

METAN EMISSION FRA DRØVTYGGERE: EN KLIMAUDFORDRING, DER KRÆVER LØSNINGER

*Mette Olaf Nielsen, Christian F. Børsting, Martin R. Weisbjerg og Peter Lund
Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Aarhus Universitet*

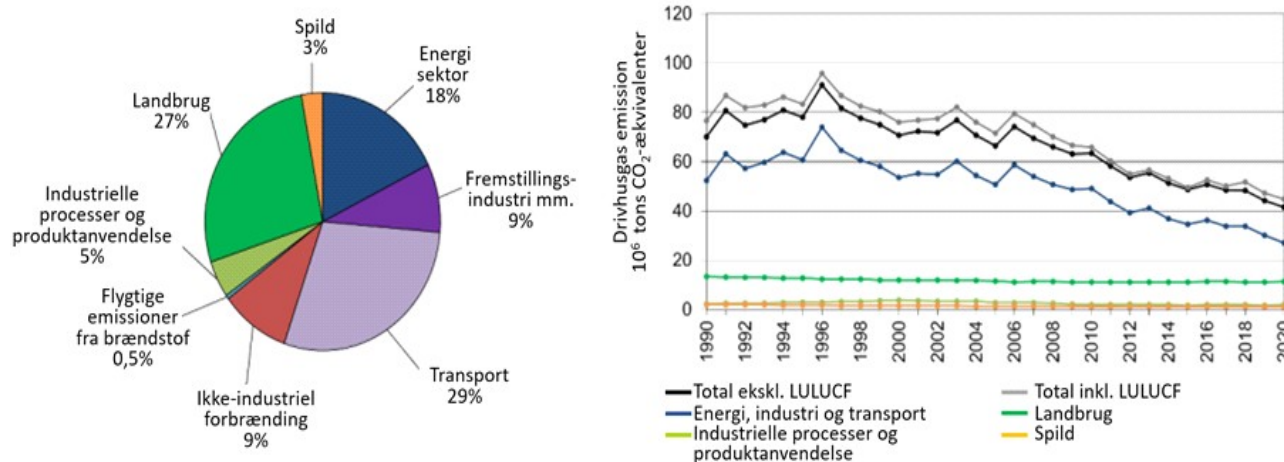
Danmark vedtog i 2021 en klimalov (LBK nr 2580 af 13.12.2021), der forpligter os til at reducere de nationale emissioner af drivhusgasser med 70% i 2030 i forhold til niveauet i 1990, og Danmark skal være klimaneutralt senest i 2050. Siden 1990 er emissioner i Danmark faldet med 42,5%, som hovedsageligt kan tilskrives andre sektorer end landbruget, som det fremgår af Figur 1 (Nielsen et al., 2022).

I denne artikel vil vi indledningsvis redegøre for, hvorfor metan emission fra kvæg er kommet i fokus som strategi til at opnå

hurtige reduktioner i landbrugets klimapåvirkning, men samtidig påpege hvorfor reduktion af metan emission fra kvæg ikke er en løsning på det langsigtede problem: at få nedbragt kuldioxid (CO_2) indholdet i atmosfæren.

Derefter vil vi give en oversigt over nogle af de væsentligste virkemidler, der vil kunne tages i brug inden for nærmeste fremtid til at reducere metan emissionen fra drøvtyggere, samt de barrierer der eksisterer for at kunne implementere disse virkemidler her og nu.

Figur 1: Drivhusgas emission i Danmark i 2020 målt i CO_2 -ækvivalenter og fordelt på sektorer (eksklusive bidrag fra LULUCF¹ og indirekte CO_2) samt tidsmæssig udvikling fra 1990-2020 (Nielsen et al., 2022)



¹ LULUCF: Land Use, Land-Use change and Forestry

Bidraget metan emission fra kvæg til global opvarmning og ophobning af CO₂ i atmosfæren?

Til den første del af spørgsmålet er svaret **JA**, og til den anden del af spørgsmålet er svaret **NEJ**, som vi vil redegøre for i det følgende.

Ifølge de nationale opgørelser over emissioner (Nielsen et al., 2022) bidrog landbruget i 2020 med 27,1% af de nationale drivhusgasemissioner målt i CO₂-ækvivalenter (excl. LULUCF og indirekte CO₂), og for drivhusgassen metans vedkommende var

bidraget til de nationale emissioner i 2018 på 82% (Albrechtsen et al., 2021).

Metan fra landbruget stammer fra to hovedkilder: kvægs fordøjelse og husdyrgødning fra den samlede animalske produktion.

Enterisk metan fra kvæg er den største enkeltkilde til drivhusgas emission fra landbruget og udgjorde, som vist i tabel 1, 29,9% af landbrugets samlede drivhusgas emissioner målt i CO₂ ækvivalenter, hvilket

Tabel 1: Landbrugets andel af samlede drivhusgasudledninger i Danmark (opgjort som CO₂-ækvivalenter hvis ikke andet er angivet) over en 100-årig tidshorisont, samt bidraget fra enterisk metan fra drøvtyggere til landbrugets og samlede nationale emissioner (data fra Albrechtsen et al., 2018; Nielsen et al., 2022)

	Andel (%)	Opgjort år:
Landbrugets andel af nationale drivhusgasemissioner		
For alle drivhusgasser	27,1	2020
For metan (kilotons)	82,0	2020
Metans andel af samlede nationale emission	12,6	2018
Metans andel af landbrugets drivhusgasemission	54,3	2018
Heraf andel fra enterisk metans andel*	54,9	2018
Enterisk metans bidrag til:		
Landbrugets samlede drivhusgas emission	12,9	2018
Samlede nationale drivhusgas emission	6,9	2018

**Øvrige del fra husdyrgødning fra den samlede animalske produktion*

svarede til 6,9% af de samlede nationale drivhusgasemissioner i 2018.

Hos kvæg dannes drivhusgassen metan af en særlig type mikroorganismer, arkæer, i formaverne og til dels i bagtarmen under forgæring af det foder, dyrene har indtaget. En højtydende malkeko kan producere op til 700 liter metan dagligt. Denne metan (kaldet enterisk metan) repræsenterer et energitab for dyret, idet det energiholdige metan opræbes og udledes til atmosfæren.

Som vist i tabel 2, har enterisk (ikke-fossilt) metan over en 100-årig periode efter emission et 27 gange højere globalt opvarmningspotentiale end CO_2 , men metan har en kort levetid i atmosfæren på kun 11,8 år i forhold til hundredvis af år for CO_2 . IPCC angiver ikke en specifik levetid for CO_2 længere, da den kan være meget variabel afhængig af, hvorfra emitteret CO_2 stammer. Det nævnes dog, at 20-40% af en bolus emission af CO_2 vil kunne genfindes i atmosfæren efter 500 år (Forster et al., 2021).

Den korte levetid for metan betød, at man i International Panel for Climate Change (IPCC) i starten ikke tillagde metan emis-

sion den store betydning, men nu opgøres det globale opvarmningspotentiale for alle drivhusgasser over både en 20-årig, 100-årig og 500-årig tidshorisont.

Ser man på den det globale opvarmningspotentiale over en 20-årig fremfor 100-årig tidshorisont, som nok er mere retvisende i metans tilfælde, så bliver metan omkring 80 gange mere potent end CO_2 . I de senere år er der derfor kommet et stigende fokus på drøvtyggers bidrag til global opvarmning og ikke mindst de muligheder, der ligger for at modvirke klimaforandringer på den korte bane via reduktion af metan emission fra drøvtyggere.

Det bør bemærkes, at når metan nedbrydes i atmosfæren, omdannes det til CO_2 . Metan emission fra køer bidrager imidlertid ikke til akkumulering af CO_2 i atmosfæren over tid, i modsætning til bidrag fra fossile brændstoffer, fordi den mængde CO_2 , der dannes fra metan, ikke kan være større end den mængde CO_2 , der blev fikseret fra atmosfæren af de planter, som koen har ædt.

Hvis man forestillede sig, at antallet af drøvtyggere og deres produktionsniveau var konstant over tid, ville der indstille sig en

Tabel 2: Gennemsnitlig levetid i atmosfæren for væsentlige drivhusgasser samt det globale opvarmningspotentiale (GWP) over en periode på 20 eller 100 år opgjort som CO_2 -ækvivalenter (Forster et al., 2021)

Drivhusgas	Levetid (år)	GWP-20	GWP-100
Kuldioxid (CO_2)	Kildeafhængig Hundredvis	1	1
Metan (CH_4)	11.8	82.5 (fossilt) 79.7 (ikke-fossilt)	29.8 (fossilt) 27.0 (ikke-fossilt)
Lattergas (N_2O)	109	273	130

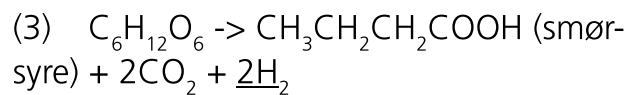
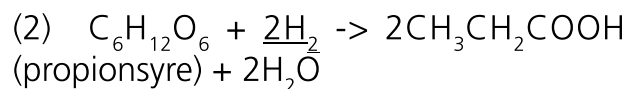
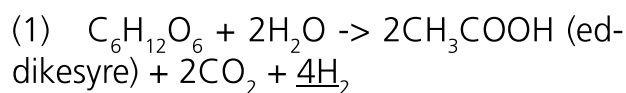
ligevægt mellem emissionen af metan til atmosfæren og den samtidige nedbrydning til CO₂, hvorved drøvtyggere hverken ville kunne bidrage til stigninger i koncentrationen af disse drivhusgasser i atmosfæren eller yderligere global opvarmning.

Bidrag fra kvæg- og anden drøvtygger-produktion til øget global opvarmning på nuværende tidspunkt er derfor alene en konsekvens af flere dyr eller et højere produktionsniveau. Det er dog samtidig klart, at en eventuel reduktion i antallet af især kvæg vil have en positiv effekt på global opvarmning.

Hvorfor producerer drøvtyggere (ikke) metan?

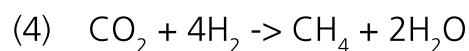
Kvæg og andre drøvtyggere lever i et symbiotisk forhold med og er afhængige af mikroorganismer specielt i deres formaver for at kunne omsætte og udnytte foderet. Den største af disse formaver, vommen, fungerer således som en bioreaktor, hvor mikroorganismene nedbryder letomsætteligt stivelse og sukker samt svært tilgængelige, strukturelle kulhydrater (fibre) (ufordøjelige for os mennesker) til mindre sukkerenheder som glukose, der efterfølgende forgæres til organiske syrer – især eddikesyre, propion-syre og smørsyre. Disse kortkædede fedtsyrer optages over vomvæggen og indgår i dyrets stofskifte.

Ved forgæringsprocesserne dannes der også CO₂ og brint (H₂). Med udgangspunkt i sukkerenheden glukose (C₆H₁₂O₆), kan følgende forgæringsligninger opstilles:



Som det ses, er forgæring til propionsyre forbundet med et netto forbrug af brint, mens der ved forgæring til eddikesyre og smørsyre dannes både CO₂ og H₂. Foderationens sammensætning har stor betydning for det indbyrdes forhold mellem disse 3 forgæringsveje, da de involverer forskellige typer af bakterier med forskellig substratpræference. Således vil fiberrige rationer fremme især proces (1), stivelse favorisere proces (2) og sukker proces (3).

Fedtsyrer kan ikke forgæres af vommens mikroorganismer, hvilket betyder, at når fedtandelen i foderet øges, vil en mindre andel af foderet føre til dannelse af brint. Hvis den dannede brint ophobes i vommen, kan den pga. termodynamiske forhold hæmme visse forgæringsprocesser og dermed dyrets foderudnyttelse. Nogle bakterielignende mikroorganismer, de metandannende arkæer eller blot metanogener, kan imidlertid omdanne kuldioxid og brint til metan (CH₄) ved følgende proces, hvor tilstedeværelsen af brint er den hastighedsbegrænsende faktor:



Det er dermed ikke drøvtyggeren selv, men denne særlige type bakterielignende mikroorganismer der er ansvarlige for at danne metan. I modsætning til brint, påvirker den dannede metan ikke processerne i vommen. Men den kan heller ikke omsættes, og afgår derfor gennem munden via opræbning eller udånding, mens en min-

dre del af det metan, der dannes ved for-
gæring i blind- og tyktarm, udskilles via
anus.

Emissionen af metan repræsenterer natur-
ligvis et energitab for dyret, som for mal-
kekøer er i størrelsesordenen 6-6.5% på
typiske danske diæter (Albrektsen et al.,
2021), men omvendt har den succesfulde
symbiose, der er udviklet mellem køer (og
andre drøvtyggere) og deres mikroorganis-
mer i formaverne igennem evolutionen,
været til gavn for dyret i forhold til at kunne
udnytte svært nedbrydelige kulhydrater,
som er stort set ufordøjelige for de fleste
enmavede dyrearter inklusive mennesker.

Kan den enteriske metan emission re- duceres?

Bidraget til metan emission fra kvæg-
sektoren kan naturligvis reduceres ved at
reducere antallet af dyr eller fodre kvæg
på et lavere foderniveau. Ingen af disse stra-
tegier vil reducere klimaaftrykket per kg
produceret mælk eller kød; det kræver en
reduktion af metan emission fra det enkelte
dyr uden en tilsvarende reduktion i dets
foderindtag og produktion. I det følgende
ses der på muligheder for at opnå dette.

Foderrationens sammensætning

Ved en målsætning om at sænke det sam-
lede klimaaftryk fra mælke- eller kødpro-
duktionen gennem en ændret fodring er
det vigtigt ikke kun at reducere den
enteriske metanproduktion, men også at
tage hensyn til klimaaftrykket ved produk-
tionen af de fodermidler, der indgår i foder-
rationen, således at man ikke taber på
gyngerne, hvad man har vundet på
karrusellerne.

De strategier, der nævnes i det følgende
som ombytning af grovfoderremner, forbed-
ring af grovfoderets fordøjelighed via plan-
teavl og optimeret dyrkning samt tilsætning
af fedt til foderet, er strategier til reduk-
tion af metan, der vil kunne anvendes i så-
vel konventionelle som økologiske bedrif-
ter.

Fedt: Fedtsyrer kan som nævnt ikke for-
gæres af vommens mikroorganismer, og
ombytning af fermenterbart organisk stof
som f.eks. stivelse eller fiber med fedt vil
derfor direkte reducere produktionen af
enterisk metan.

Samtidig har fedt en inhiberende effekt på
særligt de fibernedbrydende og metan-
producerende mikroorganismer i vommen.
Da fermentering af fibre hovedsageligt er
koblet til produktion af eddikesyre, vil
denne hæmning medføre et fald i produk-
tionen af brint og kuldioxid, og dermed
leveres mindre substrat for metanogener-
ne, jvf. overstående reaktionsligninger.

På tværs af en række forsøg er det bereg-
net, at 20 g ekstra fedtsyrer per kg foder-
tørstof i diæter til malkekøer kan reducere
produktionen af enterisk metan med ca.
8% (Børsting et al., 2020; Niu et al., 2018).
Om dette fedtniveau er økonomisk opti-
malt, afhænger af forholdet mellem prisen
for tilskudsfedt, mælk og i fremtiden også
en eventuel afgift på emission af klima-
gasser.

I Danmark anvendes bl.a. palmefedt og
danskavlede rapskager som fedtkilder.
Klimaaftrykket af palmefedt er ca. det tre-
dobbelte af rapskager, hvis klimaeffekten
af regnskovsrydningen regnes ind. Ved

brug af importeret palmefedt i stedet for danskavlede rapskager vil den danske emission blive reduceret, fordi klimabelastning henregnes til det land, hvor produktionen foregår, og ikke i det land hvor produkterne anvendes ifølge de internationale konventioner.

Derimod vil den globale emission kun blive reduceret lidt eller evt. være uforandret, da reduktionen i produktionen af enterisk metan helt eller delvist modsvares af øgede emissioner ved dyrkning af palmefedt.

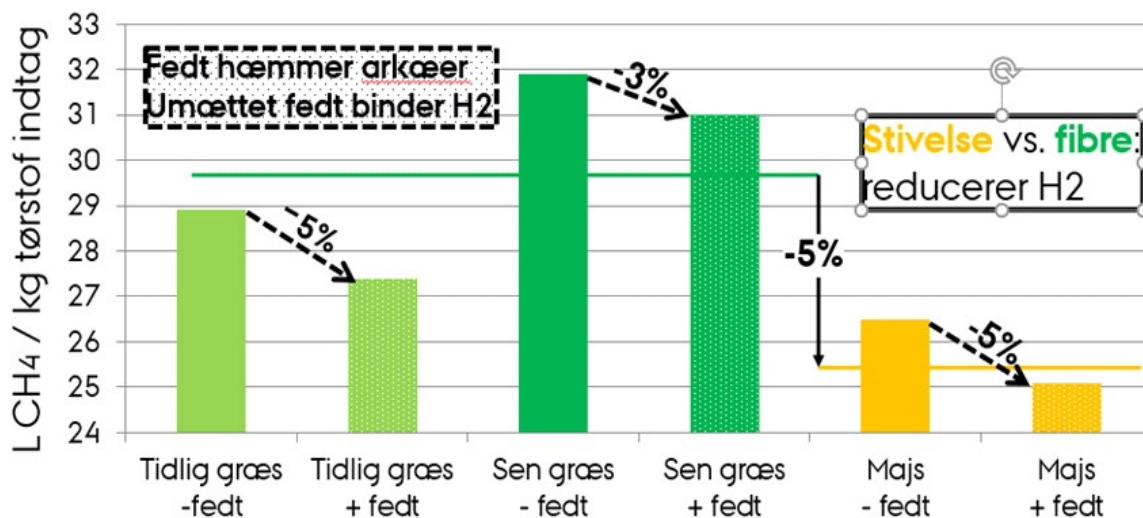
Grovfodertype: Fibre i foderrationen fremmer metan produktionen ved at give anledning til en øget brint produktion, som nævnt ovenfor. Hvis græs høstes på et tidligt udviklingstrin og med et lavere indhold af fibre, så falder produktionen af enterisk metan per kg fodertørstof. Hvis græsensilage, som indeholder meget fiber, erstattes af majsensilage, som indeholder meget stivelse, så sker der en forskydning i

forgæringsprocesserne i vommen, således at der produceres forholdsvis mere propionsyre og mindre eddikesyre, og dermed er der også mindre brint til rådighed for metanogenerne. Reduktioner i metan emission i størrelsesordenen 5% er mulige at opnå ad denne vej (Figur 2).

Effekter på metan emission af ændring af grovfodertype (ca. 5%, når det antages at der i en besætning både vil anvendes tidligt og sent høstet græs) og tilsætning af foderfedt (ca. 5%) ser ud til at være additive, som vist i Figur 2.

Inddrages der hensyn til, at klimaaftrykket er lavere ved dyrkning af græs end majs, så vil forskellene i det samlede klimaaftryk ved fodring med majs- fremfor græsensilage imidlertid minimeres. Når majsensilage andelen af grovfoder i en ration med 70% grovfoder blev øget fra 0% til 33%, 67% og 100% på bekostning af græsensilage, blev den enteriske metan

Figur 2: Ændringer i foderrationens sammensætning i form af slættidspunkt for græs, skift fra græs- til majsensilage og tilsætning af foderfedt kan reducere metan emission med omkring 10% uden nedgang i mælkeydelse (fra Brask et al., 2013)



emission reduceret lineært, så emissionen ved 100% majsensilage var 15% lavere end ved 100% græsensilage.

Klimabelastningen ved produktion af den samlede ration med 100% af grovfoder fra majs fremfor græs var 10% højere grundet græssets overlegne evne til at aflejre kulstof i jorden, og totalt blev det samlede klimaaftryk ved en majsensilage ration dermed kun 4% lavere end på en græsensilage baseret ration (Børsting et al., 2022). Det samlede klimaaftryk vil dog være meget afhængigt af udbytteforholdet ved dyrkning af græs eller majs.

Forholdet mellem grovfoder og kraftfoder:

En udskiftning af fiberrigt grovfoder med kraftfoder vil medføre, at produktionen af enterisk metan reduceres (Olijhoek et al., 2022). Dette skyldes, at kraftfoder typisk indeholder mere fedt og stivelse end grovfoderet, hvorved forgærmønsteret i vommen ændres mod en højere andel propionsyre og en mindre andel eddikesyre, hvilket jvf. ovenstående ligninger, reducerer produktionen af brint, som ellers ville indgå i dannelsen af metan.

For at drøvtyggere kan opretholde deres normale drøvtygningsfunktion og et sundt vommiljø, er en vis andel af fibre i rationen dog nødvendig, og der er derfor grænser for, hvor stor en andel kraftfoderet kan udgøre af den samlede ration uden negative konsekvenser for dyrenes sundhed og produktion.

I en ny rapport over klimavirkemidler (Andersen et al., 2022) er det foreslået, at andelen af kraftfoder i fodertørstof til malke-

køer vil kunne øges fra de ca. 40%, der som gennemsnit anvendes i praksis i dag til 50% uden negative effekter på produktion eller sundhed. Det blev estimeret, at en sådan ændring kan reducere enterisk metan med 10% hos Holstein og 5% ved Jersey køer. Ligesom ved omskiftning af majs- og græsensilage vil denne reduktion dog eventuelt blive udjævnet afhængig af, hvilke grovfoder- og kraftfodermidler der byttes om.

Foderadditiver

Der findes på nuværende tidspunkt nogle få foderadditiver på markedet, som er tilladte at bruge i EU men kun i konventionelle besætninger. Disse additiver kan hæmme metan emission fra drøvtyggere enten direkte ved at hæmme de metanogene arkæer eller indirekte ved at binde brint, så der er mindre brint tilgængeligt for metan syntesen. Derudover er nogle nye additiver under udvikling.

3-Nitrooxypropanol (3-NOP):

Dette er et ikke-naturligt forekommende stof udviklet af det hollandske firma, DSM. Stoffet har vist sig effektivt til at reducere produktionen af enterisk metan per kg produceret energikorrigeret mælk med omkring 29-38% hos malkekøer under danske forhold, hvor det laveste reduktionspotentiale ses på fiberrige (græsbase)de rationer (Maigaard et al., 2022; Sørensen et al., 2022).

Stoffet hæmmer et særligt enzymesystem, som kun findes i de metanogene arkæer, og vil derfor ikke hæmme de bakterier, der er ansvarlige for forgæringen af foderet i vommen. Stoffet blev i februar 2022 godkendt af det Europæiske FødevareSikker-

hedsAgentur (EFSA) under navnet Bovaer og kan derfor nu tages i brug på konventionelle bedrifter, mens det vil sandsynligvis ikke vil blive en accepteret mulighed i den økologiske produktion.

Nitrat: er et andet kemisk stof, som kan reducere produktionen af enterisk metan. Her er den primære virkningsmekanisme anderledes end for 3-NOP. Nitrat omsættes af særlige bakterier i vommen til ammoniak ved en proces, hvor der forbruges brint, som dermed ikke bliver tilgængelig for de metanogene arkæer.

Danske forsøg med malkekøer har vist, at det er muligt at opnå reduktioner i metan emission per kg indtaget tørstof i foderet på 18-23% ved tilsætning af 10-21 g nitrat per g fodertørstof (Olijhoek et al., 2016; Sørensen et al., 2022). Den dannede ammoniak vil efterfølgende kunne indgå i den mikrobielle proteinsyntese i vommen og dermed bidrage til koens forsyning med rigtigt protein.

Brugen af nitrat kan føre til øget kvælstof i gødningen, hvis ikke rationens øvrige proteinkilder reduceres tilsvarende. Desuden bliver der i omdannelsen af nitrat til ammoniak dannet et mellemprodukt, nitrit, som er et stof, der kan hæmme de røde blodlegemers evne til transport af ilt i dyret ved at omdanne hæmoglobin til methæmoglobin.

Forsøgene viser dog, at der kun dannes ubetydelige mængder af methæmoglobin, og det burde ikke give anledning til bekymring. Nitrat er godkendt som foderadditiv til kvæg, men er ikke muligt at anvende i økologiske besætninger.

Additive effekter ved kombination af 3-NOP, nitrat og fedt: er undersøgt i et nyligt dansk forsøg med malkekøer. Alle disse 3 midler er lovlige at tage i anvendelse som foderadditiver i EU, men desværre ser det ikke ud til at der kan opnås yderligere effekter ved at anvende dem i kombination (Sørensen, 2022).

Tang/makroalger: Der arbejdes forskellige steder i verden på at udvikle dyrknings-systemer til en tropisk makroalge (tang) ved navn *Asparagopsis*. Denne alge har i forsøg med intensivt opdrættede stude kunnet hæmme emissionen af metan fra vommen med fra 40% op til 98% uden forringelse af fodereffektiviteten ved tilsætning af kun 0,10% hhv. 0,20% af *Asparagopsis* i fodertørstoffet (Kinley et al., 2020).

Malkekøer er mere følsomme over for påvirkning af vommiljøet, og hos malkekøer har man ikke kunnet reducere emissionen af metan med mere end 26,4% ved tilsætning af 0,5% *Asparagopsis* i fodertørstoffet før det begyndte at give markant negative udslag på foderoptagelse og mælkeydelse (Roque et al., 2019).

De bioaktive stoffer i *Asparagopsis*, der hæmmer dannelsen af metan i vommen, er såkaldte halometaner, som f.eks. bromoform og bromokloroform, som ikke er ønskværdige at få ind i fødekæden. Det er imidlertid tilladt at anvende alger, herunder *Asparagopsis*, som foder til drøvtyggere i EU, og *Asparagopsis* er på nuværende tidspunkt reelt det eneste foderadditiv, bortset fra fedt, der vil kunne udnyttes i økologisk kvægbrug til at reducere metan. Der findes endnu ikke nogen stor-skala kommerciel produktion af denne makro-

alge, som er i nærheden af at kunne levere tilstrækkelige mængder til markedet, hvilket udgør en væsentlig barriere for at tage dette virkemiddel i brug inden for overskuelig fremtid. Ved en daglig tilsætning af 0,5% *Asparagopsis* i de ca. 20 kg foder-tørstof, som 500.000 danske malkekøer i gennemsnit æder om dagen, vil der være behov for en årlig produktion alene til Danmark på godt 18.000 tons algetørstof årligt. Dette skal sættes i forhold til, at der endnu ikke findes nogen kommerciel produktion og dermed ikke noget tilgængeligt *Asparagopsis* produkt på markedet i Europa.

Dansk forskning har vist, at der findes nogle få nordiske arter af makroalger, som har en vis metan-reducerende effekt, men ikke nær så kraftig som *Asparagopsis*. De nordiske arter indeholder ikke de førnævnte halometaner (Norskov et al., 2021). Der foregår i øjeblikket forskning for at identificere de ansvarlige bioaktive stoffer for potentielt at kunne udvikle nye metan reducerende virkemidler til brug i alle typer kvægbesætninger.

Stof X: Danske foderstofvirksomheder arbejder på at få patenteret et stof, kaldet X, der har vist sig at kunne reducere aktiviteten af de metanogene arkæer i vommen. Stof X virker sandsynligvis ved at blokere et nøgleenzym hos metanogenerne, der er nødvendigt for at danne metan ud fra kuldioxid og brint. Der er på nuværende tidspunkt udført tre intensive forsøg med malkekøer i Danmark, og på den baggrund er det realistisk at forvente, at stof X (eller en afledt metabolit) vil kunne reducere emission af metan fra malkekøer med omkring 30% uden at påvirke køernes mælkeydelse

og foderoptagelse negativt (Nielsen et al., 2022).

Der vil formodentligt gå et par år, før den fornødne dokumentation vil være fremskaffet, så der kan søges om godkendelse af stoffet som foderadditiv i EFSA. Der er dog optimisme i forhold til, at godkendelsen vil blive givet, da stoffet allerede er godkendt til brug i fødevareindustrien, bare ikke som foderadditiv.

Ved alle tiltag, hvor metan dannelsen hæmmes med additiver, er overskud af brint en udfordring, når det ikke længere udnyttes af metanogener til syntese af metan. Tilsætning til foderet af de meget potente metan-reducerende foderadditiver er ledsaget af en markant stigning i emissionen af brint, og der forskes i, om dette har sammenhæng til de markante fald i foderoptagelse, som er set ved brug af flere af disse foderadditiver i høje koncentrationer.

En hypotese er, at en ophobning af brint i vommen har en negativ effekt på den mikrobielle fermentering, som dermed går langsommere, hvorved også foderoptagelsen reduceres.

En anden hypotese er baseret på, at metanogenerne omsætter 5 gasmolekyler (4 brint og 1 kuldioxid) til 1 gasmolekyle (metan), og når denne reaktion hæmmes, sker der rent volumenmæssigt en øget ophobning af gas i vommen, som er til gene for koen enten direkte fysisk eller fysiologisk via ændring i de fysiske og kemiske ligevægte i vommen.

Andre fremtidige tiltag

Avl: Udfra studier bl.a. i Danmark er det estimeret, at der er en arvbarhed på omkring 0,2 for metanproduktion hos malkekvæg af Holstein racen (Lassen & Løvendahl, 2016), hvilket betyder, at 20 % af den genetiske variation, man ser i metan emission mellem køer, skyldes forskelle i deres genetik. Det gælder formodentlig også for racerne Jersey og Rød Dansk Malkerace.

Avl for nedsat produktionen af enterisk metan per kg mælk er en langsom proces over adskillige ko-generationer, men effekten fra avl er til gengæld blivende i modsætningen til effekten af foderadditiver, som giver en øjeblikkelig effekt, der stopper, når man ophører med at tildele additivet. Inden for avl og genetik i Danmark arbejdes der på at udvikle et avlsindeks for metan emission.

Stald- og ventilationssystemer: Hvis luften fra en stald kunne opsamles og renses for metan ved at oxidere det til kuldioxid, ville det i princippet være underordnet, hvor meget metan kvæg udleder, når de er opstaldet, så længe metanen ikke når ud i atmosfæren.

Udfordringen her er, at metan dels forekommer i meget lave koncentrationer i staldluft, og dels er det et meget lidt reaktivt molekyle, hvilket gør det vanskeligt at få det opsamlet og oxideret til CO₂. Der arbejdes i Danmark i øjeblikket med en ny lovende teknologi baseret på biofiltre til dette formål.

Konklusion

Det klimamæssige problem omkring drøvtyggere består i, at de udleder metan, som i forhold til CO₂ har et 80 gange højere globalt opvarmningspotentiale målt over de første 20 år efter udledning og et 27 gange højere opvarmningspotentiale målt over 100 år. Metan emission fra kvæg er ansvarlig for omkring 6,9% af Danmarks og 29,9% af landbrugets samlede emissioner af drivhusgasser.

Metan har imidlertid en kort levetid på kun 12 år i atmosfæren, hvorefter det omdannes til CO₂. Drøvtyggere bidrager derfor ikke til akkumulering af CO₂ i atmosfæren, da de ikke kan udlede mere CO₂ end de planter de har ædt i sin tid fikserede fra atmosfæren. Hvis omdannelsen af CO₂ til metan i vommen kunne forhindres, og metan emissionen dermed forhindres, ville det være et kolossalt skridt i retning af en klimaneutral kvægproduktion, selv med en uændret population af dyr.

De største potentialer for reduktion af metan her og nu er via anvendelse af foderadditiver, hvor der på nuværende tidspunkt er to godkendte produkter, 3-NOP (Bovaer) og nitrat, på markedet, som forventeligt kan reducere metan emission fra malkekvæg med omkring 30-35% hhv. 18-20%. Ingen af disse to produkter er tilladte i den økologiske produktion.

For økologer er det eneste værktøj til metan reduktion på nuværende tidspunkt gennem ændring af foderrationens sammensætning primært ved tilsætning af fedt, men reduktioner i metan emission på mere end 10% er vanskeligt at opnå ad den vej uden reduktioner i mælkeydelse og foder-

optag. Det samlede klimaaftryk ved mælkeproduktionen vil dog kun reduceres, hvis der vælges fodermidler, der ikke giver et højere klimaaftryk ved dyrkning og transport som ville kunne opveje reduktionen i enterisk metan.

Et spændende nyt virkemiddel, som principielt allerede er tilladt at bruge som fodermiddel også i økologisk produktion, er den tropiske rødalge *Asparagopsis*, der ser ud til at have et reduktionspotentiale på niveau med 3-NOP, omend denne alge aldrig er afprøvet under danske forhold. Indtil videre ser det dog ikke ud til at være lige om hjørnet med at få en tilstrækkelig opskaleret produktion af denne makroalge, ligesom det også ligger nogle år ude i fremtiden, inden det nye danske bud på et foderadditiv, Stof X, kan komme på markedet.

Under alle omstændigheder har der indtil nu ikke været incitamentstrukturer, der gør det attraktivt eller nødvendigt for den enkelte kvægproducent at implementere de nye metanreducerende virkemidler.

Mejeriselskabet Arla har varslet, at det fra medio 2023 vil give ca. 22 øre ekstra per kg mælk til de producenter, der lever op til en række krav til deres produktion. Derudover er der politiske overvejelser om at indføre en fremtidig beskatning af drivhusgas emission fra landbruget.

Det bliver spændende at se, om disse virkemidler kan understøtte hinanden, så den ønskede klimateffekt kan opnås samtidigt med, at husdyrproduktionen kan opfylde en uændret eller stigende global efterspørgsel efter mælk og oksekød.

Referencer

Albrektsen, R., Mikkelsen, M.H., & Gyldenkerne, S. 2021. Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 – 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 202 pp. Scientific Report No. 443. <http://dce2.au.dk/pub/SR443.pdf>

Andersen, M.N., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Hutchings, N.J., Elsgaard, L., Jørgensen, U., Munkholm, L., Børgesen, C.D., Sørensen, P., Petersen, S.O., Lærke, P.E., Børsting, C.F., Lund, P., Kjeldsen, M.H., Maigaard, M., Villumsen, T.M., Adamsen, A.P., Dalby, F.R., Kai, P., Nørre-mark, M., Blicher-Mathiesen, G., Audet, J., Bruus, M., Krogh, P.H., Kronvang, B., Winding, A., & Kristensen, H.L.. 2022. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 270 pp.

Brask, M., Lund, P., Hellwing, A.L.F., Poulsen, M., & Weisbjerg, M.R. 2013. Enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in dairy cows fed different forages with and without rapeseed fat supplementation. Anim. Feed Sci. Technol. 184, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.006>

Børsting, C.F., Brask-Pedersen, D.N., Mogensen, L., Hellwing, A.L.F., Weisbjerg, M.R., Johansen, M., Larsen, M. & Lund, P. 2022. Effect on carbon footprint when substituting grass-clover silage with maize silage for dairy cows. ISEP, September 2022. Animal - Science proceedings. 13, 3, p. 365-366.

Børsting, C.F., Johansen, M., Lund, P., & Møller, H.B. 2020. Notat vedr. optimeret fodring med øget fedt til kvæg og reduktionseffekt på enterisk metan. Notat til Miljø- og Fødevareministeriet. 11 pp. https://pure.au.dk/portal/files/178010630/Fodring_med_get_fedt_til_kv_g_effekt_p_enterisk_metan_280120.pdf

Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., & van Gastelen, S. 2018. Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *J. Dairy Sci.* 101, 9041-9047. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14456>

Forster, P., Storelvmo, T., Armour K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, D.J., Mauritsen, T., Palmer, M.D., Watanabe, M., Wild, M., & Zhang, H. 2021. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>

Kinley, R.D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M.K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N.W. 2020. Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production* 259, 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>

Lassen, J., & Løvendahl, P. 2016. Heritability estimates for enteric methane emissions from Holstein cattle measured using noninvasive methods. *J. Dairy Sci.* 99, 1959-1967. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10012>

Maigaard, M., Weisbjerg, M.R., Lund, P., Olson, C., & Walker, N. 2022. Effekten af 3-NOP afhænger af dosis og grovfodertype. *Fodringsdag, Herning*, 30.08.2022. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/8/e/9/fd22_effekten_3nop_afh_af_dosis_og_grovfodertype_morten_maigaard.pdf

Mogensen, I., Kristensen, T., Nguyen, T.L.T., Knudsen, M.T., & Hermansen, J.E. 2014. Method for calculating carbon footprint of cattle feeds – including contribution from soil carbon changes and use of cattle manure. *J. Cleaner Prod.* 73, 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.023>

Niu, M., E. Kebreab A. N. Hristov, J. C. Arndt, A. Bannink, A.R. Bayat, A.F. Brito, T. Boland, D. Casper, L. A. Crompton, J. Dijkstra, M.A. Eugène, P.C. Garnsworthy, M.N. Haque, A.L.F. Hellwing, P. Huhtanen, M. Kreuzer, B. Kuhla, P. Lund, J. Madsen, C. Martin, S.C. McClelland, M. McGee, P. J. Moate, S. Muetzel, C. Muñoz, P. O'Kiely, N. Peiren, C. K. Reynolds, A. Schwarm, K.J. Shingfield, T. M. Storlien, M.R. Weisbjerg, D. R. Yáñez Ruiz, & Z. Yu. 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Glob. Change Biol.* 24, 3368-3389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>

Nielsen, M.O., Thorsteinsson, M., Rønn, M., Nørskov, N., Lund, P., Weisbjerg, M.R., & Hansen, H.H. 2022. Stof X reducerer køers metan emission - uden forringelse af mælkeproduktion eller fodereffektivitet? *Fodringsdag, Herning*, 30.08.2022. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/3/8/d/fd22_stof_x_reducerer_koernes_metan_emission_uden_forr_af-maelkeprod_el_fodereff_mette_olaf_nielsen.pdf

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2022. Emission Inventories 1990-2020 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 969 pp. Scientific Report No. 494 <http://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>

Nørskov, N.P., Bruhn, A., Cole, A., & Nielsen, M.O. 2021. Targeted and untargeted metabolic profiling to discover bioactive compounds in seaweeds and hemp using gas and liquid chromatography-mass spectrometry. *Metabolites* 11, 259, <https://doi.org/10.3390/metabo11050259>

Olijhoek, D.W., Hellwing, A.L.F., Brask, M., Weisbjerg, M.R., Højbjerg, O., Larsen, M.K., Dijkstra, J., Erlandsen, E.J., & Lund, P. 2016 *J. Dairy Sci.* 99, 6191-6205, <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10691>

Olijhoek, D.W., A. L. F. Hellwing, S. J. Noel, P. Lund, M. Larsen, M. R. Weisbjerg, & C. F. Børsting. 2022. Feeding up to 91% concentrate to Holstein and Jersey dairy cows: Effects on enteric methane emission, rumen fermentation and bacterial community, digestibility, production and feeding behavior. *Dairy Sci. TBC*:1–19 <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21676>

Roque, B.M., Salwen, J.K., Kinley, R., & Kebreab, E. 2019. Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production* 234, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>

Sørensen, M.M. 2022. Fodring med fedt, nitrat og 3-NOP som metanreducerende tilsætningsstoffer, alene og i kombination med hinanden. Antal sider 9. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 12.05.2022. https://pure.au.dk/portal/files/268955998/Notat_om_fodring_med_fedt_nitrat_og_Bovaer_120522.pdf

