

Landbrugsudfordringen i relation til klimakrisen

Temanummer: Klimakrisen – de næste skridt

Drivhusgasreduktioner i landbruget opnås lettest gennem udtagning af landbrugsjord og nedbringelse af den animalske produktion. Lækageeffekter begrænser effektiviteten af denne tilgang, hvorimod teknologiske ændringer giver mulighed for at opnå drivhusgasreduktioner med fuldt globalt gennemslag.

Indledning

At reducere drivhusgasudledningerne fra landbruget er i princippet enkelt. Det kan ske i det ønskede omfang ved at reducere landbrugsproduktionen, fx ved at omlægge omdriftsarealer til vedvarende græs eller skov og ved at reducere den animalske produktion. Det skorter da heller ikke på forslag til netop den type løsninger, som bestemt også kan være relevante. Men anvendelse af produktionsreduktioner som klimavirkemiddel er ikke uden problemer, hverken samfundsøkonomisk eller klimamæssigt. Reelt ved vi ikke, hvilke teknologiske muligheder der vil åbne sig for klimaneutral landbrugsproduktion i løbet af de næste årtier. Derfor er det vovet at fremsætte specifikke forslag til, hvordan klimaneutralitet kan opnås i landbruget på længere sigt, dvs. frem til år 2050. Større reduktioner i det dyrkede areal rejser samtidig et spørgsmål om de afledte globale effekter i form af lækageproblematikken. Dvs. i hvilket omfang en formindsket udledning af drivhusgasser i Danmark medfører øget udledning af drivhusgasser i udlandet. Med den viden, vi har, er der dog en række teknologiske tiltag, som giver mulighed for at nedbringe landbrugets drivhusgasudledninger, uden at reducere produktionen væsentligt. Denne artikel indeholder ikke nagelfaste forslag til *løsninger* på landbrugets klimaudfordringer, men en gennemgang af problemets omfang, en diskussion af forskellige reduktionsvirkemidler med fokus på teknologiske ændringer og de samfundsmæssige omkostninger ved at gennemføre dem.

Landbrugets andel af Danmarks drivhusgasudledninger

Udviklingen i dansk landbrugs udledning af drivhusgasser kan ses i tabel 1 for perioden 1990-2017. Tallene stammer fra den nationale drivhusgasopgørelse for Danmark til FN (UNFCCC) samt EU-Kommissionen i 2019 (Nielsen et al., 2019). Opgørelsen er foretaget efter territorialprincippet i overensstemmelse med IPCC's retningslinjer og omfatter derfor alene de udslip, der finder sted på dansk territorium. Med de afgrænsningskriterier, der er benyttet i tabel 1, udgjorde landbrugets udledninger 14.769 kt CO₂-ækvivalenter I 2017,



ALEX DUBGAARD

Lektor emeritus
Institut for Fødevarer- og
Ressourceøkonomi
(IFRO)
Københavns Universitet
Email: adu@ifro.ku.dk

svarende til ca. 29 pct. af den samlede danske drivhusgasemission på 50,6 mio. ton CO₂-ækv. (Energistyrelsen, 2019a, s. 55).

Den største udledningskomponent er metan med 37,5 pct. af landbrugets samlede drivhusgasemission i 2017. To tredjedele af metanudledningen stammer fra husdyrs (primært kvæg) fordøjelsesprocesser, mens resten er udledninger fra opbevaring og udbringning af husdyrgødning (Nielsen et al., 2019). Metanemissionens størrelse har ikke ændret sig nævneværdigt siden 1990.

Lattergas er den næsthøjeste udledningskomponent med 33 pct. af landbrugets samlede drivhusgasemission i 2017. Knap 24 pct. af lattergasudledningen stammer fra kvælstof i handelsgødning, mens opbevaring og anvendelse af husdyrgødning står for 36 pct. (Nielsen et al., 2019). De resterende ca. 40 pct. stammer fra forskellige kilder, hvor de vigtigste er omsætning af afgrøderester, dyrkning af organiske jorder og kvælstofudvaskning. Siden 1990 er landbrugets lattergasudledning reduceret med henved en fjerdedel. Det skyldes især virkemidler til begrænsning af kvælstofudvaskningen, som ikke mindst har ført til bedre udnyttelse af kvælstoffet i husdyrgødning, hvilket igen har bidraget til at reducere tilførslen af kvælstof gennem handelsgødning (op. cit.).

Udledningen af CO₂ fra brændstof til landbrugsmaskiner er i den nationale drivhusgasopgørelse beregnet til 1.030 kt i 2017. Det svarer til 7 pct. af landbrugets samlede udledning af drivhusgasser. Hovedparten af landbrugets drivhusgasudledninger skyldes således ikke anvendelse af fossile brændsler.

Posten LULUC, som er den engelske forkortelse for *Land Use and Land Use Change*, omfatter udledning såvel som optag af drivhusgasser i forbindelse med anvendelse af landbrugsjord. Drivhusgasudledning fra landbrugsjord består overvejende af CO₂ og i mindre grad metan. Udledning finder sted, når organisk materiale i jorden nedbrydes. Omvendt bindes der kulstof i jorden, når CO₂ gennem fotosyntesen optages af planter, og en del af plantematerialet inkorporeres i jorden. Den opgjorte drivhusgasudledning under LULUC afspejler nettoeffekten af de to processer. I tabel 1 ses det, at LULUC stod for 21 pct. af landbrugets samlede udledning i 2017. Hovedparten af disse udledninger stammer fra drænedede organiske jorder, dvs. lavbundsjorder med et stort indhold af organisk materiale – også kaldet tørvejorder. Emissionen fra disse arealer har udgjort 6-7 pct. af den samlede danske drivhusgasemission i de senere år (Nielsen et al., 2019).¹ Det skal tilføjes, at opgørelse af udledninger i forbindelse med LULUC er forbundet med betydelig usikkerhed (op. cit.).

Sammenfattende kan det konstateres, at den samlede drivhusgasemission fra landbruget inklusive maskiner og LULUC er reduceret med 23 pct. siden 1990. Ses der alene på metan og lattergas samt CO₂ fra jordbrugskalk mm., dvs. den traditionelle afgrænsning af drivhusgasser fra landbruget, er udledningerne faldet med 16 pct. siden 1990. Forbruget af motorbrændstof er reduceret med 19 pct., mens LULUC-relaterede udledninger er formindsket med 42 pct.

Tabel 1. Drivhusgasemissioner fra dansk landbrug i kt CO₂-ækv, 1990-2017

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	Pct. 2017
Metan (CH₄) og lattergas (N₂O) mm.	12.669	11.256	10.405	10.397	10.574	10.642	72,0
– Metan fra husdyr og husdyrgødning	5.586	5.719	5.638	5.539	5.565	5.546	37,5
– Lattergas fra kvælstofomsætning	6.464	5.269	4.610	4.681	4.793	4.877	33,0
– CO ₂ fra jordbrugskalk mm.	619	268	156	177	217	219	1,5
Maskiner* (CO₂)	1.272					1.030	7,0
I alt inkl. maskiner	13.941					11.672	79,0
LULUC i alt	5.362					3.097	21,0
– Organiske jorder** (CO ₂)	4.777					3.454	23,4
– Øvrige arealer mv. (CO ₂)	398					-503	-3,4
– Organiske jorder** (CH ₄)	187					146	1,0
I alt inkl. maskiner og LULUC	19.303					14.769	100

* Posten "1.A.4.c ii Agriculture (mobile)" er fra Table 1.5 i Nielsen et al. (2019).

**Udledningen fra organiske jorder er under opjustering ved Aarhus Universitet, jfr. fodnote i teksten.

Kilde: Nielsen et al. (2019).

Afvigelser fra den gængse afgrænsning af landbrugets drivhusgasemissioner

Landbrugets andel af Danmarks drivhusgasudledning opgøres normalt til i størrelsesordenen 20-22 pct. Det gælder også den nationale drivhusgasopgørelse, hvor landbrugets andel er angivet som 22,4 pct. af totalemissionen af drivhusgasser i 2017 (Nielsen et al., 2019). De 29 pct., der er beregnet her, er således en del højere, end hvad man normalt ser. Forskellen skyldes, at den nationale drivhusgasopgørelse afgrænser landbrugets udledninger til metan og lattergas fra husdyr og gødning samt CO₂ fra anvendelsen af jordbrugskalk mm., svarende til landbrugets udledninger eksklusive maskiner og LULUC i tabel 1. CO₂ fra brændstof til traktorer og andre landbrugsmaskiner indgår i den nationale drivhusgasopgørelse under udledninger fra transport mv., hvilket er i overensstemmelse med IPCC's kategorisering. Denne tilgang kan dog ikke betegnes som retvisende, når det drejer sig om at identificere størrelsen af den drivhusgasemission, der stammer fra aktiviteter i landbruget – og dermed det reduktionspotentiale, der findes i landbrugssektoren.

Udledningen af drivhusgasser fra arealanvendelse (landbrugsarealer og skove mm.) optræder som en selvstændig sektor i den nationale drivhusgasopgørelse under betegnelsen LULUCF, som er en forkortelse af *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, hvilket også er i overensstemmelse med international praksis. Når udledning i forbindelse med LULUCF behandles separat skyldes det formentlig, at der for denne sektor gælder særlige regler. EU's klima- og energipolitik sætter således begrænsninger på medregning af LULUCF-bidrag til reduktionsindsatsen i de ikke-kvotefattede sektorer (pri-

mært transport, landbrug, husholdninger). I Energistyrelsens Basisfremskrivning 2019 forventes det, at forbedringen i kulstofbalancen i landbrugsjorder og skove nogenlunde vil svare til Danmarks mulighed for at medregne LULUCF-bidrag (Energistyrelsen, 2019a). Det ser således ikke ud til, at yderligere tiltag til reduktion af det samlede LULUCF-bidrag – fx ved skovrejsning og udtagning af organiske jorder – vil have værdi for Danmark, såfremt der alene ses på opfyldelsen af landets reduktionsforpligtelser. Det forholder sig naturligvis anderledes, hvis Danmarks klimapolitik også indeholder en global målsætning.

Ud over de nævnte kilder giver landbrugsproduktionen anledning til drivhusgasudledninger ved produktion af den elektricitet, der anvendes i landbruget. Her er det vanskeligt at finde specifikke data for drivhusgasudledningen, men af Energistatistikken fremgår det, at landbrug og gartneri står for i størrelsesordenen 5,5 pct. af det samlede elforbrug i Danmark. Elproduktion foregår dog overvejende i de kvoteomfattede sektorer, og CO₂-udledningen herfra indgår derfor ikke i Danmarks reduktionsforpligtelser i relation til EU's klimamål for de ikke-kvotebelagte sektorer.

Fremskrivning landbrugets drivhusgasudledninger

Energistyrelsens Basisfremskrivning 2019 indeholder styrelsens vurdering af, hvordan drivhusgasudledningen vil udvikle sig frem mod 2030, hvis der *ikke* besluttet andre tiltag på klima- og energiområdet end dem, Folketinget har vedtaget med udgangen af maj 2019 (Energistyrelsen, 2019a). Fremskrivningen indikerer, at Danmark ikke vil opfylde sin forpligtelse til at nedbringe drivhusgasudledningerne i de ikke-kvotefattede sektorer med 39 pct. i 2030 ift. 2005. Uden nye tiltag forventes der således en manko på 14 pct.-point i 2030 ift. forpligtelsen (op. cit.). Det svarer til 5,6 mio. ton CO₂-ækv. Hvad landbrugets udledninger af metan og lattergas angår, forventes der kun et fald på omkring 1,5 pct. i perioden 2021-2030. Som nævnt regnes der med en forbedring af kulstofbalancen i jorder og skovbrug, der nogenlunde svarer til det LULUCF-bidrag, som Danmark har mulighed for at medregne i reduktionsindsatsen for ikke-kvotesektoren.

Regeringen og dens støttepartier har i 2019 indgået en aftale, som bl.a. indeholder et ”mål om reduktion af drivhusgasser i 2030 med 70 pct. i forhold til niveauet i 1990” (Socialdemokratiet, Radikale Venstre, SF og Enhedslisten, 2019). I 1990 blev der udledt 70,8 mio. ton CO₂-ækv. (Energistyrelsen, 2019a). Skal drivhusgasemissionen reduceres til 30 pct. af dette niveau, svarer det til en udledning på ca. 21 mio. ton CO₂-ækv. i 2030. Energistyrelsens *Basisfremskrivning 2019* forventer, at Danmarks drivhusgasudledning – uden nye tiltag – vil falde til ca. 38 mio. ton CO₂-ækv. i 2030 ekskl. LULUCF (op. cit.). Udledningerne fra LULUCF forventes at udgøre godt 3 mio. ton CO₂-ækv. i 2030 (op. cit.). Den samlede forventede udledning i 2030 kan dermed opgøres til i størrelsesordenen 41 mio. ton. Det giver en manko på 20 mio. ton i forhold til en målsætning om 70 pct. reduktion.² Rammerne for målsætningen i par-

tiernes aftale er dog ikke fastlagt, og det her beregnede reduktionsbehov kan derfor vise sig at afvige fra den faktiske målsætning.

Det står heller ikke klart, hvordan den ønskede drivhusgasreduktion skal fordeles mellem de kvoteomfattede og de ikke-kvoteomfattede sektorer. Energi-styrelsens basisfremskrivning forventer, at drivhusgasudledningen i de kvoteomfattede sektorer vil blive reduceret fra 15,2 mio. ton CO₂-ækv. i 2017 til 8,5 mio. ton 2030 (Energistyrelsen, 2019b). Det betyder, at ikke-kvotesektoren i 2030 vil stå for knap 80 pct. af de samlede udledninger (inkl. LULUCF). En stor del af den her beregnede manko på 20 mio. ton CO₂-ækv. vil derfor skulle findes inden for de ikke-kvoteomfattede sektorer. Ifølge basisfremskrivningen vil de to helt dominerende udledere i 2030 være transportsektoren og landbruget. Transportsektorens forventede udledning i 2030 er opgjort til 12,7 mio. ton CO₂-ækv. (op. cit.). For landbrugets vedkommende forventes der kun et mindre fald i udledningerne, der kan opgøres til 11,4 mio. ton i 2030 inkl. brændstof til maskiner, men ekskl. LULUCF. LULUCF-bidraget forventes som nævnt at udgøre godt 3 mio. ton CO₂-ækv. i 2030.³ Udledningerne fra landbruget og LULUCF kan dermed opgøres til 14,4 mio. ton CO₂-ækv. i 2030, svarende til 35 pct. af de samlede udledninger i 2030 ifølge Energi-styrelsens basisfremskrivning.

Realisering af målsætningen om 70 pct. reduktion af drivhusgasudledningen vil derfor kræve betydelige bidrag fra landbruget. Der kan opnås store reduktioner gennem udtagning af landbrugsarealer og begrænsning af den animalske produktion, især kvægholdet. Det er dog langt fra givet, at de drivhusgasreduktioner, der realiseres ved produktionsnedsættelser i landbruget, også vil slå (fuldt) igennem globalt.

Lækageeffekter af udledningsreduktioner i dansk landbrug

Ved lækageeffekter forstås merudledning af drivhusgasser i andre lande som følge af et givet lands nedbringelse af egne udledninger gennem klimapolitiske tiltag. Hvis alle lande følger Paris-aftalens reduktionskrav, vil de drivhusgasreduktioner, der opnås i fx Danmark, også slå fuldt igennem på verdensplan. USA har meddelt, at landet forlader Paris-aftalen, og der kan formentlig rejses berettiget tvivl om flere andre større udlederes vilje til at leve op til kravene. Fx har Brasiliens præsident lagt afstand til Paris-aftalen. Endvidere har en del andre lande forbehold mht. deres reduktionsmålsætninger (Rogelj et al., 2017). Man må derfor regne med, at reduktioner opnået gennem nedsættelse af landbrugsproduktionen i Danmark i større eller mindre omfang vil blive modsvaret af stigninger i andre dele af verden.

Det Miljøøkonomiske Råd har beregnet lækageeffekterne i forskellige sektorer i forbindelse med en afgift (på 100 kr. pr. ton CO₂-ækv.) på udledning af drivhusgasser i Danmark (De Økonomiske Råd, 2019a). Til beregningerne er der anvendt en global generel ligevægtsmodel, den såkaldte GTAP-E-model (op. cit.). Analyserne omfatter flere scenarier med varierende forudsætninger, bl.a. om udledningsbegrænsninger i andre lande. I grundscenariet forudsæt-

tes det, at der er begrænsninger på udledninger fra ikke-kvotesektorerne i 11 EU-lande, men ingen begrænsning på udledningerne fra lande uden for EU. I det såkaldte Paris-aftale-scenarie forudsættes der derimod, at alle lande uden for EU har begrænsninger på de samlede udledninger – med undtagelse af Kina, Rusland, Indien og USA. Beregningerne i grundscenariet viser en høj lækagerate for landbruget, nærmere betegnet 75 pct. Det forklares med, at forbruget af fødevarer kun i mindre grad påvirkes af ændringer i indkomst og priser. Derfor stiger produktionen og udledningerne i udenlandsk landbrug betydeligt, når landbrugsproduktionen mindskes i Danmark. Paris-aftale-scenariet viser, at landbrugets lækagerate reduceres til 27 pct., hvis der er bindende klimamål i mange lande uden for EU (op. cit.).

De beregnede lækagerater dækker over en direkte lækage og en indirekte lækage. Den direkte lækage viser, hvor stor en del af udledningsreduktionen i dansk landbrug, der resulterer i øgede udledninger i udenlandsk landbrug. Den indirekte lækage viser udledningsændringer som følge af forbrugsændringer samt aktivitetsændringer i økonomiens øvrige produktionssektorer. En stigning i landbrugsproduktionen i udlandet vil således medføre en overførsel af kapital og arbejdskraft til landbruget fra økonomiens øvrige sektorer. Denne overførsel vil reducere produktionen og drivhusgasudledningen i de sektorer, der afgiver kapital og arbejdskraft.

En dekomponering af lækageeffekterne i basisscenariet viser en direkte lækagerate på 112 pct. (Beck et al., 2019). Dvs. at produktionsnedgangen i dansk landbrug medfører en stigning i udledningerne fra udlandets landbrug, som er 12 pct. større en udledningsreduktionen i Danmark. Dette resultat afspejler, at dansk landbrug har lavere udledninger pr. produceret enhed end udlandets landbrug. Den indirekte lækagerate er på minus 37,3 pct. Tilsammen giver det den samlede lækagerate på 75 pct. i basisscenariet. I Paris-aftale-scenariet er den direkte lækagerate 107,9 pct. (De Økonomiske Råd, 2019b). Der er altså ikke den store forskel på lækageeffekterne for landbrugets vedkommende i hhv. basis- og Paris-aftale-scenariet. Den væsentligt mindre totale lækagerate i Paris-aftale-scenariet opstår som følge af en langt større reduktion i økonomiens øvrige sektorer i udlandet. Her er den indirekte lækagerate minus 80,6 pct., hvilket resulterer i den samlede lækagerate på godt 27 pct. i Paris-aftale-scenariet.

Det er vanskeligt at sige, hvilket af de to scenarier, der er mest realistisk. Den store forskel på de indirekte lækageeffekter i basisscenariet og Paris-aftale-scenariet bidrager til usikkerheden i beregningerne. Under alle omstændigheder må det forventes, at der vil være en væsentlig lækage i forbindelse med klimatiltag, som reducerer landbrugsproduktionen her i landet.

IFRO's undersøgelse af klimavirkemidler i landbruget

Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO) har gennemført økonomiske analyser af virkemidler, der primært fokuserer på teknologiske tiltag til reduktion af drivhusgasudledningerne fra forskellige landbrugsaktiviteter og

processer – uden nødvendigvis at medføre en reduktion i landbrugsproduktionen (Dubgaard & Ståhl, 2018). Her kan lækageeffekter forventes at spille en mindre rolle.

Virkemidlerne omfatter øget anvendelse af gylle i biogasproduktion, forsuring af gylle (med svovlsyre) i stalden, ændret fodersammensætning til malkekøer, tilsætning af nitrifikationshæmmere til handelsgødning og gylle samt udtagning af organiske jorder. Disse virkemidler kan betegnes som teknologændringer bortset fra udtagning af organiske jorder, der virker gennem en reduktion af landbrugsarealet i omdrift og dermed planteproduktionen. Produktionsnedgangen er dog ret beskeden i forhold til den store drivhusgasreduktion, der opnås ved at begrænse kulstofomsætningen i de organiske jorde.

Beregningsresultaterne ses i tabel 2, som ud over de samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger også viser virkemidlernes reduktionspotentialer og de samlede budgetøkonomiske omkostninger for landbruget og staten ved fuld implementering af tiltagene i 2030. Et virkemiddels reduktionspotentiale opgøres i CO₂-ækvivalenter som summen af effekterne på udledningen af metan (CH₄), lattergas (N₂O) og kuldioxid (CO₂). Reduktionspotentialerne er opgjort som yderligere reduktionsmuligheder i forhold til en basisfremskrivning foretaget af Energistyrelsen for de forventede effekter af allerede truffne politiske beslutninger (Nielsen et al., 2017). Ud over drivhusgasreduktioner har flere virkemidler sideeffekter i form af reduceret kvælstofudvaskning og reduceret ammoniakfordampning.

Biogas: For biogasvirkemidlet forudsættes det, at yderligere 36 pct. af gyllemængden vil blive anvendt i biogasproduktion frem til 2030. Sammen med den forventede udvikling i baseline vil det bringe den afgassede gyllemængde op på 64 pct. af den samlede gylleproduktion. Afgasning af de 36 pct. af gyllemængden vil give en reduktion i drivhusgasudledningen på 244.000 ton CO₂-ækv. i kvotesektoren i form af reduceret metanudledning fra opbevaring af gylle. Dertil kommer en reduktion på 95.000 ton CO₂-ækv. i kvotesektoren, hvor den producerede biogas fortrænger fossil energi. Biogasvirkemidlet har en sideeffekt i form af reduceret kvælstofudvaskning som følge af bedre udnyttelse af kvælstoffet i afgasset gylle.

Forsuring af gylle i stalden: Forsuringen, der forudsættes at omfatte 16 pct. af den konventionelle gylleproduktion, sker ved tilsætning af svovlsyre (forsuring med svovlsyre er ikke tilladt i økologisk husdyrbrug). Potentialet er fastlagt under hensyntagen til, at forsuring med svovlsyre udelukker anvendelse af gyllen i biogasproduktion. Reduktionspotentialet i form af reduceret metanudledning er opgjort til 176.000 ton CO₂-ækv. ved fuld implementering. Derudover har virkemidlet en sideeffekt i form af en betydelig reduktion i ammoniakfordampningen fra den behandlede gylle.

Ændret fodersammensætning til malkekøer: Virkemidlet forudsætter et krav om øget andel af kraftfoder, fedt og letfordøjeligt grovfoder i foderrationen til malkekøer med henblik på at reducere metanudledningen fra dy-

renes fordøjelse. Reduktionspotentialet er opgjort til 158.000 ton CO₂-ækv. Virkemidlet omfatter alene konventionelle malkekøer, da en forøgelse af kraftfoderandelen er uforholdsmæssig dyr i økologisk mælkeproduktion. Der er ingen sideeffekter i form af reduceret nitratudvaskning eller ammoniakfordampning.

Nitrifikationshæmmere til handelsgødning kvælstof: Det forudsættes, at der indføres et krav om tilsætning af nitrifikationshæmmere til 90 pct. af den kvælstofholdige handelsgødning, der anvendes i landbruget. Reduktionspotentialet er 496.000 ton CO₂-ækv. ved fuld implementering af virkemidlet. Reduktionen skyldes først og fremmest en nedgang i lattergasudledningen fra kvælstof. Der er en mindre sideeffekt i form af reduceret kvælstofudvaskning.

Nitrifikationshæmmere til gylle: Virkemidlet forudsætter et krav om tilsætning af nitrifikationshæmmere til al konventionel gylle (økologiske dyrkningsregler tillader ikke tilsætning af nitrifikationshæmmere). Reduktionspotentialer er opgjort til 213.000 ton CO₂-ækv. ved fuld implementering. Som for handelsgødning kvælstof skyldes reduktionen primært en nedgang i lattergasudledningen. Dertil kommer en sideeffekt i form af reduceret kvælstofudvaskning.

Udtagning af organiske jorder: Det største reduktionspotentialer knytter sig til omlægning af organiske jorder fra dyrkning i omdrift til ekstensivt græs med ophør af dræning og gødskning. Udtagningen omfatter knap 45.000 ha, som primært er beliggende i ådale, hvor det er muligt at udtage arealer uden kostbare indgreb i eksisterende bygnings- og produktionssystemer.⁴ Drivhusgasreduktionspotentialer er opgjort til 1.352.000 ton CO₂-ækv. ved fuld implementering i 2030. Reduktionen skyldes først og fremmest øget kulstofbinding i jorden (primært som følge af reduceret kulstofomsætning) ved ophør med dræning. Denne effekt må forventes at aftage på længere sigt. Det antages, at det angivne reduktionspotentialer er retvisende inden for den her forudsatte tishorison. Virkemidlet har sideeffekter i form af reduceret kvælstofudvaskning og, i mindre omfang, reduceret ammoniakfordampning.

Samlet reduktionspotentialer: Det samlede reduktionspotentialer for virkemidlerne i tabel 2 udgør 2,6 mio. ton CO₂-ækv. i 2030 for den ikke-kvotefattede sektor, samt yderligere 0,1 mio. ton CO₂-ækv. i kvotesektoren hvor fossil energi fortrænges af øgede biogasleverancer. Uden medtagelse af LU-LUCF-bidrag ved udtagning af organiske jorder er det samlede reduktionspotentialer 1,3 mio. ton CO₂-ækv. Til sammenligning forventes der, som tidligere beskrevet, en manko i forhold til reduktionskravet for ikke-kvotesektoren på ca. 5,6 mio. ton CO₂-ækv. i 2030 og en beregnet manko på 20 mio. ton i forhold til den politiske målsætning om 70 pct. drivhusgasreduktion i 2030.

Tabel 2. Budget- og samfundsøkonomiske omkostninger ved drivhusgasreduktioner i landbruget ved fuld implementering af virkemidler i 2030

Virkemidler	Reduktion i ikke-kvotesektoren, 1.000 ton CO ₂ -ækv.	Budgetøkonomiske omkostninger, mio. kr./år		Samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger, kr./ton CO ₂ -ækv.	
		Landbruget	Staten, tilskud	Inkl. sideeffekter	Ekskl. sideeffekter
Biogasproduktion, 36 % af gyllemængden	244*	-231	499	1.402	1.588
Forsuring af gylle i stalden, 16 % af konventionel gylle	176	139		-94	1.132
Ændret fodersammensætning til konventionelle malkekøer	158	107		948	948
Nitrifikationshæmmere, 90 % af handelsgødningskvælstoffet	496	493		1.296	1.413
Nitrifikationshæmmere, al konventionel gylle	213	226		1.225	1.506
Udtagning af organiske jorder, 47.400 ha	1.352	0	259	218	273
I alt	2.639	734	758		

* Yderligere udledningsreduktion i kvotesektoren: 95.000 ton CO₂-ækv.
Kilde: Egne beregninger samt Olesen et al. (2018).

Virkemidlernes budget- og samfundsøkonomisk reduktionsomkostninger

For landbruget afspejler de budgetøkonomiske omkostninger ændringer i erhvervets indtjening ved implementering af de enkelte virkemidler, når der tages hensyn til eventuelle tilskud. For statens vedkommende er der primært tale om tilskudsbetalinger og mistede skatte- og afgiftsindtægter. De budgetøkonomiske omkostninger i tabel 2 er vist for året 2030, hvor samtlige virkemidler er fuldt implementeret.

De samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger er beregnet pr. ton CO₂-ækv. i 2017-priser – baseret på kriterierne i Energi-, Forsynings- og Klimaministeriets metodenotat til brug for samfundsøkonomiske analyser af klimavirkemidler (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2018). Reduktionsomkostninger per ton CO₂-ækv. er beregnet for en 30-årig periode (2021-2050) ved anvendelse af en diskonteringsrente på 4 pct. I overensstemmelse med de samfundsøkonomiske beregningsprincipper (på beregningstidspunktet) er omkostninger i faktorpriser forøget med en nettoafgiftsfaktor på 1,325, ligesom der forudsættes et skatteforvriddningstab på 10 pct. (op. cit.).

I de samfundsøkonomiske beregninger indgår den samfundsmæssige værdien af sideeffekter som en reduktion i nettoomkostningerne ved drivhusgasreduktionen. Værdien af sideeffekterne opgøres som de marginale reduktionsomkostninger (skyggeprisen) ved at realisere de politisk fastsatte reduktionsmål-

sætninger for kvælstof- og ammoniakudledningerne (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2018). For reduceret kvælstofudvaskning (fra rodzonen) er der for beregningerne i tabel 2 benyttet en skyggepris på 25 kr./kg N, mens skyggeprisen for reduceret ammoniakfordampning er 60 kr./kg N.

Biogas: Her antages det, at der kan skabes økonomisk incitament til den forudsatte forøgelse gennem fastholdelse af det hidtidige tilskudsniveau til biogasproduktionen, som ellers tænkes reduceret. Med de forudsatte tilskud til biogas viser de budgetøkonomiske beregninger en øget indtjening i landbrugssektoren på 231 mio. kr. i 2030 og fremover, når tiltaget er fuldt implementeret. Statens udgifter i form af tilskud mv. vil være knap 500 mio. kr. på årsbasis fra 2030. De samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger udgør 1.402 kr./ton CO₂-ækv. inkl. sideeffekter og 1.588 kr./ton CO₂-ækv., når værdien af sideeffekter ikke medregnes.

Forsuring af gylle i stalden: Dette tiltag, der forudsættes implementeret gennem lovkrav, vil påføre landbruget 139 mio. kr. i omkostninger på årsbasis ved fuld implementering. De samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger er negative (minus 94 kr./ton CO₂-ækv.), når værdien af sideeffekten i form af reduceret ammoniakfordampning medregnes. Uden værdien af denne sideeffekt udgør reduktionsomkostningerne 1.132 kr./ton CO₂-ækv. Forsuring af gylle er således primært et miljøtiltag til reduktion af ammoniakudledning.

Ændret fodersammensætning til malkekøer: Tiltaget, der forudsættes implementeret gennem lovkrav, vil påføre landbruget omkostninger på 107 mio. kr. om året. De samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger er 948 kr./ton CO₂-ækv. Virkemidlet har ingen sideeffekter.

Nitrifikationshæmmere til handelsgødningskvælstof: Et krav om tilsætning af nitrifikationshæmmere til 90 pct. af handelsgødningskvælstoffet vil koste landbruget 493 mio. kr. om året. De samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger udgør 1.296 kr./ton CO₂-ækv. inkl. sideeffekter og 1.413 kr./ton CO₂-ækv., når værdien af sideeffekter ikke medregnes.

Nitrifikationshæmmere til gylle: For nitrifikationshæmmere til konventionel gylle udgør landbrugets omkostninger 226 mio. kr. om året. Her er de samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger 1.225 kr./ton CO₂-ækv. inkl. sideeffekter og 1.506 kr./ton CO₂-ækv. ekskl. værdien af sideeffekter.

Udtagning af organiske jorder: Det forudsættes, at landbruget kompenseres gennem et break-even tilskud, som dækker tabt jordrente (nettoafkastet) til de pågældende jorder. Statens udgifter til compensation er beregnet til 259 mio. kr. om året ved fuld udtagning af de forudsatte 47.400 ha. De samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger er beregnet til 218 kr./ton CO₂-ækv. inkl. sideeffekter og 273 kr./ton CO₂-ækv. ekskl. sideeffekter.

Sammenfattende kan det konkluderes, at udtagning af organiske jorder er det virkemiddel, der har det største reduktionspotentiale og de laveste sam-

fundsmæssige reduktionsomkostninger – bortset fra gylleforsuring, når sideeffekter medregnes. Muligheden for at udnytte dette virkemiddel i Danmarks opfyldelse af reduktionsmålene for 2030 afhænger imidlertid af de begrænsninger, som EU har sat for inddragelse af forbedringer i jordens kulstofbalance. Blandt de teknologændrende virkemidler har øget biogasproduktion samt tilsætning af nitrifikationshæmmere til handelsgødningskvælstof og gylle de største reduktionspotentialer. De hører samtidig til de dyreste i form af samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger pr. ton CO₂-ækv. Ændret fodersammensætning til malkekøer har noget lavere reduktionsomkostninger, men også et ret beskedent reduktionspotentiale. Forsuring af gylle har de laveste reduktionsomkostninger, når den samfundsøkonomiske værdi af reduceret ammoniakfordampning medtages. Uden sideeffekten stiger reduktionsomkostningerne stærkt, men ligger dog stadig under virkemidlerne biogas og tilsætning af nitrifikationshæmmere. Da forsuring udelukker anvendelse af gyllen i biogasproduktion, ville det være nærliggende at reducere det forudsatte biogaspotentiale til fordel for en forøgelse af forsuringsomfanget. Her skal det dog tages i betragtning, at der er et politisk ønske om øget produktion af grøn energi, som ikke indgår i nærværende beregninger. Endvidere kan der være miljømæssige behov for at begrænse den tilførsel af svovl til landbrugsjorden, som forsuring af gylle medfører.

Det er ikke umiddelbart muligt at vurdere de undersøgte virkemidlers omkostningseffektivitet i forhold til drivhusgasreduktioner i andre dele af økonomien. En sammenligning ville kræve, at der var gennemført analyser af de samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger i andre sektorer efter de samme kriterier som er anvendt i beregningerne for landbruget. Sådanne analyser var angiveligt planlagt som en del af beslutningsgrundlaget for Danmarks opfyldelse af EU's 2030 klimamålsætning inden for det ikke-omfattede område. Det er imidlertid kun analyserne for landbruget (i Dubgaard og Ståhl, 2018), der er blevet gennemført/offentliggjort.

Øvrige landbrugsrelaterede klimavirkemidler

Ud over de analyserede virkemidler i tabel 2 findes der en række andre tekniske tiltag, som kan anvendes til reduktion af drivhusgasudledningerne fra landbruget. I tabel 3 ses eksempler, som DCA har analyseret med hensyn til bl.a. reduktionspotentialer (Olesen et al., 2018). Der findes ikke aktuelle beregninger af budget- og samfundsøkonomiske omkostninger ved implementering af disse tiltag.

Det samlede reduktionspotentiale for virkemidlerne i tabel 3 er opgjort til 672.000 ton CO₂-ækv., svarende til en fjerdedel af reduktionspotentialet for virkemidlerne i tabel 2. Tiltagene braklægning, flerårige energiafgrøder og efterafgrøder tegner sig for knap 80 pct. af reduktionspotentialet i tabel 3. Hovedparten af dette udgøres af øget kulstofbinding i landbrugsjorden.

Det er naturligvis muligt at øge omfanget af tiltagene braklægning og flerårige energiafgrøder. Det samme gælder skovrejsning på landbrugsjord. Loftet

over medtagelse af LULUCF-bidrag i den ikke-kvoteomfattede sektor betyder imidlertid, at det er begrænset, hvor stor en del af drivhusgasreduktionen fra disse tiltag, der kommer Danmark til gode i form af bidrag til opfyldelse af landets reduktionsforpligtelser. Det globale perspektiv bliver således afgørende for relevansen af disse virkemidler, men det rejser samtidig spørgsmålet om størrelsen af lækageeffekten ved udtagning af landbrugsjord.

Tabel 3. Reduktion af drivhusgasser ved virkemidler opgjort af DCA

Tiltag	Reduktion i ikke-kvotesektoren, 1.000 ton CO ₂ -ækv.
Nitrat i foder til malkekvæg	110
Fast overdækning af gyllebeholdere	8
Skærpet N-udnyttelse af afgasset gylle	27
Braklægning (100.000 ha)	219
Flerårige energiafgrøder (100.000 ha)	138
Efterafgrøder (205.000 ha)	170
Samlet effekt	672

Kilde: Olesen et al, 2018.

Nye muligheder

Ved dyrkning af græs og roer mm. er det muligt at opnå betydelige forøgelser af biomasseproduktionen per hektar sammenlignet med udbyttet af kerne og halm ved korndyrkning (Gylling et al., 2012). Udnyttes græs og roer i biogasproduktion og græs til bioraffinering er det muligt at øge leverancerne af biomasse til energisektoren og samtidig opretholde produktionen af foder og fødevarer (op. cit.). Det ser dog ikke ud til, at bioraffinering af græs er økonomisk konkurrencedygtig på nuværende tidspunkt (Jensen et al., 2019), og tidligere undersøgelser tyder heller ikke på, at anvendelse af afgrøder til biogas er samfundsøkonomisk attraktivt (Dubgaard et al., 2013). Der kræves fortsat teknologiudvikling for at gøre disse alternativer drifts- og samfundsøkonomiske relevante.

Afslutning

Som nævnt i indledningen er det let at reducere drivhusgasudledningerne fra landbruget ved at reducere det dyrkede areal og den animalske produktion. Denne artikel afviser ikke disse muligheder, men påpeger udfordringer i form af lækageeffekter, der formindsker den globale effektivitet af klimapolitiske indgreb, som medfører produktionsreduktioner.

Der findes imidlertid virkemidler i form af ændringer i produktionsteknologi og udnyttelse af restprodukter, som nedbringer emissionerne uden nødvendigvis at reducere produktionen af landbrugsvarer. I denne artikel er der gen-

nemgået 5 teknologiske virkemidler, som tilsammen har et reduktionspotentiale på 1,3 mio. ton CO₂-ækv., svarende til 23 pct. af den forventede manko i ikke-kvotesektoren i 2030. Dertil kommer udtagning af organiske jorder, der ligeledes har et reduktionspotentiale på 1,3 mio. ton CO₂-ækv.⁵ – og forholdsvis lave samfundsmæssige reduktionsomkostninger pr. ton CO₂-ækv. Ved udtagning af netop denne jordtype er drivhusgasreduktionerne så store, at de langt overstiger lækageeffekten af den reducerede afgrødeproduktion. For de teknologiske virkemidler er de samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger gennemgående væsentligt højere. Det ser dog ikke ud til, at Danmark får mulighed for at medregne yderligere LULUCF-bidrag i reduktionsindsatsen for ikke-kvotesektoren.

De beregnede samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger for de landbrugsrelaterede virkemidler giver ikke i sig selv tilstrækkeligt grundlag for at vurdere, hvilke klimavirkemidler det vil være omkostningseffektivt at anvende til opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse. Det vil kræve, at der beregnes reduktionspotentialer og samfundsøkonomiske reduktionsomkostninger for samtlige potentielt relevante virkemidler inden for de ikke-kvotefattede sektorer. Herefter vil det være muligt at identificere en omkostningseffektiv sammensætning af virkemidler til realisering af Danmarks reduktionsforpligtelse. Der er således behov for analyser af potentielle klimavirkemidler i de øvrige sektorer inden for det ikke-kvotefattede område. Også for landbruget vil det være relevant at undersøge flere teknologier end de her omtalte.

Dette behov er vokset yderligere efter indgåelsen af en politisk aftale om, at Danmarks drivhusgasudledning skal være reduceret med 70 pct. i 2030 i forhold til 1990. I denne artikel er der opgjort en manko på 20 mio. ton CO₂-ækv. i 2030 i forhold til 70 pct.-målsætningen. Behovet for at finde reduktionsmuligheder i landbruget er dermed øget betydeligt.

Noter

1. Aarhus Universitet har (22. november 2019) oplyst, at den hidtidige opgørelse af arealet med organiske jorder er under opjustering fra omkring 110.000 hektar til ca. 170.000 hektar (personlig meddelelse, Steen Gyldenkærne, DCE, Aarhus Universitet). Det vil sige en forøgelse på i størrelsesordenen 50-60 pct. Forøgelsen af estimatet for drivhusgasudledningen fra organiske jorder kendes ikke i skrivende stund, men det antages, at opskrivningen af udledningerne vil være procentuelt lavere end forøgelsen af arealestimatet.
2. Energistyrelsens Basisfremskrivning 2019 opgør ikke en manko i forhold til målsætningen om 70 pct. drivhusgasreduktion. Den her viste manko er beregnet af forfatteren til denne artikel.
3. Som omtalt ovenfor er Aarhus Universitet gået i gang med en opjustering af drivhusgasudledningen fra organiske jorder.
4. Som tidligere omtalt er Aarhus Universitet gået i gang med en opjustering af arealet med organiske jorder. Denne opjustering må forventes at øge potentialet for udtagning af organiske jorder.
5. Den igangværende opjustering af arealestimatet for organiske jorder må forventes at øge potentialet for udtagning af organiske jorder.

Referencer

- Beck, Ulrik Richardt, Peter Kjær Kruse-Andersen & Louis Birk Stewart (2019): Dokumentationsnotat. CO₂e-lækage og dansk klimapolitik. De Økonomiske Råd. [Dokumentationsnotat til kapitlet om lækage af drivhusgasser i Økonomi og Miljø, 2019] https://dors.dk/files/media/rapporter/2019/m19/Kapitel_2/m19_kap_ii_dokumentationsnotat_co2e_laekage_og_dansk_klimapolitik.pdf
- De Økonomiske Råd (2019a): Økonomi og Miljø 2018. Kapitel II: Lækage af drivhusgasudledninger og dansk klimapolitik. De Økonomiske Råds Sekretariat. https://dors.dk/files/media/rapporter/2019/m19/m19_oekonomi_og_miljoe_2019.pdf
- De Økonomiske Råd (2019b): Dekomponering af lækagerater i Paris-aftale-scenariet.
- Dubgaard, A., Laugesen, F. M., Ståhl, L., Bang, J. R., Schou, E., Jacobsen, B. H., Ørum, J. E. & Jensen, J. D. (2013): Analyse af omkostningseffektiviteten ved drivhusgasreducerende tiltag i relation til landbruget, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport; Nr. 221. http://curis.ku.dk/ws/files/51174786/IFRO_Rapport_221.pdf
- Dubgaard, A., & Ståhl, L. (2018). Omkostninger ved virkemidler til reduktion af landbrugets drivhusgasemissioner: Opgjort i relation til EU's 2030-målsætning for det ikke-kvotebelagte område. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport, Nr. 271. https://curis.ku.dk/ws/files/204121155/IFRO_Rapport_271.pdf
- Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet (2018): Beregningsmetode til samfundsøkonomiske omkostninger ved virkemidler til brug for opnåelse af EU-2030-mål uden for kvotesektor. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/vejledning_i_samfundsoekonomiske_analyser_paa_energiomraadet_-_juni_2018_v1.1.pdf
- Energistyrelsen (2019a): Basisfremskrivning 2019. August 2019. <http://www.ens.dk/basisfremskrivning>
- Energistyrelsen (2019b): Basisfremskrivning 2019. Baggrundsbilag til fremskrivninger: Udledninger detaljeret (CRF tabeller). https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/bf19_crf_30.xlsx
- Gylling, Morten, Uffe Jørgensen og Niclas Scott Bentsen (2012): + 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier, Fødevareøkonomisk Institut, Københavns Universitet. https://curis.ku.dk/ws/files/44867884/Ti_mio_plan_net1.pdf
- Jensen, M. V., Jakobsen, A. B., Hansen, E. W., & Gylling, M. (2019): Driftsøkonomi ved produktion af flerårige græsser, IFRO Udredning, Nr. 2017/30. https://static-curis.ku.dk/portal/files/218357181/IFRO_Udredning_2017_30.pdf
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Hjelgaard, K., Nielsen, M., Fauser, P., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Gyldenkærne, S., Thomsen, M., 2017. Projection of greenhouse gases 2016-2035. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 244.
- 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., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M., & Hansen, M.G. (2019): Denmark's National Inventory Report 2019. Emission Inventories 1990-2017 – Submitted under the United

- Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, Scientific Report No. 318. <http://dce2.au.dk/pub/SR318.pdf>.
- Olesen, Jørgen E., Søren O. Petersen, Peter Lund, Uffe Jørgensen, Troels Kristensen, Lars Elsgaard, Peter Sørensen og Jan Lassen (2018): Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget, DCA-rapport nr. 130, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/DCA_rapport130.pdf
- Rogelj, J., Fricko, O., Meinshausen, M. *et al.* (2017): Understanding the origin of Paris Agreement emission uncertainties. *Nature Communications*, volume 8, article number: 15748. <https://www.nature.com/articles/ncomms15748>
- Socialdemokratiet, Radikale Venstre, SF og Enhedslisten (2019). Retfærdig retning for Danmark – Politisk forståelse mellem Socialdemokratiet, Radikale Venstre, SF og Enhedslisten. Christiansborg, 25. juni 2019. https://ufm.dk/ministeriet/regeringsgrundlag-vision-og-strategier/regeringen-mette-frederiksens-forstaelses-papir/retfaerdig-retning-for-danmark_2019-06-25_endelig.pdf