

KLIMAÆNDRINGER ER ALLEREDE MÆRKBARE I LANDBRUGET

Forskningsprofessor Jørgen E. Olesen
Danmarks JordbrugsForskning
Forskningscenter Foulum

ATV MØDE
KLIMAÆNDRINGERS BETYDNING FOR VANDKREDSLØBET

HELNAN MARSELIS HOTEL
4. oktober 2006

RESUME

Landbrugsproduktionens størrelse og karakter er stærkt påvirket af de klimatiske forhold. Dansk landbrug vil umiddelbart være gunstigt stillet med hensyn til de forventede klimaændringers virkninger på produktionen. For mange afgrøder forventes klimaændringerne omkring 2050 at føre til stigninger i udbytterne på 10-20%. Klimaændringer vil dog føre til øget vandingsbehov samt øge risikoen for udledninger af kvælstof og fosfor fra landbrugsjorden til vandmiljøet. Samtidigt vil der være stigende forekomst af sygdomme og skadedyr i planteavlen, hvilket vil øge pesticidindsatsen. Prisen for det stigende udbyttepotentiale kan derfor blive en stramning af reguleringen af anvendelsen af gødning og pesticider i landbruget, hvilket kan reducere udbyttegevinsten.

INDLEDNING

På global plan varierer landbrugssystemerne betydeligt med hensyn til deres følsomhed over for klimaet og deres sårbarhed over for klimaændringer. De intensive landbrugssystemer i Vesteuropa har generelt en lav følsomhed for ændringer i klimaet, da ændringer i temperatur eller nedbør generelt kun har moderate effekter på udbyttene (Chloupek et al., 2004), og fordi landbruget i dette område generelt har tilstrækkelige ressourcer til at sikre en effektiv tilpasning til klimaændringerne. Derimod kan en række lav-input landbrugssystemer placeret i marginale områder blive alvorligt påvirket af klimaændringer (Reilly and Schimmelpfennig, 1999; Darwin and Kennedy, 2000).

Klimaændringer forventes at påvirke landbruget meget forskelligt i forskellige dele af verden (Parry et al., 2004). Resultatet afhænger af de fremherskende klima- og jordbundsforhold, ændringernes karakter og tilgængeligheden af ressourcer og infrastruktur til håndtering af ændringerne. Der er på det Europæiske kontinent en betydelig variation i klimatiske forhold, jordtyper, arealanvendelse, infrastruktur, politiske og økonomiske forhold (Bouma et al., 1998). Disse forskelle må forventes i betydelig grad at influere på klimaændringernes påvirkning af landbruget (Olesen og Bindi, 2002). Da Danmark i høj grad er en åben økonomi vil klimaændringerne ikke kun påvirke landbruget gennem den direkte virkning på produktionen, men også gennem påvirkninger på globalt og ikke mindst Europæisk plan.

SCENARIER FOR KLIMAÆNDRINGER

De menneskeskabte klimaændringer skyldes udledning af drivhusgasser, især kuldioxid, metan, lattergas og CFC. Den samlede udledning af disse gasser er stigende og forventes frem til år 2100 at føre til en stigning den globale middeltemperatur på mellem 1,4 og 5,8 °C. Variationsbredden er udtryk for variation mellem en række mulige scenarier for udslip af drivhusgasser samt usikkerhed i klimamodellerne.

FN's klimapanel (IPCC) har opstillet en række upslipsscenerierne samlet i fire hovedgrupper betegnet A1, A2, B1 og B2 (Nakicenovic et al., 2000). Ofte benyttes A2 og B2 scenarierne som udgangspunkt for analyser, hvor A2 betegner et globalt samfund fokuseret på forbrug, mens det globale samfund i B2 i højere grad er fokuseret på miljøbeskyttelse.

De menneskeskabte klimaændringer ventes for Danmark i år 2100 i forhold til 1990 for de nævnte udslipsscenarier at føre til stigninger i den årlige middeltemperatur vil på 3-5 °C (Christensen og Christensen, 2006). Nedbøren i vinterperioden vil stige med 20-40%, mens nedbøren i sommerperioden vil falde med 10-25%. Der forventes samtidigt havspejlsstigninger på 25 til 50 cm. Ændringerne afhænger dog af såvel tidsperiode som udslipsscenario (tabel 1 og 2).

Tabel 1. Ændringer i middeltemperatur (°C) i Danmark for kvartaler og på årsbasis.

Scenario	Periode	DJF	MAM	JJA	SON	År
A2	2010-2020	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
	2040-2050	1.5	1.4	1.6	1.9	1.6
	2090-2100	3.3	3.0	3.4	4.1	3.4
B2	2010-2020	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
	2040-2050	1.5	1.4	1.6	1.9	1.6
	2090-2100	2.4	2.2	2.5	3.0	2.5

Tabel 2. Ændringer i nedbør (%) i Danmark for kvartaler og på årsbasis.

Scenario	Periode	DJF	MAM	JJA	SON	År
A2	2010-2020	6	2	-4	-1	1
	2040-2050	15	5	-10	-2	2
	2090-2100	32	10	-22	-5	5
B2	2010-2020	6	2	-4	-1	1
	2040-2050	15	5	-10	-2	2
	2090-2100	24	7	-16	-4	4

Antagelserne omkring den fremtidige landbrugsmæssige arealanvendelse i Europa afhænger i betydelig grad af udviklingen og indpasningen af ny teknologi i landbruget (Rounsevell et al., 2005). Dette vil igen være koblet til forudsætninger omkring den fremtidige samfundsudvikling. For A2 scenariet forventes i 2050 således udbyttestigninger i kornafgrøderne på grund af bedre sorter på 81%, mens stigningen for B2 kun er 28%. Den forventede udvikling i udbytter i A2 scenariet ligner meget den nuværende udvikling i udbytter i store kornproducerende lande som England, Frankrig og Tyskland. I Danmark har udbyttefremgangen dog været aftagende i det seneste tiår svarende til situationen i B2 scenariet. Det kan formentlig tilskrives begrænsninger på anvendelse af gødning og pesticider i landbruget som følge af miljøreguleringerne.

EFFEKTER AF KLIMAÆNDRINGER

Jordbrugsproduktionen påvirkes af miljøet gennem effekter på de biologiske og fysisk-kemiske processer i planter, dyr og jord (tabel 3). Den menneskeskabte udledning af drivhusgasser påvirker agroøkosystemet både direkte (især gennem effekter af CO₂ og troposfærisk ozon) samt indirekte via effekter af ændringer i klimaet (især temperatur og nedbør). De eksakte påvirkninger varierer betydeligt mellem forskellige økosystemer og afhænger desuden af de relative ændringer i de enkelte bestemmende faktorer.

Tabel 3. Effekter af CO₂, temperatur, nedbør og vind på forskellige dele af agroøkosystemet.

Økosystem komponent	Effekter		
	CO ₂	Temperatur	Nedbør/vind
Afgrøder	Tørstof tilvækst Vandforbrug	Varighed af vækst	Tørstoftilvækst
Husdyr	Foderudbytte	Vækst og reprodukti- on	Sundhed
Vand	Jordvandindhold	Vandingsbehov	Grundvand
Jord	Omsætning af organisk stof i jord	Omsætning i jord Næringsstofforsyning	Vind- og vanderosi- on
Sygdomme/ skadedyr	Kvalitet af biomasse for skadegørere	Generationstid Tidlighed i angreb	Sygdomsoverførsel
Ukrudt	Konkurrence med af- grøden	Effekt af herbicider	Effekt af herbicider

Effekter af øget CO₂ på plantevækst

En øget CO₂ koncentration i luften kan have en betydelig vækststimulerende virkning på planter (Kimball et al., 2002.). Øget indhold af CO₂ i atmosfæren øger planternes fotosyntese og reducerer vandforbruget på grund af større modstand mod fordampning gennem planternes spalteåbninger.

Resultatet er øgede udbytter samt stigende udnyttelse af lys, vand og kvælstof. Resultater fra en lang række forsøg viser samlet, at en fordobling af luftens CO₂ koncentration i gennemsnit vil øge kerneudbyttet i hvede med ca. 30%. Der er dog betydelige forskelle mellem plantearter. Således er der kun små produktivitetstigninger i tropiske græsser (C₄-planter) som f.eks. majs, mens der er fundet noget større udbyttetigninger ved stigende CO₂ koncentrationer i f.eks. kartoffel.

Den stigende CO₂ koncentration vil især give øget produktion i bælgplanter, og dermed øge N-fikseringen i disse arter (Kimball et al., 2002). Dette giver især øgede udbytter i kløvergræsmarker på grund af en større kløverandel, men også mulighed for en større N-ubalance i kvægfoderet med et stort N-overskud om sommeren.

Effekter af temperatur og nedbør på plantevækst

Indstrålingen bestemmer hvor stor fotosyntesen, og dermed planternes produktion kan blive. Dette modificeres dog meget af temperatur og tilgængelighed af vand og næringsstoffer. Temperaturen spiller især ind ved at bestemme længden af vækstsæsonen. De lave temperaturer og lysmangel om vinteren forhindrer aktiv plantevækst. En temperaturstigning vil derfor øge længden af vækstsæsonen. Vækstsæsonens længde kan beregnes som længden af den periode, hvor middeltemperaturen overstiger 5 °C. Den globale opvarmning vil for Nordeuropa føre til en længere vækstsæson. I Danmark vil en temperaturstigning på 1 °C øge vækstsæsonens længde med mere end en måned. Der er i perioden 1982-1999 observeret et betydelig forlængelse af vækstperioden, hvilket tilskrives højere gennemsnitstemperaturer (Stockli and Vidale, 2004). En længere vækstsæson vil især øge landbrugets produktivitet i forårsmånederne, hvor de lave temperaturer begrænser plantevæksten, hvorimod lyset er begrænsende i de sene efterårsmåneder.

Generelt vil højere temperaturer og deraf følgende højere fordampning sammen med mindre sommernedbør øge risikoen for vandmangel på de lettere jorder. På de fleste jordtyper vil ændringer i nedbøren dog især påvirke afstrømningen om vinteren.

Landbrugsafgrøder

Temperaturen påvirker to principielle processer i planter: udvikling og vækst (5). Planters udvikling er forløbet fra spiring af frøet over blomstring til dannelse af nye frø eller lagerorganer. Vækst er derimod optagelse af næringsstoffer fra jorden og produktion af kulhydrater i fotosyntesen. Det er den samlede effekt på de to processer, der afgør hvordan klimaændringer vil påvirke afgrødeproduktionen og udbyttet i planteavlen.

I enårige landbrugsafgrøder som f.eks. korn og raps er planternes udviklingsforløb afhængig af temperatur og daglængde. En temperaturstigning vil i disse afgrøder reducere længden af den aktive vækstperiode, fordi afgrøderne vil modne tidligere (6). Dette vil alt andet lige reducere udbyttet. Reduktionen i udbytte er størst i vintersæd og mindre i vårsæd, hvor det er muligt at modvirke en del af effekten gennem tidligere såning, således at afgrøderne bedre udnytter de gunstige lysforhold om foråret (figur 9.3).

Der kan være betydelige regionale forskelle i hvordan stigende CO₂ og ændrede klimaforhold påvirker afgrødernes udbytte. Dette er illustreret i tabel 2 med beregnede udbytteændringer for vinterhvede for forskellige scenarier i Vest- og Østdanmark. Der vil dog også være konsekvenser for udbyttekvaliteten, idet der formentlig i alle kornafgrøder vil være et faldende proteinindhold i kernerne forbundet med udbyttestigningerne.

Tabel 4. Modelberegnete udbyttestigninger i vinterhvede (t/ha) for en lerblandet sandjord i Vest- eller Østdanmark under forskellige scenarier for klimaændringer (Olesen et al., 2004). Der indgår ikke teknologisk udvikling i beregninger af udbytteændringer. Det nuværende udbytte i vinterhvede ligger på ca. 7,5 t/ha.

Periode	Scenario	Vestdanmark	Østdanmark
2050	A2	1,5	2,6
	B2	0,1	2,2
2100	A2	2,6	3,8
	B2	1,2	3,2

For afgrøder som græs og sukkerroer er afgrødens vækstperiode ikke begrænset af en modningsdato. Her er det længden af hele vækstsæsonen, der er afgørende for udbyttet, og temperaturstigninger vil være favorable for disse afgrøder. Dette vil derfor indebære betydeligt større udbyttestigninger i A2 scenariet end i B2 scenariet. Mulige negative effekter for disse afgrøder er øget risiko for sommertørke, som også vil påvirke græssende dyr og øge behovet for vanding.

Den øgede længde af vækstsæsonen og de stigende temperaturer har især betydning for varmekrævende afgrøder. Under danske forhold begrænses især dyrkningen af majs af de kølige danske sommertemperaturer. Majs dyrkes under danske forhold til foder for malkekvæg, og dyrkningen af majs er øget betydeligt i de senere år. Mens arealet med majs var på 560 ha i 1975, var majsarealet i 2004 steget til over 130.000 ha. Dette er især sket på bekostning af

dyrkingen af foderroer. Udvikling af nye sorter, der er tilpasset det danske klima, har bidraget til denne ændring, men en medvirkende årsag er også den stigende temperatur, som gør majsdyrkingen mere sikker under danske klimaforhold.

Udnyttelse og tab af næringsstoffer

Stigende udbytter i planteavl som følge af varmere klima og højere CO₂ koncentration vil formentlig øge behovet for kvælstofgødskning, hvis kvaliteten i afgrøderne skal opretholdes og det større udbyttepotentiale realiseres. Samtidigt må det forventes, at øget omsætning af jordens organiske stof i efterårs- og vintermånederne vil øge frigørelsen af mineralsk kvælstof i jorden, hvilket kan føre til øget kvælstofudvaskning. En øget vinternedbør vil også øge risikoen for kvælstofudvaskning til vandmiljøet, formentlig især for sandjorde i Jylland (Olesen et al., 2004).

Tab af fosfor fra landbrugsjorden til vandmiljøet sker enten i form af opløst fosfor eller som partikelbundet fosfor (Heckrath et al., 2000). I begge tilfælde transporteres fosfor typisk med vand via udvaskning, overfladisk afstrømning eller erosion til vandløb, søer og fjorde. De forventede klimaændringer med mere intens nedbør og større nedbørmængder uden for vækstperioden vurderes at kunne øge risikoen for fosfortab betydeligt, og det gælder alle de tabsprocesser, der vedrører vandbevægelse.

Plantebeskyttelse

De fleste sygdoms- og skadedyrsproblemer i planteavl er nært knyttede til afgrødens art og klimaet. Omfanget og karakteren af sygdoms- og skadedyrsproblemer vil derfor ændre sig, hvis klimaændringer giver ændringer i afgrødevalget. Højere temperaturer vil mindske generationstiden hos både sygdomme og skadedyr, og mildere vintre kan også forbedre overlevelsen af både skadedyr og deres naturlige fjender. Det er sandsynligt, at højere temperatur vil øge planteværnsproblemerne i landbruget og dermed behovet for pesticider. Dette kan yderligere vanskeliggøre overholdelse af målsætningen om reduktion i behandlingsindekset i Pesticidhandlingsplanen (Bichel-udvalget, 1999).

TILPASNING TIL KLIMAÆNDRINGER

Dansk landbrug vil være gunstigt stillet med hensyn til de forventede klimaændringers virkninger på produktionspotentialer. Udnyttelse af dette potentiale forudsætter dog tilpasninger i landbrugets dyrkningspraksis. Der kan skelnes mellem kortsigtede tilpasninger, som sigter mod at optimere produktionen under de givne vilkår, og langsigtede tilpasninger, som involverer ændringer i landbrugets struktur, arealanvendelse, vandingssystemer m.v. samt udvikling og tilpasning af nye arter og sorter af afgrøder. De fleste af disse tilpasninger vil kunne foregå autonomt i sektoren, dvs. uden overordnet styring og planlægning. Dette forudsætter dog at klimaændringerne sker tilpas langsomt og at forskning, udvikling og rådgivningen inden for sektoren er opmærksom på at ændringerne i de klimatiske grundvilkår gør at ældre data og erfaringer skal bruges med varsomhed.

Især inden for samspillet til landbrugets miljøpåvirkning vil der dog være brug for styring af tilpasningen. Dette skyldes den omfattende regulering inden for dette område. En overordnet

regulering og styring af tilpasningen forventes derfor især at være relevant inden for følgende områder:

- Afdræning af lavbundsarealer
- Vanding
- Gødskning
- Plantebeskyttelse

Vandstandsstigninger og afdræning

Den forventede øgede vinternefbør er ikke af et omfang, som i sig selv vil betinge et behov for øget dræning på højbundsarealer. Der kan dog være et samspil til de nødvendige tilpasninger i såtid i vintersædsdyrkningen, hvor et varmere klima generelt vil betinge en senere såning af vintersæden. Den senere såning og det vådere klima kan gøre det vanskeligt i visse år at etablere et godt såbed til vintersæden. Det bør undersøges, om det er muligt via forædling at fremavle sorter, som tillader tidlig såning også under varmere klima. En øget dræning på højbundsarealerne vil næppe løse problemet.

På lavbundsarealer vil en øget efterårs- og vinternefbør give problemer med etablering af vintersæd, og her vil en øget dræningsindsats kombineret med andre tiltag til at sikre tilstrækkelig hurtig afvanding mange steder være nødvendig for at sikre en fortsat landbrugsproduktion. Samtidigt vil stigninger i vandstanden visse steder give anledning til oversvømmelser eller til så høj grundvandstand, at landbrugsmæssig udnyttelse umuliggøres. Dette kan være tilfældet langs nogle fjorde samt vandløb med meget lille fald. Problemet vil nogle steder kunne løses gennem digebyggeri, hvilket dog kan have negative konsekvenser for naturen. Alternativt kan disse arealer opgives til landbrugsmæssig udnyttelse. Dette vil for nogle landbrugsbedrifter kunne løses gennem mageskifte med andre bedrifter. En række af disse arealer vil også kunne tages permanent ud af drift i forbindelse med tilpasning af braklægningsordningerne eller indgå som andre miljøtiltag (f.eks. våde enge). Der er behov for en kortlægning af problemets arealmæssige omfang og af tidshorisonten.

Vanding

En stor del af danske sandjorder er vandede. Hertil kræves tilladelse til indvinding af vand til markvanding. Med højere sommertemperaturer og længere perioder med sommertørke kan behovet for markvanding øges. For en række enårige afgrøders vedkommende kompenseres dette dog af tidligere såning og/eller tidligere afmodning, således at planternes vandbehov ikke nødvendigvis øges og dermed er det heller ikke givet at vandingsbehovet øges. Især for græs må der dog forventes et større vandingsbehov, og da en stor del af mælkeproduktionen er placeret på sandjorder i Vestjylland kan klimaændringer formentlig især føre til øget vandingsbehov i denne region. Derudover vil der formentlig især inden for dyrkning af kartofler og frilandsgrønsager være et stigende vandingsbehov.

Et stigende behov for vandindvinding til markvanding kan have konsekvenser for vandføringen i vandløb, især hvis der generelt bliver en større hyppighed af tørre forår og somre. Der kan medføre behov for at justere de eksisterende tilladelser til vandindvinding. Der er dog behov for en grundig analyse og kortlægning af problemets omfang.

Gødskning

Under uændrede produktionsforhold og miljøregulering forventes en større udledning af fosfor og til dels kvælstof til vandmiljøet, hvis forudsætningerne i scenarierne for klimaændringer holder stik. Der er dog fortsat store usikkerheder omkring størrelsen af disse ændringer i udledninger, som ikke blot afhænger af ændringer i afgrødevalg og gødskningsniveau, men også er betinget af et delikat samspil mellem de biologiske effekter af stigende CO₂ koncentration og ændringer i temperatur og nedbørforhold. Det er endvidere formentlig muligt at øge næringsstofudnyttelsen i landbruget yderligere gennem øget forskning og udvikling. Der er et stort behov for en nærmere afklaring af størrelsen af disse usikkerheder.

Stigende temperatur forventes samtidigt at føre til øget algeopblomstring og iltsvind i vandmiljøet og dermed en større sårbarhed af søer og fjorde over for udledninger af kvælstof og fosfor fra landbruget. Klimaændringerne forventes således både at føre til øget risiko for udledninger af næringsstoffer fra landbruget og øget sårbarhed i vandmiljøet over for udledningerne. Samlet set vil dette indebære behov for yderligere tiltag i forhold til VMP-III til reduktion af udledningerne af næringsstoffer fra landbruget, hvis miljøbeskyttelsen af danske søer, fjorde og indre farvande skal kunne leve op til EU's Vandrammedirektiv. En række af de eksisterende tiltag i vandmiljøplanerne, som f.eks. reduceret gødskning og anvendelse af efterafgrøder, vil også være effektive under et varmere klima (Olesen et al., 2004). For at reducere det mulige fremtidige fosfortab kan der være behov for allerede nu at mindske fosfortildelingen til mange danske landbrugsjorder.

Plantebeskyttelse

De forventede klimaændringer forventes at føre til stigende ukrudtsproblemer og større potentielle udbyttetab, såfremt ukrudtet ikke bekæmpes. Som følge heraf kan der forventes et stigende herbicidforbrug, men hvor store ændringer, der vil være tale om i forhold til det nuværende forbrug, er det ikke muligt at vurdere.

Afhængigt af hvilke sygdomme der til en given tid vil dominere, vil jordbrugeren som normal praksis tilstræbe at reducere risikoen for udbyttetab bl.a. ved valg af resistente sorter eller sprøjtning med effektive fungicider. Nærmere studier af tabsstørrelserne i bl.a. Mellemtyskland kunne give et fingerpeg om, hvorvidt bekæmpelsesbehovet vil øges markant i forhold til det, vi har i Danmark i dag. Som udgangspunkt vurderes det, at de beskrevne klimaændringer kun vil give anledning til mindre justeringer i behovet for bekæmpelse af bladsygdomme og det heraf afledte fungicidforbrug, men at eventuelle ændringer vil være i opadgående retning. Den største usikkerhed findes omkring behovet for en aksbehandling imod *Fusarium* og måske rustsvampene. Samlet set vil det kunne betyde, at det bliver vanskeligere at nå målene i Pesticidplanen.

For skadedyr forventes en temperaturstigning på omkring 1 °C med stor sandsynlighed vil forøge behovet for anvendelse af insekticider til omkring det dobbelte, af hvad vi anvender i dag. Øges temperaturen yderligere vil behovet for insekticider øges endnu mere.

En større anvendelse af pesticider kan føre til større risiko for tab til naturområder, vandløb og grundvand. Da en del af udvaskningen af pesticider sker ved transport i makroporer i forbin-

delse med kraftige nedbørhændelser, vil udvaskningen kunne øges med den forventede stigning i nedbørintensiteten.

En del af problemerne med øget behov for plantebeskyttelse vil formentlig kunne løses gennem ny teknologi (f.eks. resistente afgrøder herunder genmodificerede afgrøder eller mindre persistente pesticider), men også mere alsidige sædskifter kan medvirke hertil.

PERSPEKTIVER OG TIDSHORISONT

Klimaet i Nordeuropa, herunder Danmark, er blevet varmere og vådere i løbet af de seneste 20-30 år, svarende til en temperaturstigning på 0,6 °C og en stigning i nedbøren på ca. 50 mm. Begge forhold har givet påvirket landbrugsproduktionen. Stigningen i temperaturen er således en af de meget betydende årsager til at der i løbet af de sidste 15 år er sket et totalt skifte i afgrødevalg i kvægbruget fra grovfoder baseret på græs, foderroer og helsæd til en foderproduktion baseret på græs og majsensilage, som meget ligner produktionen i Tyskland og Holland. De højere temperaturer er formentlig også medvirkende til at nye skadedyr som coloradobillen og sygdomme som bladplet og brunrust på hvede nu optræder almindeligt i Danmark, hvilket naturligvis har øget behovet for anvendelse af bekæmpelsesmidler. Stigningen i nedbøren har formentlig været en medvirkende faktor til den fortsat høje udledning af kvælstof fra landbruget til vandmiljøet.

Klimaændringerne vil komme gradvis, og det er meget vanskeligt at sætte årstal på, hvornår ændringerne vil medføre væsentlige skift i dansk landbrugsproduktion. Det hænger dels sammen med, at der er betydelige usikkerheder omkring hastigheden i klimaændringerne, som jo bl.a. er betinget af, om der sker ændringer i udslippene af drivhusgasser. Dels skyldes det, at der på tidshorisonter over 10 til 20 år sker mange andre ændringer i markedsforhold og teknologi, som påvirker landbrugets produktion og miljøpåvirkning mindst lige så meget som klimaændringer. Klimaændringerne vil dog få afgørende betydning for fremtidens landbrugsproduktion i Europa og Danmark. Dette forhold bør derfor tænkes ind i fremtidige strategier for landbrugets udvikling og i fremtidige tiltag på jordbrug-miljø området. Hastigheden i de forventede klimaændringer vil formentlig komme til at ligne hastigheden i de ændringer i temperatur og nedbør, der er set over de seneste 10-20 år. Afhængig af emissions-scenario kan hastigheden dog blive højere efter midten af den 21ende århundrede.

REFERENCER

- Bouma, J., Varallyay, G., Batjes, N.H., 1998. Principal land use changes anticipated in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 67, 103-119.
- Bichel-udvalget, 1999. Rapport fra hovedudvalget. Udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen. Miljøstyrelsen.
- Chloupek, O., Hrstkova, P., Schweigert, P., 2004. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Research*.85, 167-190.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B., 2006. A summary of PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* (in press).
- Darwin, R., Kennedy, D., 2000. Economic effects of CO₂ fertilization of crops: transforming changes in yield into changes in supply. *Environmental Modeling and Assessment* 5, 157-168.

- Heckrath G., Grant, R., Laubel, A., Jensen, M.B., 2000. Nedvaskning af fosfor. I Jacobsen, O.H. (red.) Tab af fosfor fra landbrugsjord til vandmiljøet. DJF rapport Markbrug 34, 31-44.
- Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Advances in Agronomy* 77, 293-368.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., Emilio la Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roerhl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M.E., Shukla, P.A., Smith, S., Swart, R.J., van Rooyen, S., Victor, N., Dadi, Z., 2000. Special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Olesen, J.E., Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16, 239-262.
- Olesen, J.E., Petersen, S.O., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Jacobsen, B.H., Vesterdal, L., Jørgensen, A.M.K., Christensen, B.T., Abildtrup, J., Heidmann, T., Rubæk, G., 2004. Jordbrug og klimaændringer - samspil til vandmiljøplaner. DJF rapport Markbrug nr. 109.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* 14, 53-67.
- Reilly, J., Schimmelpfennig, D., 1999. Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation. *Climatic Change* 43, 745-788.
- Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., Carter, T.R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 117-135.
- Stockli, R., Vidale, P.L., 2004: European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset. *International Journal of Remote Sensing* 25(17): 3303-3330.

