
Klimaændringers betydning for europæisk landbrug

For tredive år siden var klimaændringer stort set usynligt i den offentlige debat. Men forskningen var opmærksom på problemstillingen, og et internationalt og europæisk forskningssamarbejde har givet stor viden om konsekvenserne af klimaændringer for fødevarerproduktion. Samtidig er der stigende fokus på hvordan landbruget kan producere klimavenligt.

JØRGEN E. OLESEN

Introduktion

Over de seneste 30 år har klima og klimaændringer ændret sig fra at være et ubetydelig element til at være definerende for landbrugets udvikling. Denne udvikling er sket i bølger, og jeg har haft min egen beskedne rolle i processen.

Jeg blev introduceret til klimaændringer i 1988 ved deltagelse i en international konference om klimaændringer i Noordwijk i Holland. Jeg var på daværende tidspunkt ansat ved Statens Planteavlsvforsøg som leder af Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, der havde som formål at undersøge hvordan viden om vejr og klima bedre kunne udnyttes i landbruget. Klimaændringer var endnu ikke kommet på programmet. På konferencen mødte jeg nogle af de fremmeste forskere på området; forskere som jeg i de efterfølgende årtier fik et tæt samarbejde med.

Ved konferencen var professor Martin L. Parry fra Storbritannien en af de fremtrædende personer. Han var på dengang professor i geografi ved University of Birmingham, men flyttede i 1991 til et professorat ved University of Oxford. Han blev min introduktion til europæiske forskningsprojekter og til arbejdet i IPCC (FNs Klimapanel). Martin var ansvarlig for IPCC arbejdsgruppe II, da denne i 2007 fik Nobels fredspris, og jeg endte selv med at

have en plakette med fredsprisen på min væg.

Siden konferencen i Holland har jeg gennem forskningen mødt mange dygtige, engagerede og vidende forskere, som det også har været en fornøjelse at arbejde sammen med. Det har samtidigt øget vores viden om klimaændringer og landbrug, både deres effekter på landbruget, landbrugets bidrag til udledning af klimagasser samt hvad der kan gøres for at reducere udledninger og tilpasse landbruget til klimaændringer. Det er hele vejen sket gennem et frugtbart europæisk og globalt forskningssamarbejde, men også med spændende tværfagligt samarbejde mellem danske forskere.

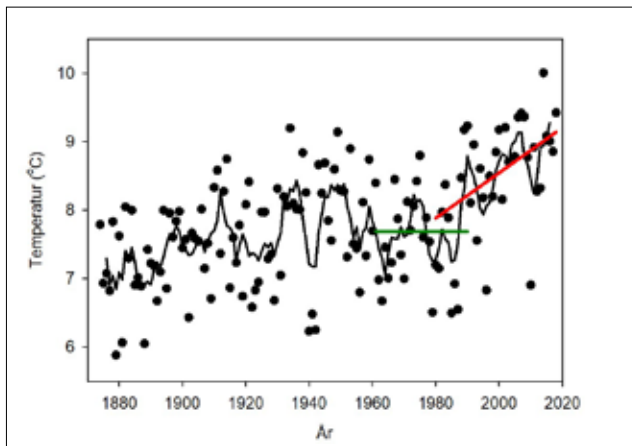
IPCC

FNs Klimapanel (IPCC) blev oprettet i 1988 som opfølgning på Brundtlandrapporten "Vores fælles fremtid". Panelets opgave er at rådgive FN's medlemslande omkring klimaændringers årsager og virkninger, herunder hvordan omfanget af menneskeskabte klimaændringer kan mindskes. Panelet laver ikke selv forskning, men sammenfatter den eksisterende viden. Panelet udgav deres første vurderingsrapporter i 1990, og dette dannede grundlaget for FN's Klimakonvention (UNFCCC). Senere blev panelets vurderingsrapporter en meget vigtig forudsætning for Paris-aftalen om tiltag til at begrænse udledninger af klimagasser.

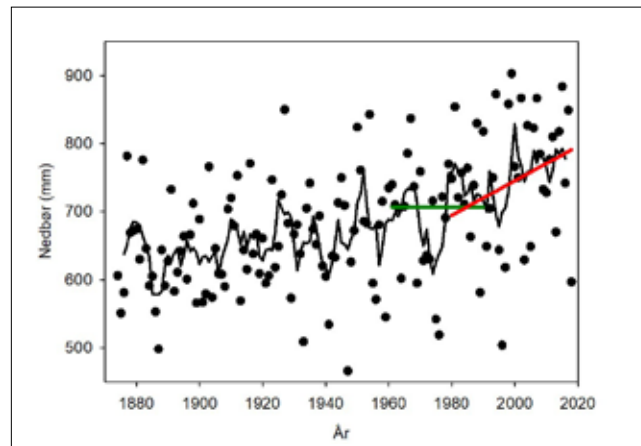
Jeg blev selv involveret som en bidragyder til Klimapanelets tredje vurderingsrapport i 2001. Martin Parry havde nemlig samlet en

række europæiske forskere til en rapport om klimaændringernes effekter for forskellige samfundssektorer i Europa. Sammen med professor Marco Bindi fra University of Firenze, skrev jeg kapitlet om landbrug, og dette materiale blev senere en del af Klimapanelets vurderingsrapport. Marco og jeg udgav også materialet som en artikel i *European Journal of Agronomy* /1/. Det var i mange år den mest downloadede artikel fra tidsskriftet. Under den europæiske hedebløge i 2003 blev artiklen fanget op af *New Scientist* under titlen "Heatwave's warning for future of farming". Det interessante er, at stort set alt hvad vi beskrev omkring fremtiden i den artikel stadig holder, om end meget ser noget mere alvorligt ud på det globale plan, end hvad vi forestillede os dengang.

Jeg blev involveret som hovedforfatter på Klimapanelets fjerde vurderingsrapport, der udkom i 2007. Det blev på mange måder en skelsættende rapport, der effektivt dokumenterede klimaændringers omfang, konsekvenser og behovet for at imødegå disse. Sammen med Joseph Alcamo, der fra 2009 til 2013 var chief scientist ved FN's miljøprogram (UNEP), udgav jeg i 2012 en bog om klimaændringer i Europa /2/, som sammenfattede vores viden fra arbejdet med klimapanelets vurderingsrapport. Det var også i den periode, hvor klimaskeptikere meget kraftigt gik til angreb på IPCC. Værst gik det ud over Climate Research Unit (CRU) på University of East Anglia, som i 2009 fik hackede deres e-mails. Denne Climate Gate forsøgte at udstille CRU som uhæderlige



Figur 1. Årlig middeltemperatur i Danmark. Den optrukne linje viser 5-års glidende gennemsnit. Den grønne linje viser gennemsnit for normalperioden 1961-90, og den røde linje viser stigningen siden 1971 (0,3 °C per årti).



Figur 2. Årlig nedbør i Danmark. Den optrukne linje viser 5-års glidende gennemsnit. Den grønne linje viser gennemsnit for normalperioden 1961-90, og den røde linje viser stigningen siden 1971 (25 mm per årti).

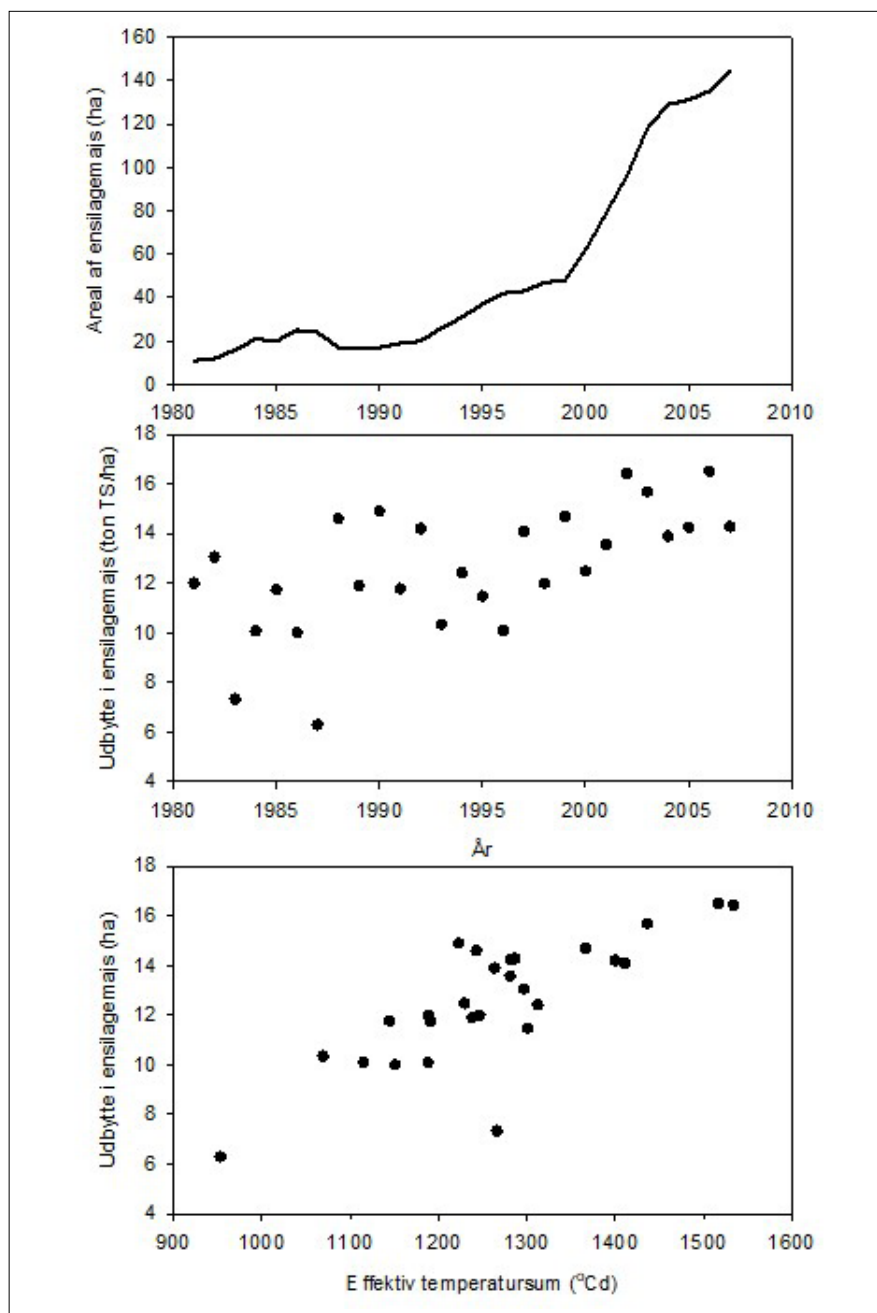
i deres omgang med klimadata. Dette er senere blevet afvist som grundløst, men afsløringen kom lige op til COP-mødet i København i 2009.

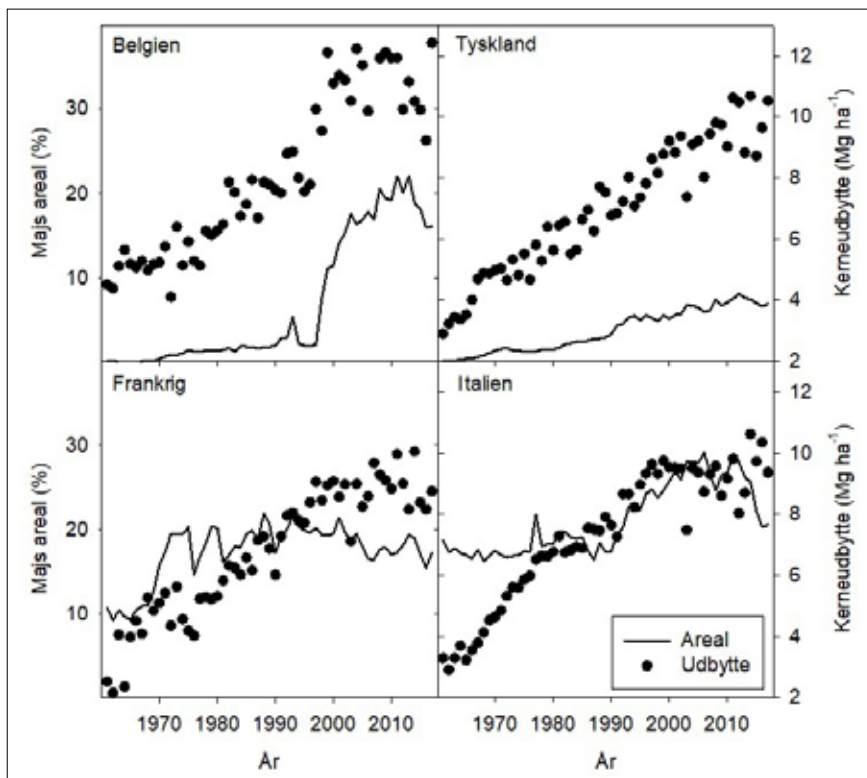
Jeg lærte meget af arbejdet i IPCC, især behovet for holdbar videnskabelig dokumentation for den tekst og information, der skal bidrage til en politisk beslutningsproces. Der er især en sætning, der har brændt sig ind i min hukommelse, og som jeg i øvrigt har brugt som rettesnor for mit arbejde: "IPCC should be policy relevant, not policy prescriptive". Med andre ord: det er forskernes rolle at levere relevant information til en politisk proces, ikke at designe politikken.

Klimænderinger

Menneskeskabte klimænderinger er ikke blot noget, der hører fremtiden til. Over de seneste 50 år er den globale middeltemperatur steget med 0,8°C, og temperaturstigningerne i Danmark har på det seneste endda været endnu større, svarende til ca. 1,5°C (figur 1). I Danmark har det forlænget vækstsæsonen med mere end en måned. Samtidigt har nedbørmønstrene ændret sig. På verdensplan er der blevet mere udbredt tørke, især på de mellemhøje breddegrader. Det ses i Europa mest tydeligt i Middelhavsområdet, hvor øget hyppighed af tørke har ført til stigende pres på vandingssystemerne. I Nordeuropa har der derimod været en stigning i nedbørmængderne. For Danmarks vedkommende er nedbørmængden steget med ca. 100 mm over de seneste 50 år. Ændringen

Figur 3. Udvikling i areal med ensilagemajs i Danmark (øverst), udbytte i forsøg med ensilagemajs (midt) og sammenhæng mellem udbytte i ensilagemajs og effektiv temperatursum med basistemperatur 6°C (nederst).





Figur 4. Udbytte og areal (andel af kornareal) af majs til modenhed for lande i Mellem- og Sydeuropa (FAO database).

er næsten udelukkende sket i vinterhalvåret (figur 2).

Det er ikke kun gennemsnitsklimaet, der har ændret sig. Der er også blevet flere ekstremer. Over det meste af verden er størrelsen og hyppigheden af meget intens nedbør steget. Det hænger sammen med, at varm luft kan rumme mere vanddamp, og dermed bliver der også mulighed for meget større nedbørmængder under regnvejr. Den højere temperatur og dermed højere energiindhold i atmosfæren giver også mulighed for kraftigere storme. Om sommeren vil tørre klimaområder, som f.eks. i Sydeuropa, kunne opleve meget større variation i temperatur og nedbør fra år til år. Denne større variabilitet i vejrforholdene har særligt store konsekvenser for natur og samfund, da det især er ekstremene, der giver vanskeligheder i forhold til tilpasning. Det er først over de seneste 10-15 år, at der er kommet fokus på betydningen af øget variabilitet og ekstremer.

Effekter af klimaændringer

Dyrkningen af afgrøder, deres produktivitet og kvalitet afhænger direkte af klimaet. Husdyr udgør også en væsentlig del af europæiske landbrugssystemer, og husdyr påvirkes direkte af temperatur og fugtighed og indirekte gennem foderforsyningen /3/. De nuværende produktionssystemer er i sagens natur tilpasset de nuværende klimatiske betingelser, og en vurdering af effekter må derfor

tage hensyn til de nuværende klimaforhold, jordtyper, dyrkningssystemer, husdyrhold samt hvordan klimaet ændrer sig, både i gennemsnit og i variabilitet.

Klimaændringer kan allerede nu ses at have påvirket udbytter af afgrøder og deres udbredelse /4/. Et klassisk eksempel på effekt af klimaændringer er udbredelsen af majs, som er en tropisk afgrøde og som derfor kræver høje sommertemperaturer for vækst og udvikling. Den er til gengæld meget produktiv, og derfor en foretrukket afgrøde i områder hvor temperaturene er høje nok til at tillade dyrkning. Det er en afgrøde, der med den globale opvarmning må forventes at blive dyrket i stigende omfang i det nordlige Europa. En analyse baseret på empiriske data viser, at majs til modenhed (kernemajs) i 2040 vil kunne udgøre 5-10 % af landbrugsarealet i Danmark /5/.

Majs har bestemt ikke altid været en afgrøde, der har hørt til i Danmark. Men arealet med majs til kvægfoder (ensilagemajs) er vokset betragteligt over de seneste 30 år. I 1981 var arealet med majs til ensilage ca. 11.000 ha. I de seneste år har arealet ligget omkring 170.000 ha. Væksten i arealet med majs til kvægfoder skete især over perioden 1995 til 2005 (figur 3). Dette var før klimaændringer indgik som samtaleemne i Dagligbruget. Hos landmænd og konsulenter blev væksten i majsarealet derfor i store træk forklaret med, at der nu var udviklet majssorter, som bedre kunne klare det barske danske klima. Det ses

da også af den midterste graf i figur 3, at udbyttet steg over tid. Alt andet lige vil dette kunne forklares med bedre sorter. Men alt andet var ikke lige. Klimaet ændrede sig, og blev varmere. En analyse af udbyttedata fra sortsforsøg med ensilagemajs viser at udbyttefremgangen i perioden fra 1981 til 2007 alene kan forklares med øgede sommer temperaturer (nederste graf i figur 3). Det er altså klimaet, der bedre passer til majssorterne, ikke omvendt.

Andre steder i Europa er der også sket ændringer i afgrødevalget som følge af klimaændringer. Igen kan majs tages som et godt eksempel. Figur 4 viser hvordan arealet med kernemajs (majs til modenhed) er steget i Belgien og Tyskland. Dette er hovedsageligt en konsekvens af opvarmningen, som har øget udbyttepotentialet i denne afgrøde. Udbyttet i kernemajs overstiger nu udbyttet i vinterhvede i lande som fx Tyskland (sammenlign figur 4 og 5). I Sydeuropa har majsarealet derimod ligget konstant og på det seneste med en tendens til fald.

Udfordringen for majs under klimaændringer er, at den er tørkefølsom, og derfor kræver vanding eller gode nedbørforhold. Med den globale opvarmning og de øgede temperaturer følger også en øget fordampning, som øger risikoen for tørke. Dette ses som stigende variabilitet i udbytter i både Syd- og Mellemeuropa (figur 4). Årsagen til at majs er mere tørkefølsom en afgrøde som vinterhvede, er at den typisk vokser i den del af året, hvor fordampningen af højest, hvorimod vinterhvede har hele vinteren til at udvikle et dybt rodnet, der kan sikre mod tørke i forår og forsommer. Modelberegninger viser derfor, at tørke, som følge af klimaændringer, vil ramme majs hårdere end vinterhvede (figur 6) /6/.

Vinterhvede er en af de væsentligste afgrøder i europæisk landbrug og på verdensplan kilde til en stor del af fødevarerforsyningen. Udbytterne i vinterhvede har i det seneste par årtier været stagnerende i de fleste europæiske lande, med Finland som en undtagelse (figur 5). Der er flere årsager til denne stagnation, men de stigende temperaturer er en af årsagerne. Øgede temperaturer reducerer længden af kernefyldningsperioden i kornafgrøder, og det giver lavere udbytter. Samtidig vil de højere temperaturer øge fordampningen, og dermed øge tørkestress. Dette er en af årsagerne til den øgede variation i hvedeudbytter, der kan konstateres i mange europæiske lande.

Samspil til vandmiljøet

Beskyttelse af vandmiljøet mod forurening med næringsstoffer er en af de væsentligste

udfordringer for dansk landbrug under klimaændringer. Allerede nu er der store problemer med at nå i mål med reduktion af kvælstof og fosforudledninger i forhold til at sikre en god økologisk tilstand i både søer og fjorde. Denne udfordring bliver bestemt i ikke mindre i et varmere og vådere klima /7/. Klimaændringer øger risikoen for kvælstofudvaskning og for overfladerosion med øgede tab af fosfor til vandmiljøet. Samtidig øges vandmiljøets følsomhed over for tilførsel af næringsstoffer, og opnåelse af god økologisk tilstand vil kræve yderligere tiltag til mindskelse af landbrugets udledninger.

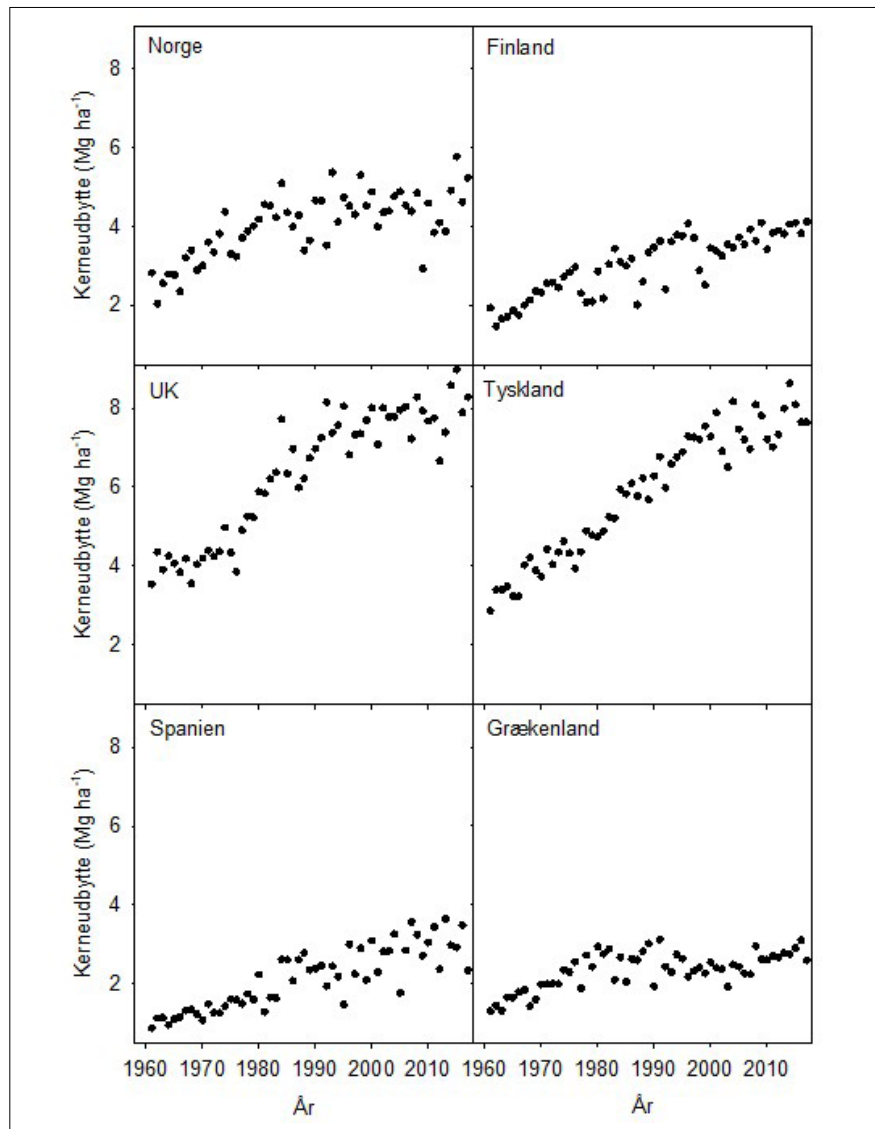
Resultater fra både modelbaserede analyser /8/ og analyse af langvarige forsøg /9/ viser øget kvælstofudvaskning under de forventede klimaændringer. En del af dette skyldes, at øget temperatur i efterårs- og vinterperioden øger omsætning og nedbrydning af organisk stof i jorden. Dermed mineraliseres mere kvælstof, som så gøres tilgængelig for udvaskning. Dette kan kun modvirkes gennem dyrkning af afgrøder og efterafgrøder i efterårs- og vinterperioden. Der bliver derfor med klimaændringer behov for stigende fokus på sammensætning af sædskiftet med henblik på at minimere næringsstofftab.

Tilpasning til klimaændringer

Ændrede temperatur- og nedbørsforhold fører i sagens natur til ændringer i dyrknings-systemer og hvordan disse drives. Herunder spiller afgrødevalg naturligvis også en rolle. Udfordringerne med tilpasning til klimaændringer er i stort omfang, hvordan der kan sikres tilpasning til en større variabilitet og større frekvens af ekstreme vejr-situationer, der i høj grad er skadelige for afgrøder og deres udbytter /10/. Spørgsmålet er, hvordan landbruget kan tilpasses til en betydeligt mere ekstremt og variabelt klima.

Et eksempel på de fremtidige klimaudfordringer for dansk landbrug er vejret i 2017 og 2018. Sommer og efterår i 2017 var køligt og ekstremt regnfuldt. Det gav store problemer med at sikre tilstrækkelig afdræning af markerne i efteråret. En del landmænd fik aldrig høstet, og en stor del af vintersæden kunne ikke sås. Det var også vanskeligt at etablere efterafgrøder i efteråret 2017, og dette har givet medvirket til den høje kvælstofudledning til vandmiljøet i vinteren 2017-18.

Vejret skiftede komplet karakter i foråret 2018 med varmt og tørt vejr, der varede helt hen til august. Det resulterede i den kraftigste tørke i Danmark i nyere tid. Tørken blev forstærket af, at mange landmænd havde været nødt til at skifte vintersæden ud med vårsæd, fordi det var for vådt at så vintersæden i ef-



Figur 5. Udbytte af hvede for lande i Nord-, Mellem og Sydeuropa (FAO database).

teråret. Vårsæd har en ringere roddybde end vintersæd, og bliver derfor hårdere ramt af tørke.

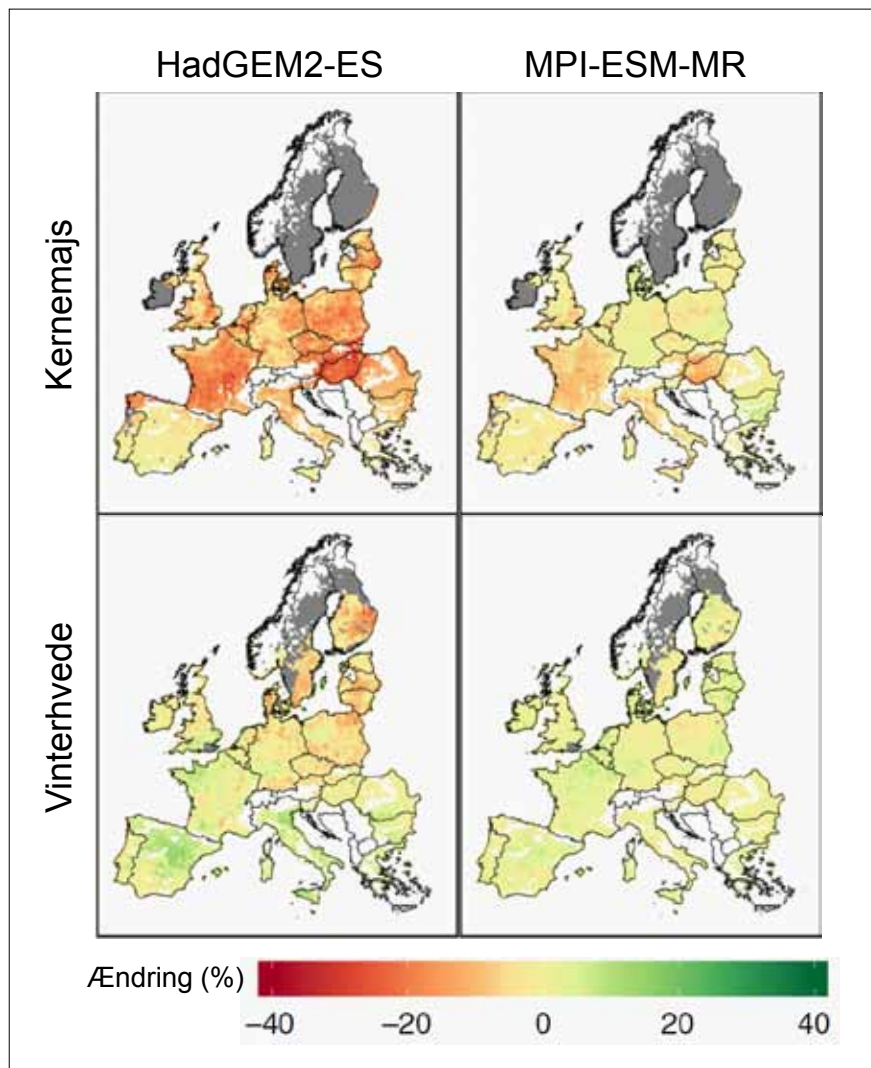
I praksis handler meget klimatilpasning om håndtering af vand – enten for meget eller for lidt. Det gælder også for landbruget, både i Danmark, i Europa og globalt. Der er dog mange måder at håndtere vand på, som vil skulle tilpasses lokalt. I Danmark er der ingen tvivl om, at der i landbruget skal øget fokus på effektivitet af drænsystemerne, og der bliver sikkert også stigende opmærksomhed på om vandløbene kan fjerne vandet hurtigt nok. Hvor dette ikke kan lade sig gøre, vil alternativerne omfatte udtagning af arealer fra dyrkning, fordi de bliver for usikre til landbrugs-mæssig anvendelse. Der vil også være stigende opmærksomhed på kvaliteten af dyrkningsjorden i forhold til at kunne sikre god rodudvikling og vandforsyning til planterne.

Forældre af landbrugsafgrøder vil i stigende grad skulle tage klimaaspekterne med i

deres forædlingsindsats. I denne sammenhæng er der ikke kun brug for robuste og tørketolerante sorter. Der er også behov for sorter, der vil kunne klare andre former for ekstreme. Ikke alle sorter klarer dette lige godt, så en strategi kan være at dyrke et bredt udvalg af sorter med forskellig respons på klimavariation. Desværre viser ny forskning, at diversiteten i respons på vejrekstremer blandt europæiske hvedesorter er faldende /11/. Det viser behovet for større fokus på håndtering af klimaekstremer blandt alle aktører i landbrugserhvervet.

Landbrugets udledninger af klimagasser

Dansk landbrug står for godt 20% af de samlede danske udledninger af klimagasser /12/. Landbrugets udledninger kommer i stigende grad i fokus i forhold til at sikre en udvikling mod et samfund, der i 2050 er netto nul-udledende. Når det drejer sig om tiltag til reduk-



Figur 6. Effekt af tørke på udbytte i kernemajs og vinterhvede i 2040-2069 under RCP4.5 sammenlignet med 1981-2010 for to klimamodeller (HadGEM2-ES og MPI-ESM-MR) og som median af 7 afgrødemodeller /6/.

tion af udledningerne kan der skelnes mellem tiltag, der fokuserer på 1) øget effektivitet i produktionen og dermed primært reducerer udledningerne per produceret enhed, og 2) teknologier og management der reducerer udledningerne uden at det påvirker produktionens størrelse.

I sidste ende kan udledningerne kun reduceres gennem teknologiske løsninger, der mindsker udledninger af metan og lattergas og øger optaget af kulstof i jord og vegetation. Der findes kun i meget begrænset omfang dokumenterede tekniske løsninger, der for nuværende kan sikre dette. En af de løsninger, der vides at virke, er udtagning af dyrkede tørvejorder gennem sløjfning af dræn og øget vandstand. Desværre har denne løsning også bivirkninger. Høj vandstand kan give udledninger af metan, der modvirker effekten af øget kulstofoptag, og der kan på nogle jorder også være risiko for øgede tab af fosfor til vandmiljøet.

Der er derfor på mange områder brug for

forskning og udvikling, der kan sikre nye og bæredygtige løsninger på landbrugets udledninger af klimagasser. Her er det afgørende med et internationalt forskningssamarbejde, og Danmark indgår i flere af disse. På europæisk plan foregår der et forskningssamarbejde i FACCE-JPI (Agriculture Food Security and Climate Change), hvor de enkelte lande går sammen omkring at finansiere forskningsprojekter på tværs af landene. Der har i FACCE hidtil været ringe fokus på emissionsreduktioner, men dette er så småt ved at komme i gang. Yderligere forskning på dette område er i høj grad nødvendigt, hvis indsatsen på området skal styrkes og reduktionsmålene nås.

Danmark deltager også i Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases (GRA), der fungerer som et forskernetværk på området. Der gives ikke specifik national dansk finansiering til forskningen indenfor GRA, men det er nyttigt instrument til at sikre koordinering af forskningen på området.

Klimasmart landbrug

Der er en betydelig udfordring i at imødekomme det stærkt stigende behov for biobaserede produkter (fødevarer, biomaterialer og bioenergi). Med mindre der sker væsentlige reduktioner i forbrugsmønstrene, vil udviklingen kræve, at biomasseproduktionen fordobles, og at det kan ske med en minimal miljø- og klimabelastning. Det er en enorm udfordring, der ikke kan løses inden for de eksisterende produktionssystemer og forsyningskæder /13/. Derfor må der tænkes nyt baseret på ny teknologi, nye agroøkologiske systemer og nye forarbejdningskæder, som i høj grad skal tænkes ind i cirkulære stofstrømme (figur 6). Her kan den voldsomme fremgang inden for informations-, kommunikations- samt bioteknologi give nye muligheder for at designe nye produktive og miljøvenlige systemer. Det kræver dog også nye systemer til lagring og transport af foder- og fødevarer samt udvikling af nye produktionskæder, hvor der vil være et stort behov for ny risikovillig kapital for at udvikle disse.

Udfordringen bliver ikke mindre af, at klimaet ændrer sig, og at betingelserne for afgrødeproduktion forværres mange steder i verden. Der er derfor et stort behov for at samtænke tilpasning til klimændringer med behovet for at reducere klimagasser fra landbrugsproduktionen, samtidig med at der kan leveres sunde fødevarer til en stadig voksende befolkning. Løsningerne på dette kaldes klimasmart landbrug, et begreb som første gang blev introduceret af FN's fødevarerorganisation (FAO) i 2010. I 2011 var jeg selv involveret i at arrangere en workshop i København, hvor grundlaget for klimasmart landbrug blev diskuteret og udviklet. Nu har FN en forskningsorganisation omkring klimasmart landbrug (CCAFS), og der er en global alliance omkring dette (GACSA). Disse bestræbelser er hovedsageligt fokuseret på udviklingslande. Det er først for nyligt, at alvoren også er gået op for landbrugserhvervet i Europa, og nu har bl.a. Danish Crown, Arla og Landbrug & Fødevarer meldt sig på banen med ambitiøse målsætninger om klimaneutral produktion.

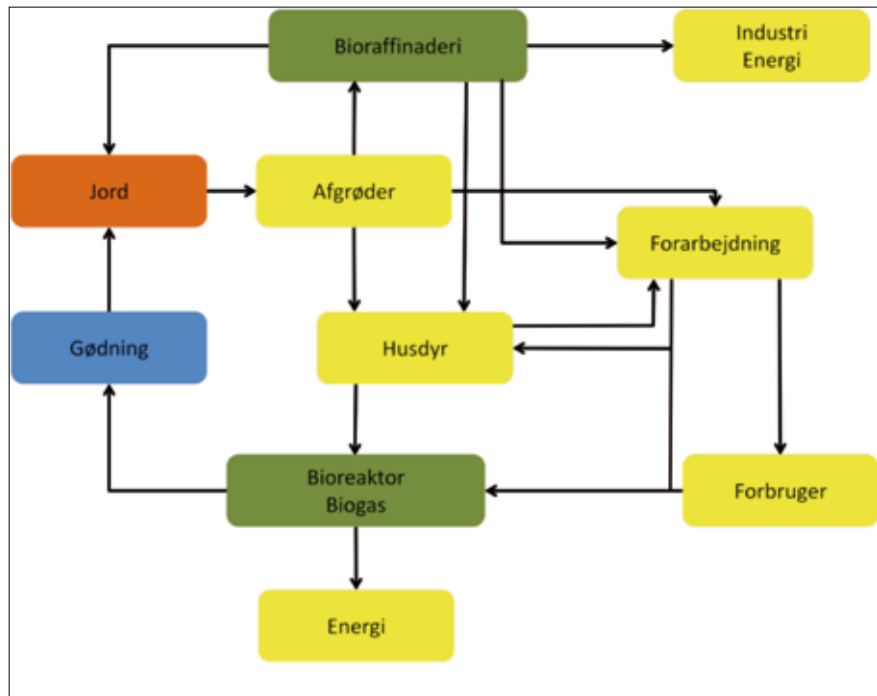
Har forskningen gjort en forskel?

Forskningen har på mange måder har været foran udviklingen i erhvervet og samfundet i forhold til at erkende omfanget og konsekvenserne af klimændringer. Forskningen har også i høj grad bidraget til den nødvendige folkelige og politiske opmærksomhed omkring problemstillingerne. Det virker til, at dette nu endelig er slået igennem, også i forhold til politiske prioriteringer. Udfordringen er dog, at der nærmest ingen tid er tilbage

at reagere på, hvis klimaændringerne skal begrænses til et nogenlunde tåleligt niveau. Der har også været alt for lille fokus på udvikling af teknologier og landbrugssystemer, som giver færre klimagasser og er tilpasset et fremtidigt varmere og mere ustabil klima. På mange måder er rejsen mod et klimamæssigt bæredygtigt landbrug blot begyndt.

Referencer

- /1/ Olesen, J.E., Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Europ. J. Agron* 16, 239-262.
- /2/ Alcamo, J., Olesen, J.E. (2012). *Life in Europe under climate change*. Wiley & Blackwell.
- /3/ Olesen, J.E., Niemeyer, S., Roggero, P.P., Lehtonen, H., Schönhart, M., Kipling, R., 2017. Agriculture. In: *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*. EEA Report No. 1/2017. European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, s. 223-243.
- /4/ Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Saino, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Europ. J. Agron*. 34, 96-112.
- /5/ Elsgaard, L., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Siebert, S., Ewert, F., Peltonen-Saino, P., Rötter, R.P., Skjelvåg, A.O., 2012) Shifts in comparative advantages for maize, oat, and wheat cropping under climate change in Europe. *Food Additives and Contaminants* 29, 1514-1526.
- /6/ Webber, H., Ewert, F., Olesen, J.E., Müller, S., Fronzek, S., Ruane, A., Ababaei, B., Bindi, M., Bourgault, M., Ferrise, R., Finger, R., Fodor, N., Gabaldón-Leal, C., Gaiser, R., Jabloun, M., Kersebaum, K.C., Lizaso, J.I., Lorite, I., Manceau, L., Martre, P., Moriondo, M., Nendel, C., Rodriguez, A., Ramos, M.R., Semenov, M.A., Siebert, S., Stella, T., Stratonovitch, P., Trombi, G., Wallach, D., 2018. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature Comm.* 9, 4249.
- /7/ Trolle, D., Nielsen, A., Andersen, H.E., Thodsen, H., Olesen, J.E., Børgesen, C.D., Refsgaard, J.C., Sonnenborg, T.O., Karlsson, I.B., Christensen, J.P., Markager, S., Jeppesen, E., 2019. Effects of changes in land



Figur 7. Cirkulære produktionskæder og teknologier, der sammenkobler landbrugets primærproduktion på nye måder og med nye produkter, kan også medvirke til at reducere miljø- og klimabelastning.

use and climate on aquatic ecosystems: Coupling of models and decomposition of uncertainties *Sci. Tot. Environ.* 657, 627-633.

- /8/ Doltra, J., Lægdsmand, M., Olesen, J.E., 2014. Impacts of projected climate change on productivity and nitrogen leaching of crop rotations in arable and pig farming systems in Denmark. *J. Agric. Sci.* 152, 75-92.
- /9/ Jabloun, M., Schelde, K., Tao, F., Olesen, J.E., 2015. Effect of changes in temperature and precipitation in Denmark on nitrate leaching in cereal cropping systems. *Europ. J. Agron.* 62, 55-64.
- /10/ Trnka, M., Rötter, R., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K.C., Olesen, J.E., Zalud, Z., Semenov, M.A., 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change* 4, 637-643.
- /11/ Kahiluoto, H., Kaseva, J., Balek, J., Olesen, J.E., Ruiz-Ramos, M., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Takác, J., Ruget, F., Ferrise, R., Bezak, P., Cappellades, G., Dibari, C., Mäkinen, H., Nendel, C., Ventrella, D.,

Rodriguez, A., Bindi, M., Trnka, M., 2019. Decline in climate resilience of European wheat. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 116, 123-128.

- /12/ Dalgaard, T., Olesen, J.E., Petersen, S.O., Petersen, B.M., Jørgensen, U., Kristensen, T., Hutchings, N.J., Gyldenkæmpe, S., Hermansen, J.E., 2011. Developments in greenhouse gas emissions and net energy use in Danish agriculture – How to achieve a CO2-neutral production? *Environmental Pollution* 159, 3193-3203.
- /13/ Olesen, J.E., Hermansen, J.E., 2016. Fødevarer til mennesker med respekt for planeten. I Hildebrandt, S. (ed.) *Bæredygtig Global Udvikling: FN's 17 verdensmål i et dansk perspektiv*. Jurist- og Økonomforbundet, p. 71-92.

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