsvis fossil energi, foder og gødning. De to sidste poster er kun angivet i CO₂ eq, men der vil reelt også her være en andel af emissionen, som er lattergas og evt. i mindre omfang metan.

Tabel 3. Fordeling af emissionen på kilder og udtrykt enten i forhold til arealet eller mælk leveret.

	Enhed	Bedriften CHR 99999		Sammenligningsgruppe 20 bedrifter		
		2010	Sidste år	Gns	Min	Maks
Samlet udledning	CO ₂ eq (ton)	3221	3209	2595	1255	7690
-Pr areal	CO ₂ eq (kg)	11962	11877	10931	6553	20070
-Pr DE	CO ₂ eq (kg)	6038	5841	6272	5491	8435
Fordeling på kilder	%					
-metan fra bedriften		55	55	54	40	64
-lattergas fra bedriften		19	17	19	12	25
-fossil energi (incl. maskinstation)		9	10	12	8	21
-foderimport		15	14	12	0	26
-gødningsimport		2	3	2	-4	7

Når der som ”min tal” for gødningsimport er en negativ værdi skyldes det, at denne post er opgjort som netto ekstern omsætning af handels- og husdyrgødning, hvorfor bedrifter med salg af husdyrgødning kan have en netto eksport. For husdyrgødning gælder, at emissionen knyttet til stald og lager er pålagt husdyrbedriften, selv om gødningen anvendes på en anden bedrift. Variationen i udledningen pr DE er væsentlig mindre end variationen i udledningen pr ha, hvilket skyldes, at den største andel af emissionen er knyttet til dyrene, specielt metan, men også lattergas fra husdyrgødningen. Den store variation i udledningen pr ha er derfor i betydeligt omfang knyttet til forskelle i belægningsgraden.

Emissionen fordelt på produkter

I klimaregnskabet beregnes emissionen ud fra alle bidrag i hele kæden svarende til en livscyklus analyse (LCA). En sammenlignelig enhed på tværs af bedrifterne er derfor emissionen i forhold til de produkter, som er resultatet af produktionen. I tabel 4 er vist bedriftens samlede udledning fordelt på de tre produkter, mælk, kød og salgsafgrøder.

Det er karakteristisk for kvægbedrifterne at der kun er et beskedent salg af afgrøder, da langt det meste af afgrødeproduktionen opfodres på bedriften. I den nuværende udgave af klimaregnskabet fortages fordelingen mellem produkterne ved først at fratrække en standard emission pr solgt FE salgsafgrøde, som for korn svarer til 0.530 kg CO₂ eq pr FE. Herefter er bedriftens resterende udledning fordelt på mælk og netto kødtilvækst ud fra det teoretiske foderforbrug til de to produkter baseret på metoden beskrevet af IDF (2010). Mælk er på alle bedrifterne det produkt som forårsager den største andel af udledningen i gennemsnit 75%, og som det ses for bedrift 99999 som ikke har noget salg af afgrøder udgør mælkeproduktionen 83% af udledningen, mens 17% kan henføres til tilvæksten.

På nogle af bedrifterne er opdrættet helt eller delvist udliciteret, hvorfor der her er en lav kødproduktion og dermed kun en lille andel af bedriftens emission knyttet til kødproduktion. Den anvendte metode til fordeling af bedriftens udledning mellem mælk og kød vil påvirke den beregnede udledning pr kg mælk, hvorfor variationen mellem bedrifterne fra 0,69 til 1,11 kg CO₂ eq pr kg EKM kan være påvirket heraf ud over den variation der direkte skyldes produktionen.

Tabel 4. Fordeling af bedriftens emissioner på produkter og beregnet udledning pr produkt.

	Enhed	Bedriften CHR 99999		Sammenligningsgruppe 20 bedrifter		
		2010	Sidste år	Gns	Min	Maks
Fordeling på produkter	%					
-mælk (EKM), kg leveret		83	83	78	62	97
-kød (levende vægt), kg		17	17	17	3	28
-afgrøde solgt, FE		0	0	5	0	19
Udledning for produkterne	CO ₂ eq. (kg)					
-mælk (EKM), kg leveret		0,94	0,89	0,90	0,69	1,11
-kød (levende vægt), kg		6,52	6,22	6,31	4,93	7,77
-afgrøde solgt, FE				0,53	0,53	0,53

Metan emission

Metan fra omsætningen på bedriften udgør over halvdelen af bedriftens samlede udledning som det fremgår af tabel 3, og som det ses i tabel 5 kommer den overvejende del heraf fra dyrenes fordøjelse af foderet.

Tabel 5. Fordeling og omfang af den årlige metan (CH₄) emissionen.

Enhed		Bedriften CHR 99999		Sammenligningsgruppe 20 bedrifter		
		2010	Sidste år	Gns	Min	Maks
Kilder til emission						
Metan fra fordøjelsen	Kg pr DE	113	109	113	108	119
-heraf fra køer	%	79	77	78	64	93
Metan fra gødning	Kg pr DE	20	20	22	19	23
I alt metan	Kg pr DE	133	130	135	129	141
I alt metan	G pr kg EKM	25	24	25	19	31
Foderudnyttelsen (hele besætningen)	EKM pr kg ts	0,94	0,99	0,96	0,77	1,22

I den nuværende udgave af klimaregnskabet er metan emissionen fastlagt i forhold til optaget af bruttoenergi, hvilket stort set er identisk med indtaget af tørstof. Derfor afspejler variation mellem bedrifterne i metan udskillelse pr kg EKM dels forskelle i optag af tørstof forårsaget af produktionsniveau og foderudnyttelse og dels forholdet mellem antal foderdage i de forskellige kategorier af dyr. På sigt skal der indarbejdes en metode som direkte tager hensyn til rationens sammensætning og indhold af næringsstoffer på metan udskillelsen, baseret bl.a. på de resultater som præsenteres af Johannes et al (2011).

Tabel 6. Fordeling og omfang af lattergas emissionen pr ha årligt.

Enhed		Bedriften CHR 99999		Sammenligningsgruppe 20 bedrifter		
		2010	Sidste år	Gns	Min	Maks
Kilder til emission	Kg N ₂ O-N					
Husdyrgødning						
-stald og lagre		0,93	0,98	0,88	0,43	2,07
-udbringning		1,68	1,56	1,47	0,79	1,90
Handelsgødning		0,83	0,85	0,51	0	0,89
Afgrøderester		0,52	0,48	0,43	0,34	0,53
Mineralisering		-0,18	-0,13	0,21	-0,18	0,52
Via ammoniak fordampning		0,65	0,43	0,53	0,21	0,95
Via udvaskning		0,62	0,61	0,52	0,35	0,62
I alt lattergas		5,05	4,78	4,55	3,38	5,69
Fordeling på kilder						
Husdyrgødning						
-stald og lagre		18	20	19	11	36
-udbringning		33	33	32	23	48
Handelsgødning		17	18	11	0	23
Afgrøderester		10	10	10	8	11
Mineralisering		-3	-3	5	-3	14
Via ammoniak fordampning		13	9	11	6	18
Via udvaskning		12	13	11	9	13

Lattergas emission

Lattergas udgør, som det fremgår af tabel 3, 19% af bedriftens udledning af klimagasser, men pga. at det er en meget potent drivhusgas er udledning af lattergas udgør kun 4,55 kg lattergas-N pr ha som gennemsnit for de 20 bedrifter som det fremgår af tabel 6. I forhold til den samlede N omsætning er det således en meget lille andel der tabes som lattergas - omkring 2% af brutto N tildelt marken. De største bidrag til udledning af lattergas kommer fra emissioner i forbindelse med håndtering og udbringning af husdyrgødning.

Der indgår i klimaregnskabet ikke en direkte effekt af afgrødevalg og -produktion på ændringer i jordens indhold af kulstof, men den afledte effekt heraf på mineraliseringen er estimeret, og udgør, som det ses i tabel 6, i gennemsnit 0,21 kg N₂O-N pr ha. Emission pr ha fra mineraliseringen er negativ på den bedrift med lavest bidrag som udtryk for, at der i 2010 var en netto opbygning af kulstof. Det er valgt pt. ikke at medtage kulstof ændringerne direkte i regnskabet da det metodiske grundlag er mangelfuldt til beregning af den årlige ændring, og ikke mindst til at omregne det til drivhuseffekten set over en længere år-række.

Emission fra import til bedriften

Emission knyttet til produktion, forarbejdning og transport af det importerede foder udgør som gennemsnit halvdelen af den samlede CO₂ udledning fra importerede hjælpepestoffer, som det fremgår af tabel 7. Det fremgår også at forbruget af fossil var på 1298 Co₂ eq pr ha, eller 12% af bedriftens samlede udledning.

Tabel 7. Emissionen fra importerede hjælpepestoffer, CO₂ pr ha.

Enhed	Bedriften CHR 99999		Sammenligningsgruppe 20 bedrifter		
	2010	Sidste år	Gns	Min	Maks
CO ₂ eq kg pr ha					
Fossil energi					
-diesel, incl maskinst.	512	599	628	324	915
-el	538	613	670	319	1137
Foderimport	1817	1057	1457	24	5265
Gødning					
-handelsgødning	464	473	282	0	496
-husdyrgødning	-188	-124	-81	-977	196
I alt	3144	3219	2955	1299	6561

Diskussion og potentiale for reduktion

Der er lavet en del beregninger af udledningen fra mælkeproduktionen i forskellige lande og produktionssystemer ud fra samme metode som anvendt her, dog ofte med forskellige afvigelser. Det betyder at det er vanskeligt at sammenligne på tværs af undersøgelser, men umiddelbart er en udledning på 0,90 kg CO₂ eq pr kg EKM i den lave ende. I sammenligninger baseret på nationale data er det fundet, at stigende årsydelsen per ko indtil ca. 7.000 kg giver en markant reduktion i udledningen per kg mælk, mens der ved ydelser

herover ikke er samme klare effekt af stigende ydelse. Det skyldes, at ved stigende ydelser udgør foder til vedligehold en mindre andel af det samlede foder, hvorfor andre forhold som foderudnyttelse og udledningen af andre klimagasser end metan får relativt større indvirkning. I en sammenligning mellem EU lande fandt JRC (2010) at dansk mælkeproduktion var blandt de lande med lavest udledning, 1,1 kg CO₂ eq, per kg mælk når der indgik de samme tre hovedkilder, metan, lattergas og fossil energi, som i vores beregninger, mens Danmark var relativt dårligere såfremt også bidraget fra areal ændringer blev indregnet. Det skyldes, at DK i forhold til mange andre EU lande har en relativ høj import af proteinfoder til mælkeproduktionen.

Ved analyser af udledningen af klimagasser fra danske kvægbrug er det fundet, at effektiviteten i stalden er det område som giver størst forskel mellem bedrifter på udledningen pr kg mælk. Såfremt foderforbruget på besætningsniveau kan reduceres med 25% per kg produceret mælk falder udledningen med ca. 12%. Det lavere foderforbrug kan skyldes en kombination af flere forhold som f.eks. højere fodereffektivitet blandt de lakterende køer og færre gold dage eller færre kvier pr kg mælk. De bedrifter der har højest selvforsyning med foder har lavere udledning, hvilket igen kan forklares ud fra flere forhold. Høj selvforsyning opnået ved et højt udbytte per ha betyder et lavere behov for indkøb af foder og en lavere emission per hjemmeproduceret FE, mens en høj selvforsyning pga. en lav belægning desuden betyder et lavere forbrug af husdyrgødning per ha og dermed en reduktion i lattergas.

Årsagerne til variationen i udledningen per kg produkt er som ovenstående illustrerer ofte vanskelig at gennemskue, fordi reduktioner et sted i produktion kan modsvares af forøgelse andre steder. Det betyder, at effekten af partielt erkendte reduktioner som f.eks. reduktion af metan udledningen via øget andel af kraftfoder eller udskiftning af græsensilage med majsensilage kan modsvares at øget udledning af lattergas eller forbrug af fossil energi. Før partielt lovende tiltag kan anbefales er det derfor nødvendigt at foretage en samlet vurdering for hele produktionen i et LCA perspektiv.

Kvægbrugets potentiale til at bidrage til en højere andel af energiforbruget baseret på vedvarende energi kan illustreres ved, at der ved biogas baseret på gylle fra 1 DE dannes en mængde gas der netto kan fortrænge ca. 600 kg CO₂ svarende til 80% af forbruget af fossil energi ved produktionen, men kun ca. 10% af den samlede emission. Ved mere radikale ændringer af driften kan netto udledningen reduceres yderligere. Konsekvensen heraf kræver mere konkrete, bedriftsspecifikke beregninger. Nettoudledningen kan f.eks. reduceres ved at anvende en del af arealet til bioenergi produktion, men samtidigt reduceres arealet der kan anvendes til foderproduktion og derved påvirkes bedriften mælkeproduktion. For de arealer som udtages af driften gælder at der netto er en fortrængning af CO₂, således vil 1 ha med majs til biogas reducere bedriften udledning af drivhusgasser med ca. 5.300 kg CO₂ eq pr ha majs, mens 1 ha med energipil kan fortrænge netto ca. 12.700 kg CO₂ eq pr ha. Disse tal skal vurderes i forhold til, at den samlede udledning ved mælkeproduktionen var ca. 8.000 kg CO₂ eq pr ha.

Når der laves LCA af forskellige produkter, som her mælk, er formålet ofte at skaffe estimater til vejledning af forbrugerne omkring klimavenlige fødevarer. Overordnet er udledningen pr kg fødevarer stigende fra vegetabiliske fødevarer over animalske fødevarer fra enmavede dyr til fødevarer fra drøvtyggere. Det skyldes primært at drøvtyggeren i forbindelse med omsætningen af foderet udskiller metan samt at kvælstofudnyttelsen er relativt er lav, og derfor giver anledning til en større mængde lattergas per kg produkt. Såfremt udledningen udtrykkes i forhold til fødevarernes indhold af protein eller energi ses samme billede, dog med en reduceret forskel mellem vegetabiliske og animalske produkter

Litteratur

- FAO, 2010. Greenhouse gas emissions from the dairy sector: A life cycle assessment. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- Kristensen T., Mogensen L., Knudsen M.T. & Hermansen, J.E., 2011. Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emission from commercial dairy farms in a life cycle approach. Livst. Sci. 140, 136-148
- Kristensen T., Mogensen L., Madsen B.E. & Aaes O., 2011. Klimaregnskab for danske kvægbedrifter. <http://www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Miljoe/Sider/2193-Klimaregnskab-for-danske-kvaegbedrifter.aspx>
- Mikkelsen M.H., Albrechtsen R. & Gyldenkerne S., 2011. Danish Emission Inventory for Agriculture. NERI Technical Report no. 810.

Metan - overblik

Peter Lund¹, Rikke Albrechtsen², Lisbeth Mogensen³ & Jørgen Madsen⁴

¹Institut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet

²Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet/DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

³Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

⁴Institut for Produktionsdyr og Heste, Københavns Universitet

Sammen drag

I dette indlæg beskrives metanproduktion fra husdyrhold på globalt og nationalt niveau. Metan (CH₄) er en meget potent drivhusgas, som har en effekt der er 25 gange større end kuldioxid (CO₂), og metan dannet ved husdyrenes omsætning af foder udgør 18% af den samlede menneskeskabte globale metanproduktion. Der er dog betydelige forskelle mellem verdensdele og husdyr i emission af metan. Produktion af 1 kg oksekød eller 1 kg mælk i Afrika resulterer således i henholdsvis 59% og 400% mere metan end produktion i Europa. I Danmark er landbruget den største kilde til udledning af metan (70%), og når den samlede produktion af metan fra husdyrproduktionen opgøres kan 50% henføres til malkækøer, 29% til øvrigt kvæg og 17% til svineproduktion. I indlægget er vist hvor meget drivhusgas der dannes ved produktion af forskellige fødevarer, og de animalske produkter er kendetegnet ved en høj produktion af drivhusgas sammenlignet med vegetabiliske fødevarer.

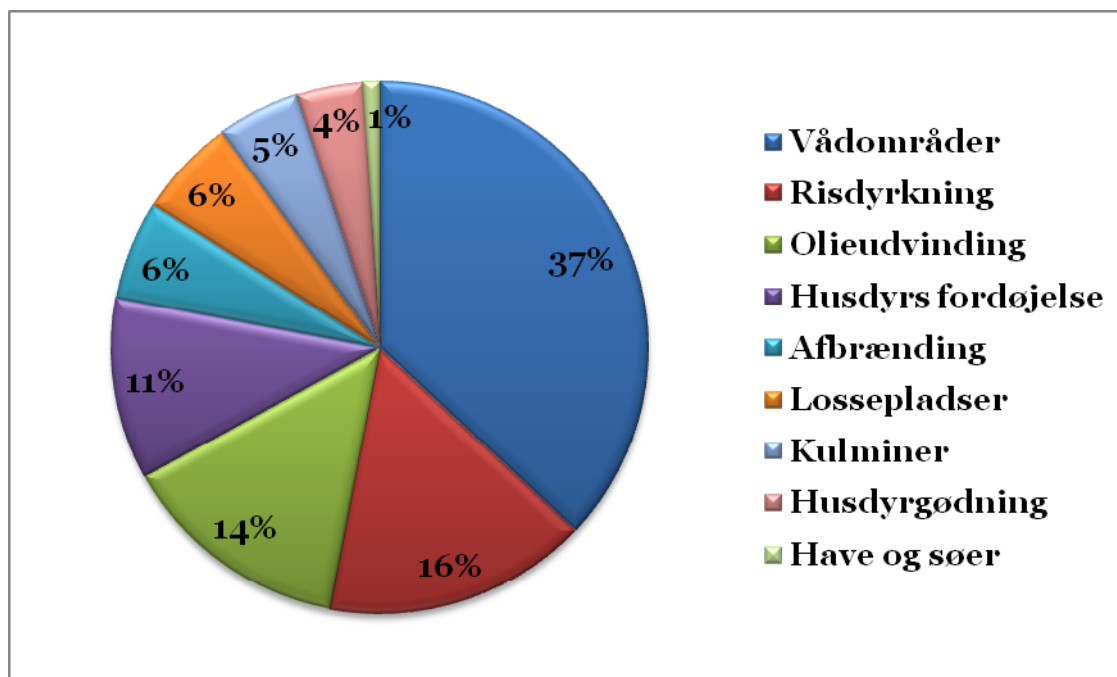
Metan fra husdyrproduktion i forhold til andre kilder

Globalt

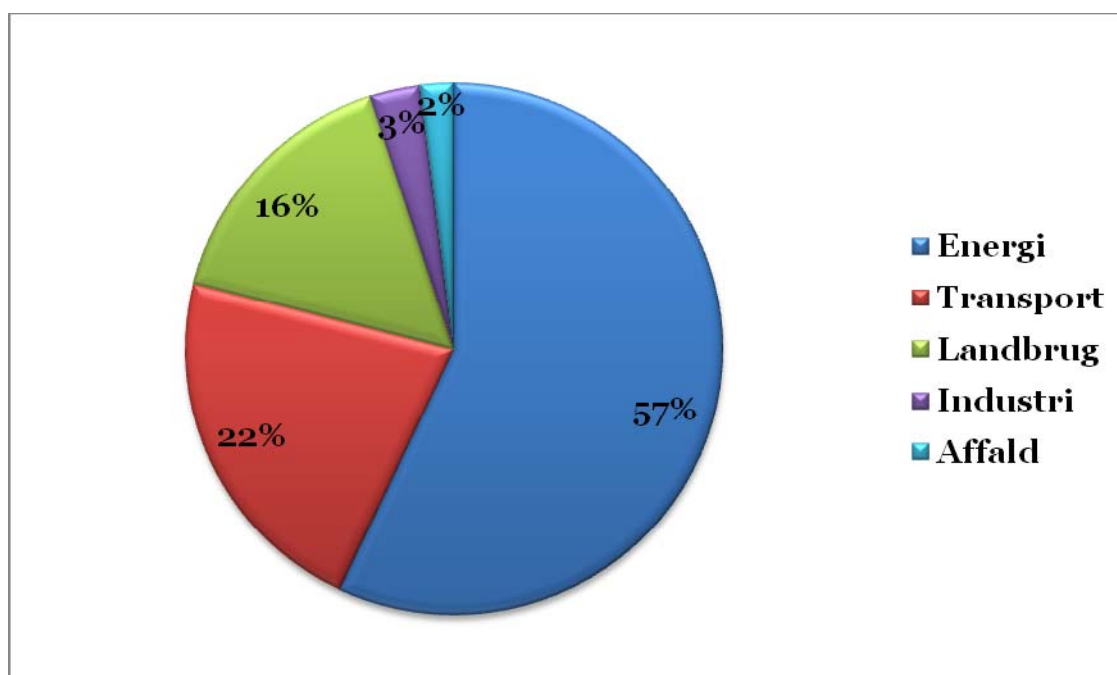
Metan (CH₄) er en meget potent drivhusgas, som har en effekt der er 25 gange større end kuldioxid (CO₂). Produktionen af metan kan opdeles i et naturligt bidrag og et menneskeskabt bidrag. Moss et al (2000) har estimeret den samlede globale produktion af metan til 689 mio. tons, hvoraf de 261 mio. tons (38%) er naturlige som følge af metanproduktion fra vådområder, have og søer, mens 428 mio. tons (62%) er menneskeskabte. De største menneskeskabte kilder er risdyrkning (110 mio. tons), olieudvinding (96 mio. tons) og metan dannet ved husdyrenes omsætning af foder (76 mio. tons) (Figur 1).

Danmark

DMU har opgjort udledningen af drivhusgasser i Danmark fra forskellige hovedgrupper (Figur 2), og hovedgruppen Landbrug er ansvarlig for 16% af den samlede emission i Danmark, og er dermed den tredjestørste hovedgruppe til udledning af drivhusgasser i Danmark efter hovedgrupperne Energi (57%) og Transport (22%). Når man opgør udledning af de enkelte drivhusgasser er Landbrug den største kilde til udledning af både metan (70%) og lattergas (91%). Udledninger af kuldioxid fra brændstof anvendt i landbruget indgår i hovedgruppen Transport, og udledninger fra energiproduktion inden for landbrug indgår i Energi (Nielsen et al., 2011).

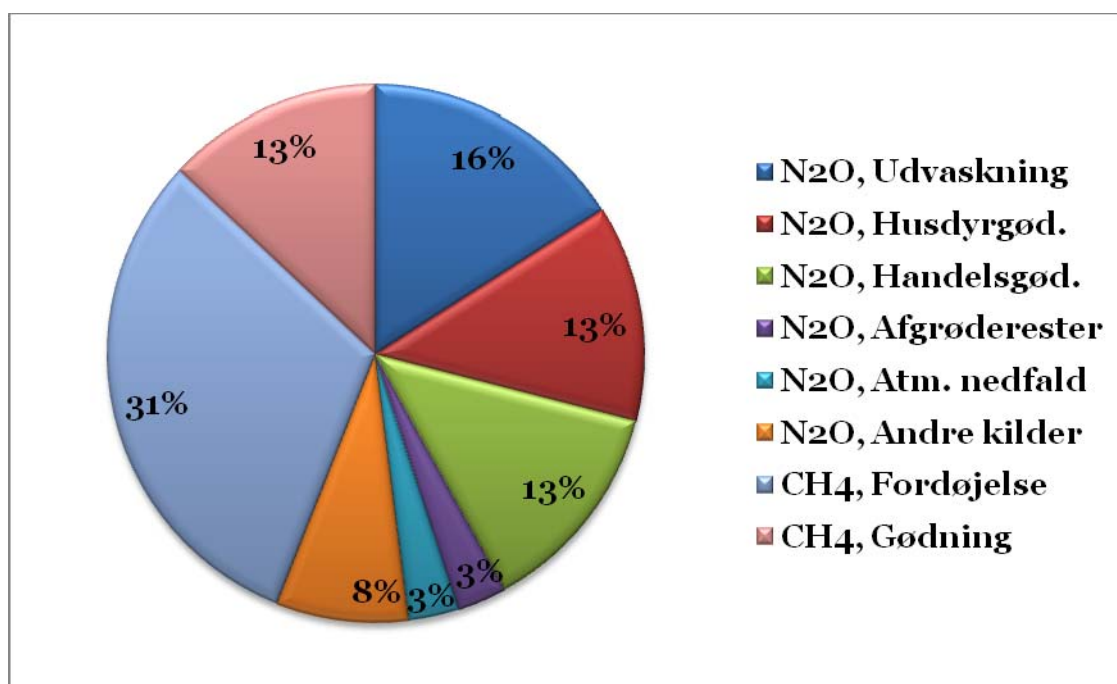


Figur 1. Fordeling af den globale produktion af metan (689 mio. tons) på forskellige kilder (Moss et al., 2000).



Figur 2. Udlledning af drivhusgasser i Danmark fordelt på hovedgrupper (Nielsen et al., 2011).

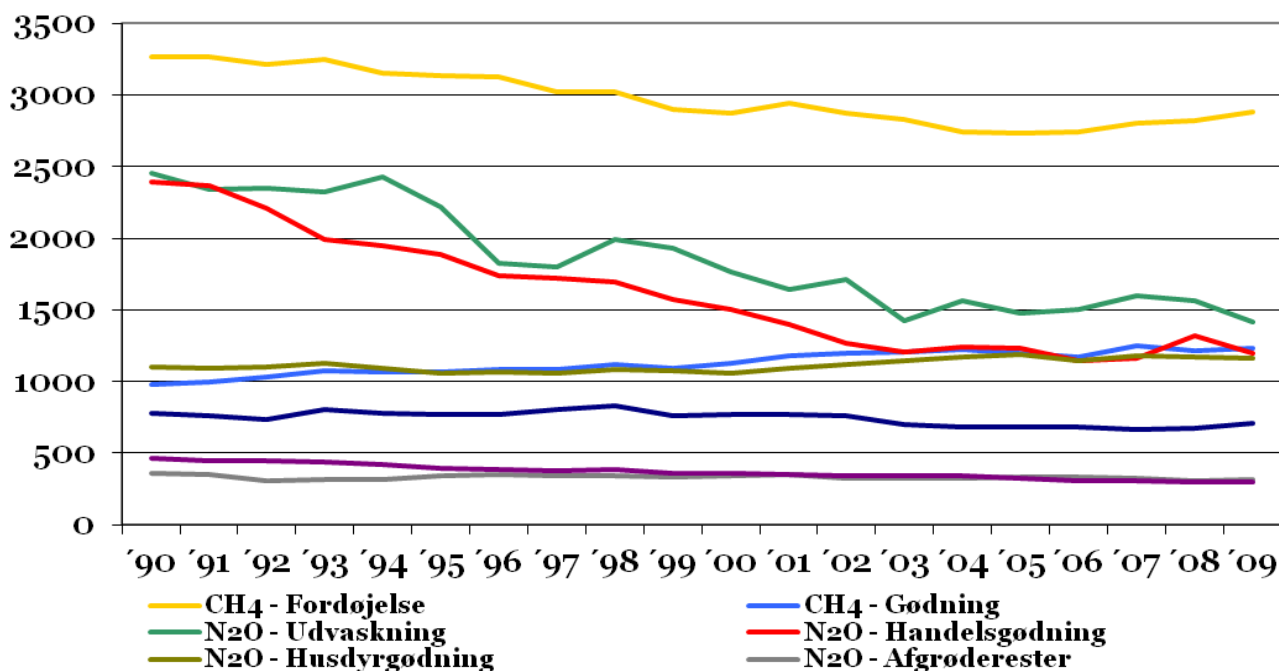
Metan (CH_4) bliver dannet, når organisk stof (kulstofforbindelser) bliver nedbrudt under iltfrie forhold ved hjælp af metandannende bakterier i f.eks. vommen (enterisk metanproduktion) eller i gylletanken, mens dannelse af lattergas (N_2O) sker, når reducerede kvælstofforbindelser som ammonium (NH_4^+) bliver omsat ved bl.a. nitrifikation til nitrat (NO_3^-). Nitrifikation sker ved hjælp af bakterier i miljøer, hvor der er ilt til stede, og derfor dannes der lattergas, når kvælstofforbindelserne findes i dybstrøelse og møddingstakke, når der bringes handelsgødning og husdyrgødning ud på marken, og når kvælstofholdige plantesterer bliver nedbrudt i jorden. Figur 3 viser hvor meget de enkelte kilder udgør af den samlede emission af metan og lattergas fra Landbrug. Det ses, at husdyrenes fordøjelse, primært fra kvæg, udgør den største kilde til emission af metan fra landbruget, mens udvaskning, husdyrgødning og handelsgødning er de største bidragsydere til lattergas.



Figur 3. Fordeling af udledning af drivhusgasser fra dansk landbrug 2009 (Nielsen et al., 2011).

I figur 4 er udledningen af drivhusgasser fra de forskellige kilder opgjort som CO_2 -ækvivalenter i perioden 1990-2009. Når kurverne summeres indenfor år, ses der et betydeligt fald i den samlede udledning af drivhusgasser i perioden, og denne positive effekt kan primært henføres til et fald i den enteriske metanproduktion fra dyres fordøjelse som følge af et faldende antal kvæg, samt reduceret emission af lattergas fra udvaskning og handelsgødning som følge af en bedre udnyttelse af husdyrgødningen og dermed mindre forbrug af handelsgødning og mindre udvaskning.

Udledning af drivhusgasser 1.000 tons CO₂-ækvivalenter

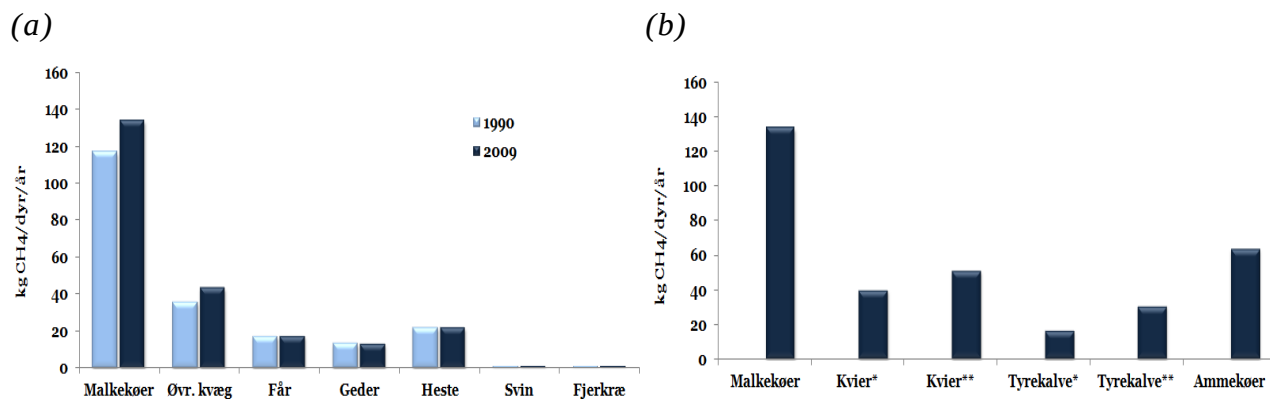


Figur 4. Udledninger af drivhusgasser i Danmark fra hovedgruppen Landbrug for årene 1990-2009 (Nielsen et al., 2011).

Metan fra danske husdyr opdelt på husdyrarter

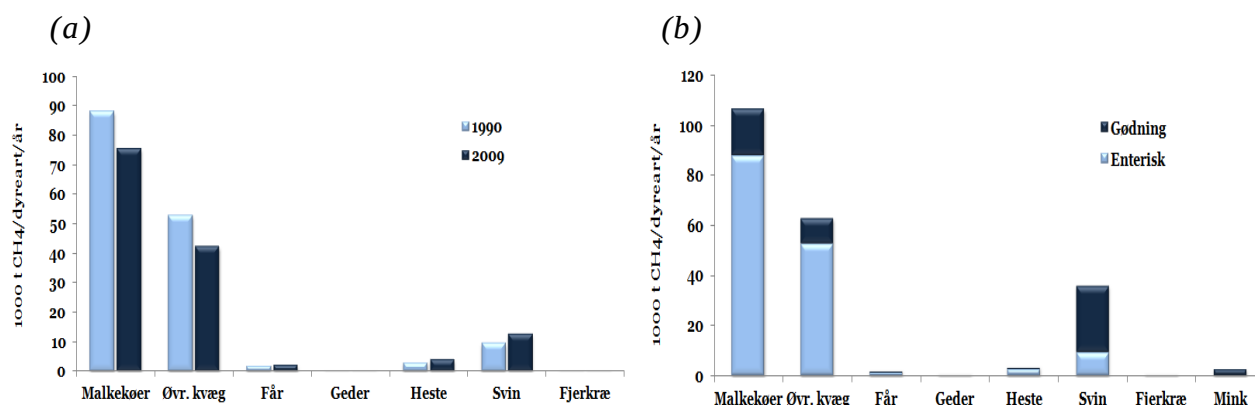
Produktionen af metan fra den samlede danske husdyrbrug kan beregnes ud fra de enkelte dyre-kategoriers produktion af metan og antallet af dyr i Danmark. Datagrundlaget for disse beregninger er normtallene for udskillelse af næringsstoffer hos husdyr samt data vedrørende antal dyr fra Danmarks Statistik. Figur 5 viser den produktion af metan som kan henføres til omsætning af foderet i dyrets fordøjelseskanal (enterisk metan) for de forskellige dyre-kategorier i Danmark (figur 5a) og de forskellige typer af kvæg (5b). Når der sammenlignes mellem de forskellige dyr ses det tydeligt, at produktion af metan primært kan henføres til omsætning hos drøvtyggere (kvæg, får, geder) samt bagtarmsforgærere (heste), mens bidraget fra enmavede dyr (svin og fjerkræ) er ubetydeligt. Denne forskel mellem dyr skyldes primært at produktion af metan er knyttet til den mikrobielle omsætning af fiber, som netop er kendetegnet for omsætning af foderet hos drøvtyggere og bagtarmsforgærere. I perioden 1990-2009 ses en stigning i produktionen af metan for kvæg. Dette skyldes for malkekøernes vedkommende en større mælkeproduktion og derfor også en større foderoptagelse og metanproduktion per årsko. For kategorien øvrigt kvæg skyldes stigningen at foderforbruget til kvier er blevet genberegnet i perioden, og denne genberegning resulterede i et større foderforbrug per årsdyr og dermed også en større produktion af metan. Når metanproduktionen opgøres på enkeltdyr ses det af figur 5b at malkekøer har den største produktion af metan, efterfulgt af ammekøer og kvier i perioden 6 mdr.-kælvning. Dette skyldes den høje foderoptagelse for malkekøer og det forholdsvis højere

indhold af grovfoder i rationerne til kvier og ammekøer. Metanproduktionen for en kvie eller en tyrekalv vil være et vægtet gennemsnit af metanproduktionen i perioden 0-6 mdr. og i perioden 6 mdr. til kælving/slagtning, som i dette tilfælde begge er opgjort pr. årsvægt.



Figur 5. Produktion af metan per årsvægt i 2009 ved omsætning af foder (enterisk metan) i 1990 og 2009 fra forskellige kategorier af husdyr (5a) og fra forskellige kategorier af kvæg i 2009 (* 0-6 mdr; ** 6 mdr til kælving/slagtning) (5b) (mod.e. Nielsen et al., 2011).

Udregnes det samlede bidrag fra de forskellige dyrearter på baggrund af antallet af dyr og produktionen af metan pr. dyr, ses der et lidt anderledes billede, hvor svin nu udgør en signifikant del af den samlede metanproduktion ved foderomsætning, simplethen fordi der er en meget stor svineproduktion i Danmark, som opvejer den forholdsvis lille produktion af metan pr. dyr (figur 6a). I perioden 1990 til 2009 er udledningen af metan fra kvægproduktionen faldet, idet den øgede udskillelse for det enkelte dyr er mere end opvejet af et faldende antal dyr. For svin ses en svag stigning som følge af en større produktion. Den samlede produktion af metan fra omsætning af foderet og fra gødningsslagrene for de enkelte dyrekategorier er vist i tabel 6b. Produktionen af metan fra gødningsslagrene er størst fra svineproduktionen som følge af den store antal dyr, og når den samlede produktion af metan fra husdyrproduktionen i 2009 opgøres kan 50% henføres til malkekøer, 29% til øvrigt kvæg og 17% til svineproduktion.



Figur 6. Produktion af metan i 1990 og 2009 (kg metan/dyrekategori/år) ved omsætning af foder fra forskellige kategorier af husdyr (6a) samt produktion af metan i 2009 (kg metan/dyrekategori/år) ved henholdvis omsætning af foder (enterisk metan) og lagring af gødning fra forskellige kategorier af husdyr (6b) (mod.e. Nielsen et al., 2011).

Angivelse af drivhusgasproduktionens og metanproduktionens størrelse

Drivhusgasproduktionens størrelse opgives som tidligere nævnt i enheder "CO₂ ækvivalenter", og svarer til hvilken effekt en given gas vil have i en 100 års periode. For metan er tallet således fastsat til 21-25, svarende til at 1 kg metan har en klimateffekt som over en 100 års periode er 21-25 gange effekten af 1 kg kuldioxid. Regnede man i andre periodelængder ville tallet være anderledes. Således ville metan have et tal på 56 hvis perioden var 20 år og kun 6,5 hvis perioden var 500 år. Der regnes på effekten per gram metan. Hvis værdien blev angivet per liter eller per mol i stedet for per gram ville værdien for metan kun være 8. Produktionen af metan og drivhusgas skal ligeledes angives per et eller andet. Det kan være per ko, per kg mælk eller kød produceret eller per kg optaget fodertørstof, brutto-, fordøjte-, omsætteligt- eller netto energi. For dyrenes metanproduktion, anvender det internationale klimapanel udtrykket hvor meget energi der udskilles som metan af dyrets optagelse af bruttoenergi. Det er selvfølgelig en meget grov angivelse som kun kan anvendes til statistik og ikke til udvikling af metoder til reduktion af metanudledningen. Til visse opgaver kan man populært sagt angive metanudledningen som andelen af kulstof der mistes i udstødningen (CH₄) i forhold til andelen der forbrændes effektivt (CO₂), altså CH₄/CO₂ forholdet.

Andelen af Danmarks drivhusgasproduktion, der kommer fra forgæring af foderet i fordøjelseskanalen hos husdyr, specielt kvæg, er knap 5%. For at få et indtryk af om det er meget eller lidt, er det nødvendigt, at have et indtryk af, hvor meget vores øvrige aktiviteter påvirker udledningen af drivhusgasser.

I meget runde tal udleder Danmark 60 mio. tons CO₂ ækvivalenter per år. Med godt 5 mio. mennesker og 2,5 mio. husstande bliver det henholdsvis 10-12 tons og 24 tons per person og husstand. Produktionen af metan fra den danske kvægproduktion, som producerer omtrent den mængde oksekød vi spiser samt en betydelig større mængde mælk og mejeriprodu-

dukter end vi spiser, beløber sig kun til 1200 kg CO₂ ækvivalenter i metan per husstand. Dertil kommer dog den produktion af drivhusgasser, der stammer fra foderproduktionen.

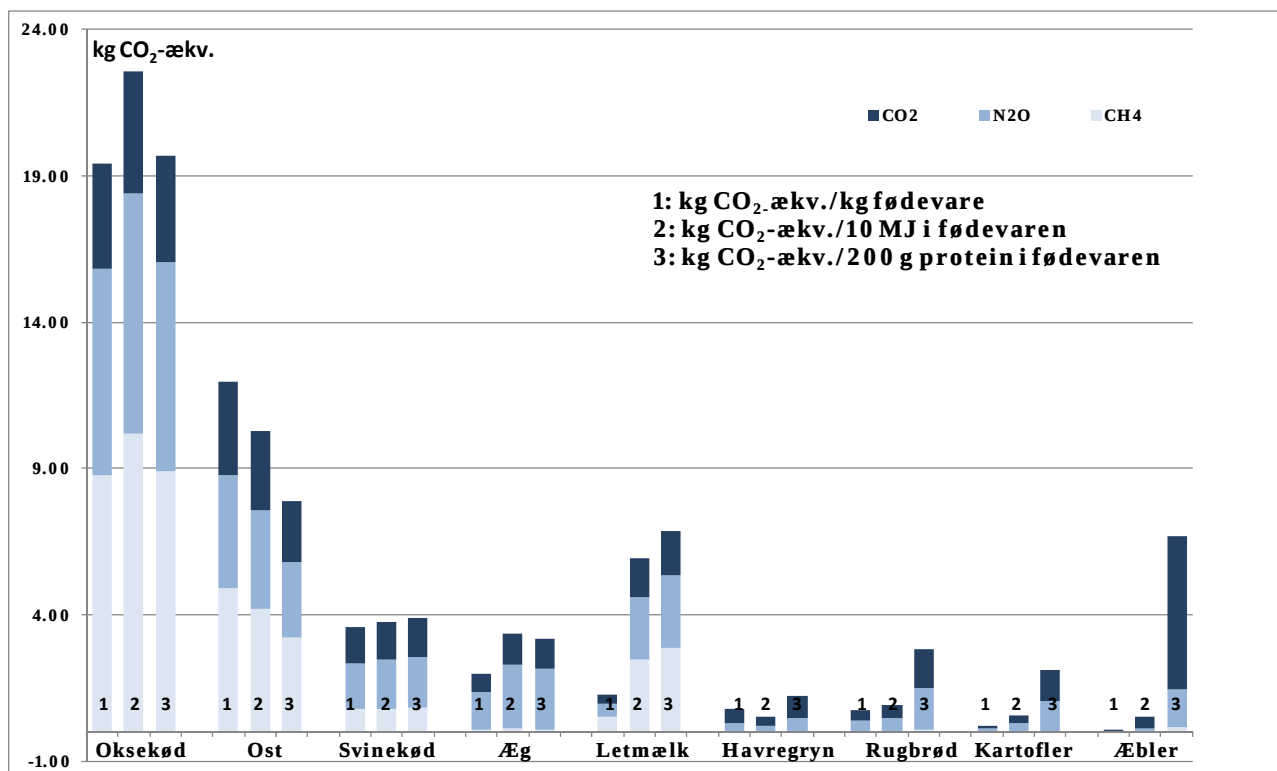
Klimabidrag fra forskellige fødevarer

Animalske fødevarer, og specielt produkter fra ekstensive systemer med kvæg eller andre drøvtyggere, vil i forhold til andre fødevarer have en høj udledning af drivhusgasser. Det skyldes kombinationen af en lav foder- og kvælstofudnyttelse og udledningen af metan i forbindelse med foderomsætningen. Således stammer 41-45% af klimagasudledningen fra drøvtyggerprodukterne mælk, ost og oksekød fra metan, mens det kun er ca. 22% for svinekød, og for de vegetabiliske produkter som kartofler og havregryn er det kun ca. 2-3% af den samlede klimagasudledning per kg fødevare, der udledes som metan.

Der er stor forskel på klimaeffekten fra forskellige typer af fødevarer. Generelt er udledningen af drivhusgasser større ved produktion af animalske produkter sammenlignet med produktion af vegetabiliske produkter. Karakteristisk for de animalske fødevarer er, at det største bidrag til klimabelastningen kommer fra produktionen på landbrugsbedriften, mens der kommer mindre bidrag fra forarbejdning, detailled og transport. Kød er den gruppe af fødevarer, der giver anledning til den største klimaeffekt, dog med stor variation for kød fra forskellige dyrearter (3-26 kg CO₂-ækv pr. kg kød). Oksekøds klimabelastning er 3-8 gange større end klimabelastningen fra produktion af svine- og kyllingekød, hvilket bl.a. skyldes, at udledningen af metan fra drøvtyggernes (kvæg og får) fordøjelsessystem er langt større end metanudledningen fra de én-mavede dyrs (svin og fjerkræ) fordøjelse. Endvidere er der en meget høj foder- og kvælstofeffektivitet i slagtekyllinge- og slagtesvineproduktionen, som gør kød fra disse produktioner mere klimavenlig end kød fra oksekødssektoren. Endvidere er klimabelastningen fra oksekød mindre, når det er tyrekalve fra malkebesætninger, der fedes op sammenlignet med oksekødsproduktionen i et ammekvæg-system. Det skyldes bl.a., at man i systemet med kød fra tyrekalve fra malkebesætninger sparer noget vedligeholdelsesfoder til moderdyret og produktionen ofte er mere intensiv. Mælk er det animalske produkt, der giver den laveste klimabelastning, og når klimaeffekten fra 1 kg ost er 9 gange større end den fra 1 kg mælk, skyldes det især at der går meget råmælk til osteproduktionen.

Frilandsgrøntsager og kartofler giver betydelig lavere klimaeffekt end andre fødevarer per kg produkt. Karakteristisk for planteproduktionen er også, at udledningen af drivhusgasser er domineret af lattergas. Hertil kommer CO₂ fra energi til forarbejdning, og til kølet opbevaring som af f.eks. kartofler.

Det kan diskuteres, hvorledes udledningen af drivhusgasser fra vores fødevarerforbrug udtrykkes mest hensigtsmæssigt, typisk angives et klimaaftryk per kg fødevare (kg CO₂-ækv./kg). Imidlertid skal vores indtag af fødevarer primært dække behovet for energi og protein. Rangeringen mellem fødevarer vil imidlertid ikke ændres væsentligt ved at udtrykke udledningen i forhold til fødevarernes kalorieindhold. Ses på udledningen i forhold til fødevarens indhold af protein er der lidt større forskydninger, hvor fødevarer med lavt protein- og tørstofindhold, som mælk vil få relativt højere belastning i forhold til de mere proteinrige fødevarer som kød eller æg.



Figur 7. Udledning af drivhusgasser (opdelt på bidrag fra de enkelte gasser CO₂, N₂O, CH₄) fra udvalgte fødevarer udtrykt enten i forhold til vægten (kg), energiindholdet (10 MJ nettoenergi) eller proteinindholdet (200 g protein), kg CO₂-ækvivalenter (mod. e. Mogensen et al., 2009).

Produktion af metan ved husdyrhold i forskellige verdensdele

Nedenstående tabel 1 viser bidraget fra de enkelte verdensdele og produktionsgrene til husdyrbrugets samlede produktion af metan. Som det fremgår af tabellen er produktion af oksekød og mælk de største bidragsydere, og den største kødproduktion findes i Sydamerika, mens den største mælkeproduktion findes i Asien.

Tabel 1. Oversigt over verdens samlede metanproduktion fra husdyr fordelt på verdensdele og produktionsgrene, (% af verdens samlede produktion af metan fra husdyr, 2008) (Key & Tallard, 2011).

	Oksekød	Svinekød	Fjerkræ	Fårekød	Mælk	Total
Nordamerika	7,9	1,1	0,2	0,1	2,3	11,5
Sydamerika	20,2	0,2	0,1	0,7	2,4	23,5
Europa	8,3	1,3	0,2	0,9	3,3	13,9
Afrika	6,4	0,0	0,0	4,5	2,6	13,5
Asien	17,6	2,4	0,2	4,3	8,2	32,7
Oceanien	2,9	0,1	0,0	1,3	0,6	4,8
Verden	63,3	5,1	0,6	11,7	19,3	100,0

En mere interessant opgørelse er hvor effektiv produktionen er i de enkelte verdensdele og produktionsgrene (tabel 2). Opgøres produktionen af metan på baggrund af produktionen (t CO₂-ækvivalenter/t produkt) ses det at produktionen af metan fra mælkeproduktion er mindre pr kg produkt end produktionen for f.eks. svinekød og fårekød.

Tabel 2. Oversigt over metanproduktionen fra forskellige verdensdele og produktionsgrene, (t CO₂-ækvivalenter/t produkt, 2008) (Key & Tallard, 2011).

	Oksekød	Svinekød	Fjerkræ	Fårekød	Mælk
Nordamerika	13,3	1,9	0,2	12,6	0,5
Sydamerika	24,5	0,6	0,1	27,3	0,7
Europa	17,2	1,1	0,2	14,8	0,4
Afrika	27,4	1,0	0,1	28,1	1,6
Asien	20,7	0,9	0,2	12,8	0,7
Oceanien	21,6	3,5	0,1	21,6	0,6
Verden	20,3	1,1	0,2	18,2	0,6

Samtidig ses der store regionale forskelle. Produktion af 1 kg oksekød eller 1 kg mælk i Afrika resulterer således i henholdsvis 59% og 400% mere metan end produktion i Europa. Da emission af metan i modsætning til f.eks. udledning af kvælstof eller fosfor er et globalt problem og ikke blot påvirker nærmiljøet, er det nødvendigt med en diskussion af hvordan vi får produceret verdens fødevarer på den mest effektive måde. Et af disse tiltag kunne være en forbedring af produktiviteten i Afrika.

Konklusion

Metan fra drøvtyggernes omsætning af foder bidrager med en betydelig del af udledning af drivhusgasser fra dansk landbrug. Når landbruget er pålagt en betydeligt reduktion i udledningen af drivhusgas er det derfor helt afgørende at vi fremadrettet får fastlagt strategier til reduktion af produktionen af metan fra kvægbruget. Tager man imidlertid de store globale briller på er det afgørende at indsatsen også lægges i de regioner, hvor effektiviteten i modsætning til i Danmark er lav. Det er derfor afgørende at vi i disse regioner får en husdyrproduktion som er mere effektiv, dvs. en større produktion af mælk og kød fra de enkelte dyr, således at vi kan dække det globale behov for fødevarer på den mest effektive måde.

Referencer

- Key, N. & Tallard, G. 2011. Mitigating methane emission from livestock: a global analysis of sectoral policies. *Climatic Change* (6 September 2011), pp. 1-28. doi:10.1007/s10584-011-0206-6
- Kristensen, T., Mogensen, L. & Hermansen, J. 2010. Klimabelastningen ved produktion af oksekød. *KvægInfo* 2072, 5 pp.
- Mogensen Lisbeth, Marie Trydeman Knudsen, John E. Hermansen. 2009. Notat til Fødevareministeriet vedrørende: Beregning af klimaaftryk for middagsretter til klimakogebog. 2. oktober 2009, 19 pp.

- Moss, A.R., Jouany, J.P. & Newbold, J. 2000. Methane production by ruminants. Its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49, 231-253.
- Nielsen, O.-K., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Winther, M., Nielsen, M., Fauser, P., Thomsen, M., Plejdrup, M.S., Albrechtsen, R., Hjelgaard, K., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Bastrup-Birk, A., Vesterdal, L., Møller, I.S., Rasmussen, E., Arfaoui, K., Baunbæk, L. & Hansen, M.G. 2011. Denmark's National Inventory Report 2011 - Emission Inventories 1990-2009 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 1199 pp. NERI Technical Report No. FR827.

Modellering og måling af metan-emission fra kvæg

Ida ML Drejer Storm^a, Anne Louise F. Helwing^b, Nicolaj I. Nielsen^c, Jørgen Madsen^a

^aInstitut for Produktionsdyr og Heste, Københavns Universitet, ^bInstitut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet, ^cAgroTech A/S

Sammen drag

Udvikling af og kendskab til de metoder, der bruges til måling af kvægs metan-emission udgør en vigtig del af forskningen indenfor området. I dette indlæg præsenteres de mest anvendte metoder til måling og estimation af kvægs metan-emission, herunder modeller, *in vitro* inkubation, kammer-metoder, SF₆-metoden og CO₂-metoden. De enkelte metoder beskrives og fordele, ulemper og anvendelsesområder sammenlignes. Dette er vigtig baggrundsinformation for forståelse og fortolkning af øvrige forskningsresultater og for at kunne planlægge fremtidige projekter.

Introduktion

Alt afhænger af øjnene der ser – og ethvert måleresultat afhænger af metoderne der anvendes til at opnå det. Dette gælder også for vores anstrengelser for at kvantificere landbrugets produktion af drivhusgasser. Hvordan måler man hvor meget metan en græssende ko emitterer i forhold til en på stald og kan værdierne uden videre ekstrapoleres til at dække en hel besætning – eller et helt land? Gennem de sidste 100 år er der udviklet forskellige metoder med det formål at måle eller estimere emissionen af metan fra kvæg. Metoderne er forskellige og har forskellige anvendelsesmuligheder, fordele og ulemper, men ingen af dem er perfekte: Nogle er dyrere, andre billige; nogle kan anvendes på græssende dyr mens andre kræver opstaldede dyr; Nogle kan håndtere mange dyr, andre kun få. Alt sammen fakta der påvirker resultaterne og vores fortolkning af dem. Derfor er det vigtigt at kende de enkelte metoders muligheder og begrænsninger. Dette gælder både for forståelsen af aktuelle forskningsresultater og i forbindelse med planlægning af fremtidige undersøgelser og projekter.

Dette indlæg præsenterer kort de mest anvendte metoder til estimering og måling af metan-emission fra kvæg. De enkelte metoder gennemgås og deres fordele og ulemper fremhæves. Endeligt sammenfattes dette i et skema, der sammenligner de forskellige tilgange.

Modeller til forudsigelse af metanproduktion

Der er interesse for at kunne forudsige metanproduktionen via modeller, som bygger på eksisterende data som f.eks. dyrekarakteristika (f.eks. vægt, race), foderrationskarakteristika (f.eks. næringsstof- og energiindhold), optagelsesdata (tørstof eller næringsstoffer) eller fordøjede næringsstoffer. Sådanne modeller anvender ofte data fra forsøg udført med kvæg i respirationskamre, men nyere teknikker til måling af metan som f.eks. SF₆ eller CO₂-metoden er også taget i brug i de senere år (se afsnit om disse metoder).

IPCC

Der er udviklet modeller til estimering af kvægets metanemission som kan anvendes til at kvantificere produktionen af metan globalt, nationalt eller lokalt på bedriften. Den standardmodel som oftest bruges til beregning af en kvægpopulations udledning af metan er udgivet af IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes). IPCC er en uvildig international videnskabelig instans etableret af World Meteorological Organization og United Nations Environmental Programme (UNEP). IPCC kaldes ofte også FN's klimapanel.

IPCC's nyeste retningslinjer til estimering af metanemissionen fra husdyrs fordøjelseskanal er fra 2006. IPCC opererer med 3 forskellige beregningsniveauer, når man skal estimere en drivhusgasemission (IPCC, 2006). Disse 3 niveauer afhænger af hvor godt et datagrundlag man har i det pågældende land og benævnes Tier 1, 2 eller 3, hvor Tier 1 er den simpleste regnemetode og Tier 3 er den mest komplekse og dataafhængige metode. De 3 metoder tager udgangspunkt i hvor stor en andel af koens bruttoenergioptag (BE), der udskilles som metan. Tier 1 anvender således en emissionsfaktor på 6,5% (Y_m) og et antaget BE, hvilket medfører en estimeret metanproduktion på 109 kg/ko/år i VestEuropa (IPCC, 2006). Ved anvendelse af Tier 2 og specielt Tier 3, kræves der mere information til fastlæggelse af Y_m i forhold til foderets fordøjelighed og næringsstofindhold. Y_m er hovedsageligt fastlagt forsøgsmæssigt ud fra målinger i respirationskamre, men disse vil blive opdateret efterhånden som der kommer nye teknikker i brug. Der kræves også modeller til fastlæggelse af foder- og energioptagelsen i forhold til køernes produktion i en given region/land. Endvidere kræver anvendelsen af en officiel Tier 3 metode videnskabelig dokumentation i form af en artikel i et internationalt tidsskrift (IPCC, 2006).

Danmark indsender hvert år en statusrapport over den danske drivhusgasemission til UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) som en del af Kyoto aftalen. Som standard anvendes en emissionskoefficient på 6,5% af BE for kvæg; undtaget er intensivt fodrede dyr, som er defineret ved en kraftfoderandel på >90%, hvor Y_m er fastlagt til 3% (IPCC, 2006).

Ved beregning af Danmarks emission anvendes i stedet en Y_m på 5,94% for malkekøer og denne faktor er fastlagt ud fra beregninger i Karoline-modellen (Danfær, 2005) på baggrund af foderplaner fra ca. 15% af Danmarks malkekøer samt foderroearealet i Danmark (NERI, 2011).

Metan modeller

I tabel 1 er præsenteret en oversigt over nogle nyere metanmodeller, som findes i litteraturen. Nedenstående oversigt giver et indtryk af, hvor forskellige modeller der findes, mht. hvor komplekse input der kræves. Modellen af Ellis et al. (2007) kræver f.eks. kun en grovfoderandel, mens modellen af Jentsch (2007) kræver fordøjede mængder næringsstoffer. Brugen af Jentsch-modellen vil således kun kunne lade sig gøre i praksis, hvis man har en fordøjelsesmodel, som den der indgår i NorFor. Flere af modellerne i nedenstående tabel er udviklet via datasæt, som indeholdt information omkring foderets næringsstofindhold. I nogle af undersøgelserne kunne informationen omkring næringsstoffer forbedre modellens

evne til at forudsige metanproduktionen (Jentsch et al., 2007), mens det i andre undersøgelser ikke var tilfældet (Yan et al., 2006; Ellis et al., 2007).

Tabel 1. Metanmodeller udviklet på basis af målinger i respirationskammer i USA, Canada, Tyskland og Storbritannien.

Reference	Ligning	R ²	n
IPCC (2006) ^a	Metan (kg/dag) = BE (MJ/d)*Y _m /55,65		
Yan et al. (2006)	Metan (L/d) = 47,8*TSoptag – 0,76* TSoptag ² – 41 (kg/d)	0,75	315
Yan et al. (2006)	Metan (L/d) = 0,34*kovægt + 19,7*TSoptag +12 (kg/d)	0,77	315
Kirchgessner et al. (1995)	Metan (g/d) = 63 + 79*træstof + 10*NFE + 26*råprotein – 212*råfedt (kg/d)	0,69	24
Jentsch et al. (2007) ^b	Metan (kJ/d) = 1,62*d_råprotein – 0,38*d_råfedt + 3,78*d_træstof + 1,48*d_NFE +1142 (g/d)	0,90	337
Ellis et al. (2007)	Metan (MJ/d) = 0,14*grovfoder% + 8,6	0,56	89
Mills et al. (2003) ^c	Metan (MJ/d) = 0,07*OE (MJ/d) + 8,25	0,55	159
Mills et al. (2003)	Metan (MJ/d) = 0,92*TSoptag (kg/d) + 5,93	0,60	159
Mills et al. (2003)	Metan (MJ/d) = 10,3*grovfoder% + 0,87*TSoptag (kg/d) + 1,1	0,61	159
Grainger et al. (2007)	Metan (g/d) = 18,5*TSoptag (kg/d) – 9,5	0,56	16

^a Y_m er den koefficient, som fastlægger hvor stor en andel af bruttoenergien (=BE) i foderet som omsættes til metan. Y_m er fastsat til 5,94 % i Danmarks nationale klimaregnskab. De 55,65 angiver energiindholdet i ét kg metan.

^b Ligningen baserer sig på fordøjede mængder, hvilket er angivet med "d" i ligningen

^c OE = omsættelig energi

En sammenligning af ovenstående modeller vil medføre store forskelle i den estimerede metanemission, hvilket også er vist for en række andre modeller i en tidligere undersøgelse (Kristensen et al., 2009).

I fodervurderingssystemet NorFor beregnes en lang række af næringsstoffer, som koen indtager ud fra en given ration, ligesom de fordøjede mængder af næringsstoffer i de forskellige fordøjelsesafsnit er til rådighed på rationsniveau. Der arbejdes på at NorFor får indbygget en prediktionsligning for metan, således at det bliver muligt at estimere emissionen på rationsniveau ifm. foderplanlægningen. Det er p.t. uafklaret, hvorvidt det bliver en af de eksisterende ligninger fra tabel 1, eller det bliver en ny ligning, der udvikles på grundlag af nyere metanforsøg fra forskningsinstitutionerne i Danmark, Norge og Sverige.

***In vitro* gas produktion**

In vitro metoder til måling af gas- og metanproduktion fra kvæg (IVGP) er metoder der er baseret på mikrobiel fermentering af foder, udført af vom-mikrober under kontrollerede betingelser i et laboratorium. Metoderne er en videreudvikling af velkendte metoder til bestemmelse af *in vitro* fordøjelighed.



Figur 1: Illustration af et fuldautomatisk, trådløst udstyr til måling af *in vitro* gas produktion.

Foderstoffer og evt. additiver inkuberes med en blanding af vomvæske og buffer ved 39°C i f.eks. 48 timer. Den gas der produceres under inkubationen opsamles og mængden måles. Gassens sammensætning analyseres enten løbende under forsøget eller i den samlede gasprøve til slut. Samtidig kan man måle *in vitro* fordøjelighed af fodermidlerne. Systemer til IVGP varierer en del. Med det system der anvendes på KU-LIFE er det muligt at have op til 50 inkubationer kørende på en gang hvilket giver mulighed for at teste effekten af op til 8 forskellige behandlinger og 2 kontrolbehandlinger, med 5 gentagelser af hver behandling. Selve inkubationen forløber typisk over 48 timer så inklusiv forberedelse og efterbehandling kan et forsøg typisk afvikles i løbet af 2-3 uger. Der er således god mulighed for forholdsvis hurtigt og billigt at screene mange forskellige foderstoffer og additiver eller for at undersøge dosis/respons kurver for et bestemt additiv. Det er også muligt i langt højere grad at kontrollere betingelserne for vom-fermenteringen, end det er ved *in vivo* forsøg – for eksempel kan pH reguleres præcist og samme inokulum anvendes til alle behandlinger, så ko-til-ko variation undgås.

Metoden kræver adgang til frisk vomvæske, hvilket typisk fås fra fistulerede køer eller andre drøvtyggere. Alternative kilder til vomvæske er via en esophageal slange på intakte dyr eller ved slagtning.

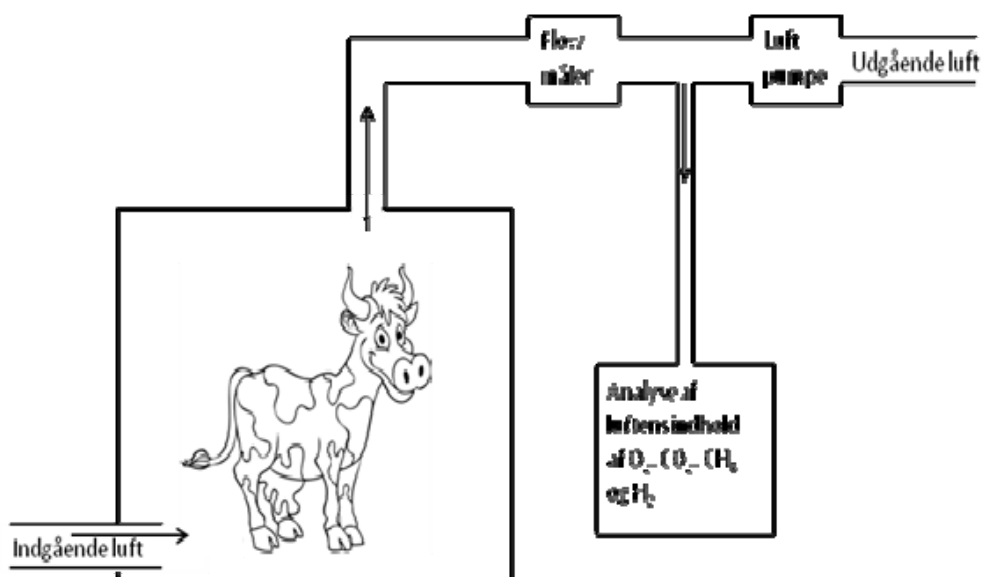
Ulempen ved IVGP er, at det kun efterligner vom-fermenteringen, så emission og fordøjelighed på heldyrs-niveau opnås ikke. Under normale omstændigheder tages der heller ikke hensyn til den længerevarende adaptation af vommens mikroorganismer til det aktuelle fodermiddel. Der anvendes blot vomvæske fra køer på et standardfoder. I fodringsforsøg arbejder man med tilpasningsperioder på minimum 14 dage efter foderskift, før output anses for stabile. For den metan-dannende population af mikroberne i vommen er der indikationer af at tilpasningsperioden skal op på over 30 dage (Williams et al., 2009). Output fra *in vitro* forsøg opgøres oftest i g eller liter CH₄ per gram TS, per gram fordøjet TS eller per gram fordøjet NDF.

To studier hvor IVGP sammenlignes med hhv. SF₆ og geder i respirationskamre viser at IVGP giver metan estimater tæt på de to andre metoders estimater (Bhatta et al., 2006; Bhatta et al., 2008). Derudover indeholder litteraturen eksempler på både god overensstemmelse mellem indledende IVGP forsøg og efterfølgende *in vivo* forsøg, og eksempler på det modsatte, hvor additiver der har udvist en metan-hæmmende effekt *in vitro* ikke har nogen effekt *in vivo*. KU-LIFE og Århus Universitet arbejder i øjeblikket på en direkte sammenligning af 17 forskellige kvæg-rationers effekt på metan-emissionen hhv. *in vitro* og i kamre.

IVGP er således særdeles anvendeligt som første skridt ved testning af nye potentielle foderstoffer og additiver. På den måde kan tilrettelæggelsen af større og dyrere forsøg på heldyrs-niveau optimeres.

Måling af metanemission ved brug af kamre

Brug af kamre til at måle individers forbrug af O₂ og udskillelse af CO₂ og CH₄ er en teknik som har været anvendt i langt over 100 år. Allerede i 1917 udførtes der i København målinger af stofskiftet på korthorns kvæg incl. måling af metanemissionen.



Figur 2. Principtegning af kammermetoden eller systemet for indirekte kalorimetri.

Princippet for anvendelse af kamre til måling af dyrenes omsætning er skitseret i figur 2. En luftpumpe sørger for at en given mængde luft pumpes ud af kammeret. Den indgående luft tilføres kammeret via en åbning i kammeret eller et rør udefra. Den præcise luftgennemstrømning måles med en flowmåler, og der udtages en mindre luftprøve til analyse af de gasser, man ønsker at måle. Emissionen beregnes ud fra luftflow og koncentrationer af CH₄ i indgående og udgående luft (Figur 3).

$$\text{CH}_4 \text{ [l/d]} = (\text{CH}_4_{(\text{ind})} \text{ [ppm]} * \text{Flow [liter/min]} - \text{CH}_4_{(\text{ud})} \text{ [ppm]} * \text{flow [liter/min]}) * 60 \text{ min} * 24 \text{ timer}$$

Figur 3: Formel for beregning af metanudskillelsen ved kammermetoden. Hvor CH_{4(ind)} er koncentrationen af metan i indgående luft. CH_{4(ud)} er koncentration af metan i udgående luft.

På Århus Universitet blev der i foråret 2010 bygget fire kamre baseret på ovenstående princip. Kamrene er 183 cm bredde, 245 cm høje og 382 cm lange og volumen er ca. 17 m³. Kamrene er bygget af et stålskelet hvorpå der er monteret transparent plexiglas. Kamrene blev bygget i en eksisterende stald for at sikre optimal dyrevelfærd og foderoptagelse. Den indgående luft tages fra stalden igennem en åbning i bunden af kammeret. Udover CH₄ måles koncentration af O₂, CO₂, og H₂ i både kammerluft og staldluft.

Systemet har kostet ca. 1.3 millioner at etablere, hvoraf halvdelen er anvendt på flowmålere, gasanalysatorer og styring. Gennemførelse af kombinerede forsøg med måling af metan og fordøjelighed tager fire uger per foderration - heraf går de fire dage til måling af metan. Hvis fordøjeligheden ikke måles vil målinger på én foderration kunne gennemføres på knap 3 uger inkl. tilvænnning til foderet.

Systemet kan estimere den kvantitative udskillelse af CH₄ per ko per døgn. Ved registrering af foderoptagelse og mælkeydelse kan udskillelsen af CH₄ beregnes i forhold til disse. I en række forsøg er vomomsætning og fordøjelighed blevet målt i forbindelse med metanmålingerne på vom- og tarmfistulerede køer. Det giver en helt unik mulighed for relaterer CH₄ produktionen til omsætningen af forskellige næringsstoffraktioner.

Systemets største problemer er dels at opbinding af dyrene kan ændre deres adfærd og at foderoptagelsen i kamrene kan være reduceret, hvis dyrene ikke er vænnet til betingelserne. I kamrene etableret på AU er der målt samme foderoptagelse for dyrene i og udenfor kamrene. Systemet kan give præcise kvantitative mål for metanproduktion, men er begrænset af det antal kamre, som er til rådighed, samt af køernes stationære placering.

Måling af metan med SF₆ teknikken

Anvendelse af en markør til måling af metan emission hos drøvtygger er en relativ ny metode beskrevet af Johnson et al. i 1994. Metoden er udviklet fordi anvendelse af kamre ikke

giver dyrene mulighed for at bevæge sig frit. En stor andel af verdens kvæg og får græsser og dette er ikke muligt at efterligne i et kammer.

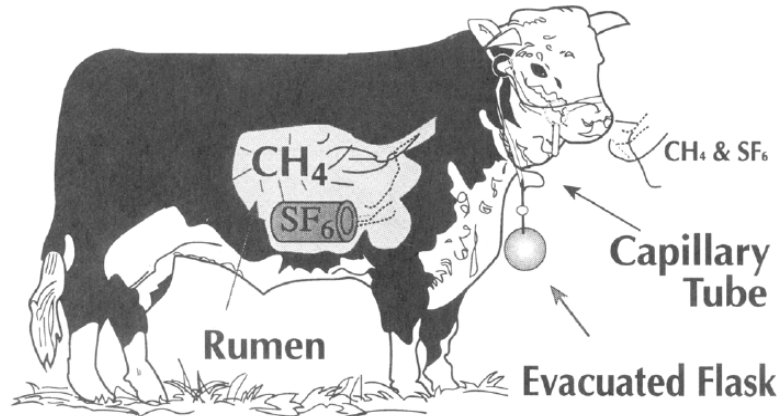


Figure 1. Illustration of tracer methodology.

Figur 4: Principtegning for SF₆ metoden. Tegningen er fra Johnson et al. (1994).

Johnson et al. (1994) valgte at bruge gassen svovlhexafluorid (SF₆), som markør. Et lille rør fyldes med SF₆ gassen. På toppen af røret sidder en membran, hvor SF₆ gassen langsomt diffunderer igennem. Efter fremstillingen placeres røret i 39°C varmt vandbad og vaskes med jævne mellemrum indtil diffusionen af gas fra røret er stabil og diffusionshastigheden er grundigt dokumenteret. Dette tager op til 8 uger. Herefter placeres den i vommen hos den drøvtygger, der skal måles på. Den SF₆ der diffunderer fra røret vil blive blandet op med de øvrige gasser i vommen (CO₂, CH₄). Gassammensætningen kan så måles ved dyrets mund. Hos græssende dyr placeres en eller to slanger ved næsen, disse føres til en beholder hvor gassen opsamles (Figur 4). Når opsamlingen er endt kan gas sammensætningen analyseres og metan emission kan beregnes ud fra formelen i figur 5.

$$\text{CH}_4 \text{ [l/dag]} = \text{SF}_6 \text{ [l/dag]} * \frac{\text{CH}_4 \text{ [PPM]}}{\text{SF}_6 \text{ [PPM]}}$$

Figur 5. Formel til beregning af metanudskillelsen ved brug af SF₆ metoden, hvor SF₆ [l/dag] er den afgivne mængde af SF₆ fra røret placeret i vommen. CH₄ og SF₆ er koncentration af metan og SF₆ i den opsamlede luft.

Metoden er ikke etableret i Danmark, men har været anvendt i stort omfang i Canada, New Zealand og Australien, og også vores nordiske nabolande Norge, Sverige og Finland anvender metoden. Ved måling på kvæg vil det tage mellem 2 og 3 uger per diæt inkl. tilvænning til diæten. Metoden er særligt anvendelig i forsøg, hvor dyrene græsser. Et rør med SF₆ gas kan nedlægges i vommen og udstyr til opsamling kan monteres. Dyrene kan frit græsse i en

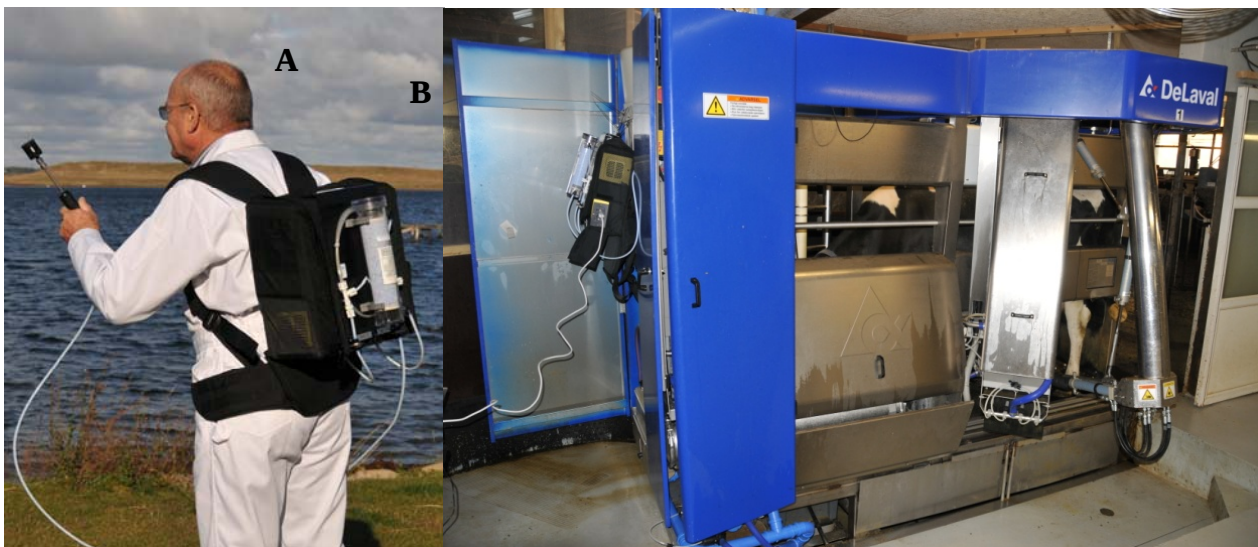
periode hvorefter den opsamlede gas kan indsamles og analyseres. Resultaterne afhænger af den periode man opsamler gassen over - oftest vil det være CH_4 per døgn som måles.

Det største problem med denne metode er, at afgivelsen af SF_6 ikke er konstant. Undersøgelser har vist at afgivelsen af gas fra rørene er en lille smule større i starten end i slutningen. Specielt i forsøg hvor rørene har ligget i vommen i lang tid kan forårsage fejlestimer (Ulyatt et al., 1999). Der har været lavet mange sammenligninger mellem kamre og SF_6 (Pinares-Patiño et al., 2011; Pinares-Patiño og Clark, 2008) både for får og kvæg. Konklusion er at SF_6 giver i snit samme værdi som kamrene, men at variationen er større. Til gengæld er det muligt at anvende flere dyr i hvert forsøg. Det er også muligt at anvende den til f.eks. afgræsningsforsøg, så længe man er opmærksom på problemerne omkring emissionsraten af SF_6 .

Desuden ligger der et etisk dilemma i at anvende SF_6 til måling af CH_4 emission, idet SF_6 i sig selv er en meget stærk drivhusgas, og at al emission af den derfor bør minimeres. Det er meget små mængder af SF_6 der anvendes i forsøgssammenhæng, men konsekvenserne bør tages i betragtning.

Måling af metan med CO_2 teknikken

En nyligt udviklet metode (Madsen et al., 2010) bygger på anvendelse af CO_2 som et sporstof, - i stedet for SF_6 som beskrevet i den foregående metode. SF_6 er en meget stærk drivhusgas i sig selv og må ikke anvendes i Danmark, og dertil kommer, at SF_6 metoden ikke er særlig præcis.



Figur 6. Den transportable Gasmet (A) anvendes til måling af CH_4 og CO_2 koncentrationer i en malkerobot (B).

Ved anvendelse af CO_2 metoden beregnes den kvantitative metanproduktion ud fra et målt CH_4/CO_2 forhold i luften samt den beregnede CO_2 produktion af det eller de dyr det drejer sig om. Metoden kan anvendes til måling af metanproduktionen i mange forskellige situa-

tioner. For eksempel den samlede metanproduktion i en stald med malkekøer (Bjerg et al., 2011) eller på enkeltkøer der besøger en AMS (Lassen et al., 2011). Sammenligning med respirationskammermålinger er netop publiceret (Madsen og Bertelsen, 2011).

Den kvantitative metanproduktion beregnes som vist i formel (I).

$$\text{CH}_4 \text{ produceret (L/dag)} = a * (b-d)/(c-e) \quad (\text{I})$$

hvor:

a = CO₂ produceret, L/dag

b = Koncentrationen af CH₄ i luftblanding, ppm

c = Koncentrationen af CO₂ i luftblanding, ppm

d = Koncentrationen af CH₄ i atmosfærisk luft, ppm

e = Koncentrationen af CO₂ i atmosfærisk luft, ppm

Da kvægs udåndingsluft indeholder 100 gange så høj koncentration af CO₂ som atmosfærisk luft og 1000 gange så høj koncentration af CH₄, er det kun nødvendig med en koncentration af koens ånde på 5-10% i den luftblanding, der analyseres. Dette kan let opnås i en stald eller når enkelte køer besøger en AMS. Metoden kan ligeledes udvikles til at blive anvendt til måling af CH₄/CO₂ forholdet hos køer på græs. Da ca. 95% af det metan der dannes ved forgæring i en ko udskilles gennem ånden er det ikke nødvendigt at tage hensyn til metan der udskilles rektalt.

Målingerne af CH₄ og CO₂ koncentrationerne kan foretages med forskelligt udstyr, men indtil videre er der ved anvendelse af CO₂ metoden anvendt et bærbart og transportabelt udstyr kaldet Gasmet (Gasmet Technologies Oy, Helsinki, Finland), der er baseret på infrarød måling (Fourier Transformed Infrared (FTIR) måling, Teye et al., 2009).

At CO₂ kan anvendes som sporstof skyldes, at man i over 100 år har lavet fodervurdering samt målinger af dyrs foderbehov. Disse værdier for foderbehov kan omregnes til varme-produktion og der er en tæt sammenhæng mellem varmeproduktion og CO₂ produktion. Dyr på vedligeholdsfoder udskiller således 1 liter CO₂ per 21,5 – 22,0 kJ som deres vedligeholdelsesbehov er angivet til. Korrektioner kan anvendes hvis dyrene vokser eller producerer mælk. CO₂ produktionen i stalde med forskellige dyr, inklusive malkekøer, er ligeledes fastlagt af forskere der hovedsageligt har haft fokus på ventilation (Pedersen et al., 2008), men denne information er ligeledes anvendelig og værdifuld for metodens anvendelse.

Andre metoder

Da der til stadighed er behov for hurtigere metoder til måling af kvægs metanemission med højere kapacitet og mere fleksibel anvendelighed, udvikles der løbende nye systemer. Her skal nævnes nogle eksempler:

Et nyere patenteret system hedder GreenFeed™ (C-lock Inc., USA; www.c-lockinc.com) der er en kombineret fodrings-station og CH₄/CO₂ måler. Som i en fodringsrobot aflæses en chip når dyret stikker sit hoved ind i automaten og dyret fodres herefter. Et kontinuert

sug gennem fodringsautomaten sørger for at al udåndingsluft fra dyret suges gennem maskinens flow- og metan/CO₂ målere. Systemet har indtil videre været anvendt bl.a. i en malkerobot, en eksperimentel bindestald, og i forbindelse med græssende dyr. En ulempe er at det kun måler metan-emission når dyrene er i foderautomaten. Korrelationer med emission over hele døgnet skal derfor undersøges grundigt.

En anden tilgang er de mikrometerologiske metoder. Her opstilles infrarøde spektrofotometre eller laser systemer til måling af CH₄, CO₂, NH₃ og N₂O i det fri f.eks. i forbindelse med græssende dyr. Kombineret med atmosfæriske modeller for luft-flow og gasdispersion er det muligt at beregne hvor store mængder af drivhusgasser der rent faktisk emitteres fra et afgrænset område, som en mark eller en hel gård. De meteorologiske modeller er dog følsomme overfor uregelmæssigheder i landskabet, ligesom hyppigt skiftende vindretninger eller store bygninger kan gøre det meget svært at beregne luftstrømningerne i systemet.

Der er også for nyligt publiceret et forsøg hvor en lille laser-detektor til metan-måling er sammenlignet med respirationskamre (Chagunda og Yan, 2011). Laser-detektoren var installeret ved et af tre udsugningsrør i et respirationskammer og der var god korrelation mellem de to metoders resultater ($r=0,8$). I mere naturlige systemer vil det dog være meget afgørende hvor måleren placeres, hvis den skal give en måling der er repræsentativ for f.eks. en hel stald.

I håbet om at kunne undersøge et stort antal dyr uden invasive indgreb og stort specialiseret udstyr arbejdes der også på udvikling af såkaldte proxy-metoder, hvor metan-emissionen estimeres ud fra målinger på f.eks. mælk eller fæces. Dijkstra et al. (2011) har forsøgt at med prædiktion ud fra mælkens sammensætning af fedtsyre, fordi visse uligekæde og forgrenede fedtsyrer i mælken afspejler den mikrobielle population i vommen. Indtil videre tyder data på at der er en sammenhæng, men yderligere undersøgelser er påkrævet.

Området er således stadig i udvikling og spændende nye metoder vil dukke op i fremtiden.

Sammenligning af metoder

Som det ses findes der altså meget forskelligartede metoder til at måle og estimere metan-udledningen fra kvæg. Hvilken metode der er bedst afhænger i høj grad af hvad der skal undersøges. I tabel 2 er de beskrevne metoder sammenlignet. Tabellen kan være med til at give overblik over hvad de forskellige metoder kan bruges til. Nogle af metoderne kan estimere dyrevariationen, nogle kræver ikke adgang til dyre forsøgsfaciliteter, andre kan kun bruges til opbundne dyr og nogle kan give meget sikkert bud på den kvantitative udskillelse. Både ved tolkning af resultater og valg af metode er det vigtigt at have kendskab til hvad de enkelte metoder kan anvendes til. F.eks. nytter det ikke meget at beregne metanudskillelsen med formel, hvis man har formodning om at et foderadditiv hæmmer metanudskillelsen. I det tilfælde kan første step være at lave *in vitro* undersøgelser. Vi kan heller ikke måle den totale metanudskillelse for alle danske køer med kammer-metoden. Her bliver man nødt til anvende regnemetoder, der tager udgangspunkt i danske forhold.

Tabel 2: Sammenligning af forskellige metoder til estimering af kvægs emission af metan.

	IPCC	Modeller	In vitro system	CO ₂ metoden	SF ₆	Kamre
Anvendes i DK (2011)	*	*	Ja	Ja	Nej	Ja
Pris etablering	*	*	Ca. 200.000	500.000	§	>1.000.000
Gennemførsels tid	Kort	Kort	1-6 døgn	Få timer – mange dage	Mindst 3 uger (incl. tilvænning til diæter)	Mindst 3 uger (incl. tilvænning til diæter)
Forudsætninger	Kendskab til bl.a. antal dyr, indtag af bruttoenergi (afhænger af model)	Kendskab til tørstofoptag og næringsstofsammensætning	Adgang til vomvæske	Kendskab til dyrets totale CO ₂ produktion		
Fodringsniveau inkluderet	Nej	Ja (nogle modeller)	Nej	Ja	Ja	Ja
Effekter af foderets fysiske form inkluderet	Nej	Nej	Nej, (alt foder formales)	Ja	Ja	Ja
Effekt af foderets kemiske sammensætning inkluderet	Nej	Ja (kan afhænge af modeltype)	Ja	Ja	Ja	Ja
Kan anvendes til græssende	Ja	Ja	Nej	(Ja)	Ja	Nej
Individ niveau	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja
Dyr variation	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja
Døgnvariation i emissionen	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja
Output	l/dag/dyr	l/dag/dyr	l/kg ts, l/kg fordøjet TS, l/kg fordøjet NDF	l/dyr/dag Forhold mellem CH ₄ og CO ₂	l/dag/dyr	l/dag/dyr
Kan bedst anvendes til	Nationalt regnskab og sammenligning international	Sammenligning af forskellige strategier	Test af mange typer foderstoffer/additiver	Kvantitativ måling på individ eller staldniveau	Kvantitativ måling på individ niveau	Kvantitativ måling på individ niveau
Opløselighed	*	*	Min. 6 timer	Ned til 10 min	24 timer	Ned til en time

* Ikke relevant for metoden

§ Pris kendes ikke, da metoden ikke anvendes i DK.

Men selvom der allerede i dag er lavet mange målinger på levende dyr, og der er rigtige gode indikationer på hvordan nogle fodringsstrategier påvirker metanudskillelsen i opadgående eller nedgående retning (Johannes et al., 2011, Boadi et al., 2004) mangler vi endnu et rigtig godt værktøj til at forudsige den enkle kos og bedrifts metanemission. På nuværende tidspunkt findes der simuleringsmodeller til forudsigelse af foderoptagelse og fordøjelighed (f.eks. NorFor. Karoline-modellen). Karoline-modellen har fået indbygget et metanmodul, mens et er under udarbejdelse i Norfor. Disse modeller er skridt på vejen til at forudsige den kvantitative metan emission på ko- og gårdniveau. Der er dog fortsat mange udfordringer før der findes en god simuleringsmodel, der kan tage højde for f.eks. genetisk baggrund, foderadditiver, vekselvirkninger mellem fodermidler/næringsstoffer og mælkenes sammensætning af fedtsyrer. Der er derfor fortsat brug for undersøgelser af metanudskillelsen både *in vitro*, intensivt (kamre evt. kombineret med fordøjelighedsmålinger), mere ekstensivt (SF₆- og CO₂-metoden) og med nye endnu ukendte metoder, så f.eks. genetisk og miljømæssige effekter kan indarbejdes i modellerne.

Referencer

- Bhatta, R., Tajima, K., Takusari, N., Higuchi, K., Enishi, O., Kurihara, M. 2006. Comparison of sulfur hexafluoride tracer technique, rumen simulation technique and *in vitro* gas production techniques for methane production from ruminant feeds. International Congress Series. 1293: 58-61.
- Bhatta, R., Enishi, O., Takusari, N., Higuchi, K., Nonaka, I., Kurihara, M. 2008. Diet effects on methane production by goats and a comparison between measurement methodologies. Journal of Agricultural Science. 146: 705-715
- Bjerg, B., Zhang, G., Madsen, J., Rom, H.B.. 2011. Methane emission from naturally ventilated livestock buildings can easily be determined from gas concentration measurements. Environmental Monitoring and Assessment. DOI 10.1007/s10661-011-2397-8. Accepted
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J., Masse, D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. Canadian Journal of Animal Science. 84:319-335.
- Chagunda, M.G.G. og Yan, T. 2011. Do methane measurements from a laser detector and an indirect open-circuit respiration calorimetric chamber agree sufficiently closely? Animal Feed Science and Technology. 165: 8-14.
- Danfær, A. 2005. Methane emissions from dairy cows. I: Olesen J.E. Jørgensen, H. Danfær, A. Mikkelsen M.H., Asman W.A.H., Pedersen S.O. (Editors) Arbejdsrapport nr. 11 fra Miljøstyrelsen. pp 12-36.
- Dijkstra J., Van Zijderveld S.M. Apajalahti J.A., Bannink A., Gerrits W.J.J. Newbold J.R., Perdok H.B., Berends H. 2011. Relationships between methane production and milk fatty acid profiles in dairy cattle. Animal Feed Science and Technology. 166-67: 201-209.
- Ellis. J.L.,Kebreab E., Odongo N.E., McBride B.W., Okine E.K., France J. 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. Journal of Dairy Science. 90:3456-3467.

- Grainger, C., Clarke, T., McGinn, S.M., Auldist, M.J., Beauchemin, K.A., Hannah, M.C., Waghorn, G.C., Clark, H., Eckard, R.J.. 2007. Methane emissions from dairy cows measured using sulfur hexafluoride (SF₆) and chamber techniques. *Journal of Dairy Science*. 90:2755-2766.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Online: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html
- Jentsch W., Schweigel, M., Weissbach, F., Scholze, H., Pitroff, W., Derno, M. 2007. Methane production in cattle calculated by the nutrient composition of the diet. *Archives of Animal Nutrition*. 61:10–19.
- Johannes M., Lund P., Hellwing, A.F.L., Weisbjerg M.R. 2011. Hvad betyder fodring for metan emission? In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Johnson. K. , Huyler. M., Wetbeg. H., Lamb. B., Zimmerman. P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environmental Science and Technology*. 28: 359-362.
- Kirchgessner, Windisch W., Müller H.L. 1995. Nutritional factors for the quantification of methane production. I: Proceedings from the 8th International Symposium on Ruminant Physiology. pp 333–348.
- Kristensen, T., Mogensen, L., Weisbjerg, M.R., Lund, P., Aaes, O. 2009. Variation i udskillelsen af metan fra kvæg. KvægInfo nr. 2058. Online: www.landbrugsinfo.dk/kvaeg
- Lassen, J., Løvendahl, P., Madsen, J. 2011. Experiences with large scale breath measurements in dairy cattle in order to select for lower methane production. *Journal of Dairy Science*. Accepted.
- Madsen, J., Bjerg, B.S, Hvelplund, T, Weisbjerg, M.R., Lund, P. 2010. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livestock Science*. 129:223-227.
- Madsen, J. og Bertelsen, M.F. 2011. Methane production by Bennet's wallabies (*Macropus rufogriseus*). *Journal of Animal Science*. Accepted
- Mills, J.A.N., Kebreab, E., Yates, C.M., Crompton, L.A., Cammell, S.B., Dahnoa, M.S., Agnew, R.E., France, J. 2003. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *Journal of Animal Science*. 81:3141–3150.
- NERI, 2011. Denmark's National Inventory Report. National Environmental Research Institute. NERI Technical Report no. 827. Online: http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5888.php
- Pedersen, S., Blanes-Vidal, V., Jørgensen, H., Chwalibog, A., Haeussermann, A., Heetkamp, M.J.W., Aarnink, A.J.A. 2008. Carbon dioxide production in animal houses: A literature review. *Agricultural Engineering International: CIGR E journal*. Manuscript BC 08 008, Vol X. December 2008.
- Pinares-Patiño, C.S., Clark, H. 2008. Reliability of the sulphur hexafluoride tracer technique for methans emission measurement from individual animals: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 48: 223 – 229.
- Pinares-Patiño, C.S., Lassey, K.R., Martin, R.J., Molano, G., Fernandez, M., MacLean, S., Sandoval, E., Luo, D., and Clark, H. 2011. Assessment of the sulphur hexafluoride (SF₆)

- tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 166-67: 201-209.
- Teye, F.K., Alkkiomaki, E., Simojoki, A., Pastell, M., Ahokas, J. 2009. Instrumentation, measurement and performance of three air quality measurement systems for dairy buildings. *Applied Engineering in Agriculture*. 25: 247 – 256.
- Ulyatt, M.J., Baker, S.K., McCrabb, G.J., Lassey, K.R. 1999. Accuracy of SF₆ tracer technology and alternatives for field measurements. *Australian Journal of Agricultural Research*. 50: 1329-1334.
- Yan, T., Mayne, C.S., Porter, M.G. 2006. Effects of dietary and animal factors on methane production in dairy cows offered grass silage based diets. *International Congress Series*. 1293: 123-126.
- Williams, Y.J., Popovski, S., Rea, S.M., Skillman, L.C., Toovey, A.F., Northwood, K.S., Wright, A-D.G. 2009. A vaccine against rumen methanogens can alter the composition of Archaeal populations. *Applied and Environmental Microbiology*. 75: 1860-1866.

Hvad betyder mikroorganismene for metanemission fra vommen?

Ole Højberg, Morten Poulsen og Ricarda M. Engberg
Institut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet

Indledning

Da metanemission fra kvægbedrifter udelukkende finder sted, fordi der eksisterer specialiserede mikroorganismer (såkaldte *metanogener*), som kan danne denne gasart, kunne man fristes til kort og godt at give det meget simple svar på titlens spørgsmål: mikroorganismene betyder alt!

Det er selvfølgelig rigtigt i en hvis forstand, men dog alligevel en sandhed med modifikationer; de metanogene mikroorganismer skal nemlig have:

- Et passende, fugtigt levested - vomindhold (eller gylle, gødning, biogasanlæg, sump, rismark)
- Tid til at formere sig - dvs. tilstrækkelig lang opholdstid i vommen
- Specielle livsbetingelser - der må f.eks. ikke være ilt til stede
- Noget at leve af - i vommen hovedsageligt brint og kuldioxid
- Nogen at leve sammen med - mikroorganismer, der forbruger ilt eller danner brint og kuldioxid
- Begrænset konkurrence - fra andre brintforbrugende mikroorganismer og processer

Det komplekse samspil mellem de ovenfor nævnte faktorer er afgørende for den resulterende produktion af metan i vommen, hvilket vi vil prøve at belyse i det følgende.

Mikroorganismer

Ordet mikroorganismer er en bred betegnelse for små (mikroskopiske) organismer som bakterier, svampe og gær, virus samt encellede dyr (protozoer) og planter (alger). Specielt hvad angår metandannelsen, har man at gøre med mikroorganismer, der i mange år blev betragtet og kategoriseret som bakterier. Nærmere genetiske undersøgelser har imidlertid vist, at de hører hjemme i en helt separat kategori; et såkaldt domæne med det videnskabelige navn *Archaea* eller på dansk *Arker*. Vi vil i det følgende omtale dem som metanogene mikroorganismer eller slet og ret *metanogener*.

Vommen som levested for metanogene mikroorganismer

Som en container fyldt med en fugtig masse, en temperatur på omkring 38° C, konstant tilførsel af ny næring og en normalt tilpas surhedsgrad er vommen som udgangspunkt et oplagt levested for mikroorganismer sådan generelt set. Som det fremgår af forrige afsnit, er mikroorganismer imidlertid en bred betegnelse for en lang række organismer med meget forskellige livsytringer og meget forskellige krav til livsbetingelserne.

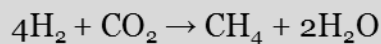
Metanogenerne kan f.eks. ikke tåle ilt, hvilket yderligere gør vommen attraktiv for dem (omtales nærmere nedenfor). De hæmmes af lave surhedsgrader, hvorfor vommens normale niveau af surhedsgrad på omkring 5.5-7.0 også passer dem godt. Derudover er *metanogenerne* karakteriserede ved at vokse relativt langsomt i forhold til eksempelvis en bak-

terie som *E. coli*. Det vil sige, vomindholdets normalt lange opholdstid i vommen muliggør, at *metanogenerne* kan nå at vokse og etablere sig. I et miljø med høj gennemstrømnings-hastighed, vil *metanogenerne* omvendt have svært ved at følge med, og de risikerer at blive 'skyllet ud', hvilket er en af grundene til, at metanemissionen kan påvirkes via fodringsstra-tegier, der ændrer vomindholdets opholdstid i vommen (omtales nærmere nedenfor). Det-te forhold kan også være en afgørende grund til, at man ikke ser så stor metanproduktion hos en-mavede dyr som svin og fjerkræ - eller mennesker for den sags skyld; her er passa-gehastigheden gennem mavetarmkanalen muligvis for høj.

Metandannelse i vommen

Brint som nøglefaktor

Den gruppe af *metanogener*, der typisk dominerer i vommen, er helt afhængig af brint (hydrogen) for at kunne skaffe sig energi til at vokse; man kalder dem for *hydrogenotrofe metanogener*. De danner energi ved en åndingsproces (respiration – se Boks 1), der ikke kan foregå, hvis der er ilt til stede. Dette er således i direkte modsætning til den åndings-proces, der f.eks. foregår i dyre- og menneskekroppens egne celler og, som kun kan foregå, hvis der er ilt tilstede. I stedet for ilt kan de metanogene mikroorganismer i vommen ånde ved hjælp af kuldioxid og på den måde udnytte den energi, der er lagret i brintmolekylerne. Resultatet af denne åndingsproces er en kemisk reaktion (stofskiftevej), der kan skrives som følger:



Reaktionsligningen viser, at der ved åndingsprocessen dannes metan (CH₄) og vand (H₂O) ud fra brint (H₂) og kuldioxid (CO₂).

Metandannelsen i andre miljøer som gylle, biogasanlæg, sumpområder og rismarker kan være domineret af *metanogener*, der benytter sig af andre stofskifteveje og bruger eksem-pelvis eddikesyre (acetic acid) som substrat og udgangspunkt for processen; man taler her om *acetotrofe metanogener*. Metandannelse ud fra brint og kuldioxid, som vist herover, er imidlertid den ubetinget mest udbredte stofskiftevej hos de *metanogener*, der er domine-rende i vommen.

Uanset hvilken stofskiftevej, der er tale om, er den metandannelse, der foregår i vommen, og som udgør et kritisk tab af energi for koen, en livsvigtig energikilde for *metanogenerne*.

Boks 1. Ånding (respiration) og forgæring (fermentation) er to fundamentalt forskellige måder at danne energi på i en levende celle: ånding giver generelt set større energiudbytte og kan foregå enten med eller uden ilt. Forgæring derimod er generelt mindre energigivende og foregår kun under iltfrie forhold. Forgæring forbinder man typisk med produktion af alkohol vha. gærceller. I vommen er det imidlertid bakterier og protozoer, der står for hovedparten af forgæringsprocesserne, og hovedproduktet er ikke alkohol, men organiske syrer som eddikesyre, smørsyre, propionsyre, ravsyre og mælkesyre samt kuldioxid og brint.

Indflydelse af ilt på metandannelsen

Metandannelsen er, som ovenfor nævnt, hæmmet af ilt og kan kun foregå, hvis ilt ikke er til stede i omgivelserne. Da atmosfærisk luft indeholder 21% ilt, er *metanogenerne* i vommen

derfor helt afhængige af, at den ilt, der måtte komme ind med foderet og under drøvtygning hurtigt fjernes igen fra vomvæsken. På samme måde som tilfældet er med kroppens celler, er der mikroorganismer i vommen, som kan skaffe sig energi ved at ånde med ilt. Det gælder f.eks. bakterier som *E. coli* og enterokokker, der foretrækker at bruge ilt, hvis det er til stede, men som også kan skaffe sig energi og vokse uden ilt; *E. coli* og enterokokker kan dog ikke danne metan.

Da ånding med ilt er en meget fordelagtig proces rent energimæssigt, vil de iltforbrugende mikroorganismer typisk fjerne ilten fra vomvæsken effektivt og hurtigt. Dette opfylder således en nødvendig, men dog ikke tilstrækkelig betingelse for, at metandannelsen kan foregå; de metanogene mikroorganismer skal nemlig også have substrat, hvilket i vommen altså hovedsageligt er brint og kuldioxid.

Tilvejebringelse af kuldioxid og brint

Den indledende omsætning af foderets komplekse kulhydratkomponenter (cellulose, hemicellulose, stivelse) foregår udenfor mikroorganismene ved hjælp af enzymer, der udskilles af specialiserede mikroorganismer, hvorved de store molekyler nedbrydes til mindre, mere simple kulhydratforbindelser (sukre) som eksempelvis fruktose og glukose.

De simple sukre kan nu optages af mikroorganismene og ved forgæring omdannes til organiske syrer, hovedsageligt eddikesyre, propionsyre og smørsyre (kortkædede flygtige fedtsyrer) men også ravsyre og mælkesyre. Det er ved forgæringen, der også kan dannes kuldioxid og brint.

Kortkædede fedtsyrer og brintregnskabet

Produktet af forgæringen afhænger imidlertid af de mikroorganismer, der udfører processen, og dannelsen af de forskellige kortkædede fedtsyrer er et afgørende punkt for vommens brintregnskab.

Tabel 1. Brintregnskabet ved forgæring af glukose ($C_6H_{12}O_6$) til kortkædede fedtsyrer.

- | | |
|--|-------------|
| 1. $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$ | Eddikesyre |
| 2. $C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$ | Propionsyre |
| 3. $C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$ | Smørsyre |

(Weisbjerg *et al.*, 2005)

Tabel 1 viser nemlig, at der ved forgæring af kulhydrat (her vist som glukose) til eddikesyre og smørsyre sker en samtidig produktion af brint. Dannelsen af propionsyre medfører derimod et forbrug af brint. Så, hvor produktionen af eddikesyre (ved forgæring – se afsnittet om *acetogener* nedenfor) og smørsyre er en kilde til brint og dermed indirekte kan fremme produktionen af metan, er produktionen af propionsyre omvendt en direkte konkurrent til metandannelsen, hvad angår brint.

Eddikesyre:propionsyre forholdet

Tabel 2 viser et typisk eksempel på forholdet mellem de kortkædede fedtsyrer, der produceres ved forgæring i vommen hos en ko på standardfoder. Kan man derfor, eksempelvis gennem fodring, ændre vommens forgæringsmønster, så man fremmer produktionen af propionsyre, vil man på denne måde kunne reducere metanproduktionen. Man taler typisk om at forskyde eddikesyre:propionsyre forholdet i retning af propionsyre.

Som det også fremgår af Tabel 2, er produktionen af smørsyre normalt mindre end de to andre syrer og spiller derfor ikke så stor en rolle for det samlede brintregnskab. Desuden er smørsyreproduktionen typisk mere stabil og ikke så påvirket af fodringstrategien.

Tabel 2. Forholdet mellem kortkædede fedtsyrer i vomvæske ved fodring med standardfoder eller med forskellige andele af grovfoder (hø) og kraftfoder.

Foder	Eddikesyre	Propionsyre	Smørsyre	Andre
Standardfoder	0.60	0.20	0.15	0.05
Hø:kraftfoder				
1:0	0.66	0.22	0.09	0.03
0.8:0.2	0.61	0.25	0.11	0.03
0.6:0.4	0.61	0.23	0.12	0.03
0.4:0.6	0.52	0.34	0.12	0.03
0.2:0.8	0.40	0.40	0.15	0.05

(McDonald *et al.*, 2002)

Det er velkendt, at brug af foderblandinger med højt indhold af kraftfoder (stivelse), uagtet de sundhedsmæssige komplikationer og udfordringer det så måtte indebære for dyret, er en af måderne til at begrænse metanemissionen. En af grundene til dette er ganske simpelt, at de fleste stivelsesnedbrydende mikroorganismer som udgangspunkt producerer relativt mere propionsyre og dermed mindre brint ved deres forgæring; de leverer således ikke så meget substrat til *metanogenerne*. Taleksemplerne i Tabel 2 viser tydeligt forskydningen i eddikesyre:propionsyre forholdet som funktion af hø:kraftfoder forholdet.

Et øget indhold af kraftfoder øger desuden foderets passagehastighed gennem vommen (mindsket behovet for drøvtygning); dette vil give de langsomt voksende *metanogener* dårligere vækstbetingelser og dermed kunne bidrage yderligere til at mindske metanproduktionen.

I modsætning til de stivelsesnedbrydende mikroorganismer, vil forgæringsmønstret (eddikesyre:propionsyre forholdet) hos mange af de cellulosenedbrydende (cellulytiske) mikroorganismers være forskudt mod eddikesyre og dermed øget produktion af brint. Det gælder f.eks. bakterierne *Ruminococcus albus* og *Butyrivibrio fibrisolvens* samt protozoerne i vommen. Som også nævnt ovenfor, er forgæringsprocessen generelt set ikke specielt energigivende for mikroorganismene, herunder de cellulytiske; af kemiske årsager kan processen i visse tilfælde kun foregå og give energi til mikroorganismene, hvis den dannede brint fjernes effektivt og hurtigt f.eks. af *metanogenerne*.

Boks 2. Det er vigtigt at understrege, at metandannelsen i vommen, trods det energitab, det umiddelbart medfører for koen, ikke blot er at betragte som en ulempe for dyret; metandannelsen kan rent faktisk være afgørende for koens – såvel som for andre drøvtyggers – særlige evne til at udnytte meget svært tilgængelige, celluloseholdige foderkomponenter. Man taler således ikke alene om, at de brintproducerende, cellulytiske mikroorganismer og *metanogenerne* har gensidig glæde af hinanden (lever i symbiose); man taler i visse tilfælde om gensidig afhængighed mellem dem (syntrofi).

Der findes imidlertid også cellulytiske mikroorganismer (f.eks. bakterien *Fibrobacter succinogenes*), der slet ikke danner brint ved forgæringsprocessen og på denne måde ikke er afhængige af *metanogenerne* eller andre brintforbrugende mikroorganismer for at nedbryde celluloseholdige forbindelser.

Hæmning af brintproducerende mikroorganismer

I et forsøg på at fremme de ikke-brintproducerende, cellulytiske mikroorganismer har man bl.a. gjort brug af stoffet monensin; et antibiotikum, der faktisk kan hæmme brintproducerende cellulosenedbrydere som *Ruminococcus albus* uden samtidig at hæmme ikke-brintproducerende cellulosenedbrydere som *Fibrobacter succinogenes*. Hvor smart og besnærende en sådan fremgangsmåde end måtte synes, kan den selvsagt ikke betragtes som en bæredygtig løsning på metanproblematikken, da det umiddelbart vil forøge brugen af antibiotika i husdyrproduktionen.

Et andet forsøg på at mindske brintproduktionen i vommen har været at fjerne de brintproducerende protozoer ved en såkaldt defaunering af vommen, bl.a. også ved brug af monensin. Drøvtyggere kan godt klare sig uden vommens protozoer, og defaunering har rent faktisk vist sig at kunne hæmme brint- og dermed også metanproduktionen. Der er dog ingen tvivl om, at protozoerne udgør en naturlig og meget væsentlig del af vommens mikroorganismer, og en fjernelse af protozoerne vil således risikere at reducere koens evne til effektivt at omsætte de svært nedbrydelige celluloseholdige forbindelser.

Vi har her omtalt mulige kilder til brint i vommen og nævnt et par af de tiltag, der har været anvendt i forsøget på at reducere metanemissionen gennem en reduktion af brintproduktionen. I den anden ende af processen findes der imidlertid også mikroorganismer og stofskifteveje (udover forgæring til propionsyre), som kan forbruge den producerede brint uden at danne metan. Set fra *metanogenernes* side er disse at betragte som konkurrenter; set i forhold til koen og metanproblematikken er de derimod at betragte som ønskværdige alternativer.

Andre forbrugere af brint i vommen

Acetogene mikroorganismer

Et eksempel på alternative brintforbrugere er de såkaldte acetogene mikroorganismer eller blot *acetogener* (ikke at forveksle med de *acetotrofe metanogener*), som kan danne eddikesyre (acetic acid) ved en åndingsproces meget lig den, der foregår hos de *hydrogenotrofe metanogener*:



Denne acetogene stofskiftevej giver dog mindre energi end metandannelsen. Da *acetogenerne* samtidig ikke er så effektive som *metanogenerne* til at opfange og bruge brintmolekylerne, vil de derfor som udgangspunkt ikke være konkurrencedygtige under de betingelser (brinttryk), der er fremherskende i vommen.

Forskere har tit spekuleret på, om man kunne 'få vommen til at efterligne' situationen i tarmen hos termitter, hvor man typisk ser det modsatte billede, nemlig at *acetogenerne* delvist udkonkurrerer *metanogenerne*. Forklaringen på dette fænomen skulle bl.a. være, at *acetogenerne* i tarmen hos termitter indgår i tætte konsortier (aggregater) med de brintproducerende mikroorganismer; på den måde forhindres *metanogenerne* rent fysisk i at komme til fadet. Da en samspilmekanisme som denne formentlig er udviklet og finjusteret over geologisk tid (millioner af år), er det imidlertid ikke noget, man bare lige kan gøre sig forhåbning om vil etableres i eller kunne overføres til vommen her og nu.

En anden forklaring på forholdene hos termitter skulle være, at *acetogenerne*, i modsætning til *metanogenerne*, er i stand til at udnytte de såkaldte methoxyaromatiske forbindelser, der i særdeleshed produceres ved nedbrydning af lignin; en væsentlig bestanddel af veddet i træ og dermed af termitternes føde. Lignin optræder også i græs og halm, men kan ikke nedbrydes i vommen; altså igen en mekanisme, der ikke umiddelbart kan drages nytte af hos drøvtyggerne.

Boks 3. Det er vigtigt at understrege, at *acetogenernes* produktion af eddikesyre ved ånding er fundamentalt forskellige fra den produktion af eddikesyre, der foregår ved forgæring hos andre mikroorganismer. Uden at uddybe det nærmere, skal det her blot fremhæves, at forgæring er hovedkilden til dannelse af eddikesyre i vommen.

Sulfat- og nitratreducerende mikroorganismer

Der findes andre mikroorganismer, som kan skaffe sig energi fra brint ved en proces, hvor de ånder uden brug af ilt i lighed det, man ser hos *metanogenerne* og *acetogenerne*. I stedet for kuldioxid, kan de eksempelvis ånde med sulfat (SO_4^{2-}) eller nitrat (NO_3^-). Disse sulfat- henholdsvis nitratreducerende mikroorganismer er faktisk ret effektive til at opfange og bruge brint og ville derfor potentielt kunne konkurrere med *metanogenerne*.

Men, sulfat og nitrat findes som udgangspunkt ikke i så store mængder i foder, og man ønsker af flere grunde heller ikke at tilsætte disse stoffer. Dels, kan man ved de involverede processer få dannet toksiske stoffer som sulfid og nitrit, der kan have negativ indflydelse på dyrenes helbred. Dels, vil et øget indhold af nitrat og sulfat i foderet kunne øge udledning af kvælstof- og svovlholdige forbindelser til det omgivne miljø, hvilket absolut ikke er et ønskværdigt og acceptabelt alternativ til metanemission.

Fedt i foderet

Et øget fedtindhold i foderet har vist sig at kunne hæmme metanemissionen, hvilket der kan være flere grunde til.

Nogle af de såkaldt langkædede fedtsyrer kan direkte hæmme *metanogenerne*. Den hæmmende effekt synes dog i visse tilfælde at være forbigående, hvilket antyder, at *metanogenerne* kan blive resistente overfor effekten af fedtsyrerne.

De såkaldt umættede fedtsyrer konkurrerer yderligere med *metanogenerne* om brint, idet brint bindes kemisk til disse under omdannelsen til mættede fedtsyrer. Rent kvantitativt bør dette dog ikke påvirke brintregnskabet i væsentlig grad, beregnet ud fra de mængder af umættede fedtsyrer, der kan optræde i foder.

Endelig sker der ikke nogen fermentering af fedt i vommen; fedt kan således ikke på nogen måde bidrage med substrat (brint eller kuldioxid) til *metanogenerne*.

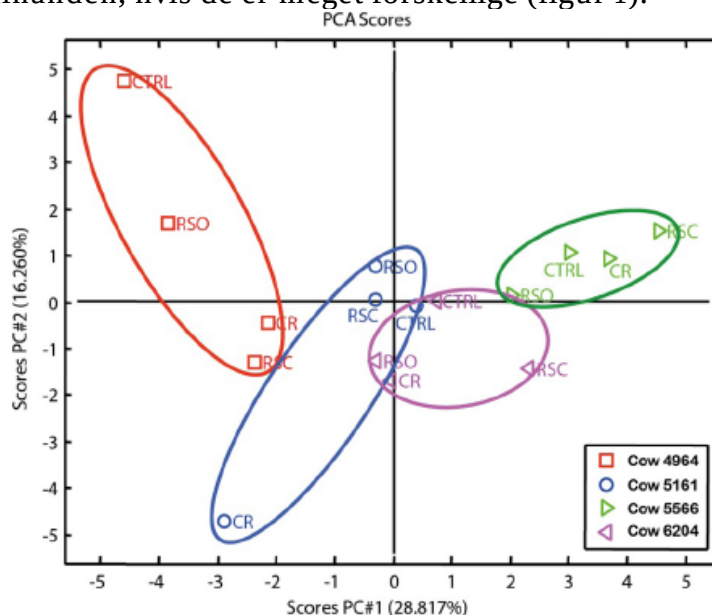
Fedt i foderet kan således siges at have en meget bredspektret indvirkning på emissionen af metan, idet det kan hæmme *metanogenerne* direkte samtidig med at det kan mindske tilgængeligheden af og konkurrere direkte om nøglesubstratet brint.

Specielle populationer af *metanogener* hos individuelle køer

Vi har i det foregående omtalt *metanogenerne* som en mere eller mindre samlet gruppe af mikroorganismer, selvom vi dog har nævnt, at der findes *metanogener* med forskellige stofskifteveje (f.eks. *hydrogenotrofe* og *acetotrofe metanogener*). Men, det er vigtigt yderligere at påpege, at der findes mange forskellige arter af *metanogener* også indenfor de forskellige stofskiftegrupper. Og, de forskellige arter kan måske være mere eller mindre påvirkelige overfor de tiltag man gør for at reducere metanemissionen.

For at undersøge betydningen af dette, har vi derfor forsøgt at karakterisere populationen af *metanogener* i vommen og undersøge, om den evt. ændrer sig afhængig af fodertype.

Vi tog udgangspunkt i fire køer (nr. 4964, 5161, 5566 og 6204), der hver især blev fodret med fire forskellige rapsholdige diæter: kontrol (CTRL), rapskage (RSC), knuste rapsfrø (CR), rapsolie (RSO) i fire forskellige perioder. For detaljer om fodring se Johannes *et al* (2011). Vi udtog prøver af vommateriale fra køerne, isolerede DNA fra mikroorganismerne og lavede genetiske fingeraftryk af *metanogenerne*. De genetiske fingeraftryk blev sammenlignet og indsat i et diagram, hvor de vil placere sig tæt sammen, hvis de er meget ens, og langt fra hinanden, hvis de er meget forskellige (figur 1).



Figur 1. Genetiske fingeraftryk af metanogenerne fra 4 køer tildelt over tid 4 forskellige rationer.

Selvom det ikke er helt entydigt, viser diagrammet her en tendens til, at de fire prøver fra den enkelte ko (samme symbol og farve) grupperer sig sammen (markeret med cirklerne), uanset, hvilken diæt koen fik på det tidspunkt, prøverne blev udtaget. Prøveren fra de forskellige køer grupperer sig desuden adskilt fra hinanden.

De her viste data antyder således, at populationen af *metanogener* (og for den sag også andre af vommens mikroorganismer) kan være forskellig fra dyr til dyr, også selvom de fodres med helt samme diæt. Omvendt, synes populationen af metanogener hos den enkelte ko i mindre grad at være påvirket af den diæt, koen har indtaget. Hvad årsagen er til dette, ved man ikke helt; måske påvirker koens egen genetiske baggrund og dens fysiologi direkte miljøet i vommen og dermed levevilkårene for mikroorganismerne. I hvert fald kan data som disse være med til at forklare, hvorfor man kan observere store individuelle forskelle i metanemission fra dyr til dyr og, hvorfor man ikke nødvendigvis kan opnå den samme effekt af behandling fra dyr til dyr.

Afrunding

Vommen er på mange måder et optimalt levested for *metanogenerne*. Hvis man vil gøre sig håb om at reducere metanemissionen fra vommen, er det derfor afgørende at have nøje kendskab til *metanogenerne* og deres interaktioner med vommens andre mikroorganismer og arbejde ud fra en eller flere af følgende strategier: i) hæmme *metanogenerne* direkte, ii) reducere kilderne til *metanogenernes* primære næringsstof brint, eller iii) fremme konkurrencen om brint.

Referencer

- Højberg O., Poulsen M. og Engberg R.M., 2011. Hvad betyder mikroorganismerne for metanemission fra vommen? In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Johannes M., Lund P., Hellwing, A.F.L., Weisbjerg M.R. 2011. Hvad betyder fodring for metan emission? In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, and C.A. Morgan. 2002. Animal Nutrition. Pearson Education.
- Weisbjerg, M.R., T. Hvelplund og P. Lund. 2005. Metan fra drøvtyggere. Kvæginfo nr. 1438 (www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Filer/1438.pdf).

Hvad betyder fodring for metanemission?

*Maike Johannes, Peter Lund, Anne Louise F. Hellwing og Martin Riis Weisbjerg
Institut for Husdyrvidenskab, Aarhus Universitet*

Sammendrag

Metan opstår ved forgæring af kulhydrater i vommen, og metanmængden kan manipuleres ved ændringer i fodersammensætningen. Foder, som ikke bliver fordøjet i vommen, nedsætter metanproduktionen, f.eks. fedt eller vom-unedbrydelig stivelse. Desuden kan metan reduceres ved at reducere mængden af fiber, der forgæres i vommen.

Vores forsøg viser, at rapsfedt er velegnet til at reducere metan uden at påvirke koens produktivitet negativt ved f. eks. nedsat fiberfordøjelighed. Øget kraftfoderandel reducerer ligeledes metanproduktionen. Stivelse giver en lavere metanproduktion end sukker, mens det er svært at vise forskelle i metanproduktionen mellem stivelseskilder, selv om der er forskelle i nedbrydning og vomfordøjelighed. Stivelse i grovfoder reducer også metanproduktionen, således at majsensilage er mindre metanogen end græsensilage. Metanproduktion fra græsensilage er dog meget afhængig af vækststadiet og dermed cellevægsandel og fordøjelighed.

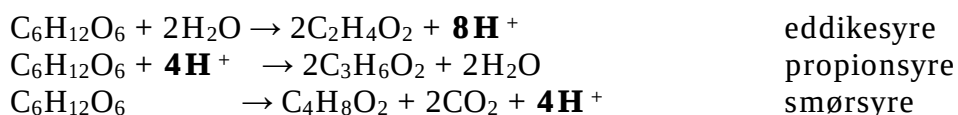
Det er således muligt at reducere metan med almindelige fodermidler, men det er vigtigt at holde fokus på hele koen, således at produktiviteten ikke bliver påvirket.

Introduktion

Metan er en drivhusgas, som opstår naturligt ved forgæring i vommen. Metan er meget energirigt, og koen taber 3-7% af bruttoenergien fra foderet som metan. Denne energi er derfor ikke til rådighed for mælkeproduktion. Reduktion af metanproduktionen vil altså være en gevinst for både miljøet og for landmandens økonomi.

Ved nedbrydning af foder i vommen dannes brint, og det er nødvendigt at holde brintrykket i vommen lavt, for at reaktioner i forbindelse med fermentation fortsætter; ved stigende brintræk ville vommen gå i stå som følge af en ophobning af slutproduktet. Eftersom vommen er strikt anaerob, er der ingen ilt til stede, hvilket vil sige, at den typiske reaktion, hvor vand dannes af brint og ilt, ikke kan gennemføres her. Derfor er koen nødt til at bruge andre veje til at udskille brintoverskuddet. I vommen sker det først og fremmest via metan, som bliver dannet af en gruppe mikroorganismer kaldet metanogener.

Kulhydrater bliver nedbrudt til først og fremmest tre forskellige kortkædede fedtsyrer (VFA):



Brint, som er i overskud, reager med CO_2 og bliver udskilt som metan:



Der er flere muligheder for reduktion af metan. Den ene er at vomfermentationen manipuleres, således at brintproduktionen reduceres, eller brint bliver brugt i andre reaktioner. Det kan f.eks. være øget propionsyrefermentation. Derudover kan andelen af fodret, som bliver fermenteret i vommen, reduceres.

Fra ligningerne kan man se, at forgæring til eddikesyre giver en større brintmængde end forgæring til smørsyre. Brint bliver derimod forbrugt ved forgæring til propionsyre. Forholdet mellem de tre VFA i vommen kan manipuleres ved at ændre kulhydratsammensætningen i foderet: høj fiberandel fremmer eddikesyrefermentation, sukker fremmer smørsyreproduktion og propionsyreandelen øges ved høj stivelseandel i rationen.

Foder, som ikke bliver nedbrudt i vommen, giver dermed heller ikke noget substrat for metanproduktionen. Det kan være fedt, som ikke forgæres i vommen eller andre vomstabile komponenter (stivelse eller protein). Desuden er vomfordøjeligheden reduceret ved høj passagehastighed, dvs. høj foderoptagelse, som tit står i forbindelse med høj mælkeproduktion.

En del tilsætningsstoffer bliver løbende undersøgt. Nogle resultater ser lovende ud, men f.eks. monensin er ikke tilladt i EU. Desuden er der meget tvivl om visse tilsætningsstoffers langtidseffekt: muligvis tilvænner vommikroberne sig efter en forholdsvis kort periode og vender tilbage til deres gamle metanniveau.

Andre tilsætningsstoffer som krydderier (hvidløg, karry) bliver tit testet i *in vitro* forsøg (dvs. i laboratoriet) med overvældende effekt, men i langt de fleste tilfælde er der ingen eller begrænset effekt, når det samme tilsætningsstof fodres til levende dyr. Derfor bliver disse tilsætningsstoffer ikke behandlet yderligere i dette indlæg.

Formålet med dette projekt er at undersøge fodermidler, som allerede bliver brugt i praksis og at udvikle fodringsstrategier, som giver mindre metan baseret på almindeligt anvendte fodermidler.

Fedt

Hvorfor er fedt så effektivt?

Mange tidligere publikationer viser, at tilsætning af fedt er effektivt til reduktion af metanudskillelsen. Fedt virker af flere grunde. Eftersom fedt ikke er nedbrudt i vommen, reduceres den forgærede mængde substrat ved fedttilskud, og der bliver derfor produceret mindre brint, som skal udskilles som metan.

Desuden påvirker fedt vommikrober. Antallet af protozoa kan reduceres betydeligt med tilsætning af fedt. Metanogener lever i symbiose med protozoer i vommen, og dermed bliver også metanogener hæmmet. Desuden er der en direkte effekt på metanogenernes aktivitet.

Fedt reducer også fibernedbrydning i vommen, og da forgæring af fiber giver anledning til en øget andel af eddikesyre, vil også metanproduktionen påvirkes. Dette er også en ulempe, fordi fedttilskud kan reducere NDF-fordøjeligheden.

Tabel 1. Fedtsyrer og fedtkilder.

Fedtsyre	Engelsk navn	Dansk navn	Findes i
C10:0	Capric acid	Caprinsyre	Kokosnød
C12:0	Lauric acid	Laurinsyre	Kokosnød, palmekeerneolie
C14:0	Myristic acid	Myristinsyre	Kokosnød, palmekeerneolie
C16:0	Palmitic acid	Palmitinsyre	PFAD; Palm
C16:1	Palmitoleic acid	Palmitolsyre	Animalsk fedt
C17:0	Margaric acid	Margarinesyre	Fedt fra drøvtyggere (f.eks. mælkeprodukter)
C18:0	Stearic acid	Stearinsyre	Animalsk fedt
C18:1	Oleic acid	Oliesyre	Rapsfrø, animalsk fedt, palm
C18:2	Linoleic acid	Linolsyre	Soja, solsikke, bomuldsfrø, majsensilage
C18:3	Linolenic acid	Linolensyre	Hørfrø, græs, kløver
C20:1	Gadoleic acid	Gadolsyre	Fisk
C22:1	Erucic acid	Erucasyre	Fisk, rapsfrø

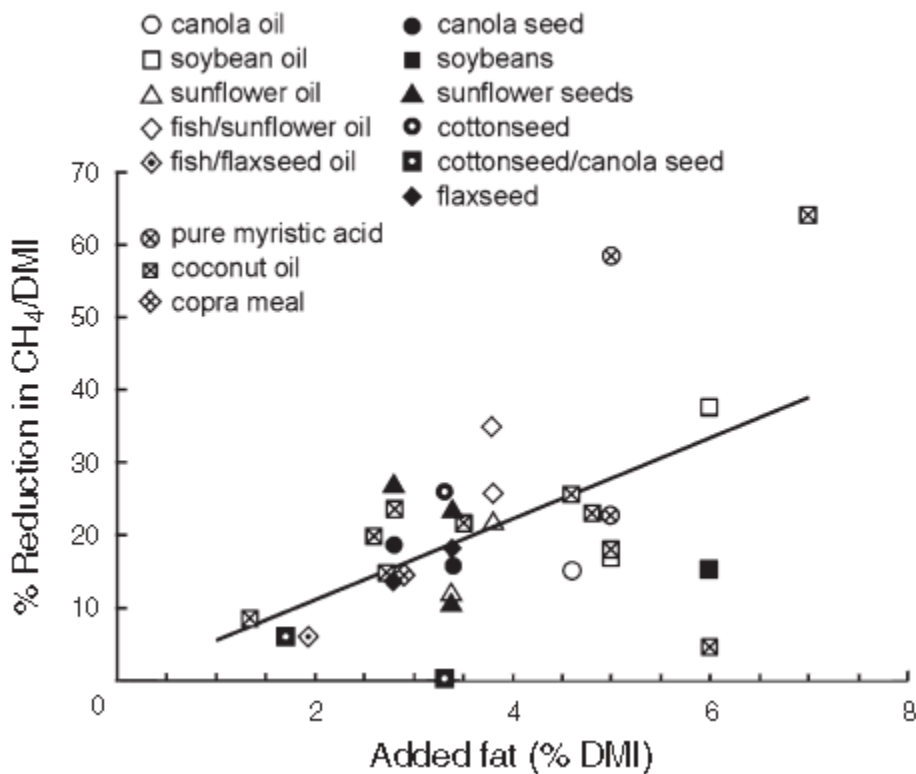
Fedtkilder

Fedt kan fodres i forskellige former og koncentrationer, og fedtsyresammensætningen er meget afhængig af fedtkilden (tabel 1). Effekten af fedt på vommiljøet og dermed metan og især effektens styrke afhænger af fedtsyresammensætningen.

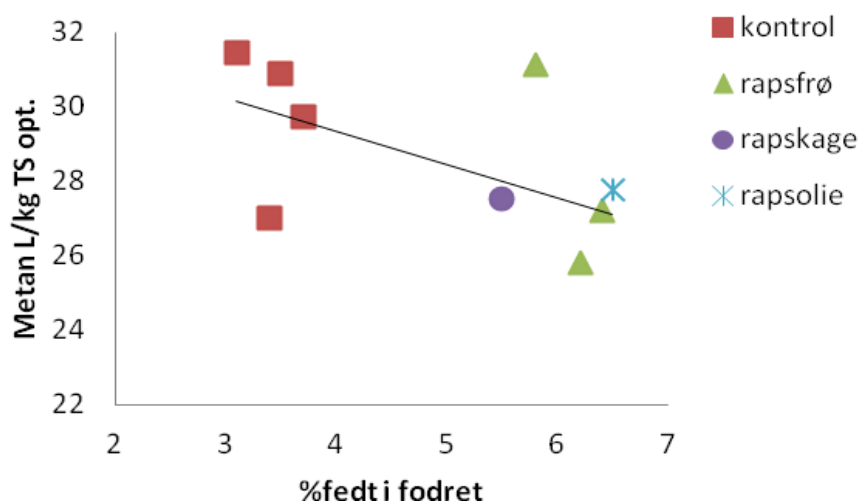
Generelt anbefales det ikke at overskride 6-7% fedt i rationen (Beauchemin et al. 2007), da højere koncentrationer medfører nedsat foderoptagelse, fiberfordøjelighed og produktivitet, dvs. nedgang i mælkeproduktion. Hvis fedt bliver fodret i for høj koncentration, kan man derfor ende med den samme eller en øget mængde metan/kg EKM.

Fedtsyrer adskilles mellem deres kædelængde og graden af mættethed. Jo kortere fedtsyrer er (ned til C:12), jo kraftigere påvirkes vommiljøet og metanproduktionen. Det gælder f.eks. for myristinsyre (C14:0) og laurinsyre (C12:0), som findes i bl.a. kokosolie.

Umættede fedtsyrer betyder, at fedtsyren har en eller flere dobbeltbindinger i sin kæde. Jo flere dobbeltbindinger der findes, jo mere påvirker fedtsyren vommiljøet og metanproduktionen. Derfor er for eksempel rapsolie, som indeholder meget oliesyre (C18:1), mindre effektiv mod metan end solsikke eller hørfrø, som indeholder henholdsvis meget linolsyre (C18:2) og linolensyre (C18:3), men rapsolie er samtidig også mere skånsomt for vommiljøet. Effekten af forskellige fedtsyrer på metan vises i figur 1.



Figur 1. Reduktion i metanproduktionen pr. % tilsat fedt i rationstørstof, afhængig af forskellige fedtkilder (Beauchemin et al., 2008).



Figur 2: Reduktion af metanproduktionen pr. % tilsat fedt i rationstørstof, danske forsøg.

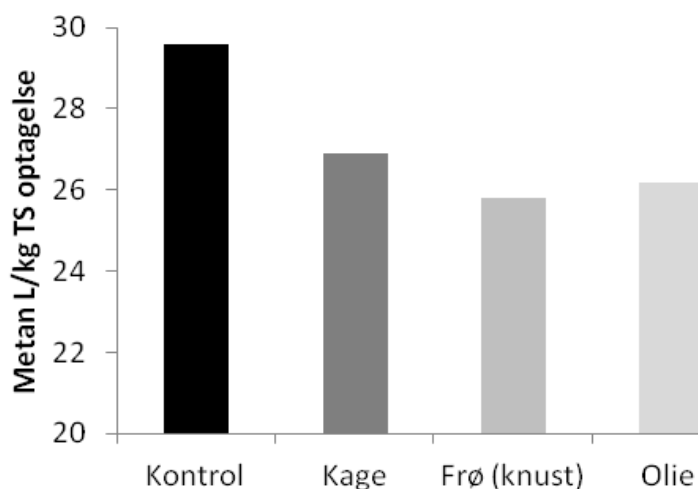
Fedt kan tildeles i forskellige former, f.eks. som kage, hele frø eller olie. Dette vil påvirke, hvordan fedtet frigives i vommen. Ved olie er fedtet hurtigt fri i vommen, og der kan opnås høje koncentrationer i vommen i forbindelse med foderoptagelse. Hvis fedtet tildeles som frø eller kage, skal cellevæggen nedbrydes først, og derfor stiger fedtkoncentrationen i vom-

men langsommere, men er muligvis mere stabil. Nogle studier viser, at den mest effektive reduktion i metan opnås, hvis der er korte perioder med høj fedtkoncentration.

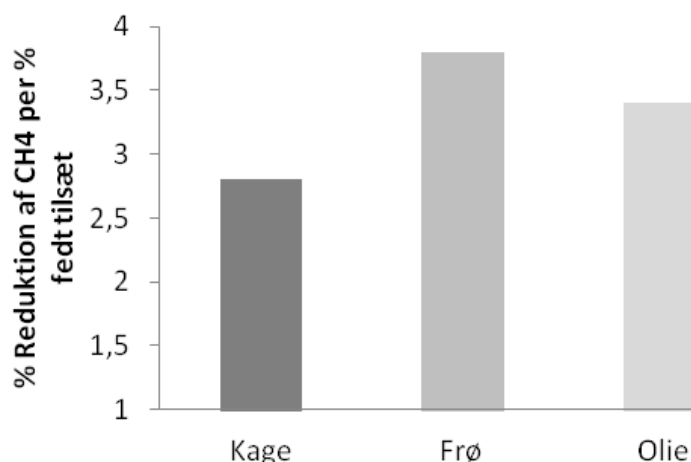
Metanreduktion med forskellige rapsfodermidler

Biprodukter fra rapsolieproduktion er allerede meget brugt som fodermidler til danske malkekøer, f.eks. rapsskrå og -kage. Kage kan ligesom hele frø eller olie være en mulighed for at øge fedtindholdet i rationen med henblik på at reducere metanproduktionen (figur 2). Fedtsyresammensætningen i raps er gunstig med en høj andel oliesyre, som er enkelt umættet. Desuden er raps en dansk afgrøde og kræver ikke lange transportveje og dermed CO₂-belastning som f.eks. soja og solsikke.

I et intensivt forsøg blev tre forskellige fysiske former af rapsfedt (rapskage, rapsfrø, rapsolie) testet for deres metanreducerende potentiale sammenlignet med en lav-fedt kontrol med rapsskrå. Forsøget blev gennemført med vom- og tarmfistulerede køer, således at vom- og totalfordøjeligheden ligeledes kunne bestemmes. Resultaterne vises i figur 3 og 4 og tabel 2.



Figur 3. Effekt af rapsfedt på metanproduktionen pr. kg tørstofoptagelse.



Figur 4. Reduktion i % pr. % tilsat fedt i fodertørstof (på CH₄ L/kg TS opt. basis).

Resultaterne viser, at rapsfedt reducer metan uanset fysisk form. Der er gennemsnitligt reduktion af 11 % CH₄/kg TS-optag (fra 29,6 til 26,3 L/kg TS-optag). Forskellen mellem de forskellige rapsfodermidler er begrænset. Rapsfrø gav en større reduktion end kage og olie, men forskellene mellem rapsfedtkilderne var ikke statistisk signifikante.

Fedttilskud har ikke påvirket fordøjeligheden i dette forsøg. Formentlig skyldes det to ting. For det første var fedtindholdet i rationerne mellem 5,5 og 6,5% versus 3,5% i kontrolrationen. Det betyder, at fedttilskud ikke har overskredet de danske anbefalinger. For det andet er oliesyre mere skånsom mod vommiljøet end flerumættede fedtsyrer eller mellem-langkædede fedtsyrer.

Tabel 2. Effekten af forskellige fysiske former af rapsfedt på metanproduktion og fordøjelighed.

	Rationer				SEM P _{behandling}		Kontrast P-værdi		
	Kontrol	Rapskage	Rapsfrø	Rapsolie			Kontrol vs. fedt	Kage og frø vs. olie	Kage vs. frø
CH ₄ l/24 h	569	531	478	463	24.0	0.04	0.02	0.19	0.10
CH ₄ l/kg EkM	20.4	19.0	16.9	16.7	0.6	0.01	0.003	0.11	0.02
CH ₄ L/TS-optag	29.6	26.9	25.8	26.2	1.0	0.08	0.02	0.94	0.37
CH ₄ % energitab	6.3	5.6	5.3	5.4	0.2	0.04	0.01	0.77	0.32
NDF-vomfordøjelighed %	61.7	65.5	62.7	63.9	1.44	0.22	0.15	0.90	0.14
OS total fordøjelighed %	73.2	74.3	72.0	71.5	1.28	0.36	0.64	0.31	0.15
CH ₄ L/kg total fordøjet OS	46.1	40.3	39.8	42.9	2.6	0.23	0.09	0.38	0.87
CH ₄ L/kg total fordøjet NDF	154	135	137	147	10.8	0.41	0.19	0.42	0.85
CH ₄ L/kg vomfordøjet OS	79.8	69.9	79.1	79.6	6.8	0.54	0.59	0.54	0.27
CH ₄ L/kg vomfordøjet NDF	154	132	132	140	13.9	0.49	0.18	0.66	0.99

Andre effekter af fedt

Som nævnt er ulempen med fedttilskud en risiko for reduceret NDF-fordøjelighed, hvis fedttildelingen bliver for høj.

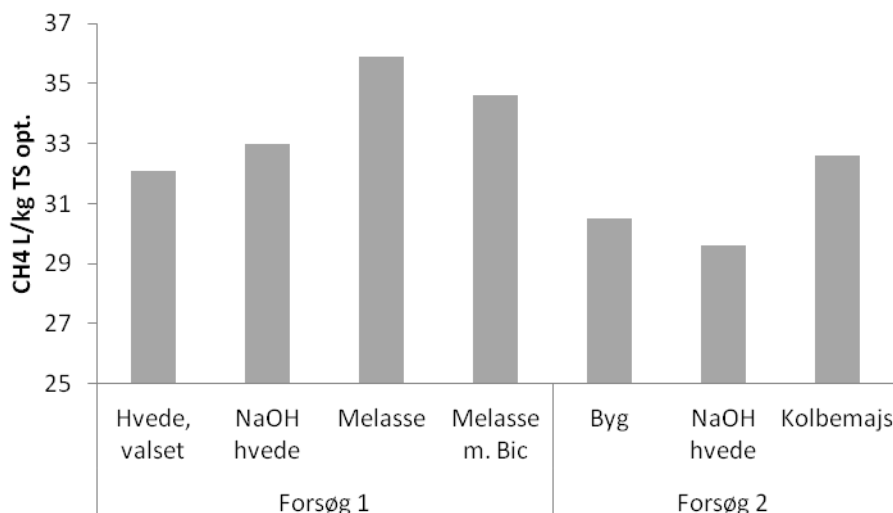
Men der kan være andre fordele end reduceret metanproduktion ved at fodre malkekøer med fedt, f.eks. øget energikoncentration i fodret og dermed højere energioptagelse. Desuden går absorberet fedt via lymfen direkte til det perifere væv som yveret uden nævneværdig omsætning, hvilket kan give mindre varmestress ved fedtfodring.

Fedttilskud kan øge mælkeproduktionen og ved moderate tilskud øge mælkens fedtprocent, hvorimod mælkens proteinprocent reduceres ved fedttilskud, og dermed kan fedt:protein forholdet i mælken flyttes i uønsket retning. Derimod er umættede fedtsyrer ønsket i fødevarer, og fodring med f.eks. hørfrø- eller rapsprodukter øger indholdet af C18-umættede fedtsyrer i mælkeprodukter.

Kulhydrater/kraftfoder

Generelt kan man sige, at jo højere kraftfoderandel i rationen, jo lavere metanproduktion. F.eks. tyrekalve, som fik omkring 90 % kraftfoder i deres rationer, har haft en meget lav metanproduktion (3,1% af bruttoenergi; malkekøer ligger omkring 6%) i vores forsøg (Hellwing et al. 2011). Det skyldes, at dyrene har lavt pH i vommen, og metanogener er meget hæmmet i dette sure miljø. Desuden fremmer lavt pH propionsyreforgæring, som kan betragtes som en alternativ vej for brinten. Selv om malkekøer ikke kan trives på samme rationer som tyrekalve, viser vores resultater, at der er forskel mellem f.eks. 20% og 50% kraftfoder i rationen og også, at der er forskel mellem kulhydratkilder i kraftfoder. Nogle publikationer viser en reduktion i metan på op til 20% (Moss et al., 2000) ved øget kraftfoderandel i rationen. Den forventede effekt er dog meget afhængig af, hvilken ration der tages udgangspunkt i, og der skal også tages hensyn til, hvorledes øget kraftfodertilDELing påvirker dyrenes sundhed.

Kulhydratkilden i rationen påvirker forgæringen. Sukker øger smørsyreforgæring, og stivelse øger propionsyreforgæringen. I overensstemmelse med dette viste vores forsøg, at melasse er mere metanogen end hvede (tabel 3, figur 5). Bannink et al. (2005) fandt ligeledes, at metanproduktionen kunne reduceres med 15%, hvis kulhydratkilden i kraftfodret ændres fra andre hurtigt nedbrydelige kulhydrater til stivelse.



Figur 5. Kulhydrater i kraftfoder og metanproduktion (per kg TS optagelse).

Ikke alle stivelsesformer er ens

I vores forsøg blev forskellige stivelseskilder testet for deres metanproduktion. Øget stivelse reducerer pH i vommen og fremmer forgæringen til propionsyre, som kan betragtes som en alternativ vej for brinten i vommen. I vores forsøg kunne vi dog ikke finde forskel i metanproduktionen mellem valset og NaOH-behandlet hvede. Det er muligt, at valset hvede har reduceret metan med nedsat pH i vommen og dermed påvirket vomfermentationen og metanogenernes aktivitet. NaOH-behandlet hvede påvirker ikke vom-pH lige så stærkt, men en større andel af stivelsen by-passes også vommen. Det betyder, at metanproduktionen var reduceret, fordi mindre organisk stof blev fermenteret. Dermed var to forskellige mekanismer involveret i den samme effekt. Selv om lav vom-pH reducerer metanproduktio-

nen, risiker man subakut vomacidose, hvis kraftfoderandelen er for høj. Der er således grænser for, hvor meget produktionen af metan kan reduceres ved at øge stivelsesandelen i rationen.

Stivelsens fordøjelighed afhænger af afgrøde og vækststadiet. I vores forsøg blev både valset byg og hvede brugt, og selv om disse kornsorter ikke blev sammenlignet direkte i samme forsøg, kan det konkluderes, at disse stivelseskilder ligner hinanden. Majsstivelse i ensileret kolbemajs har høj fordøjelighed i vommen og påvirker derfor vomfermentation direkte. På et mere modent vækststadium (modne kerner, ikke ensileret) er andelen af vomfordøjelige stivelse højere. Kernemajs blev ikke undersøgt her. I vores forsøg 2 kunne vi ikke finde forskel i metanproduktionen mellem de tre stivelseskilder. Den store forskel i NaOH-hvede i de to forsøg skyldes sandsynligvis grovfodersammensætningen.

Tabel 3. Metanproduktion fra forskellige kulhydratkilder i kraftfodret.

	Forsøg 1					Forsøg 2			
	Hvede	NaOH-hvede	Melasse	Melasse m. bicarbonat	P-værdi	Byg	NaOH-hvede	Kolbemajs	P-værdi
TS-optag kg	16.9	18.4	18.5	18.2		19.3	19.3	18.1	0.11
CH ₄ L/døgn	539	607	665	632	0.12	587	571	594	0.8
CH ₄ L/kg TS	32.1	33	35.9	34.6	0.01	30.5	29.6	32.6	0.48

Grovfoder

Rationer til danske malkekøer består af omkring 50% grovfoder. Grovfoderets kemiske sammensætning og fordøjelighed varierer meget afhængig af f.eks. afgrøde eller slættidspunkt. Selv om man ved, at den kemiske sammensætning og fordøjeligheden påvirker metanproduktionen, er der kun få studier, som har haft fokus på ensilage. Vi har derfor undersøgt tre typiske slags danske ensilage i et forsøg, hvor de blev tildelt i rationer med og uden fedttilskud i form af rapsfrø.

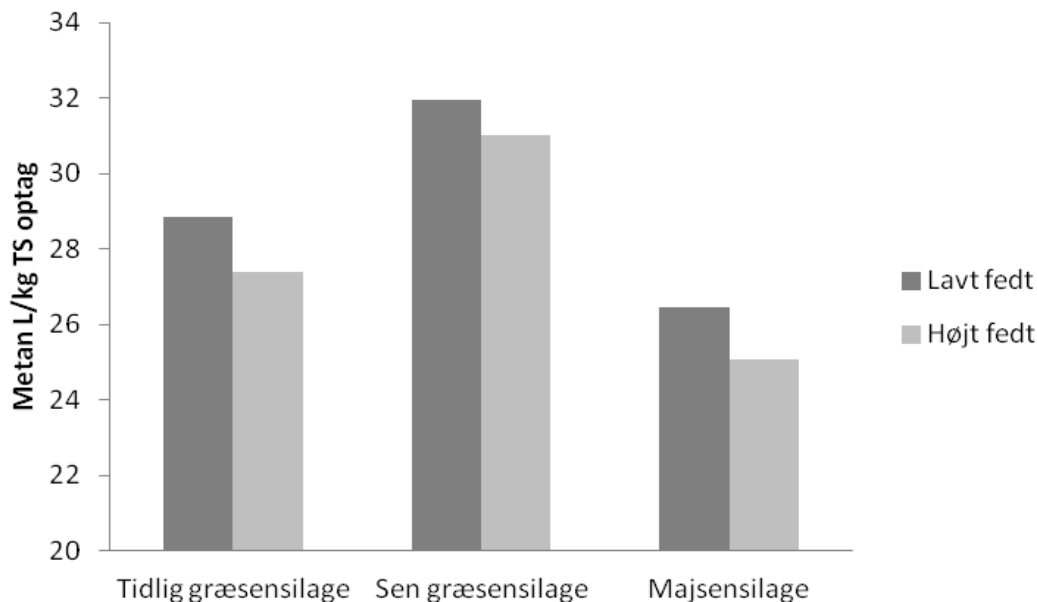
Som udgangspunkt indeholder majsensilage meget stivelse, og man kan antage, at der gælder det samme som for kraftfoder, nemlig at en høj andel majsensilage i foderrationen nedsætter metanproduktionen.

Udover majsensilage indgik der to slags kløvergræsensilage fra første slæt i 2010 i forsøget: et høstet den 26. maj og et høstet den 15. juni (tabel 4); begge var høstet fra den samme mark. Eftersom andelen af fiber stiger ved senere høst, og fordøjeligheden falder, kan det forventes, at senere høsttid giver en mere metanogen kløvergræsensilage.

Tabel 4. Ensilagekvalitet til grovfoderforsøg.

	Tidl. græsensilage	Sen græsensilage	Majsensilage
Tørstof g/kg	422	329	306
Aske g/kg TS	89.3	78.5	31.6
Råprotein g/kg TS	168	124	93
NDF g/kg TS	360	515	437
kg TS per FE	1	1.24	0.89

Der er en række mekanismer involveret i virkningen af fedt. Det er i litteraturen dokumenteret, at fedt kan nedsætte fiberfordøjeligheden og dermed metanproduktionen. Det ville derfor være logisk at forvente vekselvirkninger mellem fedttilskud og fiberandel i rationen på den måde, at fedt ville være mere effektivt, hvis grovfoderet indeholdt meget fiber. Dette kunne dog ikke bekræftes af forsøget; fedt reducerede metanproduktionen nogenlunde lige meget uanset, hvilken kvalitet grovfoderet havde (figur 6, tabel 5).



Figur 6. Vekselvirkning mellem ensilagetype og fedttilskud.

Tabel 5. Metanproduktion og fordøjelighed ved ensilage med og uden fedttilskud.

	Tidlig græsensilage		Sen græsensilage		Majsensilage		SEM	P _{ensil} ¹	P _{kf} ¹	P _{ensil*kf} ¹
	Lavt fedt	Højt fedt	Lavt fedt	Højt fedt	Lavt fedt	Højt fedt				
CH ₄ L/døgn	538	475	544	505	494	454	18.4	0.05	0.01	0.77
CH ₄ L/kg vægt	0.94	0.83	0.97	0.88	0.88	0.82	0.031	0.08	0.004	0.75
CH ₄ L/kg TS-optag	28.9	27.4	31.9	31.0	26.5	25.1	0.91	<0.001	0.12	0.96
CH ₄ L/kg EKM	21.0	21.5	28.2	21.3	21.2	18.9	1.57	0.03	0.04	0.14
NDF-vomfordøjelighed %	68.9	70.3	67.8	62.3	51.6	58.0	2.26	<0.001	0.80	0.09
Total fordøjelighed OS %	76.4	77.3	72.4	70.3	71.3	70.7	0.82	<0.001	0.30	0.26
CH ₄ L/kg total fordøjet OS	43.2	38.6	51.3	48.7	40.8	39.8	1.83	<0.001	0.10	0.62
CH ₄ L/kg total fordøjet NDF	135	122	126	125	144	151	7.6	0.03	0.73	0.46
CH ₄ L/kg vomfordøjet OS	81.6	75.6	86.6	93.1	68.4	61.4	4.13	<0.001	0.60	0.29
CH ₄ L/kg vomfordøjet NDF	144	132	123	130	153	137	8.7	0.15	0.36	0.45

¹P-værdier: ensil=effekt af ensilage, kf=effekt af fedttilskud (kraftfoder), ensil*kf=vekselvirkning mellem ensilage og fedttilskud

Svin

Selv om svin er enmavede dyr, opstår der også metan ved forgæring i tyktarmen. Denne mængde er dog betydeligt mindre end hos drøvtyggere (tabel 6). Ligesom i drøvtyggere er metanproduktionen afhængig af fiberandelen i rationen: jo mere fiber der er, jo mere metan opstår der. Eftersom drægtige søer bliver fodret restriktivt for at begrænse overvægt og stofskiftesygdomme, får dyrene i dette stadie meget fiber i foderet og er dermed den eneste gruppe, som producerer nævneværdigt metan. Tidligere forsøg (Jørgensen et al., 2005) viser, at det er fiberrige fodermidler som roepiller eller halm, som fremmer metanproduktionen. Slagtesvin producerer mere metan i L/døgn med stigende vægt, men med højere foderoptagelse er stigningen i energitabet meget lavt. Lakterende søer har et højt energibehov og bliver dermed fodret med energirigt foder, som kun indeholder lidt fiber, og metandannelsen er derfor lav.

Tabel 6. Metanproduktion hos svin.

Dyr	Metan, % af bruttoenergi
Smågrise	0.1
Slagtesvin	0.2 - 0.5
Drægtige søer	0.6 - 2.7
Diegivende søer	0.6

Fedt nedsætter metanproduktionen hos drøvtyggere, fordi langt størstedelen af metan her bliver produceret i vommen. I svin bliver metan produceret i tyktarmen, og da fedt bliver fordøjet og optaget i tyndtarmen allerede inden, det når frem til tyktarmen, vil fedttilskud ikke påvirke metanproduktionen nævneværdigt hos svin.

Konklusion

Metan kan reduceres ved at ændre foderstrategien, uden at det behøver at påvirke fordøjelighed og produktivitet negativt, f.eks. ved fodring med rapskage med højere fedtandel, øget stivelse i rationen på bekostning af sukker eller ved at øge fordøjeligheden af grovfoderet.

Det er afgørende at tage hensyn til hele koen. Hvis metan reduceres, men foderrationen er problematisk for koen, så kan fordøjeligheden eller mælkeydelsen reduceres, således at man risikerer, at der ingen nettogevinst er; dvs. at metanproduktionen pr. kg produkt er den samme eller muligvis højere.

For at bedømme fodringsstrategiens miljøvenlige aspekter er det vigtigt at se på, hvor meget drivhusgas der opstår fra hele kæden inklusive foderproduktionen og metanproduktionen fra gylle.

Litteratur

Bannink, A., J. Dijkstra, J. A. N. Mills, E. Kebreab, and J. France. Nutritional strategies to reduce enteric methane formation in dairy cows. 367-376. 2005. Emissions from European agriculture. Kuczynski, T edit.

- Beauchemin, K. A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T. A. McAllister. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Aust J Exp Agric* 48:21-27. doi: 10.1071/EA07199
- Beauchemin, K. A., S. M. McGinn, and H. V. Petit. 2007. Methane abatement strategies for cattle: Lipid supplementation of diets. *Can. J. Anim. Sci.* 87:431-440.
- Hellwing, A.L.F., K. F. Jørgensen, M. Vestergaard, M. R. Weisbjerg. 2011. Methane production in bull calves fed rations based on grain or different levels of high-moisture corn kernel silage. *Proceedings of the 2nd Nordic Feed Science Conference*, Uppsala, Sweden. 48-52.
- Jørgensen, H. 2005. Methane emissions from pig production. I: Evaluering af mulige tiltag til reduktion af landbrugets metanemissioner, Miljøministeriet 2005.
- Jørgensen H., P. K. Theil and K. E. B. Knudsen (2011). Enteric Methane Emission from Pigs. *Planet Earth 2011 - Global Warming Challenges and Opportunities for Policy and Practice*, Dr. Elias G. Carayannis, George Washington University, School of Business (Ed.), ISBN: 978-953-307-733-8, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/enteric-methane-emission-from-pigs>
- Moss, A. R., J. P. Jouany, and J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49:231-253.

Selektion for nedsat metanproduktion og forbedret fodereffektivitet hos malkekvæg

Jan Lassen¹, Jørgen Madsen² og Peter Løvendahl¹

¹ Institut for Molekylær Biologi og Genetik, Aarhus Universitet

² Institut for Produktionsdyr og Heste, Københavns Universitet

Introduktion

Den største variable omkostning på besætningsniveau er udgiften til foder. Koens evne til at udnytte foderet bliver dermed en særdeles vigtig parameter for landmanden i jagten på et fornuftigt økonomisk resultat. En stor del af bruttoenergien, som koen optager ryger ud som metan, og dermed forringes fodereffektiviteten. I gennemsnit udledes 10% af den omsættelige energi som koen optager som metan. Der er dog en betydelig variation mellem køer på denne værdi. En del af denne variation må formodes at være genetisk lige så vel som andre kvantitative egenskaber som mælkeydelse, daglig tilvækst eller forskellige kropsmål.

Selektion baseret på genetisk niveau er et meget stærkt værktøj i forhold til at forbedre en kvantitativ egenskab. Effekten af selektion er kumulativ og vedblivende. Forudsætningerne for at forbedre en egenskab genetisk er mange, bl.a. at egenskaben kan måles og at der er genetisk variation for egenskaben.

Der er flere mulige metoder til at måle metanemission fra malkekvæg. De har hver især deres fordele og ulemper og skal anvendes efter hvilke faglige spørgsmål man ønsker at belyse. I forhold til at lave genetiske studier er det altafgørende at have registreringer for mange dyr – gerne tusindvis. Samtidig er det særdeles vigtigt at lave registreringer som er præcise og som beskriver den egenskab man er interesseret i at ændre. Er dette ikke tilfældet vil man ikke få den fremgang man ønsker og man risikerer måske ligefrem at få tilbagegang for egenskaben man ønsker at forbedre. Der er ved dette projekts start ikke en State-of-the-art metode til at gennemføre metanregistreringer, som er anvendelige til genetisk analyse. En mulig metode kunne dog være at udnytte individualiseringen af køer i AMS-systemer og installere en måleenhed som i forbindelse med malkningen kan registrere koens metan udskillelse.

Formålet med dette projekt er at teste en metode til at udføre individuelle metanregistreringer. Metoden skal være præcis, men også fleksibel, således at den kan monteres i mange forskellige staldtyper, og dermed indsamle data under praktiske forhold hvor der praktiseres AMS malkning. Samtidig skal metoden være i stand til at levere data fra mange dyr på kort tid. Endemålet er at udføre genetiske studier af disse registreringer således at størrelsen af den genetiske variation for egenskaben metanemission kan kvantificeres i nutidens kvæghold.

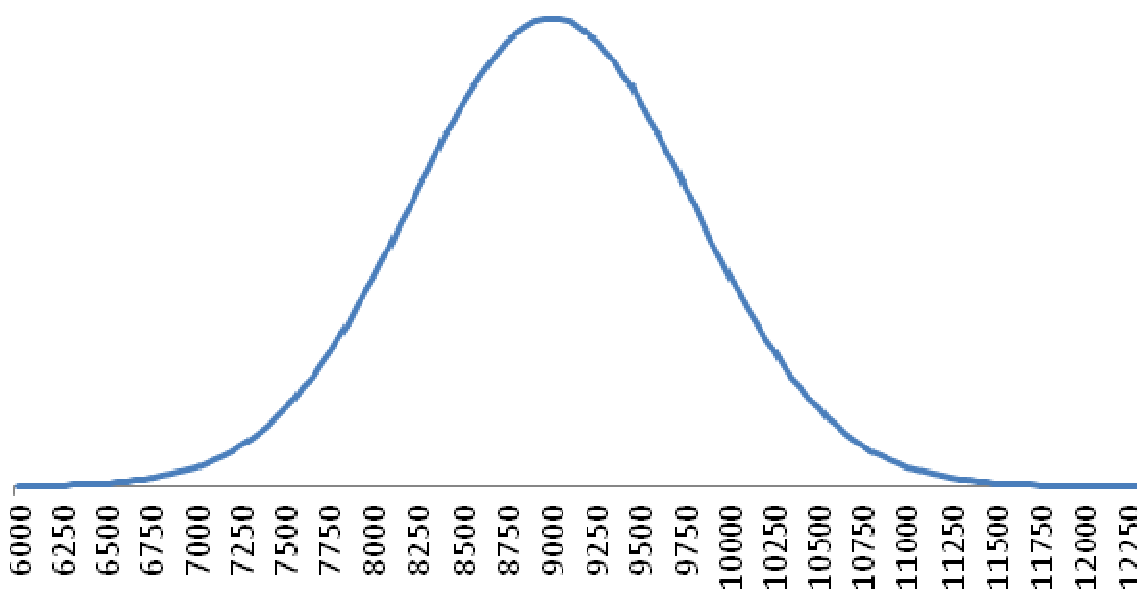
Materiale og metode

Kvantitativ genetik

Formålet med at lave en genetisk analyse af metanmålinger er at undersøge muligheden for at selekttere for forbedret genetisk niveau for metanproduktion. Alle kvantitative egenskaber kan opdeles i genetik og miljø:

$$\text{Egenskab} = \text{genetik} + \text{miljø}$$

Mange egenskaber (fx mælkeydelse i en laktation) udviser en normalfordelt natur som kommer til udtryk i en klokkeformet figur (figur 1).



Figur 1. Eksempel på mulig fordeling af mælkeydelse i kilo mælk for køer af racen Holstein.

Traditionelt avlsarbejde har bestået i at kortlægge hvor stor en del af den samlede variation der skyldes genetik. Den proportion kaldes arvbarhed eller heritabilitet og beskrives som h^2 . Den øvre grænse for arvbarheden kaldes gentageligheden. Denne benævnes ofte som r og er dyr-variationen delt med den samlede variation for egenskaben.

$$h^2 = \text{genetisk variation} / \text{samlet variation}$$

$$r = \text{dyr-variationen} / \text{samlet variation}$$

Arvbarheden vil ligge mellem 0 og 1 og jo større den er jo mere styres egenskabens variation af genetik. Kropsmål som fx højde har en høj arvbarhed og er derfor nemme at selekttere for. Egenskaber med meget lav arvbarhed er særdeles vanskelige at forbedre genetiske. Funktionelle egenskaber som reproduktion og sundhed er eksempler på egenskaber med lav arvbarhed. Oveni arvbarheden bestemmes ligeledes egenskabernes indbyrdes genetiske

sammenhæng (korrelation). Er egenskaber negativt genetisk korreleret (som f.eks. mælkeydelse og mastitis) vil selektion for den ene egenskab medføre tilbagegang for den anden.

Beregning af arvbarhed og genetiske korrelationer for kvantitative egenskaber nødvendigvis registreringer på mange dyr. Sammen med slægtskabet mellem dyr udnyttes egenskabernes arvbarhed og indbyrdes korrelation til at rangere dyrene efter deres genetiske niveau ved hjælp af statistiske modeller som kan adskille miljø og genetik. Rangeringen er i høj grad baseret på dyrenes egen præstation for enkelte egenskaber. Det kræver desuden afmøjlø- eller management egenskaber som fx være besætning, år, sæson eller alder inddrages da effekten af disse ikke nedarves. Tilbage står man med genetiske værdier for hvert dyr, som kan indgå i avlsindekset og dermed sikre at de bedste dyr anvendes til at producere næste generation af afkom.

De egenskaber man selekterer for tillægges en økonomisk værdi. Den overordnede selektion er baseret på et summeret, totaløkonomisk indeks, hvor dyrets genetiske niveau for hver enkel egenskab vægtes med egenskabens økonomiske værdi. På denne måde sikres et balanceret avlsarbejde, hvor der både er fokus på fremgang for produktion, sundhed, frugtbarhed, holdbarhed og i fremtiden formentlig også miljøpåvirkninger som metan.

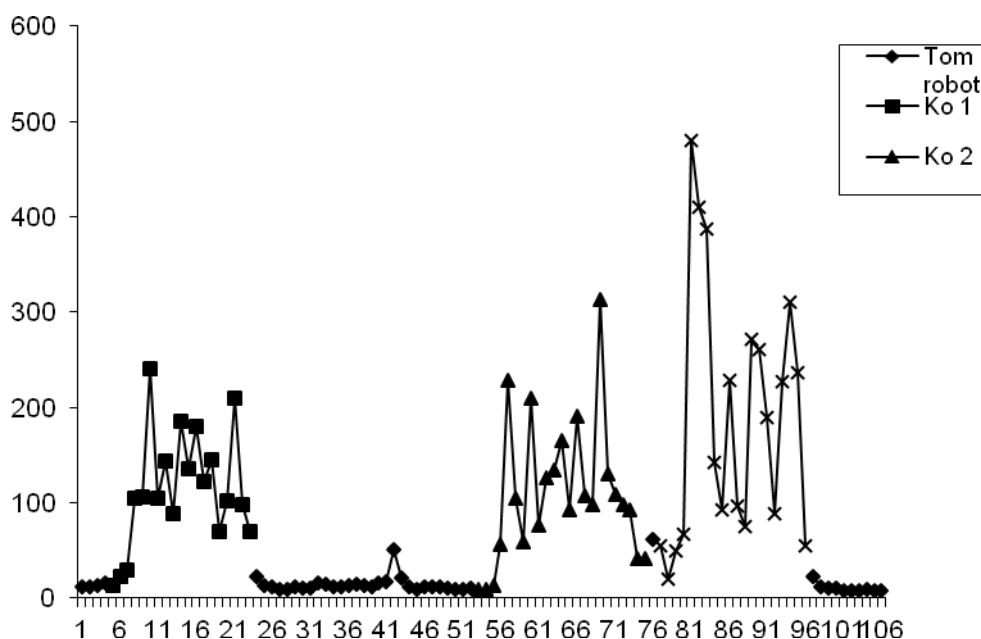
Genomisk selektion

Da selektion baseret på kvantitativ genetik, som beskrevet bygger på dyrenes egen præstation vil avlsværdier først være til rådighed relativt sent i dyrets liv, hvilket forsinker effekten af selektion. Nye teknologiske muligheder har gjort at det nu er muligt at tage en blodprøve af et individ og baseret på denne opdele genomet i mange tusinde dele som kaldes SNP'er (Single Nucleotide Polymorphisms). I statistiske modeller kan effekten af hver enkelt genom-del på forskellige genetiske egenskaber, som f.eks. metan udskillelse bestemmes. Dermed kan selektion udføres væsentlig tidligere i dyrets liv da den genetiske værdi kan bestemmes allerede ved fødsel i forbindelse med udtagelse af en blodprøve. Genomisk selektion har revolutioneret avlsarbejdet med produktionsdyr og i dette projekt vil vi derfor forsøge at kortlægge enkeltgenerens effekt på kørs metanproduktion.

Målemetode

I dette projekt er CO₂metoden anvendt som er beskrevet tidligere i denne rapport. Metoden er anvendelig i produktionssystemer der har malkerobotter, hvor der placeres en FTIR måler ved malkerobotten. Måleren placeres således at der suges luft ind i maskinen bag foderpladen som sidder i robotten. På den måde suges der luft ind når en ko malkes da koen altid vil have hovedet nede ved foderpladen for at æde kraftfoder. Der sendes infrarødt lys gennem den luft der suges ind i maskinen og der aflæses et spektrum som vil afhænge af hvilke gastyper der er i luften og deres koncentration. Spektret kan oversættes til gaskoncentrationer.

Maskinen kan foretage målinger med forskelligt interval fra 1 til 60 sekunder. En ko er typisk i malkerobotten mellem 4 og 10 minutter. For hvert besøg af rapporteres en enkelt måling som i dette tilfælde er gennemsnittet af alle målinger for hvert besøg. En ko besøger cirka en robot 2-5 gange pr døgn og derfor opnås der på blot få døgn et væsentligt antal observationer pr ko. En typisk måleprofil af en given periode er vist i figur 2.



Figur 2 Eksempel på måleprofil hvor tre køer besøger malkerobotten for at blive malket.

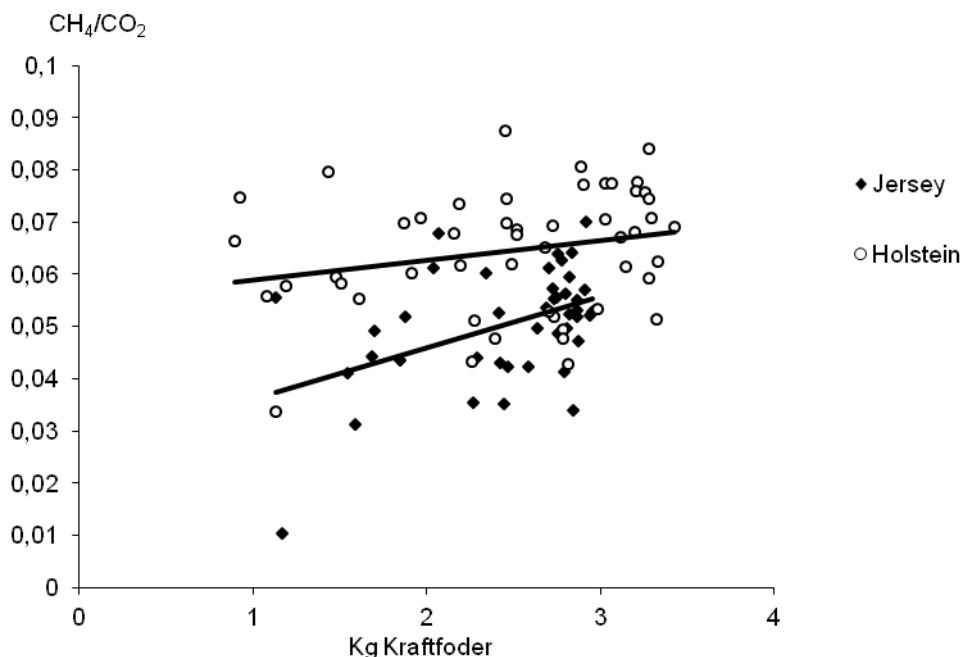
Data fra KFC

Maskinen har været opstillet på Kvægbrugets Forsøgscenter (KFC) ved Foulum (Tabel 1).

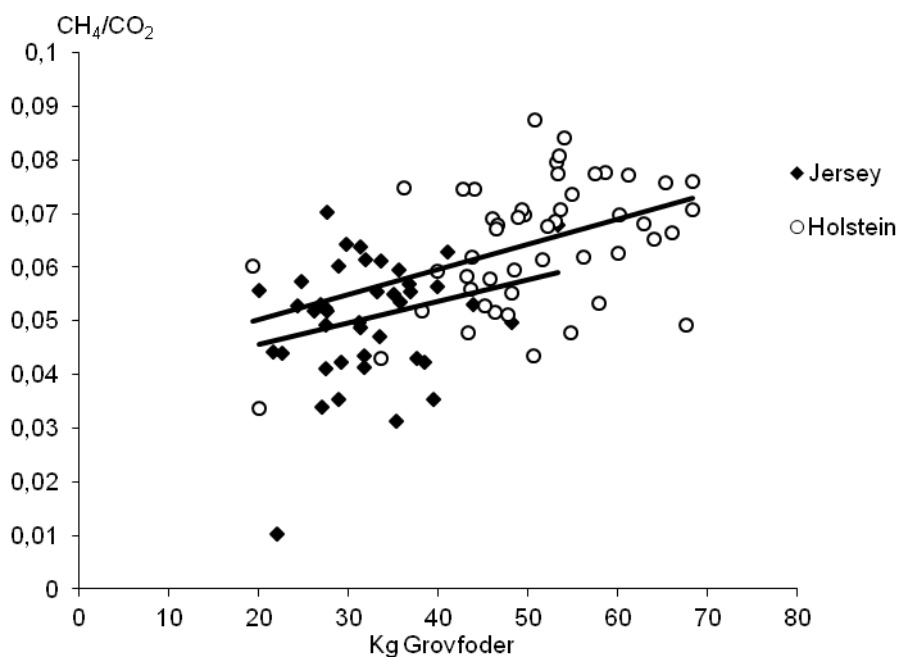
Tabel 1. Beskrivelse af data fra KFC og Assendrup.

	KFC data		Assendrup
Race	Holstein	Jersey	RDM
Antal	53	40	273
Måledage	2	4	7
Besøg/ko	2-6	6-12	10-25
Roboter	1	1	4
Fodringsdata	Ja	Ja	Nej
Afstamning	Nej	Nej	5726 dyr

I den forbindelse er der udført registreringer på 53 Holstein køer og 40 Jersey køer. En af de væsentlige fordele ved at måle på KFC er at der desuden registreres individuel foderoptagelse, som målingerne kan sammenlignes med. På data fra KFC er gentageligheden beregnet. Til dette er lineære modeller anvendt, hvor effekten af laktationsnummer, dage fra kælvning, mælkeydelse, grovfoderoptagelse og kraftfoderoptagelse er beregnet. Inkluderingen af grovfoderoptagelse og kraftfoderoptagelse i den statistiske model er baseret på plots af data (figur 3 og 4).



Figur 3. Metan/Kuldioxid forholdet plottet mod køernes gennemsnitlige daglige kraftfoderoptagelse i en tre ugers periode omkring data opsamling.

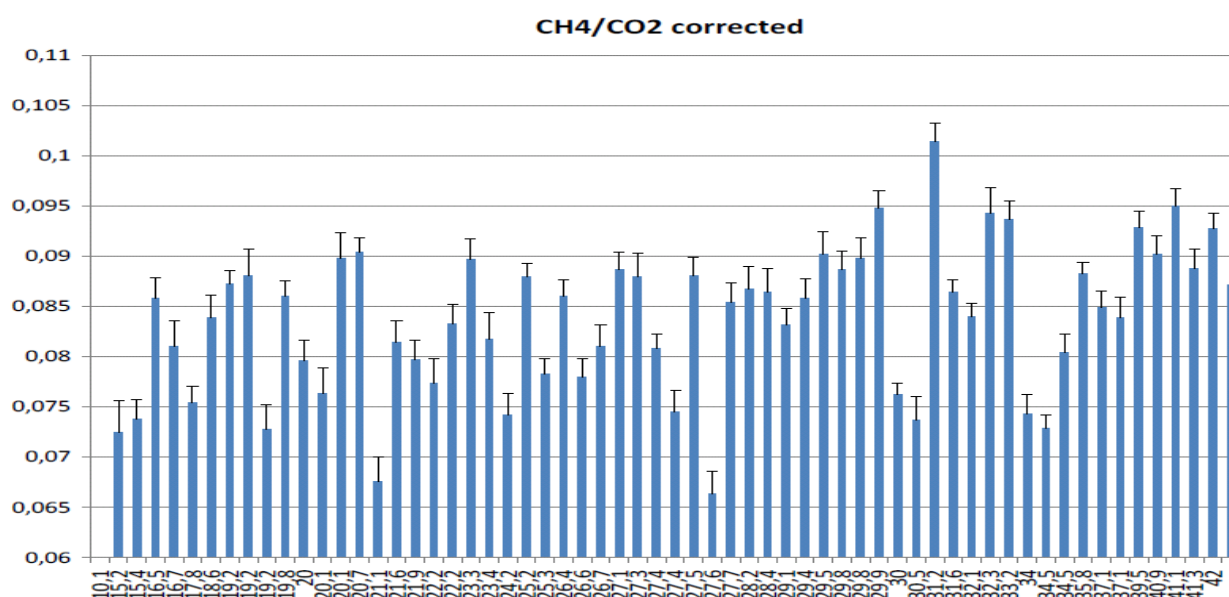


Figur 4. Metan/Kuldioxid forholdet plottet mod køernes gennemsnitlige daglige grovfoderoptagelse i en tre ugers periode omkring data opsamling.

Data fra Assendrup

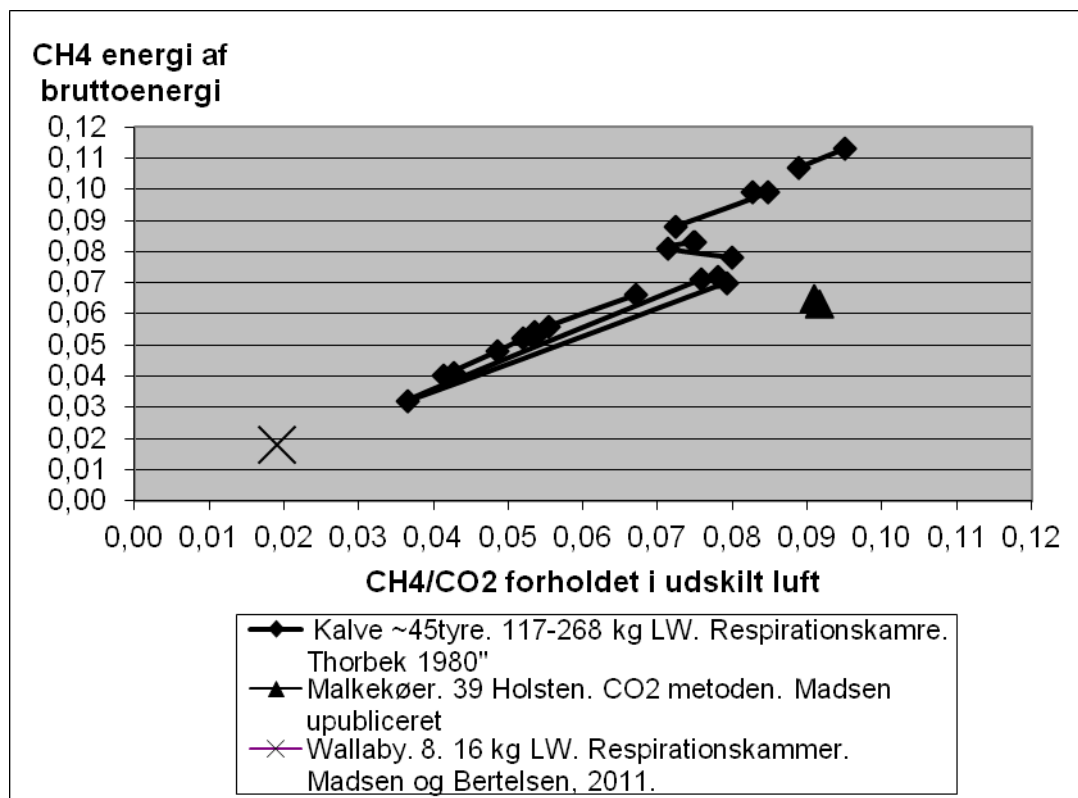
Maskinen har været opstillet på Assendrup Hovedgård ved Haslev, hvor der er køer af Rød Dansk Malke race (RDM) (Tabel 1). Ved denne opstilling er der foretaget målinger på et antal dyr som retfærdiggør reelle genetiske analyser. I denne analyse er effekten af robot, laktationsnummer, mælkeydelse samt dage fra kælvning beregnet.

I figur 5 er illustreret gennemsnitsværdierne af 5 døgns målinger på 63 malkekøer på Assendrup. De 63 køer er i figuren rangeret efter ydelse og der ses en betydelig forskel på de enkelte køer. Resultaterne er udtrykt som CH_4/CO_2 forholdet, hvilket blot er en af de mange måder som metanproduktionen kan udtrykkes på.



Figur 5. Udåndingsluftens CH_4/CO_2 forhold, inkl. 95% sikkerhedsgrænser, for 63 malkekøer på Assendrup. Rangeret efter daglig ECM ydelse. (Madsen upubliceret.)

Figur 6 illustrerer, at der for dyr på vedligeholdelsesfoder, - kalve og wallabies -, er en fin sammenhæng mellem dette udtryk og andelen af foderets bruttoenergi som udskilles som CH_4 . Malkekøerne havde et højere CH_4/CO_2 forhold i udåndingsluften i forhold til andelen af energi der bliver udskilt som CH_4 . Dette kan der korrigeres for, da vore undersøgelser viser, at CH_4/CO_2 forholdet stiger med 0,004 for hver 10 kg ECM produceret, og dette er der en forklaring på. Det er netop CH_4/CO_2 forholdet der er anvendt som grundlag for de foreløbige genetiske undersøgelser, da det ikke kræver oplysninger om køernes individuelle foderoptagelse, hvilket ikke registreres i de mange praktiske besætninger som er grundlaget for avlsarbejdet.



Figur 6. Sammenhæng mellem CH_4/CO_2 forholdet udskilt luft (for og bag) hos kalve, wallabies og malkekøer og andelen af foderets bruttoenergi der udskilles som CH_4 . (Madsen og Bertelsen, 2011).

Resultater

Resultaterne af analysen af data fra KFC viser en gentagelighed for metanmålingerne mellem besøg i robot på 0,36 for Holstein og 0,38 for Jersey. Analysen af data fra Assendrup viser en arvbarhed for metanmålingerne mellem 0,29 og 0,33. Grundet det begrænsede datamateriale i denne analyse er der betragtelig usikkerhed omkring disse arvbarheder da spredningen er 0,17. Alle effekter i modellerne der er blevet anvendt til analyse af de to datasæt er signifikant forskellige fra 0, og bidrager derfor alle til de forskelle der er for metanproduktionen i de to datasæt.

Diskussion

Resultaterne er positive og giver belæg for at sige at metanproduktionen fra malkekvæg er under en form for genetisk kontrol. Arvbarheden på 0,30 er høj i forhold til forventningerne og dette tal skal genberegnes når der er mere data til rådighed. Hvis denne arvbarhed bekræftes i fremtidige studier er der bestemt mulighed for at selekttere for køer som har lavere metanproduktion uden at det reducerer ydelsen.

Arvbarheden er kun tidligere beregnet i et enkelt studie på 700 australske får. Der fandt man en arvbarhed på 0,16, som er markant lavere en arvbarheden fundet i dette studie. En af grundene til at vi finder en relativ høj arvbarhed er at vi kun har data fra en besætning i undersøgelsen. Denne besætning har et ret højt managementniveau og data fra flere besætninger vil formentlig give mere støj i beregningerne, som vil give lavere arvbarhed.

Data fra KFC giver grund til at tro at der er en raceforskel mellem Jersey og Holstein. Dette er også konklusionen af andre danske modelberegninger (Kristensen et al 2009). Dette skyldes Jersey koens effektive natur med høj koncentreret mælkeproduktion og lavt vedligeholdelsesbehov sammenlignet med den tungere Holstein ko.

Metoden som anvendes i dette forsøg er under udvikling og kan formentlig forbedres yderligere. Der er stadig mulighed for at forbedre luftudtagningen således at der opnås en bedre beskrivelse af metanproduktionen i koen. Dette vil også give en bedre genetisk analyse og dermed baggrund for at lave en genetisk rangering af dyrene som give mulighed for at selektere på baggrund af dyrenes metanproduktion.

Perspektivering

Muligheden for at lave individuelle metanregistreringer på et stort antal dyr åbner for nye muligheder og mange perspektiver. I første omgang giver det muligheden for at lave kvantitative genetiske analyser som kan beskrive den genetiske kontrol af egenskaben. Samtidig er det særdeles vigtigt at få kortlagt de genetiske sammenhænge til andre egenskaber så konsekvenserne af at selektere for lavere metanudskillelse på andre egenskaber kortlægges. En anden vigtig opgave er at bestemme den økonomiske værdi af at sænke metanudskillelsen. Det skal beregnes med udgangspunkt i hvordan fremtidens produktionsforhold ser ud. Kan man forvente en afgift på køernes metanproduktion som giver en direkte økonomisk værdi eller er der sammenhænge til fodereffektivitet som giver egenskaben en inddirekte økonomisk værdi?.

Genomisk selektion er fremtidens metode til at rangere dyr for deres genetiske niveau. I forhold til dette studie åbner de nye metoder på DNA området op for at vi kan kortlægge hvilke specifikke gener der påvirker koens metanproduktion både positivt og negativt. Denne information vil hjælpe til at lave en endnu stærkere rangering af dyrene og kan i høj grad hjælpe til en rangering af alle dyr for egenskaben.

Individuelle metanmålinger åbner for et stort tværfagligt samarbejde – både på tværs af fagdiscipliner og på tværs af rådgivning, forskning og innovation. Nogle af mulighederne ligger i daglig management på gårdniveau i forhold til fx fodereffektivitet på ko-niveau, men også mere komplekse problemstillinger som vommens genetiske bakterieprofil og dennes vekselvirkning med koens genetiske niveau for forskellige egenskaber som ydelse og sundhed.

Konklusion

Som de første i verden præsenterer vi en arvbarhed for køers metanproduktion. Arvbarheden er 0,30, hvilket er højere end forventet. Metoden vi bruger er egnet til at udføre individuelle metanmålinger i stor skala, men metoden kan og skal forbedres yderligere. Brugen af denne metode åbner for nye muligheder på en række faglige områder og giver derfor anledning til samarbejde mellem mange discipliner.

Tilkendegivelser

Projektet er finansieret af Det Frie Forskningsråd | Teknologi og Produktion. Projekt nummer 11-105913.

Referencer

- Kristensen, T., L. Mogensen, M. R. Weisbjerg, P. Lund & O. Aaes. 2009. Variation i udskillelsen af metan fra kvæg. Kvæginfo 2058.
- Madsen, J. And Bertelsen, M. F. 2011. Methane production by Bennet's wallabies (*Macropus rufogriseus*). J. Anim. Sci. Accepted.
- Robinson, D.L., J.P. Goopy, R.S. Hegarty & P.E. Vercoe. 2010. Repeatability, animal and sire variation in 1-hr methane emissions and relationship with rumen volatile fatty acid concentrations. I: Proc. 9th World Congress in Genetics Applied to Livestock. Book of Abstracts. Abstract 712.

Udledningen af klimagasser fra dyrkning, forarbejdning og transport af foder

*Lisbeth Mogensen, Troels Kristensen, Thu Lan T. Nguyen, Marie Trydeman Knudsen
Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet*

Sammen drag

Foderproduktionen er næst efter metanudledningen den mest betydende post i kvægbedriftens klimaregnskab. I denne artikel er der beregnet klimaaftryk for de foderemner, der typisk anvendes på danske kvægbedrifter. Det gælder både det foder, der dyrkes på kvægbedriften, og det der indkøbes. Klimaaftrykket fra foder er opdelt i et bidrag fra dyrkning og forarbejdning af foderet, samt et bidrag fra transport. Transportbidraget inkluderer transport lokalt i Danmark (råvarer til foderfabrikken, samt færdigfoder til landmanden) samt et bidrag fra transport til Danmark for importerede foderemner, idet der tages højde for, hvorfra vi typisk importerer de forskellige foderemner. Endelig er det forsøgt kvantificeret, hvor stort et klimabidrag fra regnskowsrydning denne foderproduktion giver anledning til. Betydningen af foderproduktionen for bedriftens samlede klimaaftryk er kvantificeret vha. scenarieberegninger, hvor der er opstillet 7 forskellige fodringsstrategier og klimabidraget herfra er beregnet.

Indledning

Klimaregnskabet fra kvægbedrifterne (Kristensen & Mogensen, 2011) viste, at i gennemsnit stammede 12% af bedriftens samlede klimagasudledning fra produktion af indkøbt foder. Hertil kommer klimagasudledning fra det hjemmeavlede foder, især i form af lattergasudledning og energiforbrug. Således er knap halvdelen af bedriftens klimagasudledning relateret til foderforsyningen. I klimaregnskabet er indkøbt foder defineret som den kombination af korn og sojaskrå, der svarer til indkøbt mængde energi (FE) og protein, og der regnes med et klimaaftryk på 506 g CO₂ ækv/kg korn og 632 g CO₂ ækv/kg sojaskrå. I dette indlæg er der udelukkende fokus på klimaaftrykket fra produktion af foder herunder betydningen af valg af foderemner for klimabidrag fra dyrkning, forarbejdning, transport, samt ændret arealanvendelse f.eks. skovrydning (LUC) som følge af foderproduktion.

Materiale og metode

Foderets klimaaftryk beregnes i et livscyklusperspektiv vha. af LCA-metoden (livscyklusanalyse). Det betyder, at klimabelastningen fra hele kæden indtil foderet er klar til udfodring på bedriften indregnes, og dermed også klimabelastningen ved at producere input som for eksempel kunstgødning og energi.

Udbytter, samt forbrug af gødning, diesel og el

Klimaaftrykket fra det hjemmeavlede konventionelle foder beregnes med udgangspunkt i det udbyttelniveau og gødningstildeling, som er givet i Plantedirektoratets normer (2010). Afgrøderne gødes med husdyrgødning op til 170 kg total N/ha, svarende til det niveau der

blev fundet på kvægbedrifter i studielandbrugene (Kristensen et al., 2011). Der er anvendt en udnyttelse af husdyrgødningen på 70%. Fra 170 kg N og op til normen gødes med kunstgødning. Ved produktion af indkøbt konventionelt korn antages samme udbyttensniveau som for det hjemmeavlede korn, men det antages, at der gødes udelukkende med kunstgødning. I det økologiske system tages der udgangspunkt i udbytter og gødskningsniveauer fra Askegaard et al. (2008). Bemærk, at de anvendte kornudbytter og gødskningsniveauer på økologiske kvægbedrifter er højere end de på de økologiske plantebedrifter. Indkøbt korn antages at blive dyrket på økologiske planteavlsbedrifter

Tabel 1. Hjemmeavlet foder: Udbytter, gødningstildeling, samt forbrug af diesel og el, angivet for hhv. konventionelle og økologiske kvægbedrifter.

		Byg	Havre	Hvede	Roer	Græs afgræs	Græs ens.	Byg ens.	Majs- ens.
		Kg/ha				FE/ha			
Udbytte	Konventionel ¹⁾	4848	4848	7410	11.005	6864	7586	5800	10.390
	Økologisk ²⁾	4100	4100	4300	8000 ³⁾	5415	5985	4100	6500
Gødning norm	Konventionel 1)								
	Kg N/ha	119	91	160	171	237	237	121	158
	Kg P/ha ¹⁾	23	26	24	35	32	32	30	45
	Kg K/ha ¹⁾	49	59	84	120	192	192	158	139
	Økologisk ²⁾								
	Kg total N/ha	116	116	116	116	116	116	116	116
Diesel, l/ha ⁴⁾	Konventionel	118	118	132	210	28	102	176	207
	Økologisk	118	118	132	190	28	84	149	182
El til vanding ⁵⁾ , kwh/ha	Konv./økologisk	17	17	17	185	378	378	194	34

1) Plantedirektoratets normer, 2010 (86% sandjord og 14% lerjord antaget). Græsudbyttet er korrigeret 5% op for ensilage og 5% ned for afgræsset. Udbyttet i byghelsed er sat til 120% af udbytte i byg til modenhed (ekskl. udbytte i udlæg, som er medregnet under græs)

2) Askegaard 2008

3) Økologiske afgrødekalkuler, gns af JB1-3 og 5-6

4) Modifieret efter Dalgaard et al. (2006) samt Dalgaard et al. (2002).

5) Samme niveau antaget på konventionelle og økologiske bedrifter.

De anvendte niveauer for udbytter og gødningstildeling (tabel 1) passer fint med, hvad der er fundet på konventionelle kvægbedrifter (Kristensen et al, 2011), hvor der i gennemsnit blev tildelt 68 kg N/ha fra kunstgødning og 168 kg total N/ha fra husdyrgødning, og det gennemsnitlige udbytte var 6400 FE/ha (hvor ha er inkl. 6% vedvarende græs). Det anvendte udbyttensniveau på de økologiske bedrifter ligger ca. 8% højere end de 4700 FE/ha (incl. vedv.) Kristensen et al (2011) fandt på studielandbrugene, mens tildeling af husdyrgødning er på niveau med de 130 kg total N/ha incl. vedvarende arealer.

Klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning

En stor del af klimabelastningen fra dyrkning af foder stammer fra udledning af lattergas (N₂O) i forbindelse med tildeling af gødning og fra afgrøderester. Derudover er der et indirekte lattergas bidrag i forbindelse med udvaskning og ammoniakfordampning. Endelig kommer en del af klimaaftrykket fra produktion af indsatsfaktorer som diesel, el og kunst-

gødning. De emissionsfaktorer, der er anvendt ved beregning af klimaaftryk for danskproduceret foder ses i tabel 2. Ved den valgte metode er udledning fra husdyrgødning indtil udbringning ikke medtaget, idet det medregnes under mælkeproduktionen.

Table 2. Emissionsfaktorer anvendt til danskproduceret foder.

Lattergas (N ₂ O)	Udbringning af	Kg N i husdyrgødning ab lager	Factor	Kilde
	- gylle		0.01	1)
	- dybstrøelse		0.01	
	- afsat på græs ⁵⁾		0.02	
	Kunstgødning	N import	0.01	
	Afgrøderester, kg N pr ha pr år	Konv. Græs, 2 årig 60 N Øko, græs 3 årig 47 N Majs 25 N Andre 1 årige afgrøder 28 N	0.01	1) + 2)
Ammoniak (NH ₃ -N)	Udbringning af	Kg N i husdyrgødning ab lager		2)
	- gylle		0.12	
	- dybstrøelse		0.06	
	- afsat på græs ⁵⁾		0.07	
	Kunstgødning	N import	0.022	2)
	Afgrøderester	Græs Andre afgrøder	0.5 kg / ha 2.0 kg / ha	3)
N ₂ O, kg Indirekte	Fra NH ₃	NH ₃ -N	0.01	1)
	Fra udvaskning	N ₀₃ -N=0.33*(N tilført)	0.0075	4) + 1)
Input	N i kunstgødning P i kunstgødning K i kunstgødning Såsåed Diesel El	4,4 kg CO ₂ /kg N ⁶⁾ 2,7 kg CO ₂ /kg P 0,8 kg CO ₂ /kg K 0,4 kg CO ₂ /kg 3,3 kg CO ₂ /l 0,66 kg CO ₂ /kwh		

1) IPCC, 2006

2) Mikkelsen et al., 2006

3) Gyldenkerne & Albrechtsen, 2008

4) Nielsen et al., 2009

5) N afsat på græs beregnes ud fra andel af FE fra græs

6) Gennemsnit for N-gødning, der anvendes i DK (Elsgaard, 2010): 60% af gødningen er import fra Yara, det er produceret med ny katalysator teknik, der giver mindre N₂O udledning under fremstillingen, og 40% af gødningen er import fra Baltikum etc

Bidrag fra transport

Transport af foder bidrager til foderproduktionens samlede klimaaftryk. Det betyder noget dels, hvor langt foderet transporteres og i endnu højere grad, hvordan foderet transporteres. Som det ses af tabel 3 er klimabelastningen langt større, når varer transporteres med lastbil i stedet for med fragtskib. I beregningerne af klimabidraget fra transport af foder, er transport delt op i 3 bidrag:

A: For importerede varer, er der dels transport i udlandet og dels transport til Danmark

B: Transport af råvarer til foderfabrikken

C: Transport af foderet ud til landmændene.

Klimabidraget fra transport af importeret foder er vist i tabel 4. Mht. transport af foder ud til landmændene findes 95% af alle danske malkekøer i Nordjylland, Sønderjylland og Midtjylland (Statistikbanken.dk). I nærværende beregninger er det dog antaget at 100% af køerne findes i Jylland, således at 24% af malkekøerne er opstaldet i Nordjylland (her antaget som Brønderslev), 31% i Midtjylland (her antaget som Viborg) og 44% i Syddjylland (her antaget som Ribe).

Tabel 3. Emission af CO₂ fra transport afhængig af transportform (ETH data).

Transportform	CO ₂ -ækv, g per tkm ¹⁾	Fyldningsgrad, % ²⁾
Skib, container-	9	50
Lastbil, 40 t	150	40
Lastbil, 28 t	227	40
Lastbil, 16 t	375	40
Tog, fragt-	40	50
Fly	1080	-

1) tkm = antal km som 1 ton varer transporteres

2) Antagelse vedr. 'fyldningsgrad': 40% effektivitet tolkes som lastbilen er 80% fyldt på udturen og tom på hjemturen

Tabel 4. Afstande til lande, hvorfra der importeres foder og CO₂ bidrag fra denne transport til DK.

Land	Km	Transportform	Bidrag til CO ₂ , g	I alt CO ₂ , g/kg vare
Tyskland	765	Lastbil a 40 t		115
Ukraine	1958	Lastbil a 40 t		294
Holland	785	Lastbil a 40 t		118
Rusland	2395	Lastbil a 40 t		359
Italien	2031	Lastbil a 40 t		305
Malaysia	16. 570 + 785	Skib + Lastbil a 40 t	149+118	267
Sydamerika	10.040 + (320+834)	Skib +Lastbil a 40 t	90 + 173	263
Kina	20.044 + (400+834)	Skib +Lastbil a 40 t	180+185	366
Sverige	98 +611	Skib +Lastbil a 40 t	1+92	93

Bidrag fra ændret arealanvendelse f.eks. skovrydning (LUC)

Skoven spiller en meget vigtig rolle i det globale kulstofkredsløb og i hele klimadebatten, da skoven binder 80% af al den kulstof, der er bundet i landjordens økosystemer. Den største trussel mod skovene og deres kulstoflager er ændringer i arealanvendelsen og afskovning, især i troperne. Ændring i arealanvendelsen og afskovning (LUC) bidrager med omkring 18% af de globale drivhusgasudledninger (Stern et al., 2006), men tallet er meget usikkert og estimaterne for udledningen herfra går fra 2,9 til 8,6 Mt CO₂ (Bl.a. Baumert et al., 2005). Langt det største bidrag kommer fra skovrydning, og ifølge FAO (2007) er 58% af denne skovrydning drevet af landbrugsproduktionen. Men spørgsmålet om landbrugets rolle som hovedårsag er kompleks, da der er andre årsager så som bygning af veje og byer, samt skovning. I dette indlæg er medtaget to af de metoder, der pt. anvendes til at forsøge at medregne klimabidraget fra skovrydning i landbrugsprodukternes samlede klimabidrag:

Metode 1 følger vejledningen fra PAS2050 (BSI, 2008), hvor LUC indregnes for foderemner dyrket i lande, hvor der pt. sker skovrydning f.eks. sojaskrå fra Sydamerika og palmeolie fra Malaysia og Indonesien. (NB metoden opdateres pt.). F.eks. beregnes et klimabidrag fra regnskovsrydning forårsaget af sojaproduktionen i Brasilien på 7,7 kg CO₂/kg sojaskrå. Dette klimabidrag er beregnet ud fra hvor meget regnskov, der ryddes i alt og en antagelse om, at der frigives i alt 740 ton CO₂/ha regnskov svarende til en årlig udledning på 37.000 kg CO₂/ha i et 20 årigt perspektiv. De 7,7 kg CO₂/kg sojaskrå er et gennemsnitlig tillæg for LUC fra al sojaskrå fra Brasilien (dvs. gns. for det der kommer fra nyrøddede arealer, og det der er dyrket, hvor der ikke for nylig er sket skovrydning). Tilsvarende kan der beregnes et bidrag fra LUC fra sojaskrå fra Argentina på 0,93 kg CO₂/kg sojaskrå. Når tallet er mindre i Argentina skyldes det bl.a., at kun 22% af nye arealer med soja i Argentina kommer fra regnskovsrydning. Med metode 1 bliver det anvendte klimabidrag fra regnskovsrydning fra sojaproduktion afhængig af, hvor man importerer fra. I perioden 2006-2008 importerede Danmark 73% sojaskrå fra Argentina og 17% fra Brasilien, hvorfor der anvendes et gennemsnitlig klimabidrag fra regnskovsrydning på 2,0 kg CO₂/kg sojaskrå fra Sydamerika. Tilsvarende beregnes LUC for konventionel palmeolie, der importeres fra Malaysia/Indonesien.

I **metode 2** (Audsley et al., 2009) antages al arealanvendelse at medføre pres på verdens begrænsede ressource – areal, og dermed er alle dyrkede afgrøder ansvarlig for, at der sker skovrydning et eller andet sted i verden. Argumentet er, at det globale fødevarer-system er forbundet og derfor må LUC regnes med som en indirekte effekt. Øget efterspørgsel efter fødevarer har givet øget produktion af fødevarer. I de sidste 50 år er den øgede produktion især opnået ved udbyttetigning frem for arealudvidelse, men da udbyttetigningen ikke kan følge med den stigende efterspørgsel som følge af befolkningstilvæksten forventes større pres på areal og LUC i fremtiden.

I metode 2 beregnes det generelle bidrag fra LUC vha. trin 1 til 4:

Trin 1. Estimat for total LUC emissions per år: Der er stor usikkerhed på tallet, men her er anvendt 8.5 GtCO₂/år (Barker et al., 2007).

Trin 2. Estimat for andel af LUC, der skyldes landbrugsproduktion: 58% af LUC.

Trin 3. Estimat for det samlede landbrugsareal i verden: 3,475 Mha.

Trin 4. Det giver en gennemsnitlig LUC emissions faktor på 1.43 tCO₂e/ha landbrugsareal. I metode 2 fordeles det totale bidrag til LUC fra landbrugsproduktionen til de forskellige afgrøder/fødevarer ud fra det gns. arealbehov per produceret enhed med 143 g per m² anvendt til produktionen. I tabel 5 er vist arealbehovet til forskellige foderemner.

Resultater

Indkøbt foder

I tabel 5 og 6 er vist klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning (tabel 5) samt fra transport (tabel 6) per kg indkøbt konventionelt foder.

Det er antaget, at indkøbt korn er dansk, da der ifølge Danmarks statistik stort set er balance mht. korn import og eksport.

Foderemner som rapskage, sojaskrå, sojaskaller, melasse, roepiller og kartoffelpulp er alle biprodukter fra produktion af hhv. rapsfrø, sojabønner, sukkerroer og kartofler. Her bliver klimabidraget fra dyrkning, forarbejdning, samt transport til foderfabrikken fordelt mellem hovedprodukt og biprodukt ud af den økonomiske værdi af de 2 produkter. For eksempel ved dyrkning af rapsfrø, fordeles klimabelastningen med hhv. 76% til olie og 24% til rapskage. Tilsvarende økonomisk fordeling af den samlede klimabelastning er sket for de øvrige biprodukter. Det beregnede klimaaftryk for melasse og roepiller er et skøn baseret på svenske data for produktion af sukkerroeaffald.

Biprodukterne kartoffelpulp, melasse og sojaskaller har alle et klimaaftryk fra dyrkning og forarbejdning under 150 g CO₂/kg, hvilket især skyldes, at størstedelen af klimabelastningen fordeles til hovedproduktet. Mens grønpiller og roepiller er de foderemner, der har det største klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning, især pga. et stort energiforbrug til forarbejdning.

I de videre beregninger er klimabidraget fra dyrkning og forarbejdning baseret på et enkelt produktionsland per foderemner. F.eks. er det for al rapskage baseret på danske produktionsbetingelser, selv om det fremgår af tabel 6, at 53% af de rapskager, der anvendes i Danmark stammer fra Tyskland. Ideelt set skulle der laves tilsvarende beregninger for rapskage fra raps dyrket i Tyskland.

Tabel 5. Klimaaftryk for indkøbt konventionelt foder: produktionsland, klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning, g CO₂/kg foder.

FMK	Foderemner	Land	Klimabidrag, g CO ₂ /kg			Areal, m ² /kg
			Dyrkning	Forarbejdning	I alt	
201	Byg ¹⁾	DK	414	9	423	2,06
202	Havre ¹⁾	DK	347	9	356	2,06
203	Hvede ¹⁾	DK	330	9	339	1,35
707	Grønpiller ²⁾	DK	500	658	1158	1,27
144	Rapskage ³⁾	DK	276	25	302	1,10
154	Sojaskrå ⁴⁾	Brasilien	321	34	356	1,60
290	Sojaskaller ⁵⁾	Brasilien	133	14	147	0,66
273	Kart. Pulp. ⁶⁾	DK	23	4	27	0,03
277	Melasse ⁷⁾	DK	97	33	130	0,33
283	Roepiller ⁸⁾	DK	168	399	567	0,59
345	Palmefedt ⁹⁾	Malaysia	519	0	519	1,70
839	Kraftfoder ¹⁰⁾	Blandet	293	141	434	1,37

1-10) For noter til dokumentation af klimabidragene henvises til Appendix: Noter til tabel 5

Tabel 6. Klimaaftryk fra transport af indkøbt konventionelt foder – samt oprindelsesland for det foder der anvendes i Danmark.

Foder	Land	Transport: afstand og form (L=lastbil, S=fragtskib, T = tog)			Klimabidrag, g CO ₂ /kg foder			I alt
		A: I udlandet og til DK	B: Til foderstof i Dk	C: Til landmand	A	B	C	
Byg	Dk	0	25 km L (12t)	25 km L (28t)	0	9	6	15
Havre	Dk	0	25 km L (12t)	25 km L (28t)	0	9	6	15
Hvede	Dk	0	25 km L (12t)	25 km L (28t)	0	9	6	15
Grønpiller ¹⁾	Dk antaget	0	21 km L (30t)	134 km L (28t)	0	24	30	54
Rapskage ²⁾	Dk 47% Tyskland 53%	DK: - TY: 765 km L (40t)	DK (rapsfrø): 25% 59 km L 50% 244 km L 25% 765 km L	DK: 168 km L (28t) Ty: 121 km (fra Århus)	61	9	34	104
Sojaskrå ³⁾	Argentina 73% Brasilien 27%	AR: lokalt + 1000 km T 11.744 km S 834 km L		121 km L (28t)	342	0	27	369
Sojaskaller ⁴⁾	Argentina 73% Brasilien 27%	263			296	0	27	323
Kart. Pulp. ⁵⁾	Dk antaget	0	61 km L (16t)	63 km L (28t)	0	3	14	17
Melasse	Rusland 50% Tyskland 50%	RU: L (40t) TY: L (40t)			237	0	27	264
Roepiller ⁶⁾	Dk 50% USA 25% Rusland 25%	USA: 9373 km S + 834 km L Ru: 2395 km L	40 km L (16t)	DK: 158 km S + 121 km L (28t)	155	15	28	198
Palmefedt	Malaysia	Lokalt + 16.570 km S+ 785 km L			365	0	27	392
Kraftfoder ⁷⁾	Blandet					168	27	195

- Der er 3 løntørrerier i Dk, alle laver både konv og øko grønpiller, NB der hentes 5 kg græs/1 kg grønpiller
- Der er 4 rapsmøller i DK, men møllen i Dronninglund antages at levere alle danske rapskager. 25% af frøene til møllen kommer fra landmænd i Nordjylland/Himmerland, 50% fra hele landet, og 25% importeres (fra Tyskland antaget). Transport af frø til møllen fordeles med 76% af belastning til olie og 24% til rapskage.
- Fra Brasilien: 320 km lastbil transport i Brasilien, 10.040 kg skib, 834 km fra Rotterdam til Århus = 260 g CO₂ + 79 g CO₂/kg sojaskrå fra transport til sojamøllen i Brasilien (Knudsen, 2011).
- Som for sojaskrå. Dog fordels bidrag fra lokal transport af sojabønner til sojafabrikken ved økonomisk allokering (Skaller 1% af økonomisk værdi og 3 % af massen)
- B: Fordeling af bidrag fra transport af kartofler til fabrikken (2% til pulp)(4,5 kg kartofler giver 1 kg mel og 0,73 kg pulp)
C: Kartoffelmelsfabrikken i Toftlund antages at levere til det sønderjyske, mens den i Karup antages at levere til Midt- og Nordjylland
- Danske fra sukkerroefabrikkerne i Nakskov og Nykøbing (Sejles til Jylland (Århus) og herfra lastbil til landmænd
- A og B lagt sammen

I tabel 7 og 8 er vist klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning (tabel 7) samt fra transport (tabel 8) per kg indkøbt økologisk foder. For de fleste foderemner er klimaaftrykket lavere for de økologiske end for de tilsvarende konventionelle foderemner: For rapskage og byg er det ca. 20% lavere, og for grønpiller, sojaskrå og kraftfoder er det ca. 10% lavere, mens der for havre og hvede ikke er forskel.

Tabel 7. Klimaaftryk for indkøbt økologisk foder: produktionsland, klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning, g CO₂/kg foder.

FMK	Foderemner	Land	Klimabidrag, g CO ₂ /kg			Areal, m ² /kg
			Dyrkning	Forarbejdning	I alt	
201	Byg ¹⁾	DK	341	9	350	3,13
202	Havre ¹⁾	DK	344	9	353	3,13
203	Hvede ¹⁾	DK	322	9	331	2,78
707	Grønpiller ²⁾	DK	361	658	1019	1,71
144	Rapskage ³⁾	DK	209	25	235	2,12
154	Sojaskrå ⁴⁾	Brasilien	291	34	326	1,60
839	Kraftfoder ⁵⁾	Blandet	292	99	391	2,53

1-10) For noter til dokumentation af klimabidragene henvises til Appendix : Noter til Tabel 7

Tabel 8. Klimaaftryk fra transport af indkøbt økologisk foder – samt oprindelsesland.

Foder	Land	Transport: afstand og form (L=lastbil, S=fragtskib, T = tog)			Klimabidrag, g CO ₂ /kg foder		
		A: I udlandet og til DK	B: Til foderstof i Dk	C: Til landmand	A	B	C
Byg ¹⁾	Dk	0	25 km L (12t)	25 km L (28t)	0	9	15
Havre ¹⁾	Dk	0	25 km L (12t)	25 km L (28t)	0	9	15
Hvede ¹⁾	Dk	0	25 km L (12t)	25 km L (28t)	0	9	15
Grønpiller ¹⁾	Dk antaget	0	21 km L (30t)	134 km L (28t)	0	24	54
Rapskage ²⁾	Dk 25% Tyskland 15% Italien 60%	DK: - TY: 765 km L I: 2031 km L	DK: 244 km L	DK: 168 km L (28t) Øvr: 121 km L	210	5	30
Sojaskrå ³⁾	Kina 17% Italien 83%	Kina: 20.044 km S + 1234 km L IT: 2031 km L		121 km L	394	0	27
Kraftfoder ⁴⁾	Blandet				115	0	27

1) Ligesom for konventionel korn og grønpiller (se tabel 6)

2) Møllen i Dronninglund antages at levere alle danske rapskager. Importerede rapskager kommer via Århus.

3) Økologiske sojabønner antages at komme til Århus (med lastbil fra Italien og Skib fra Kina) og videreføres direkte ud til landmændene.

4) A og B lagt sammen

Hjemmeavlet foder

I tabel 9 er vist de beregnede klimaaftryk for det hjemmeavlede korn og grovfoder på afgrødeniveau på konventionelle og økologiske kvægbedrifter ud fra produktionen beskrevet i tabel 1. Sammenlignes klimaaftrykket for økologiske og konventionelle hjemmeavlede afgrøder, ses at havre, hvede, samt både byg- og majselsæd har højere (7-17%) klimaaftryk

på de økologiske bedrifter, mens græs har et betydeligt lavere klimaaftryk på de økologiske bedrifter.

Tabel 9. Klimaaftryk af hjemmeavlet foder fra hhv. konventionelle og økologiske kvægbedrifter

KONVENTIONEL	Byg	Havre	Hvede	Roer	Græs Afgræs.	Græs ens.	Byg ens.	Majs Ens	Gns ²⁾
Udbytte, FE/ha	4574	3758	7639	11005	6864	7586	5800	10390	6900 ⁴⁾
Husdyrgødning, kg total N/ha	170	130	170	170	184 ¹⁾	170	170	170	175 ³⁾
Kunstgødning, kg N/ha	0	0	41	52	102	118	2	39	65 ³⁾
Brutto N, kg i alt/ha	170	130	211	222	286	288	172	209	240 ³⁾
Klimaaftryk, CO ₂ g/kg hhv kg TS	359	309	301	234	425 ³⁾	389	254	210	
ØKOLOGISK									
Udbytte, FE/ha	3868	3178	4433	8000	5415	5985	4100	6500	5300 ⁶⁾
Husdyrgødning, kg total N/ha	130	130	130	130	145 ¹⁾	130	130	130	135 ⁷⁾
Klimaaftryk, CO ₂ g/kg hhv. kg TS	358	358	353	213	287 ³⁾	252	291	224	

1) Afsat under afgræsning

2) Baseret på et sædskifte med 30% græsensilage, 16% afgræsset, 22% byg til modenhed og 16% til helsæd samt 16% majsensilage

3) Når gødning afsættes under afgræsning er der en større lattergasemission per kg N sammenlignet med den fra gylle, der spredes på græsmarken (hhv. 0,02 og 0,01 kg N₂O-N/kg N), omvendt er metan emissionen fra gødning, der afsættes under afgræsning meget mindre end metan emissionen per kg N, der opbevares i gyllebeholder og senere spredes på græsmarken. I klimaaftrykket fra 'afgræsset græs' er der i lattergasemissionen korrigeret for den lavere metanemission fra 'gødningslagre' (nedjusteret 44%). Bortset fra frisk græs indregnes metan emission fra gødningslagre under kvægbedriften (dvs. tilfalder mælkeproduktionen).

Fodringsstrategi på bedriften og betydning heraf for klimabelastningen

I det følgende er der opstillet 7 forskellige fodringsstrategier til besætninger med 100 køer og 100 kvier. Det eneste, der varierer, er køernes fodring (tabel 10). Alle fodringsstrategier opfylder malkekoens krav til energi, fylde og protein. Der er antaget samme foder- og ydelsesniveau i alle strategier (hhv. 6600 FE og 9000 kg EKM per årsko). I de tre første strategier indgår forskellige andele af majs og græsensilage. I den 'lokale' og 'import' strategien er der samme grovfodersammensætning som i 'majs' strategien, men tilskudsfoderet er udelukkende dansk i den 'lokale' strategi, og består af importeret korn (Rusland) og sojaskrå (Sydamerika) i 'import' strategien. Strategierne 'konventionel' og 'økologisk' afspejler den gennemsnitlige sammensætning af kofoderet på hhv. de 21 konventionelle og 6 økologiske gårde i projektet 'Klimavenlig mælkeproduktion' (2009-2010).

Kvierne fodres på samme måde i alle strategier. En årskvie får 1835 FE eller 2224 kg tørstof, heraf er 44% grovfoder, 20% frisk græs, 13% kraftfoder, 10% halm, 8% korn, 3% bi-produkter og 1% mælkeerstatning.

Tabel 10. Fodring af kørerne i de forskellige strategier, FE/årsko.

Strategi	<i>Alsidig</i>	<i>Majsens.</i>	<i>Græsens.</i>	<i>Lokal</i>	<i>Import</i>	<i>Konv.</i>	<i>Øko.</i>
Grovfoder							
Afgræsset	400	0	0	0	0	28	751
Græs ens.	1500	900	2800	900	900	1403	2342
Majs ens.	1000	2800	0	2800	2800	2585	1095
Byghelsæd	450	0	800	0	0	100	159
Halm	25	25	15	25	25	34	29
Konc. Foder							
Kraftfoder	0	0	0	0	0	730	1174
Byg/havre/hvede	775	200	900	200	200	273	849
Rapskage	1400	800	1150	1800	0	758	49
Sojaskrå	0	1000	0	0	1800	389	0
Roepiller	1050	875	935	875	875	148	0
Grønpiller	0	0	0	0	0	0	160
Andet ¹⁾	0	0	0	0	0	153	0
FE i alt	6600	6600	6600	6600	6600	6600	6608
Råprot/FE, g	172	173	178	160	184	169	179

1) Fedt, kartoffelpulp, roer. melasse

I tabel 11 er vist arealanvendelsen på bedriften og arealforbrug til importeret foder i de forskellige strategier. Der er det største arealforbrug i strategierne: 'alsidig', 'græsensilage' og 'økologisk'. Disse strategier er kendetegnet ved at grovfoderet består af en høj andel af græs frem for majs, og græsudbytteerne er lavere end majsudbytteerne. Endvidere består det koncentrerede foder i disse strategier af en større andel korn, hvortil der er et større arealforbrug sammenlignet med arealforbruget til produktion af biprodukterne rapskage, sojaskrå og roepiller. Når arealforbruget til biprodukterne er forholdsvis lavt skyldes det, at der er sket en økonomisk fordeling af det samlede areal, hvor størstedelen af arealforbruget tilfalder hovedproduktet. Endvidere er udbytte-niveauet generelt lavere i det økologiske system, hvorfor denne strategi har et arealforbrug, der er 57% større end den 'alsidige' konventionelle strategi.

Endvidere er der i tabel 11 vist, hvor meget gødning, der hhv. afsættes under afgræsning og udbringes. I alle strategier er der overskud af husdyrgødning, som sælges og systemet godskrives for en klimabelastning svarende til den, det ville koste at producere samme mængde plantetilgængeligt kvælstof som kunstgødning.

Tabel 11. Areal- og husdyrgødningsanvendelse i de forskellige strategier.

	<i>Alsidig</i>	<i>Majsens.</i>	<i>Græsens.</i>	<i>Lokal</i>	<i>Import</i>	<i>Konv.</i>	<i>Øko.</i>
Areal, ha							
Græs afgræs.	12,0	6,2	6,2	6,2	6,2	6,5	21,7
Græs ens.	22,9	15,0	40,0	15,0	15,0	21,6	43,1
Majs ens.	11,9	29,2	2,3	29,2	29,2	27,0	20,5
Byghelsæd	11,8	4,1	17,9	4,1	4,1	5,8	9,7
Korn	16,9	4,4	19,7	4,4	0	6,0	22,0
Bedriften i alt	75,6	58,9	86,1	58,9	54,5	67,4	117,1
Import	30,6	36,2	27,1	33,6	42,7	33,1	49,3
Areal i alt	106,2	95,1	113,2	92,4	97,2	100,5	166,4
Græsareal ¹⁾	34,9	21,2	46,2	21,2	21,2	28,1	69,5
Husdyrgødn, kg total N							
Afsat på græs	1882	1065	1065	1065	1065	1117	2676
Udbragt	10.951	8.962	13.585	8962	8219	12.425	12.443
Solgt	4109	7009	2866	5692	8796	5139	2485

1) Incl. grønpilleareal på de økologiske bedrifter

I tabel 12 er vist betydningen af fodringsstrategi for klimaafttrykket fra bedriftens samlede foderproduktion, herunder bidrag fra dyrkning, forarbejdning, transport, samt evt. bidrag fra den skovrydning, som foderproduktionen har forårsaget (LUC). Ser man på det samlede klimabidrag fra bedriftens foderproduktion (dyrkning, forarbejdning, transport) før der korrigeres for LUC, er det den 'lokale' strategi, samt de gennemsnitlige 'konventionelle' og 'økologiske' strategier, der har det mindste klimabidrag. Generelt er klimagasudledningen fra dyrkning og forarbejdning lavere i strategierne med meget majsensilage (Majsens, Lokal, Import, Konv.) sammenlignet med strategien baseret på høj andel græsensilage, især pga. lavere klimaafttryk fra majs- sammenlignet med græsensilage. Den 'økologiske' strategi har et lavt klimaafttryk fra bedriftens foderproduktion på trods af en stor andel græs. I 'majsens.' og 'import' strategierne er der en større andel importeret foder, og dermed et større bidrag fra transport. Beregner man det samlede klimabidraget fra bedriftens foderproduktion pr kg EKM, varierer det fra 350 g CO₂/kg EKM i den 'lokale' strategi til 444 g CO₂/kg EKM i 'græsensilage' strategien. Dette skal sammenholdes med, at Kristensen et al (2011) fandt et klimaafttryk på i gennemsnit 1147 g CO₂/kg EKM, når kvægbedriftens samlede klimagasudledning divideres med den samlede mælkeproduktion.

I klimaregnskabet fra gårdene i projekt 'Klimavenlig mælkeproduktion' (Kristensen & Mogenssen, 2011) er der ikke indregnet noget bidrag fra den regnskovsrydning (LUC), som foderproduktionen evt. måtte forårsage. I tabel 12 er bidraget fra LUC kvantificeret vha. de 2 forskellige metoder, hvilket giver forskellige påvirkning af klimabidraget afhængig af strategien for foderforsyning.

Med metode 1 (PAS2050) indregnes LUC for foderemner, der er dyrket i lande, hvor der pt. sker skovrydning, dvs. for sojaskrå fra Sydamerika og palmeolie (indgår med 1,5% i den

konventionelle kraftfoderblanding). Herved kommer der et betydeligt bidrag fra LUC i strategierne 'import', 'majsensilage' og 'konventionel', der anvender betydelig mængder af sojaskrå. I de øvrige strategier er et mindre LUC bidrag fra den sojaskrå og palmefedt, der indgår i det konventionelle kraftfoder, der anvendes til kvierne. I 'import' strategien sker der næsten en fordobling (+78%) af klimabidraget fra foderproduktion pga. LUC fra sojaskrå, mens stigning er hhv. 48 og 29% i 'majsensilage' og 'konventionelle' strategi. Den 'økologiske' strategi er den eneste helt uden LUC bidrag, hvilket skyldes, at de økologiske sojabønner, der indgår i det økologiske kraftfoder importeres fra Italien og Kina, hvor der ikke sker regnskopsrydning.

Med metode 2 indregnes LUC fra de forskellige afgrøder ud fra det gennemsnitlige arealbehov per produceret enhed. Herved er det strategierne med det største arealforbrug (se tabel 11), der får det største LUC bidrag. I den 'økologiske' strategi er der det største arealforbrug, og dermed det største LUC bidrag, hvorved klimaaftrykket fra foderproduktionen øges med 70%. For 'græsensilage' og den 'alsidige' strategi sker der en 41% stigning i klimaaftryk fra foderproduktion pga. LUC.

Uanset hvilken metode, der anvendes til LUC beregning har den 'lokale' strategi det laveste klimabidrag fra foderproduktionen. Den 'økologiske' strategi ligger til gengæld 2. lavest, når LUC(PAS2050) anvendes, men højst når LUC(areal) metoden anvendes.

Tabel 12. Betydning af fodringsstrategi for klimaaftryk fra bedriftens samlede Foderproduktion, herunder dyrkning, forarbejdning, transport, og LUC, kg CO₂/bedrift/år .

Strategi	Alsidig	Maj-sens.	Græ-sens.	Lokal	Import	Konv.	Øko.
Hjemmeavlet (% af FE)	62	60	67	60	57	66	75
Dansk foder (% af FE)	82	75	84	97	70	80	93
Bidrag til klimaaftryk, kg CO ₂ /bedrift/år							
1. Dyrkning	277.929	259.391	313.740	259.292	260.800	275.422	269.701
2. Forarbejdning	55.881	48.875	50.261	48.464	49.200	25.039	34.096
3. Transport i alt	44.471	64.914	39.435	19.046	96.926	45.391	31.702
- Transport til DK (A)	26.208	47.736	22.754	0	80.929	18.913	990
- Transport i DK (B)	8.955	8.147	8.546	9001	7653	18.773	25.187
- Transport til landmand (C)	9.308	9.031	8.135	10.045	8.344	7.705	5.525
4a. LUC PAS 2050	10.383	170.299	10.383	10.383	298.115	97.107	0
4b. LUC areal	151.806	136.016	161.932	132.186	139.049	143.658	233.176
Klimaaftryk i alt ¹⁾	370.973 (100)	357.231 (96)	399.709 (108)	314.910 (85)	385.475 (104)	335.830 (91)	333.697 (90)
Klimaaftryk i alt incl. LUC PAS 2050 ²⁾	381.356 (100)	527.530 (138)	410.092 (108)	325.293 (85)	683.590 (179)	432.937 (114)	333.697 (88)
Klimaaftryk i alt incl. LUC areal ³⁾	522.779 (100)	493.247 (94)	561.641 (107)	447.096 (86)	524.524 (100)	479.488 (92)	566.873 (108)
Klimaaftryk i alt, g CO ₂ /kg EKM ⁴⁾	412	397	444	350	428	373	371
Klimaaftryk i alt incl. LUC PAS 2050, g CO ₂ /kg EKM ⁴⁾	424	586	456	361	760	481	371
Klimaaftryk i alt incl. LUC areal, g CO ₂ /kg EKM ⁴⁾	581	548	624	497	583	533	630

- 1) 1+2+3 samt korrigeret for reduceret klimaaftryk som følge af salg af husdyrgødning (se tabel 11) og tillagt klimabidrag fra energiforbrug til udfodring, excl bidrag fra LUC
- 2) Klimaaftryk i alt + 4a
- 3) Klimaaftryk i alt + 4b
- 4) I alle systemer er der 100 køer med 9000 kg EKM, så alle tal i tabellen kan omregnes fra bedriftsniveau til pr kg EKM ved at dividere med 900.000

Diskussion og perspektiver

Når man ser på klimaaftrykket fra de enkelte foderemner, er der en betydelig variation i udledningen af klimagasser pr kg foder. De mest markante forskelle skyldes forskelle i bidrag fra transport og forarbejdning, mens der er mindre forskel i bidrag fra dyrkningen.

Når der ses på den samlede foderforsyning var der i de 7 markant forskellige strategier en mindre, men dog stadigvæk betydende forskel på det samlede klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning af foderet, fra 334 til 404 g CO₂/kg EKM, svarende til, at der var ca. 20% højere klimagasudledning fra foderproduktionen i strategien med meget græsensilage sammenlignet med strategierne baseret på høj andel majsensilage.

I de 7 strategier varierer klimabidraget fra transport fra 21 g CO₂/kg EKM i den 'lokale' strategi til 108 g CO₂/kg EKM i 'import' strategien, hvor hhv. 3 og 30% af foderet er importeret. I begge strategier er ca. 60% af foderet dyrket på bedriften. Det vil således på bedriften med en stor andel importeret foder være muligt at reducere klimabidraget fra mælkeproduktionen med ca. 8% ved at anvende lokalt foder i stedet. Men selvom der importeres foder, vil klimabidraget fra foderproduktionen kunne reduceres, hvis der anvendes en mere klimavenlig transport form til det importerede foder, som tog eller skib frem for lastbil. En vigtig forudsætning er dog, at klimaaftrykket fra dyrkningen af det lokale foder ikke er større end den fra det importere foder. Hvilket gælder når man f.eks. sammenligner rapskage og sojaskrå, hvor der er et klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning på hhv. 302 og 356 g CO₂/kg.

Ved anvendelse af de udledte klimaaftryk for enkeltfodermidler til at beskrive den forventede udledning ved forskellige strategier for foderforsyning er disse klimaaftryk for de enkelte fodermidler kun i et vist omfang additive, og derudover kan der være afledte effekter, der har betydning, når der ses på hele besætningen eller bedriftens udledning af drivhusgasser. Eksempler på dette er kort omtalt nedenstående.

En betydende del af bedriftens samlede klimagasudledning kommer som nævnt fra foderproduktionen, men det største enkeltbidrag er relateret til metanudledningen fra foderomsætningen. Johannes et al. (2011) viser, at køernes metanudledning er mindre, når der indgår majsensilage frem for græsensilage i grovfoderet. Således taler de fundne resultater for klimagasudledning fra såvel foderproduktion som metan fra fordøjelsen for at øge andelen af majs og reducere andelen af græsensilagen i rationen. Men billedet er dog lidt mere komplekst, da de anvendte forudsætninger for beregning af klimaaftryk fra produktion af grovfoder, netop forudsætter et alsidigt sædskifte med en betydelig andel græs i sædskiftet. Forudsætningerne omkring udbytte og gødningstilførsel holder sandsynligvis ikke, hvis forholdet mellem græs og majs ændres betydeligt. Der kan derfor være forhold knyttet til dyrkning af den samlede foderration så som indpasning af afgrøderne i et sædskifte, herunder andel af husdyrgødning, der kan bevirke, at det faktiske klimaaftryk afviger fra summen af de enkelte fodermidlers klimaaftryk.

Hertil kommer, at der på bedriftsniveau også bør tages hensyn til klimaaftrykket fra ændringer i jordens kulstofpulje, hvor produktive græsmarker antages at binde kulstof i jorden (dvs. reducerer klimaaftrykket), mens majs og kornafgrøder vil forårsage, at der frigives kulstof fra jorden (dvs. klimaaftrykket øges). Det reelle omfang af ændring i jordens kulstof indhold vil være afhængig af det konkrete sædskifte, herunder andel af flerårige græsmarker, brug af husdyrgødning (især dybstrøelse), brug af efterafgrøder og nedmuldning af afgrøderester, hvorfor dette klimabidrag kun med stor usikkerhed kan knyttes til det enkelte fodermiddel.

Som vist giver indregning af bidrag fra regnskovsrydning (LUC) en markant effekt i klimaaftrykket fra foderproduktionen. Usikkerheden på den enkelte metode er forholdsvis stor, men den afgørende forskel ligger primært i valg af metode. Det er metodevalget som markant påvirker rangeringen af fodermidlerne. Mest udbredt er metoden, hvor LUC indregnes direkte for det foder, der dyrkes, hvor regnskovsrydningen sker. Argumentet herfor er at det placerer effekten, der hvor udledningen foregår. Modsat kan der ved metode 2, hvor det er en indirekte effekt af regnskovsrydningen, der indregnes afhængig af arealforbruget, argumenteres for, at det er det samlede globale areal forbrug til jordbrug, der er problemet, og derfor skal alle afgrøder belastes med udledningen.

Litteratur

- Askegaard et al. 2008. Muligheder og barrierer i den økologiske produktion. I: Udvikling, vækst og integritet i den danske økologisektor. ICROFS rapport nr. 1., 187-219.
- Audsley, E., Brander, M., Chatterton, J., Murphy-Bokern, D., Webster, C., and Williams, A. (2009). How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope for to reduction them by 2050. How low can we go? WWF-UK.
- BSI. 2008. PAS2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- Johannes M., Lund P., Hellwing, A.F.L., Weisbjerg M.R. 2011. Hvad betyder fodring for metan emission? In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Kristensen T, Mogensen, L. Knudsen, M.T. and John E. Hermansen. 2011. Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. *Livestock Sci* 140, 136-148.

Appendix

Noter til tabel 5

- 1) Korn:
Kornudbytter og gødningsforbrug (100% kunstgødning) som normerne i tabel 1.
Energiforbrug til forarbejdning af korn: Valsning 0,5 kwh/100 kg korn (3,3 g CO₂/kg). Formaling: 2,35 kwh/100 kg (15,4 g CO₂/kg). Her er anvendt et gns: 9,3 g CO₂/kg
- 2) Grønpiller:
Der anvendes 5 tons frisk græs (=1 ton ts) til at fremstille 1 ton piller (LCAFood).
Dyrkning af græs: udbytte på 7875 kg ts/ha, input: 170 kg N fra husdyrgødning (indkøbt) + 118 kg N fra kunstgødning (500 g CO₂/kg ts græs).
Forarbejdning: Energi til fremstilling af 1 ton piller: 1,4 mvh varme (kul), 150 kwh el, 48 l vand, 6,8 l diesel) = 658kg CO₂/kg piller (DanGrønt, 2011).
- 3) Rapskage:
Dyrkning: Rapsudbyttet er 3590 kg (708 g CO₂/kg rapsfrø).
Af udbyttet i rapsfrø bliver 36,4% til olie og 61,6% til rapskage.
Den samlede klimabelastning fra rapsdyrkning og forarbejdning fordeles med 76% til olie og 24% til rapskage udfra den økonomiske værdi af produkterne (FAO priser 1998-2008).
Forarbejdning: Energi til udvinding af olie: 120 kwh el +816 MJ varme (olie) pr 2,4 ton rapsfrø: (Dalgaard et 2008)(25,3 g CO₂/kg rapskage).
Areal: (24% af 1 ha)/(2211 kg rapskage/ha) = 1,09 m²/kg rapskage
- 4) Sojaskrå:
Dyrkning af Sojabønner fra Brasilien: udbytte på 2544 kg/ha – 2 afgrøder per år.
Klimaaftrykket fra dyrkning af sojabønner: 399 g CO₂/kg sojabønne (Ecoinvent)
Af 1000 kg sojabønner bliver der produceret 826 kg sojaskrå og 158 kg sojaolie.
Økonomisk fordeling mellem sojaskrå og sojaolie hhv. 66,3 % og 33,7%
Forarbejdning: 34,34 g CO₂/kg sojaskrå (ECOinvent)
Areal: (66,3% af 1 ha)/(2101 kg sojaskrå/ha)/2= 1,58 m²/ kg sojaskrå
- 5) Sojaskaller:
Sojaskaller udgør 3% af vægten af sojabønneudbyttet og 1% af den økonomiske værdi (Thomassen et al. 2008)
Dyrkning: Konv sojabønner: 399 g CO₂/kg dvs. 1% af denne belastning tilfalder 3% af udbyttet (133 g CO₂/kg sojaskalle)
Forarbejdning: vha økonomisk allokering: 14 g CO₂/kg sojaskaller
- 6) Kartoffelpulp:
Produktiondata for kartoffelpulp (se www.LCAfood):
Input: 4,5 ton kartofler (klimaaftryk fra kartoffeldyrkning 193 g CO₂/kg kartofler),
Forarbejdning: 164 kwh el a 655 g CO₂/kwh, 23,7 m³ gas (1 m³=11 kwh) a 248 g CO₂/kwh (172 kg CO₂).
OUTPUT:

1 ton kartoffelmel (2,50 kr/kg) og 0,73 ton kartoffelpulp (0,06 kr/kg), dvs 1,9% af klimabelastning tilfalder kartoffelpulp.

Kvælstof fra frugtjuice og vaskevand (50% udnyttelse antaget) giver en sparret produktion af kunstgødning og klimabelastning herfra svarende til 9,4 kg N i kunstgødning (a 4,25 kg CO₂/kg)

Samlet klimabidrag fra dyrkning og forarbejdning: 27 g CO₂/kg kartoffelpulp og 1,00 kg CO₂/kg kartoffelmel.(økonomisk allokering priser 2009/2010)

7) Melasse:

SKØN:

Dyrkning: 97,2 g CO₂/kg melasse kommer fra roedyrkning (Flysjö et al., 2008)

Forarbejdning: 32,5 g CO₂/kg melasse (økonomisk fordeling med 4,5% til melasse, 3,8% til pulp og 91,7% til sukker) (Ecoinvent, 2010)

Areal: (4,5% af 1 ha)/(1682 kg melasse/ha) = 0,3 m²/kg melasse

8) Roepiller:

SKØN: Data fra Flysjö et al., 2008 for sukkerroefiber (Betfiber) anvendt – hertil er lagt et bidrag for pilletering for at få roepiller)

Sukkerroedyrkning: 168,1 g CO₂/kg betfor = roepiller antaget

Processing: 351 g CO₂/kg betfor = roepiller antaget

Pilletering: 48 g CO₂/kg foder (www.LCAfood)

Input: 7,3 t roer, Output: 1 ton sukker, 0,24 ton melasse, 0,33 ton roepiller (LCAfood) (prisforhold ml sukker:melasse:roepiller 100:29:51)

Areal: (13,6% af 1 ha)/(2313 kg roepiller/ha) = 0,59 m²/kg roepiller

9) Palmefedt:

Siden der er indgået en aftale om frivilligt at udelade animalsk fedt i kvægfoder anvendes der i DK kun fedt af vegetabilsk oprindelse hovedsagelig palmeolie eller PFAD af palmeoliefedtsyrer.

Data fra Ecoinvent 2010:

Dyrkning: 519 g CO₂/kg fedt

Forarbejdning: 0 g CO₂/kg, da der afbrændes træ fra plantagen som energi kilde

10) Kraftfoder:

Der er opstillet en gennemsnitlig kraftfoderblanding, svarende til det mix af A- og C-blanding (hhv. 63 og 37%), der giver det gns. proteinindhold (230 g råprotein/FE) fundet i indkøbt kraftffoder på gårdene i klimaværkstedet. Sammensætningen af råvarene i hhv A- og C-blandinger er bestemt ud fra indlægssedler for typiske kraftfoderblandinger fra DLG og Danish Agro (2010/2011)

I det gennemsnitlige kraftfoder indgår 20,7% rapskage, 16,6% byg, 14,7% sojaskrå, 12,1% solsikkekrå, 11,8% roepiller, 2,3% sojaskaller, 2,5% citruskvas, 1,3% grønpiller, 1,5% palmefedt, 0,2% urea.

Klimaafttrykket for kraftfoderblandingen består af bidrag fra dyrkning af de enkelte foderemner, samt forarbejdning, hertil lægges 48 g CO₂/kg for at presse kraftfoderet i piller.

Noter til Tabel 7

- 1) Korn:
Indkøbt økologisk korn antages at komme fra økologiske plantebedrifter, hvor udbytte (3200 kg/ha i byg og havre, 3600 kg/ha i hvede) og gødningsniveauet (65 kg total N/ha) er lavere end på økologiske malkekvægbedrifter, endvidere er alt husdyrgødning indkøbt på disse bedrifter (dvs. der indregnes et klimaaftryk per kg plantetilgængeligt N svarende til kunstgødning).
- 2) Grønpiller:
Bidrag fra dyrkning af græs: udbytte: 5871 kg ts/ha, input: 130 kg tot N fra husdyrgødning (indkøbt dvs. har et CF)(= 361 g CO₂/5 kg græs)
Forarbejdning: se konventionelle grønpiller
- 3) Rapskage:
Indkøbt økologisk rapskage antages at komme fra økologiske plantebedrifter med et udbytte på 1836 kg/ha og input af 65 kg total N fra husdyrgødning.
Rapsfrøene bliver forarbejdet til 36,4% til olie og 61,6% rapskage (som konv.),
Den samlede klimabelastning fra rapsdyrkning og forarbejdning fordeles med 76% til olie og 24% til rapskage (ud fra de konventionelle priser).
Forarbejdning: klimabidrag som for konv. Rapskage
Areal: (24% af 1 ha)/(1131 kg rapskage/ha) = 2,12 m²/kg rapskage
- 4) Sojaskrå:
Der er antaget samme udbytte som for de konventionelle sojabønner (2544 kg/ha) (Pelletier et al., 2008). Hvilket giver et klimaaftryk på 364 g CO₂/kg sojabønne ab gård. Der anvendes samme økonomiske allokering som for konv. Sojaskrå. Dvs. på baggrund af konv priser (sojaskrå og sojaolie hhv. 66,3% og 33,7%)
Forarbejdning: som for konventionelt sojaskrå
- 5) Kraftfoder:
Der er opstillet en gennemsnitlig økologisk kraftfoderblanding, svarende til det mix af A- og C-blanding (hhv. 64 og 36%), der giver det gns. proteinindhold (218 g råprotein/FE) fundet i indkøbt kraftffoder på gårdene i klimaværkstedet. Sammensætningen af råvarerne i hhv. A- og C-blandinger er bestemt ud fra indlægssedler for typiske økologiske kraftfoderblandinger fra DLG og Danish Agro (2010/2011).
I det gennemsnitlige kraftfoder indgår 12,4% rapskage, 18,9% hvede, 17,4% havre, 11,3% rug, 14,7% sojaskrå, 6,5% solsikkekrå, 3,0% grønpiller, 1,1% sojabønner, 8,4% hestebønner, 5% hvedeklid, 0,6% melasse.

Drivhusgasreduktion via gødningshåndtering

Søren O. Petersen

Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

Sammendrag

Gødningshåndteringen på kvægbedrifter er en kilde til udledning af metan og lattergas. Selvom den største post i drivhusgasregnskabet er dyrenes fordøjelse, så er der en række muligheder for at mindske drivhusgasemissioner via bedre gødningshåndtering. Metan og lattergas er produkter af mikroorganismers aktivitet, som især påvirkes af opbevarings-temperatur og adgangen til ilt under lagringen. Desuden kan metan- og lattergasemission påvirkes ved introduktion miljøteknologier såsom separation, biogasbehandling og gylle-forsuring. Dette kapitel beskriver kort processer bag udledning af metan og lattergas fra kvæggødning, og effekterne af en række tiltag på drivhusgasemissionerne diskuteres. Det er en central konklusion, at en kombination af flere tiltag er nødvendig for at opnå en væsentlig samlet drivhusgasreduktion for gødningshåndteringen.

Indledning

I den aktuelle opgørelse af drivhusgasemissioner fra dansk landbrug udgør metan knap 40% af de emissioner, som ikke har med arealanvendelse at gøre (Nielsen, 2010). Heraf kommer 61% fra kvægs fordøjelse, mens 11% kommer fra håndteringen af kvæggødning. Emissioner af lattergas, som udgør de resterende 60% af landbrugets emissioner, er sammensat af bidrag fra en række kilder (gødningshåndtering, udbringning, forbrug af handelsgødning, omsætning af afgrøderester samt indirekte tab).

I en aktuel analyse af drivhusgasbalancer for en række studielandbrug (Kristensen og Mogenssen, 2011) udgjorde lattergas i gennemsnit 27% af bedriftenes drivhusgasemission, mens metanemissionerne svarede til de nævnte landsgennemsnit. Undersøgelsen viste for alle poster i drivhusgasregnskabet en betydelig variation, som indikerer at management, herunder gødningshåndteringen, kan optimeres med henblik på at reducere emissionerne af metan og lattergas.

Dette afsnit gennemgår kilder til metan og lattergas, som er knyttet til håndteringen af gødning på kvægbedrifter. Reduktionsmuligheder vil blive diskuteret, herunder perspektiverne i at anvende kendte behandlingsteknologier.

Emission af metan

I landbrugets drivhusgasregnskab opgøres emissionen af metan fra husdyrproduktionen med metoder, som er foreskrevet af det internationale klimapanel, IPCC. Beregningen sker på grundlag af i) dyrenes udskillelse af nedbrydeligt organisk stof, ii) håndteringsformen samt iii) opbevaringstemperaturen.

Fodertilsætninger, især fedt, kan hæmme metanproduktionen i drøvtyggerses vom, men kan muligvis øge gødningens potentiale for metanproduktion (Johannes et al., 2011). Det er derfor vigtigt at dokumentere emissioner fra både dyr og gødning for at kunne vurdere gevinsten ved en given fodringsstrategi. Måske bør ændret fodring kombineres med biogasproduktion eller andre tiltag, som kan forhindre en øget metanemission fra gødningen.

Metan dannes af specialiserede mikroorganismer (*metanogener*) under strengt iltfrie forhold, og derfor er metanproduktion i kvæggødning især vigtig, når gødningen håndteres som gylle. Under danske forhold forventes hhv. 1 og 10% af det udskilte kulstof i fast og flydende gødning at blive omdannet til metan (Nielsen et al., 2010).

IPCC's beregningsmetode forudsætter, at de mikroorganismer som danner metan altid er til stede. Der dannes store mængder metan i vommen, men metanproduktionen her domineres af *hydrogenotrofe* metanogener (Højberg et al., 2011), som ikke er konkurrencedygtige i det fysisk-kemiske miljø i gyllekanaler. Her klarer en anden gruppe af såkaldt *acetotrofe* metanogener sig bedre. De er langsomtvoksende, men kan tilpasse sig de forhold med hensyn til temperatur, ammoniak mv., der karakteriserer gyllemiljøet. Frisk gødning og urin bliver i gyllekanalen og senere lagertanken blandet med ældre materiale, hvis mikroflora allerede er tilpasset dette miljø, og på denne måde forventes den friske gødning at blive podet med tilpassede metanogener.

Metanoxidation i flydelag

Kvæggylle danner typisk et naturligt flydelag under lagringen. Ifølge det kommunale tilsyn havde 80% af alle lagre med kvæggylle i 2003-2004 naturligt flydelag, mens flydelaget på yderligere 17% var blevet forstærket med snittet halm (Miljøstyrelsen, 2005). Dengang havde blot 2% en fast overdækning.

En række dansk undersøgelser har dokumenteret, at flydelag udvikler en righoldig mikroflora, der omfatter metanoxiderende bakterier. Disse *metanotrofe bakterier* bruger omdannelsen af metan til kuldioxid som energi- og kulstofkilde. I forhold til drivhusgasbalancen er det interessant, fordi klimateffekten af metan, med en 100 års tidshorisont, er 25 gange kraftigere end effekten af kuldioxid. Men selvom potentialet for metanoxidation er veldokumenteret, så er det endnu uvist i hvilket omfang processen reducerer metanemissionen fra gyllelagre i praksis. Processen kræver ilt, og den er følsom overfor mineralsk kvælstof. Derfor opbygges potentialet kun langsomt og afhænger af iltforbrug, vandbalance og kvælstofstatus, faktorer som alle vil variere med flydelagets alder og klimatiske forhold.

Reduktion af metanemissionen fra kvæggødning

Reduktion af metanemissionen fra kvæggødning kan ske ved at begrænse metanogenernes aktivitet. En kort opholdstid i stalden har været foreslået som et reduktionstiltag (Sommer et al., 2004). Forudsat at gyllens temperatur i stalden var 15 grader fra november til maj og 20 grader resten af året, var effekten af at skifte fra månedlig til daglig udslusning en 49% reduktion af metanemissionen. Figur 1 illustrerer, hvordan både nedbrydeligt tørstof (VS_D) og øget temperatur kraftigt påvirker potentialet for metanproduktion.

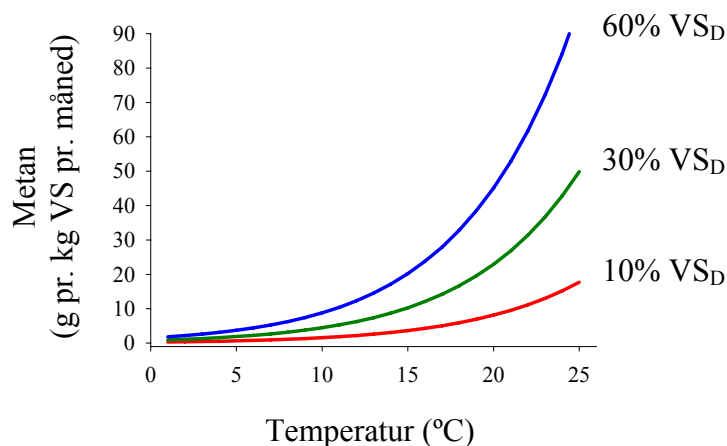


Fig. 1. Både øget indhold af nedbrydeligt tørstof (VS_D) og højere lagringstemperatur vil stimulere metanproduktionen. Det er årsagen til at ændret fodring, såvel som ændret opholdstid i stalden, har betydning for kvæggødningens metanemission. Kilde: Sven G. Sommer, Syddansk Universitet.

Gyllens temperatur i åbne kvægstalde er muligvis lavere end forudsat her, og yderligere dokumentation er en forudsætning for at kunne vurdere effekten af hyppigere udslusning. Køling af gyllekanaler er teknisk mulig, men ikke omkostningseffektiv. En tredje mulighed er forsuring med svovlsyre, som er en metode til reduktion af ammoniakemissionen, der også har vist sig effektiv i forhold til at reducere metanproduktionen i gylle (Fig. 2). Under en tre måneders opbevaring af frisk og lagret kvæggylle blev der fundet en >90% reduktion af ammoniaktabet og en 67-87% reduktion af metanemissionen med forskellige tilsætninger. Tilsætningen af en svovlkilde kan dog også føre til ophobning af flygtige organiske svovlforbindelser, hvilket kan ændre gyllens lugtprofil.

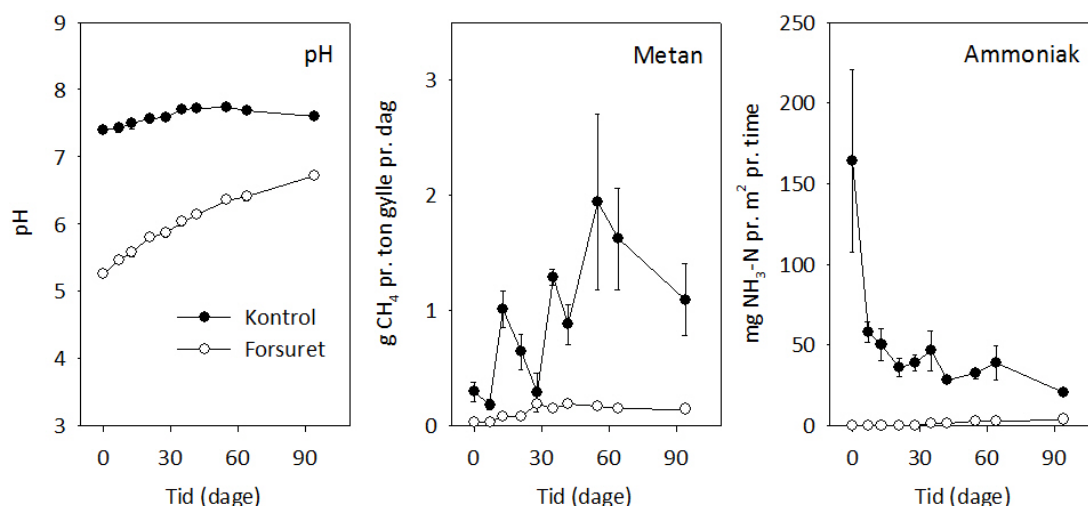


Fig. 2. I laboratorie-skala forsøg blev 20-kg portioner af kvæggylle, udtaget i en gylletank, lagret med eller uden justering af pH med svovlsyre. Delfigurerne viser udviklingen mht. pH, metanemission og ammoniakemission. Som det fremgår, var der en markant reduktion af begge emissioner. Kilde: Petersen et al. (2012).

Gylleforsuring er ikke umiddelbart forenelig med biogasbehandling, som ønskes udbredt i aktuelle politiske aftaler om landbrugets gødningshåndtering. Men forsuring er en mulig klimavenlig behandlingsteknologi til bedrifter, som ikke leverer gylle til et biogasanlæg. Alternativt kan gylleforsuring efterfølge andre behandlingsteknologier med henblik på en samlet optimering af drivhusgasbalancen for gødningshåndtering, se afsnittet 'Scenarier for gødningshåndtering'.

I enkelte undersøgelser har en fast overdækning på gyllelagre med flydelag vist lavere emission af metan end lagre uden fast overdækning. Det kan muligvis forklares med, at en forhøjet koncentration af metan i luften over flydelaget stimulerer metanoxiderationsprocessen. Det er dog vigtigt at vurdere effekten på metan og lattergas (se næste afsnit) under ét.

Emission af lattergas

I håndteringen af kvæggødning forventer IPCC, at i størrelsesordenen 0.5% af kvælstoffet tabes som lattergas under lagring af fast gødning (IPCC, 2006). Det samme gælder for gylle, hvis der dannes et flydelag under lagringen, hvilket jo er tilfældet for kvæggylle. Til sammenligning er det forventede lattergastab efter udbringning på 1% af total N, så lager-tabet er en ikke ubetydelig post i den samlede lattergasemission. Klimaeffekten af lattergas er, for en 100 års tidshorisont, 298 gange større end effekten af kuldioxid.

To processer i kvælstofkredsløbet, nitrifikation og denitrifikation, kan begge føre til produktion af lattergas under omsætningen af kvælstof i gødning og jord. Men hvor metanproduktion og -oxidation kræver hhv. iltfrie og velilte forhold, så forekommer produktion af lattergas måske i særlig grad under iltfattige forhold.

Nitrifikation er en to-trins proces, som omdanner ammonium via nitrit til nitrat. Især bakterier bag det første trin, *ammoniumoxiderende bakterier*, er involveret i dannelse af lattergas. Det kan bl.a. ske ved en reduktion af mellemproduktet nitrit til lattergas og frit kvælstof, og der er muligvis tale om en mekanisme til at fjerne nitrit, som er en kraftig cellegift. Ammoniumoxiderende og metanoxiderende bakterier ligner hinanden så meget, at de første i et mindre omfang kan oxidere metan, mens metanoxiderende bakterier tilsvarende kan oxidere ammonium. Det vides ikke, om metanoxiderende bakterier på den måde kan bidrage til ophobning af nitrit, og dermed til lattergasproduktion.

I modsætning til nitrifikation er denitrifikation en proces, der udnytter nedbrydeligt organisk stof som energi- og kulstofkilde. Processen forekommer indenfor mange grupper af mikroorganismer, men de fleste er *denitrificerende bakterier*, som trives under iltede forhold, men som kan udnytte nitrat som alternativ til ilt. Denitrifikation omdanner nitrat og nitrit til lattergas og frit kvælstof. Eftersom nitrat dannes under iltede forhold, er risikoen for lattergasdannelse især knyttet til skift fra iltede til iltfrie forhold, enten rumligt eller tidsmæssigt.

Reduktion af lattergasemissionen fra lagret gødning

For gødningslagre kan tilgangen af ilt, og dermed nitrifikation og denitrifikation, begrænses gennem lufttæt overdækning. Det gælder i særlig grad for dybstrøelse eller fiberfraktionen fra gylleseparation, som vil være tilbøjelig til at kompostere.

I gyllelagre dannes lattergas i flydelaget. Her ser vandbalancen (balancen mellem fordampning og nedbør) ud til at indgå i reguleringen, fordi tilgangen af ilt, såvel som udledningen af lattergas, sker via luftfyldte hulrum. Det indikerer, at lattergasemissionen ikke som defineret i opgørelsesmetoden er en fast andel af kvælstof i gødningen, men vil afhænge af de klimatiske forhold på stedet. Der er behov for mere viden om reguleringen af nitrifikation og denitrifikation i flydelag.

Emission af lattergas via ammoniaktab

Der er generelt bedre dokumentation for emission af ammoniak end for emissioner af metan og lattergas under gødningshåndteringen, og en stor del af den hidtidige regulering og rådgivning omkring gødningshåndtering har været rettet mod at minimere ammoniaktabet. Eftersom ammoniak kan blive omsat via nitrifikation og evt. denitrifikation på et senere tidspunkt, når det afsættes et sted i den omgivende natur, er ammoniak en indirekte kilde til lattergas. Men endnu vigtigere er det, at ammoniak som *ikke* fordamper, øger gødningens kvælstofværdi. Det kan fortrænge handelsgødning eller, alternativt, føre til højere udbytter i planteproduktionen, og på den måde kan der opnås en bedre N-udnyttelse og mindre drivhusgasbelastning pr. produceret enhed. Et mindre kvælstofoverskud i marken vil mindske risikoen for N-udvaskning, men her spiller valget af sædskifte en større rolle.

Reduktion af lattergasemission via ammoniak

I kvægstalde har staldsystem, gulvdesign og strategi for gødningsindsamling stor betydning for ammoniaktabet, som ifølge hollandske undersøgelser kan variere mellem 2 og 15% for stalde med spaltegulv, og i samme størrelsesorden for stalde med dybstrøelse (Sommer et al., 2006).

Både i stald og lager gælder det, at ammoniakfordampning er en fysisk-kemisk proces, som afhænger af luftskiftet henover gyllen og kemiske ligevægte i grænselaget mellem gylle og luft. Flydelag, presenning eller andre fysiske barrierer mod transporten fra væske- til gasfase er generelt effektive i forhold til at mindske ammoniakemissionen. En alternativ strategi er gylleforsuring, hvor sænkningen af pH er en barriere mod fordampning af ammoniak. En del ammoniak tabes fra gulvarealer i stalden, men forsuring kan reducere ammoniaktabet fra kvæggylle med 50% (Miljøstyrelsen, 2009) og dermed mindske en indirekte kilde til lattergas og øge kvælstofudnyttelsen. Eftersom metandannelsen er hæmmet (Fig. 2), vil tendensen til at danne flydelag også være mindre, og dermed potentialet for emission af lattergas under lagringen. Forsuring kan ske i stalden, i lageret eller i forbindelse med udbringning, men i forhold til klimaeffekten vil det være mest fordelagtigt at forsure tidligt i håndteringskæden.

Scenarier for gødningshåndtering

De foregående afsnit indeholder eksempler på, at elementerne i en given praksis for gødningshåndtering er indbyrdes afhængige. Det gælder de forskellige led i håndteringskæden, fra fodring, opbevaring i stald, overførsel til lager med eller uden forbehandling, og til udbringning. Og det gælder vekselvirkninger imellem direkte og indirekte emissioner af metan og lattergas samt N-udnyttelsen. Figur 3 viser en skematisk oversigt over gødningshåndteringen med angivelse af nogle tiltag, hvoraf de fleste kan implementeres på alle eksisterende kvægbedrifter. Det skal understreges, at der er tale om eksempler, og at også andre tiltag kunne være relevante.

Stald

Tilsætning af fedtkilder til foderet kan med stor sandsynlighed reducere metanemissionen fra køernes fordøjelse. Nye danske forsøg peger på, at en reduktion på 10% er realistisk (Johannes et al., 2011). Som nævnt kan dette føre til øget metanemission fra gødningen; emissioner fra gyllekanalen kan imødegås ved at sikre en kort opholdstid for gylle i stalden, eller ved at forsure gyllen.

Behandling

Hurtig udslusning fra stalden vil delvist øge metanemissionen fra slutlageret, medmindre dette kombineres med andre tiltag. En mulighed er biogasbehandling, eventuelt efter forudgående separation, som vist i Fig. 3. Separation i stalden refererer til et gulvdesign, som tillader afdræning og opsamling af urin. Mekanisk separation indebærer et energiforbrug, som øger udledningen af kuldioxid. Omvendt kan biogasproduktion fortrænge fossil energi og dermed kuldioxid. Ved biogasbehandling vil 80% af energiindholdet i metan kunne udnyttes til at substituere f.eks. naturgas (Fødevareministeriet, 2008). Biogasbehandling af kvæggylle antages at resultere i 30% reduktion af metanemissionen under en efterfølgende lagring (Nielsen et al., 2010).

Opbevaring

Efter separation bør en fast (fiber-)fraktion opbevares uden ilttilgang for at hindre kompostering i en eventuel lagringsperiode. Det vil reducere potentialet for emission af både metan, lattergas og ammoniak. De forskellige håndteringsstrategier fører til gyllematerialer med meget forskellige potentialer for metanemission under lagring. Der er i alle tilfælde mulighed for forsuring i lageret; gylleforsuring forud for lagring vil med stor sandsynlighed reducere emissioner af såvel ammoniak som metan og lattergas med mindst 50%.

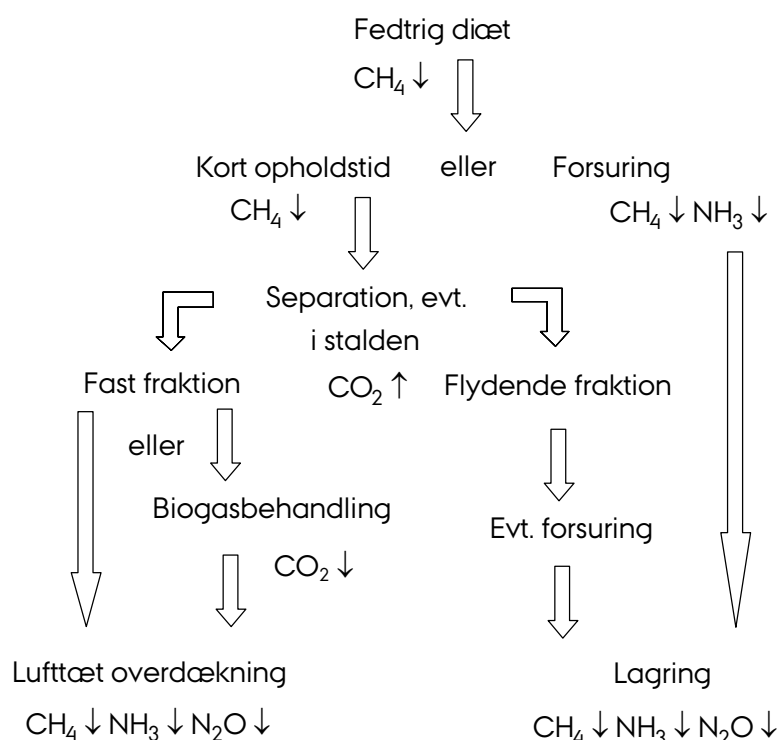


Fig. 3. Der er en række muligheder for, gennem behandling og håndtering af gylle, at forbedre drivhusgasbalancen på kvægbedrifter. En markant drivhusgasreduktion kræver dog, at flere tiltag kombineres. Diagrammet viser eksempler på, hvordan flere tiltag kan sættes sammen, og indikerer hvilke gaser der bliver berørt.

Efter udbringning

Gældende regler for udbringningsmetoder og tidspunkter er allerede forholdsvis effektive med hensyn til at minimere tab af kvælstof i form af ammoniakfordampning eller udvaskning. Forhindres tab fra stald og lager, kan det fortrænge handelsgødning, hvis der tages højde for det øgede N-indhold, men også øge risikoen for tab hvis dette ikke sker. Generelt vil det mest effektive middel til at reducere lattergasemissioner fra udbragt gødning være at sikre en præcis dosering af næringsstoffer til afgrøden.

Den danske opgørelse af drivhusgasemissioner fra landbruget antager i dag en effekt af biogasbehandling på lattergasemissionen efter udbringning (Nielsen et al., 2010). Det sker på et spinkelt vidensgrundlag og med forenkende antagelser, og der er behov for yderligere dokumentation af denne effekt.

Flere tiltag giver synergi

I et tænkt eksempel sker der en hurtig udslusning fra stalden. Den friske gylle vil for halvdelen vedkommende gå til biogasbehandling, mens den anden halvdel separeres. Mens den tynde fraktion forsures før lagring, så bliver fiberfraktionen sendt til biogasbehandling. Den samlede effekt af disse tiltag kan estimeres til lidt under 2000 kg CO₂ ækv pr. dyreenhed (Dalgaard et al., 2009).

Metanemissionen fra en årsko (tung race = 1,2 dyreenhed) er i størrelsesordenen 2500 kg CO₂ ækv pr. dyreenhed (Kristensen et al., 2009). Her vil en fedtrig diæt kunne give en metanreduktion på 10%, svarende til 250 kg CO₂ ækv pr. dyreenhed. Men kombineret med ovenstående tiltag ville der være basis for øget biogasproduktion i det omfang gødningens kvalitet påvirkes af diæten.

Disse beregninger indeholder en række antagelser, som bør underbygges i fremtidige undersøgelser, men illustrerer at gødningshåndteringen indeholder et betydeligt potentiale for drivhusgasreduktion.

Perspektiver

På kvægbedrifter dominerer dyrenes produktion af metan i vommen den samlede drivhusgasbalance. Emissionen af metan fra dyrene kan, på grund af den tætte kobling til ydelse og produktkvalitet, være svær at reducere dramatisk. Derfor er der god grund til også at se på mulighederne for reduktion af emissioner relateret til gødningshåndtering og afgrødeproduktion.

Kvæggødningens egenskaber påvirkes af staldindretningen. Traditionelle bindestalde er under udfasning, og i dag dominerer løsdriftstalde, der omfatter sengebåse med strøelse samt gangareal og ædeareal med spaltegulv, hvor gødningen opsamles som gylle. Stalde med dybstrøelse eller kompost kan tilgodese dyrevelfærdsbehov, men som følge af de ekstra omkostninger og, for økologiske bedrifter, begrænset adgang til halm har dette staldsystem ikke stor udbredelse. Kvægproduktionen forventes derfor også i fremtiden at være domineret af gyllebaserede staldsystemer.

Håndteringen af kvæggødning som gylle giver øget risiko for metanproduktion, men også mulighed for at udnytte tørstoffet (til bioenergi) og næringsstoffer (i planteproduktionen) mere effektivt, end det er muligt med fast gødning. Enkelttiltag vil ikke være effektive, hvis de helt eller delvist flytter emissionerne til et andet led i håndteringskæden, og derfor er der størst perspektiv i at se på løsninger, som kombinerer tiltag. Ikke mindst hvor reduktionstiltag for drivhusgasemissioner kan forenes med produktion af biogas vil der være et betydeligt potentiale for bedre gødningshåndtering.

Det er dog flere barrierer mod udbredelsen af tiltag til reduktion af kvægproduktionens klimabelastning. Der er ikke aktuelt nogen regulering af drivhusgasemissioner fra landbruget, som kan skabe efterspørgsel efter klimavenlige løsninger til gødningshåndtering og behandling. En anden barriere er dokumentationen af de miljømæssige effekter af en given håndtering eller behandling. Danmark har været med til at udvikle en verifikationsord-

ning, som skal sikre at en given teknologi til behandling eller håndtering af gødningen har de effekter, som forudsættes. Det er principielt en positiv udvikling, men omkostningerne til dokumentation kan være en uoverstigelig barriere for små virksomheder. Der er brug for en målrettet indsats for at tilpasse rammebetingelser med hensyn til dokumentationskrav, lovgivning og økonomi til fremme af en mere klimavenlig kvægproduktion.

Referencer

- Aarnink, A.J.A., Canh, T.T. & Mroz, Z., 1997. Reduction of ammonia volatilization by housing and feeding in fattening piggeries. Symposium on Ammonia and Odour Emissions from Animal Production Facilities, OCT 06-10, 1997, pp. 283-291.
- Dalgaard, T., Petersen, S.O., Petersen, B.M., Kristensen, T., Hermansen, J.E. og Hutchings, N., 2009. Drivhusgasemissioner fra dansk landbrug 2050. Baggrundsrapport til Klimakommisionen vedr. landbrugets drivhusgasemissioner 1990-2050.
- Fødevareministeriet, 2008. Landbrug og Klima – analyse af landbrugets virkemidler til reduktion af drivhusgasser og de økonomiske konsekvenser. 146 pp.
- Højberg O., Poulsen M og Engberg R.M., 2011. Hvad betyder mikroorganismene for metanemission fra vommen? In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, vol. 4. Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES, Hayama, Kanagawa, Japan.
- Johannes M., Lund P., Hellwing, A.F.L., Weisbjerg M.R. 2011. Hvad betyder fodring for metan emission? In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Kristensen, T., Mogensen, L., 2011. Kvægbedriften – udledning af klimagasser. In: Kristensen, T. & Lund, P. (red). Kvæg og klima. Videnskabelig rapport nr. 1, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Kristensen, T., Mogensen, L., Weisbjerg, M.R., Lund, P. og Aaes, O., 2009. Variation i udskillelsen af metan fra kvæg. Kvæginfo – 2058.
<http://www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Miljoe/Sider/2058.aspx>
- 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>
- Miljøstyrelsen, 2005. Miljøtilsyn 2003-2004. Sammenfatning af kommunernes, amtskommunernes, Miljøstyrelsen og Skov- og Naturstyrelsens miljøtilsyn i 2003 og 2004. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 8, 2005. 91 pp.
- Miljøstyrelsen, 2009. "Svovlsyrebehandling af kvæggylle" af 19.5.2009
[<http://www.mst.dk/NR/rdonlyres/95E72216-4024-4881-AE3A-5FA05E2A486F/83996/MaSt01forsuringkvgBATbladudenkor1.pdf>]

- Petersen, S.O., Andersen, A.J. and Eriksen, J., 2012. Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of Environmental Quality* 41 (i trykken).
- Sommer, S.G., Petersen, S.O., Møller, H.B., 2004. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 69, 143-154.
- Sommer, S.G., Jensen, B.-E., Hutchings, N., Lundgaard, N.H., Grønkjær, A., Birkmose, T.S., Pedersen, P. og Jensen, H.B., 2006. Emissionskoefficienter til brug ved beregning af ammoniakfordampning fra stalde. DJF-Rapport, Husdyr nr. 70, april 2006. 45 pp.

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er videnudveksling, rådgivning og interaktion med myndigheder, organisationer og erhvervsvirksomheder.

Centret koordinerer videnudveksling og rådgivning ved de institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab
Institut for Fødevarer
Institut for Agroøkologi
Institut for Ingeniørvidenskab
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.

RESUME

Metan bidrager til den globale stigning i udledningen af drivhusgasser. Et klimaregnskab for danske kvægbedrifter viser, at udledningen af metan, primært dannet i forbindelse med dyrenes fordøjelse af foderet, er den største kilde til udledning af drivhusgasser. I rapporten beskrives de grundlæggende forhold, der påvirker dannelsen af metan i vommen og de forskellige metoder der kan anvendes til kvantificering af mængden af metan diskuteres. Der præsenteres resultater for, hvorledes ændringer i fodringen kan reducere metanudledningen fra dyrenes fordøjelse, samt sammenhænge heraf til udledningen af metan fra gødningslagring. Baseret på foreløbige analyser diskuteres mulighederne for via genetisk selektion, at udvælge dyr for reduceret metanudledning. Endelig indeholder rapporten en oversigt over udledningen af drivhusgasser fra dyrkning, transport og fremstilling af de mest almindelige fodermidler, der anvendes i dansk kvægfodring. Samlet giver rapporten således en status over forskningsaktiviteter inden for området kvægproduktion og klima.