

Hvordan nås klimamålet samtidig med andre bæredygtigheds mål?

Menneskets aktiviteter fylder stadig mere for jordkloden, og landbrugs- og fødevarerproduktionen belaster arealanvendelse, klima, miljø og biodiversitet. Udfordringerne er således mangefold, og handler ikke kun om klima, men også om hvordan verdens befolkning kan sikres nærende kost med mindre arealforbrug og lavere miljøbelastning.

JØRGEN E. OLESEN

Kloden og det menneskelige samfund står over for de største udfordringer nogensinde. Som følge af øget befolkning og velstand baseret på øget forbrug, er de menneskelige aktiviteter nu dominerende for udviklingen i verdens økosystemer, atmosfærens kemi og klimaet. Disse effekter vil på mange områder være dominerende for samfundsmæssige beslutninger i de kommende årtier og århundreder, med mindre det hurtigt lykkes at finde løsninger på de mange forbundne problemstillinger. Udsigten til problemerne lader sig løse inden for forholdsvis kort tid er desværre meget små, ikke mindst fordi det kræver store teknologiske og samfundsmæssige ændringer.

Udfordringernes omfang

Vi står i landbruget overfor en lang række meget omfattende udfordringer, som hver især er massive, men som tilsammen kan synes næsten uoverstigelige:

- Verdens behov for fødevarer forventes at stige med omkring 45% over perioden fra 2010 til 2050 /1/.
- Verdens behov for bioenergi vil skulle fire-dobles frem mod 2050 for at imødekomme krav til udfasning af fossil energi /2/.
- Landbrug og fødevarerproduktion står globalt for 34% af drivhusgasemissioner /3/ og for Danmark er det 35% /4/.
- Landbruget bidrager til hovedparten af ud-

nyttelsen af verdens landareal, nedgangen i biodiversitet, forurening med næringsstoffer og overforbrug af ferskvand /5/.

- Klimaændringerne vil i sig selv true verdens fødevarerproduktion, især som følge af øget tørke /6/. Der er derfor brug for mere modstandsdygtige dyrkningssystemer.

Grundlæggende kræver en bæredygtig udvikling, at landbrug og skovbrug fylder mindre på verdens landareal og at disse produktionssystemer forurener langt mindre end for nuværende. Samtidig skal de selvfølgelig kunne levere nok fødevarer, bioenergi og biomaterialer til at opfylde de menneskelige behov. Dette kan kun løses hvis der arbejdes med nye teknologier, der øger systemernes produktivitet med lavere input, reducerer al for form for spild, samtidig med at det menneskelige forbrug, især af areal, nedsættes /7/.

En bæredygtig udvikling kræver indsats på mange områder, og i Danmark udarbejdede danske forskere ved universiteter og videninstitutioner en roadmap for hvordan forskning og innovation kan sikre en dansk udvikling, der kan opfylde målene /4/. Dette omfatter indsatser indenfor arealanvendelse, husdyrbrug, plantebaserede fødevarer og nye bioteknologiske muligheder til fødevarerproduktion. Here skitseres med udgangspunkt i /4/ hvordan dansk landbrug kan blive klimaneutralt med langt lavere kvælstofudledninger, lavere pesticidforbrug og styrkelse af biodiversitet.

Klimaneutralitet i dansk landbrug

Der er mange kilder til landbrugets klimabelastning, men især metan (CH_4) og lattergas (N_2O) spiller en stor rolle på grund af deres potente opvarmningseffekt sammenlignet med CO_2 (tabel 1). Disse drivhusgasser skyldes mikrobielle processer i dyr, husdyrgødning og jord, og teknologier til at reducere disse kræver, at der fokuseres på de betingelser, der påvirker mikroorganismene. Effekterne i tabel 1 er baseret på estimater af effektivitet af eksisterende og forventede teknologier sammenholdt med estimater for hvor hurtigt disse teknologier kan implementeres.

Reduktionerne af drivhusgasser i 2030 og 2050 stammer hovedsageligt fra fem hovedkategorier til udledninger: metan fra husdyrenes fordøjelse, håndtering af husdyrgødning, gødsning, organiske jorder og øget lagring af kulstof i jord (tabel 1). Estimaterne er baseret på, at den nuværende husdyrproduktions størrelse opretholdes, men med reduceret landareal til foderproduktion, hvilket giver rum til et areal til øget produktion af plantebaserede fødevarer og til uberørte arealer til understøttelse af natur og biodiversitet.

Reduktionerne i metan fra dyrenes fordøjelse antages at være 40% i 2030, som stammer fra en 50% reduktion for kvæg i konventionelle systemer, men kun 20% for økologiske jordbrug, og dette hidrører fra en kombination af ændringer i fodring, avl og brug af foderadditiver. For afgræssende dyr vil reduktionerne være væsentligt lavere. Det antages, at nye teknologier vil kunne øge reduktionen til

70% i 2050.

Teknologier til håndtering af husdyrgødning fokuserer primært på at reducere metan, da udledninger fra lattergas formentlig i praksis er lavere end estimaterne i tabel 1. Teknologierne omfatter køling af gylle, biogas, forsuring, overdækning af gødningslagre kombineret med teknologier til iltning af metanen. Det er dog væsentligt, at der opereres med teknologipakker som håndterer hele håndteringskæden fra stald til mark. Dette vil i sidste ende kunne reducere udledningerne med mere end 90% i både konventionelle og økologiske systemer.

En betragtelig del af udledningerne af lattergas i marken (30-40%) kan reduceres med brug af nitrifikationshæmmere, som allerede er tilgængelige. Hertil kommer at nye gødningsformer og øget brug af flerårige afgrøder vil kunne reducere udledningerne yderligere. Dette giver estimerede reduktioner på 40% og 70% i 2050. Dette stammer især fra reduktioner i konventionelle dyrkningssystemer, da mange af disse teknologier ikke pt. kan implementeres i økologisk jordbrug.

Det estimeres at vådlægning af alle danske dyrkede organiske jorder vil kunne reducere emissionerne med 80%, da vådlægning vil øge metanudledningerne hvilket modvirker en del af reduktionerne i CO₂ udledningerne fra de drænedede jorder. Det vurderes at en stor indsats vil kunne give en 30% reduktion allerede i 2030.

Der er også mindre reduktioner i lattergas fra bedre håndtering af planterester og reducerede kvælstoftab fra ammoniak og nitratudvaskning (tabel 1). Dette hidrører især fra øget brug af planterester til bioraffinering og biogas, hvorimod ændringer i ammoniakfordampning og nitratudvaskning især er knyttet til bedre håndtering af husdyrgødning og nye dyrkningssystemer. Brugen af fossil energi antages at kunne udfases med 50% i 2030 og fuldstændig inden 2050, især gennem øget elektrificering og brug af nye brændsler.

I beregningerne kan kulstofindholdet i dansk jord øges med 1,80 og 4,30 mio. ton CO₂ årligt i henholdsvis 2030 og 2050. Dette hidrører især fra øget kulstoflagring i dyrkningssystemer med flerårige afgrøder (især græs) og i arealer, der er afsat til natur og skov. Dette er estimeret at bidrage med 0,66 og 1,31 mio. ton CO₂ i henholdsvis 2030 og 2050. Den resterende stigning i jordkulstof antages primært at komme fra brug af biokul, som kan stamme fra pyrolyse af en række biomasser, og en sådan udnyttelse af restbiomasser vil også understøtte recirkulering af vigtige næringsstoffer til landbrugsjorden.

Reducerede næringsstofudledninger

Udledninger af næringsstoffer (kvælstof og fosfor) til vandmiljøet udgør fortsat den største trussel for kvaliteten af vandmiljøet, og især udledninger af nitrat fra landbrugsarealerne er fortsat hovedproblemet for mange fjorde. Opfyldelsen af Vandrammedirektivet kræver yderligere reduktioner i kvælstofbelastningen af det marine vandmiljø i Danmark på omkring 15.000 ton årligt. Det er dog meget store forskelle mellem forskellige vandoplande, og der vil derfor også skulle være forskelle på indsatserne i forskellige afstrømningsoplande afhængig af reduktionskrav og mulighederne for at reducere udledningerne gennem ændringer i landbrugsmæssig dyrkning og arealanvendelse, herunder dræning og vådområder, og der vil de fleste steder være behov for en kombination af tiltag for at nå målsætningerne /8/.

Tabel 2 illustrerer hvordan reduktioner i kvælstofbelastning til det marine miljø kan opnås gennem både eksisterende og nye virkemidler. Estimer for eksisterende virkemidler er baseret på /9/, mens de nye virkemidler er baseret på konservative estimater for forbedret kvælstofoptag i afgrøder om efteråret ved tidligere såning af vintersæd og bedre efterafgrøder. Flerårige afgrøder har lavere nitratudvaskning end de typiske afgrøder i omdrift, og den forudsatte stigning i disse afgrøder (tabel 4) vil derfor reducere kvælstofbelastningen. Der er desuden muligheder for at forbedre udnyttelsen af handels- og husdyrgødning, bl.a. gennem præcisionsgødsning og nitrifikationshæmmere, og dermed reducere nitratudvaskningen. Den skitserede skovrejsning og braklægning i tabel 4 vil også kunne reducere nitratudvaskningen, især hvis den målrettes de mest sårbare områder /10/. Øget reten-

tion af kvælstof kan opnås ved retablering af vådområder og nye konstruerede vådområder tilkøbet drænsystemerne. Der er på flere områder synergi mellem disse tiltag og effekterne på biodiversitet og klimabelastning.

Pesticider

Der er en politisk ambition om at udfase brugen af kemiske pesticider, og disse kan heller ikke anvendes i økologisk jordbrug. Nogle herbicider anvendes til nedvisning af afgrøder og efterafgrøder, og dette gælder særligt i pløjefri dyrkning, hvor glyfosat bruges til at nedvisne efterafgrøder. Udfasning af pesticider vil derfor involvere en række ændringer i dyrkningssystemer og teknologier for at erstatte disse i bekæmpelsen af ukrudt, sygdomme og skadedyr (tabel 3).

Flerårige afgrøder baseret på græs har betydeligt lavere pesticidbehov end typiske afgrøder i omdrift, og den forudsatte stigning i disse afgrøder vil derfor reducere pesticidanvendelsen. En øget diversitet af dyrkede arter og sorter for omdriftsafgrøder vil øge konkurrence med ukrudtet og mindske sygdoms- og skadedyrstrykket og dermed mindske bekæmpelsesbehovet. Biologiske bekæmpelsesmidler forventes at kunne erstatte en del af midlerne til bekæmpelse af sygdomme og skadedyr. Desuden vil nye sensorbaserede systemer på droner og robotter kunne være med til at målrette bekæmpelsesindsatsen og dermed reducere behovet især for herbicider.

Biodiversitet

Biodiversiteten kan øges gennem øgede naturarealer og gennem en styrkelse af biodiversiteten i landbrugslandskabet (tabel 4). Det øgede naturareal vil ske på bekostning af landbrugsarealet, og det kræver at der produceres

Tabel 1. Estimerede potentialer til reduktion af klimagasser dansk landbrug.

	Baseline (Mt CO _{2ækv})	Reduktion (%)		Reduktion (Mt CO _{2æq})	
		2030	2050	2030	2050
Kilde	2018				
Husdyr fordøjelse (CH ₄)	3,77	40	70	1,51	2,64
Husdyrgødning lagring (CH ₄ , N ₂ O)	2,81	50	90	1,41	2,53
Gødsning (N ₂ O)	2,83	40	70	0,91	1,60
Planterester (N ₂ O)	0,61	10	40	0,06	0,24
Ammoniak fordampning (N ₂ O)	0,34	20	40	0,07	0,13
Nitratudvaskning (N ₂ O)	0,33	10	30	0,03	0,10
Kalkning (CO ₂)	0,24	10	20	0,02	0,05
Energiforbrug (CO ₂)	1,25	50	100	0,62	1,25
Organiske jorder (CO ₂ , N ₂ O)	5,75	30	80	1,73	4,60
Jordkulstof (CO ₂)	-	-	-	1,80	4,30
Total	17,37	48	100	8,16	17,44

Tabel 2. Estimerede reduktioner i kvælstofbelastning (ton N per år) til marine økosystemer i Danmark sammenlignet med en baseline belastning i 2027 på 52.000 ton N per år.

Kategori	Kilde	2030	2050
Land management	Forbedrede dyrkningssystemer	2.200	2.500
	Flerårige afgrøder	1.000	2.000
	Forbedre gødning/husdyrgødning	500	1.000
	Præcisionsgødskning	500	1.000
Øget retention	Retablerede vådområder	1.500	3.000
	Konstruerede vådområder/filtre	1.500	3.000
Arealanvendelse	Braklægning	750	1.500
	Skovrejsning	750	1.500
Total		8.750	15.500

Tabel 3. Estimerede bidrag til reduktion af landbrugets pesticidforbrug (procent af nuværende forbrug).

Measure	2030	2050
Flerårige afgrøder	10	15
Diversitet i dyrkningssystemer	5	20
Biologiske bekæmpelsesmidler	5	10
Resistensforædling	10	15
Præcisions teknologier	15	30
Total	45	90

flere fødevarer på det tilbageværende areal. Dette vil omfatte vådlægning af arealer (ca. 250.000 ha) og etablering skove og tør natur (ca. 200.000 ha).

En forøgelse af biodiversiteten på dyrkningsfladen er ofte forbundet med lavere udbytter som fx i økologisk jordbrug. Der er dog muligheder for at øge plantediversiteten i på det eksisterende landbrugsareal gennem nye dyrkningsmetoder og brug af artsblandinger på en måde, som også øger udbytterne. Dette kan ske gennem skovlandbrug og øget artsdi-

Tabel 4. Ændringer i arealanvendelse (1000 ha) af det nuværende landbrugsareal som bidrag til forbedret biodiversitet. Det nuværende danske landbrugsareal udgør 2,62 mio. ha.

Kategori	2030	2050
Vådområder	100	250
Braklægning	50	100
Skovrejsning	50	100
Skovlandbrug	50	100
Biodiverse flerårige afgrøder	300	500
Biodiverse afgrøder i omdrift	500	1000
Total	1100	2050

versitet i både flerårige og enårige afgrøder (i alt 1,6 mio. ha).

Behov for forskning, innovation og implementering

De skitserede ændringer vil være den største revolution i dansk landbrug nogensinde, og dette forudsætter naturligvis en ekstraordinær indsats af alle involverede. Det kræver også en massiv forskningsindsats, og her kan et godt bekymre, at investeringerne i forskningen (infrastruktur og personer) stadig halter bagefter ved både universiteter og i virksomhederne. Der er dog på seneste igangsat større forskningsinitiativer og partnerskaber, som givet vil bidrage, men der skal meget mere til.

Denne forsknings- og innovationsindsats vil skulle foregå på mange niveauer og det er også nødvendigt med et internationalt samarbejde. Forskningen bør søge at understøtte synergier i forhold til opnåelse af de mange bæredygtighedsmål. Der er desuden behov for at alle aktører arbejder med hurtigst muligt at implementere nye bæredygtige teknologier, og også her er der brug for nytænkning til at nedbryde barrierer for optag af nye driftsformer og teknologier. I sidste ende kan målsætningerne kun opnås gennem et stærkt samarbejde mellem alle involverede.

Referencer

/1/ Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T.-S., Ciais, P., Tubiello, F.N., Smith, P., Campbell, N., Jain, A.K., 2021. Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food* 2, 724-732.

/2/ Bauer, N., Rose, S.K., Fujimori, S., van Vuuren, D.P., Weyant, J., Wise, M., Cui, Y., Daioglou, V., Gidden, M.J., Kato, E., Kitous, A., Leblanc, F., Sands, R., Sano, F., Streffer, J., Tsutsui, J., Bibas, R., Fricko, O., Hasegawa, T., Klein, D., Kurosawa, A., Mima, S., Muratori, M., 2020. Global energy sector emission reductions and bioenergy use: overview of the bioenergy demand phase of the EMF-33 model comparison. *Climatic Change* 163, 1553-1568.99

/3/ Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F.N., Leip, A., 2021. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food* 2, 198-207.

/4/ Olesen, J.E., Christensen, S., Jensen, P.R., Schultz, E., 2021. *AgriFoodTure: Roadmap for sustainable transformation of the Danish Agri-Food system*. Edited by Rasmussen, C., Kjer, K.H., Kristensen, T.N., Gade, J.J., Haslund, S., Henriksen, C.B., Persson, M., Kryger, K., Henriksen, L. SEGES, Aarhus, Denmark. 96 pp.

/5/ Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A., Shindell, D., 2017. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22, 8.

/6/ Trnka, M., Feng, S., Semenov, M.A., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Rötter, R.P., Semerádová, D., Klem, K., Huang, W., Ruiz-Ramos, M., Hlavinka, P., Meitner, J., Balek, J., Havlik, P., Büntgen, U., 2019. Mitigation efforts will not fully alleviate the increase in water scarcity occurrence probability in wheat-producing areas. *Science Advances* 5, eaau2406.

/7/ Springman, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S.J., Herrero, M., Carlson, K.M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L.J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H.C.J., Tilman, D., Rockström, J., Willett, W., 2018. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 19-525.

/8/ Hashemi, F., Olesen, J.E., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Thodsen, H., Dalgaard, T. (2018). Potential benefits of farm scale measures versus landscape measures for reducing nitrate loads in a Danish catchment. *Science of the Total Environment* 637-638, 318-335.

/9/ Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H., Baattrup-Pedersen, A., Strandberg, B., Christensen, B.T., Boelt, B., Iversen, B.V., Kronvang, B., Børgesen, C.D., Abalos, D., Zak, D., Hansen, E.M., Blicher-Mathiesen, G., Rubæk, G.H., Ørum, J.E., Rasmussen, J., Audet, J., Olesen, J.E., Elsgaard, L., Munkholm, L.J., Jørgensen, L.N., Martinsen, L., Bruus, M., Carstensen, M.V., Pedersen, M.F., Nørre-mark, M., Hutchings, N.J., Gundersen, P., Kudsk, P., Sørensen, P., Lærke, P.E., Gislum, R., van't Veen, S.G.M., Petersen, S.O., Riis, T., Jørgensen, U. (2020). Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. DCA rapport nr. 174.

/10/ Odgaard, M.V., Olesen, J.E., Graversgaard, M., Børgesen, C.D., Svenning, J.-C., Dalgaard, T. (2019). Targeted set-aside: Benefits from reduction of nitrogen loading to aquatic environments. *Journal of Environmental Management* 247, 633-643.

JØRGEN E. OLESEN er professor og institutleder ved Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi, e-mail: jeo@agro.au.dk