

Tilpasning til klimaændringer i landbrug og havebrug

Jørgen E. Olesen, Brian H. Jacobsen, Kristian Thorup-Kristensen, Niels Andersson, Per Kudsk, Lise N. Jørgensen, Lars M. Hansen, Birte L. Nielsen, Birte Boelt



Tilpasning til klimaændringer i landbrug og havebrug

Jørgen E. Olesen¹, Brian H. Jacobsen², Kristian Thorup-Kristensen³,
Niels Andersson³, Per Kudsk⁴, Lise N. Jørgensen⁴, Lars M. Hansen⁴,
Birte L. Nielsen⁵, Birte Boelt⁶

¹ Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Jordbrugsproduktion og Miljø

² Fødevareøkonomisk Institut, KVL

³ Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Havebrugsproduktion

⁴ Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Plantebeskyttelse og Skadedyr

⁵ Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Husdyrsundhed, Velfærd og Ernæring

⁶ Danmarks JordbrugsForskning, Afd. for Genetik og Bioteknologi

DJF rapporter indeholder hovedsagelig forskningsresultater og forsøgsopgørelser rettet mod danske forhold. Endvidere kan rapporterne beskrive større samlede forskningsprojekter eller fungere som bilag til temamøder. DJF rapporter udkommer i serierne: Markbrug, Husdyrbrug og Havebrug.

Abonnenter opnår 25% rabat, og abonnement kan tegnes ved henvendelse til:
Danmarks JordbrugsForskning
Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 8999 1028

Alle DJF's publikationer kan bestilles på nettet:
www.agrsci.dk

Tryk: www.digisource.dk
ISBN 87-91949-08-4
ISSN 1397-9884

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	3
Forord	4
Summary	5
Sammendrag	7
1. Landbrugets nuværende struktur og rolle	9
2. Scenarier for klimaændringer og fremtidig landbrugsdrift	11
3. Effekter af klimaændringer	15
3.1 Jorden som dyrkningsmedium	15
3.2 Plantevækst	16
3.2.1 CO ₂ effekter	16
3.2.2 Klimaeffekter	17
3.3 Landbrugsafgrøder	17
3.3.1 Korn- og frøafgrøder	17
3.3.2 Grovfoder	18
3.3.3 Frøgræs	19
3.4 Husdyr	19
3.5 Frilandsgrønsager	20
3.6 Frugt og bær	20
3.7 Væksthusproduktion	21
3.8 Næringsstofanvendelse og -tab	22
3.9 Ukrudt, sygdomme og skadedyr	23
3.9.1 Ukrudt	23
3.9.2 Sygdomme	24
3.9.3 Skadedyr	26
4. Tilpasningsmekanismer	28
4.1 Tilpasning af landbrugspraksis	28
4.1.1 Landbrugsafgrøder	28
4.1.2 Havebrugsafgrøder	28
4.1.3 Husdyr	29
4.2 Afgrødevalg og arealanvendelse	29
4.3 Vinternedbør, vandstandsstigninger og afdræning	32
4.4 Vanding	32
4.5 Gødskning	33
4.6 Plantebeskyttelse	33
4.7 Tidshorisont	35
5. Styringsmidler	36
6. Samfundsøkonomiske konsekvenser	37
6.1 Udbytter og indtjening	37
6.2 Arealomfang	38
6.3 Øgede krav til reduktion af landbrugets miljøpåvirkning	38
7. Behov for yderligere viden	39
Referencer	40

Forord

FN's klimapanel (IPCC) vurderer, at globale klimaforandringer allerede finder sted. Overordnet forventes ændringerne, at blive højere temperaturer, vandstandsstigning, øget nedbør og flere ekstreme vejr-situationer (storme og kraftig nedbør).

Selv om der ikke kan gives præcise forudsigelse af klimaændringernes omfang og konsekvenser, kan der være god grund til at indtænke disse i planlægningen for fremtiden. På nogle områder inddrages klimaændringerne allerede i dag i planlægningen. Men det sker ikke systematisk og ikke på et fælles grundlag. Der er således behov for et bedre overordnet grundlag for at inddrage betydningen af klimaændringer i de løbende beslutninger på alle niveauer i samfundet.

Dette er baggrunden for at regeringen i 2006 nedsatte en interministeriel arbejdsgruppe vedrørende en strategi for tilpasning til klimaændringer. En af de første opgaver i arbejdsgruppen var at tilvejebringe et grundlag, der beskriver, hvordan de forventede fremtidige klimaforandringer menes at påvirke en række områder og efterfølgende vurdere, hvilke tiltag man med fordel kan overveje at igangsætte på kort og langt sigt. Nærværende rapport beskriver klimaændringernes effekter og mulige tilpasningstiltag inden for landbruget. Tilsvarende rapporter er udarbejdet inden for en lang række andre sektorer, hvoraf landbruget især spiller sammen med miljøsektoren. Her har DMU udarbejdet rapporter, som beskriver mulige ændringer og tilpasninger vedrørende natur og miljø.

Rapporten har været forelagt arbejdsgruppen, som har haft repræsentanter fra Miljøministeriet og har deltagelse af Transport- og Energiministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet, Finansministeriet, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Indenrigs- og Sundhedsministeriet og Forsvarsministeriet.

Summary

Denmark is an important agricultural country with a large export of livestock products and seeds. The agricultural exports constitute 11% of total exports from Denmark. There has been an increasing focus on the environmental effects of agriculture, which has led to action plans for reduction of nitrogen and phosphorus emissions and limitation in pesticide usage.

The anthropogenic climate changes are expected over a 100 year period for the most commonly used emissions scenarios to lead to increases in the annual mean temperature of 3-5 °C. The winter precipitation will increase by 20-40% and summer precipitation will decrease by 10-25%.

Danish agriculture will be favourably positioned with respect the expected effects of climate changes on production potential. Utilisation of this potential requires adaptation in cropping and management practices. A distinction can be made between short-term adaptations, which aim at optimising production under current conditions, and long-term adaptations, which involve changes in production structure, land use, irrigation systems etc. and development and adaptation of new crop species and varieties. Most adaptations will be able to happen autonomously in the sector, i.e. without overall control and planning. However, this requires that the climatic changes occurs sufficiently slowly and that research, development and advice within the sector is aware that changes in climatic conditions require that older data and experience must be used with caution.

An adaptation strategy will be required within the interaction between agriculture and environment. This is due to the comprehensive regulations within this area. A regulated and controlled adaptation is therefore expected to be particularly relevant within drainage of lowlands, irrigation, fertilisation and crop protection.

Increasing winter rainfall and rising sea level will in some lowlands give rise to flooding or so high ground water levels that agricultural land use is made difficult or impossible. This may in particular occur along the coast and river valleys. The problem may in some cases be solved by improved drainage and dike building, which, however, may have negative consequences for nature and biodiversity. Alternatively, these areas will have to be abandoned for agricultural use. There is a need for surveys of the geographical extent and the time horizon.

A large proportion of the sandy soils are irrigated. This requires permission for ground water retrieval. Higher summer temperatures and longer periods of drought may increase the need for irrigation of agricultural crops. This can have negative consequences for flow in streams and rivers, and there may therefore be need to revise existing permissions for ground water retrieval.

Climate change is expected under existing production conditions and environmental regulation to lead to increased losses of phosphorus and to some extent nitrogen to the environment. However, there are large uncertainties in the extent of these changes in emissions. Such increases will imply a need for additional measures to reduce emissions, if current environmental protection of freshwater and marine environments is to be maintained. To reduce the risk of future losses of phosphorus to the aquatic environment there may be a need already now to reduce phosphorus loading of many agricultural soils in Denmark.

Most disease and pest problems in crop production are closely tied to the crop type and to climatic conditions. The extent and the character of the disease and pest problems will therefore change, if climatic changes result in changes in crop choice. Higher temperatures will reduce the generation time for both pests and diseases, and milder winters will also improve winter survival of both pests and their natural enemies. It is likely that higher temperatures will increase the crop protection problems in agriculture and thus the need for pesticide use. This will make it increasingly difficult to comply with the targets of the Danish pesticide plan.

Sammendrag

Danmark er et betydende landbrugsland med en stor eksport af især animalske produkter og frø. Samlet udgør landbrugseksporten med ca. 11% fortsat en betydelig andel af den samlede danske eksport. Der har i det seneste år været stigende fokus på miljøeffekterne af landbruget, hvilket har ført til handlingsplaner for reduktion af udledningen af kvælstof og fosfor samt begrænsninger i pesticidforbruget.

De menneskeskabte klimaændringer ventes for Danmark i år 2100 i forhold til 1990 for de mest anvendte udslipsscenerier at føre til stigninger i den årlige middeltemperatur vil på 3-5 °C. 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.

Dansk landbrug vil være gunstigt stillet med hensyn til de forventede klimaændringers virkninger på produktionspotentialt. 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 og plantebeskyttelse

Stigende vinternedbør og øget vandstand i havene vil visse steder give anledning til oversvømmelser eller til så høj grundvandstand, at landbrugsmæssig udnyttelse umuliggøres. Dette kan være tilfældet i ådale, langs nogle fjorde samt vandløb med meget lille fald. Problemet vil nogle steder kunne løses bedre afdræning eller gennem digebyggeri, hvilket dog kan have negative konsekvenser for naturen. Alternativt kan disse arealer opgives til landbrugsmæssig udnyttelse. Der er behov for en kortlægning af problemets arealmæssige omfang og af tidshorisonten.

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. Dette kan have konsekvenser for vandføringen i vandløb, og der kan derfor være behov for at justere de eksisterende tilladelser til vandindvinding. Der er dog behov for en kortlægning af problemets omfang.

Under uændrede produktionsforhold og miljøregulering forventes en større udledning af fosfor og til dels kvælstof til vandmiljøet. Der er dog fortsat store usikkerheder omkring størrelsen af disse ændringer i udledninger. Sådanne stigende udledninger vil indebære behov for yderligere tiltag til reduktion af udledningerne, hvis miljøbeskyttelsen af danske søer, fjorde og indre farvande skal opretholdes. For at reducere det mulige fremtidige fosfortab kan der være behov for allerede nu at mindske fosfortildelingen til mange danske landbrugsjorder.

De fleste sygdoms- og skadedyrsproblemer i planteavlen er nært knyttede til værtsafgrøde og klima. 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 vil i sig selv øge behovet for kemisk plantebeskyttelse, og kan yderligere vanskeliggøre overholdelse af målsætningen om reduktion i behandlingsindekset i Pesticidplanen.

1. Landbrugets nuværende struktur og rolle

Over de sidste 40 år er landbrugsarealet faldet fra 72% (30.900 km²) af det samlede areal i 1960 til 62% (26.578 km²) i 2003. Fordelingen på afgrødetyper i de seneste 30 år er vist i tabel 1.

Tabel 1. Anvendelse af landbrugsarealet, husdyrbestand og kvælstofgødning (kilde: Danmarks JordbrugsForskning, Fødevarøkonomisk Institut, Danmarks Statistik).

	1970	1980	1990	2000	2003
Korn (%)	59	62	56	57	56
Bælgsæd og industrifrø (%)	2	4	14	5	5
Rodfrugt (%)	10	8	8	5	4
Græs og grønfoder i rotationen (%)	17	14	12	16	17
Vedvarende græs (%)	10	9	8	13	14
Andre afgrøder (%)	2	3	2	4	4
Kvæg (1000)	2842	2961	2239	1868	1724
Svin (1000)	8361	9957	9497	11921	12949
Får (1000)	70	56	159	145	144
Fjerkræ (1000)	19169	15507	16249	21830	17844
Kvælstof i handelsgødning (1000 ton N)	271	394	400	252	201
Kvælstof i husdyrgødning (1000 ton N)	-	263	244	232	234

Andelen af landbrugsarealet med græs og grønfoder i rotationen samt vedvarende græs faldt betydeligt fra 1970 til 1990, men er steget i løbet af 1990'erne. Dette skyldes delvis en stigende anvendelse af græsmarker på malkekvægsbrug og delvis omlægningen af EU's støtteordninger, der bl.a. betinger, at udtagne arealer dyrkes med græs eller industrifrø. Desuden indgår arealet med majs til kvægfoder i arealet med græs og grønfoder, og majsarealet er steget betydeligt fra 0,4% af landbrugsarealet i 1980 til 4,4% i 2003. Dette skyldes bl.a. et varmere klima, som har gjort majsene mere dyrkningssikker.

Fra 1980 til 2003 er antallet af landbrugsbedrifter faldet fra 119.155 til 48.613. Samtidigt er den gennemsnitlige bedriftsstørrelse steget fra 24 ha i 1980 til 54 ha i 2003. Udviklingen har betydet et fald i landbrugets beskæftigelsesmæssige og samfundsøkonomiske betydning. Landbrugsproduktionen er dog steget, såvel i omfang som værdi, og landbrugseksporten udgør med ca. 11% fortsat en betydelig andel af den samlede danske eksport.

I løbet af 1990'erne er interessen for økologisk jordbrug øget betydeligt. Økologisk jordbrug udgjorde i 2003 ca. 6% af det dyrkede areal. Anvendelsen af kvælstof i landbruget har varieret betydeligt over de seneste 30 år (tabel 1) Frem til 1990 skete der en stor stigning i anvendelsen af kvælstof i handelsgødning. I løbet af 1990'erne er forbruget af handelsgødning imidlertid reduceret betydeligt, således at forbruget i 2003 lå betydeligt under niveauet for 1970. Dette skyldes de begrænsninger i kvælstofanvendelsen, der har været gennemført i kraft af Vandmiljøplanerne. Mængden af kvælstof i husdyrgødning har udvist et mindre fald siden 1980. Forbruget af fosfor og kalium i handelsgødning er faldet gennem hele perioden.

2. Scenarier for klimaændringer og fremtidig landbrugsdrift

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.

Der tages her primært udgangspunkt i to af de fire principielle udslipsscenarier (SRES scenarier), som IPCC opstillede i 2000 (Nakicenovic et al., 2000). Disse scenarier benævnes A2 og B2. Til disse scenarier er knyttet nogle forudsætninger omkring udviklingen i samfundet vedrørende regeringsførelse, teknologiudvikling, miljøbeskyttelse med videre. Disse forudsætninger gælder i første række den globale udvikling, men er også blevet overført til scenarier for den socioøkonomiske udvikling i Europa (tabel 2). Det tredje scenario, EU2C, bygger på EU's ønske om at begrænse den globale opvarmning til 2 °C. For dette scenario foreligger dog ikke specifikke antagelser om den socioøkonomiske udvikling ud over de begrænsninger i emissioner af drivhusgasser, som vil være nødvendige for at begrænse opvarmningen.

Tabel 2. Socioøkonomiske scenarier for Europa benyttet i denne rapport (Jordan et al., 2000; Abildtrup et al., 2005; Rounsevell et al., 2005a,b).

Scenario	Karakteristika for Europa
A2	Samfundet er dikteret af kortsigtede forbrugerværdier De politiske beslutninger tages på nationalt eller sub-nationalt niveau Europa adopterer protektionistiske økonomiske og handelspolitikker Stigende ulighed mellem forskellige lande i Europa EU's kompetencer forbliver som de er i dag og yderligere udvidelse begrænses
B2	Fokus på at lokale løsninger på miljøproblemer (grønne teknologier) I EU vil subsidiaritetsprincippet flytte indflydelse til det lokale niveau Udvidelsen af EU i både bredde og dybde opgives Beslutninger tages ofte på sub-nationale niveauer Europa er mere heterogen, hvilket fører til større uligheder

Tabel 3. 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
EU2C	2010-2020	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6
	2040-2050	1.4	1.3	1.4	1.7	1.4
	2090-2100	1.5	1.4	1.6	1.9	1.6

De estimerede ændringer i temperatur og nedbør for disse emissionsscenarier fremgår af tabel 3 og 4. På grundlag af temperaturændringer kan der laves analogier til områder, som i normalperioden 1961-90 har haft et temperaturlima, der svarer til de disse scenarier for Danmark. Disse analogi-regioner er vist i tabel 5.

Tabel 4. 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
EU2C	2010-2020	6	2	-4	-1	1
	2040-2050	13	4	-9	-2	2
	2090-2100	15	5	-10	-2	2

Tabel 5. Europæiske regioner med et temperaturlima, som i normalperioden 1961-90 har haft et temperaturlima, der i store træk svarer til scenarierne for klimaændringer i Danmark.

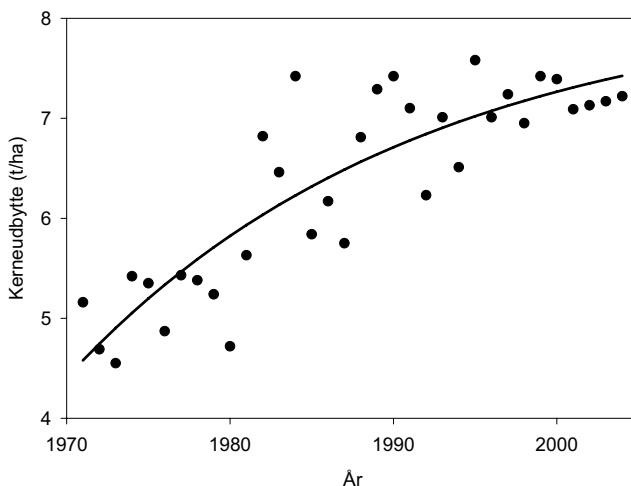
Periode	Scenario	Analoge regioner
2010-2020	alle	Hamborg, Luxemborg
2040-2050	EU2C	Hannover
	A2, B2	Stuttgart, Holland
2090-2100	EU2C	Stuttgart, Holland
	B2	Nordfrankrig (Dijon), Midtengland (Gorleston)
	A2	Midtfrankrig (Lyon), Sydengland (Kew)

Antagelserne omkring den fremtidige europæiske arealanvendelse afhænger i betydelig grad af udviklingen og indpasningen af ny teknologi i landbruget (Ewert et al., 2005). For de to SRES scenarier er der estimeret stigninger i afgrødeproduktivitet på mellem 20 og 117% afhængig af tidsrum (2020 til 2080) og scenario (tabel 6). Stigningerne er mindst for B2 og størst for A2.

Tabel 6. Estimerede relative ændringer i produktivitet af hvede i EU afhængig af ændringer i klimatiske betingelser, CO₂ koncentration og teknologisk udvikling for SRES scenarierne A2 og B2 relativt til 2000 (Ewert et al., 2005).

Faktor	År	A2	B2
Klima	2020	0.99	1.00
	2050	1.00	0.99
	2080	1.00	1.00
CO ₂	2020	1.04	1.04
	2050	1.13	1.11
	2080	1.27	1.15
Teknologi	2020	1.37	1.20
	2050	1.81	1.28
	2080	2.17	1.28
Alle	2020	1.40	1.25
	2050	1.92	1.37
	2080	2.42	1.43

Udbyttefremskrivningerne i tabel 6 baserer sig for scenario A2 på en lineær udvikling i udbytter over tid. Denne udvikling støttes af den nuværende udviklingen i udbytter i vinterhvede i store kornproducerende lande som England, Frankrig og Tyskland. Udviklingen i udbytter i nye sorter understøtter, at denne udvikling kan fortsætte et stykke tid endnu (Shearman et al., 2005). I Danmark har udbyttefremgangen i vinterhvede dog været aftagende i det seneste tiår (figur 1). Hvis denne udvikling for Danmark fremskrives fås udbyttetigninger i 2080 på ca. 16% som følge af den teknologiske fremgang, hvilket er af samme størrelsesorden som i fremskrivningerne for B2 scenariet (tabel 6). Den mindre fremgang i udbytterne i Danmark kan formentlig tilskrives begrænsninger på anvendelse af næringsstoffer og pesticider i landbruget som følge af en række miljøinitiativer, herunder regulering af kvælstofanvendelse, begrænsninger i pesticidanvendelsen og et større areal med økologisk jordbrug.



Figur 1. Udbytter i vinterhvede i Danmark.

I tabel 6 er der også givet estimater for effekter af klimaændringer og af stigende CO₂ koncentration i atmosfæren for udbytter i hvede. Klimaeffekterne er generelt meget små, når det gælder for EU som helhed, hvorimod stigende CO₂ koncentration vil give stigende udbytter. Dette overskygges dog især for A2 scenariet fuldstændigt af fremskrivningen i udbytter som følge af bedre teknologi (nye sorter kombineret med mere effektive gødninger og pesticider). Der er i sagens natur knyttet meget store usikkerheder til fremskrivningen af den teknologiske udvikling.

Produktivitetsfremgangen inden for husdyrholdet må formodes også at kunne fortsætte et stykke tid endnu. Dette vil formentlig føre til en yderligere stigning i svineproduktionen, hvorimod kvægbestanden fortsat vil være faldende. Den seneste reform af landbrugsstøtteordningerne har især medført et fald i bestanden af ammekøer og kødkvæg.

Landbrugsarealet i Danmark har i de seneste tiår været faldende med ca. 12.000 ha om året. Hvis denne udvikling fremskrives med samme relative årlige reduktion vil landbrugsarealet i 2020, 2050 og 2100 udgøre henholdsvis 57, 50 og 40% af det samlede areal. Antallet af landbrugsbedrifter må ligeledes forudsættes fortsat at falde. Der vil formentlig i fremtiden blive et endnu større skel mellem få meget store landbrugsbedrifter drevet af fuldtidslandmænd og mange små deltidsbedrifter, som især vil være beliggende i nærheden af de store byer.

Der forventes med de anførte klimaændringer frem til 2100 at kunne ske stigninger i havspejlet ved Danmark på 0,25 til 0,50 m.

3. Effekter af klimaændringer

Jordbrugsproduktionen påvirkes af miljøet gennem effekter på de biologiske og fysisk-kemiske processer i planter, dyr og jord (tabel 7). 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 7. Effekter af CO₂, temperatur, nedbør og vind på forskellige dele af agroøkosystemet.

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

3.1 Jorden som dyrkningsmedium

Klimaændringer vil påvirke dyrkningsjorden gennem effekter på mængden af planterester, omsætning af organisk stof i jorden, erosion og udvaskning af næringsstoffer. En opvarmning vil øge omsætningen af jordens organiske stof, som muligvis ikke vil kunne kompenseres af den større mængde planterester fra afgrøder med større udbytter. Dette vil på sigt kunne reducere jordens frugtbarhed.

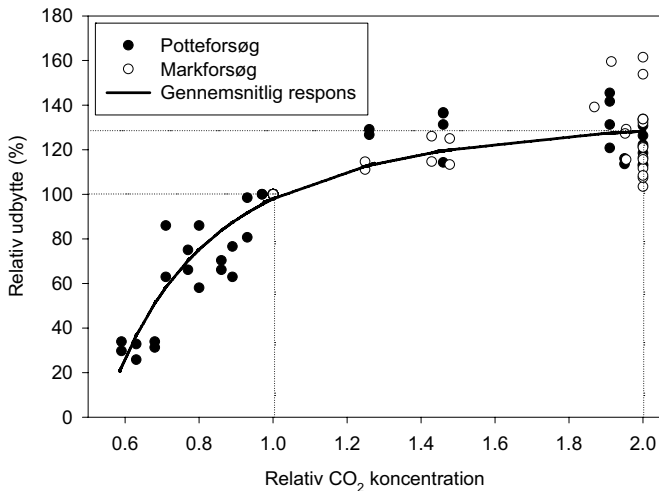
Vejrforholdene påvirker også muligheder for at kunne gennemføre markarbejdet rettidigt, hvilket har stor betydning for afgrødevalget (Rounsevell et al., 1996). Især våde forhold begrænser mulighederne for at kunne færdes på jorden og dermed kunne bearbejde jorden eller høste afgrøderne. En stor del af de danske jorder er kunstigt dræned primært for at sikre rettidighed i markarbejdet.

Antallet af høsttimer i efteråret er en af de væsentlige begrænsninger for afgrødevalget. Varmere klima vil føre til tidligere høst og dermed mere favorable høstvilkår. På den anden side kan vådere efterår føre til ringere muligheder for høst af sent modnende afgrøder.

3.2 Plantevækst

3.2.1 CO₂ effekter

Fra væksthushproduktion er det velkendt, at en øget CO₂ koncentration i luften kan have en vækststimulerende virkning. Det stigende CO₂ indhold i atmosfæren som følge af afbrænding af fossil energi har givet anledning til en betydelig forskningsaktivitet med hensyn til virkning af øget CO₂ på vækstforhold i planter dyrket på friland (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.



Figur 2. Relativ effekt af CO₂ koncentration på kerneudbytte i forsøg (Olesen og Bindi, 2002). Den nuværende CO₂ koncentration er sat til 1. Åbne symboler repræsenterer data fra markforsøg (OTC (Open Top Chamber), FACE (Free Air CO₂ Enrichment)). Fyldte symboler repræsenterer data fra forsøg i pletter eller drivhuse. Ved en fordobling af CO₂ koncentrationen steg udbyttet i gennemsnit med 28%.

Resultatet er øgede udbytter ved stigende CO₂ samt stigende udnyttelse af lys, vand og kvælstof (Drake et al., 1997). 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% (figur 2). Der er dog betydelige forskelle mellem plantearter. Således er der kun små produktivitetstigninger i C₄-planter som f.eks. majs, mens der er fundet noget større udbyttetigninger ved stigende CO₂ koncentrationer i rodfrugter som f.eks. kartoffel.

Det er påvist at øget CO₂ i luften kan reducere planternes indhold af kvælstof (Sousanna et al., 1996; Kimball et al., 2002). En større planteproduktion med et nedsat kvælstofindhold som følge af øget CO₂ i atmosfæren kan skabe behov for større tilførsel af gødningskvælstof.

3.2.2 Klimaeffekter

Indstrålingen bestemmer potentialet for assimilation af kulhydrater gennem fotosyntesen. Dette modificeres dog meget af temperatur og tilgængelighed af vand og næringsstoffer. Hovedeffekten af temperaturen er 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. Dette vil især øge landbrugets produktivitet i forårsmånederne, hvor de lave temperaturer begrænser plantevæksten, hvorimod lyset er begrænsende i de sene efterårsmåned.

Den årlige nedbørmængde overstiger normalt den potentielle fordampning i Danmark. Der udvikler sig dog normalt et vandunderskud i løbet af sommeren. Dette kompenseres af et overskud om vinteren. 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.

3.3 Landbrugsafgrøder

Temperaturen påvirker to principielle processer i planter: udvikling og vækst (Olesen og Bind, 2002). Planters udvikling beskriver forløbet fra spiring af frøet over blomstring til dannelse af nye frø eller lagerorganer. Væksten er derimod kendetegnet ved optagelse af næringsstoffer fra jorden og produktion af kulhydrater fra fotosyntesen. Det er den samlede effekt af de to processer, der afgør hvordan klimaændringer vil påvirke afgrødeproduktionen og udbyttet i planteavl.

3.3.1 Korn- og frøafgrøder

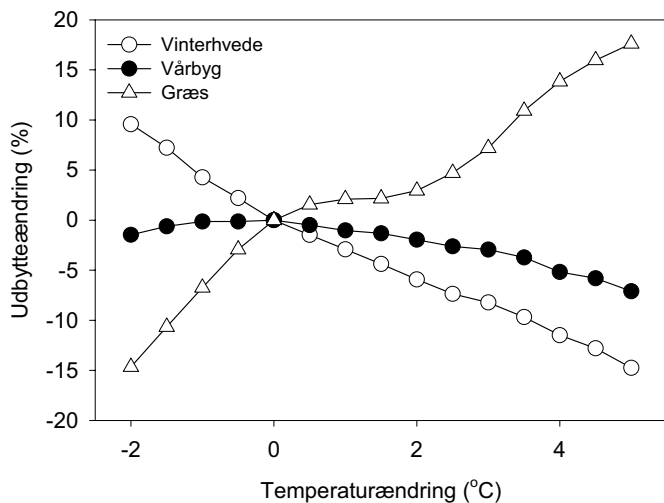
I enårige landbrugsafgrøder som f.eks. korn og raps er planternes udviklingsforløb afhængig af temperatur og daglængde. En temperaturstigning vil i disse afgrøder reducere længden af den aktive vækstperiode, fordi afgrøderne vil modne tidligere (Olesen, 2001, 2005). Dette vil alt andet lige reducere 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 3).

Der kan være betydelige regionale forskelle i hvordan stigende CO₂ og ændrede klimaforhold påvirker afgrødernes udbytte. Dette er illustreret i tabel 8 med beregnede udbytteændringer for vinterhvede for forskellige scenarier i Vest- og Østdanmark. Klimaet i Vestdanmark er mere nedbørrigt end i Østdanmark, så for den samme jordtype vil der være en større vandbegrænsning i Øst- end i Vestdanmark. En del af denne vandbegrænsning reduceres som følgende stigende CO₂ og bedre rodudvikling under mildere vintre, hvilket giver de højeste udbyttestigninger i 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 8. Modelberegnete udbyttestigninger i vinterhvede (t/ha) for en lerblandet sandjord i Vest- eller Østdanmark under forskellige scenarier for klimændringer (Olesen et al., 2004a). Der indgår ikke teknologisk udvikling i beregninger af udbytteændringer.

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



Figur 3. Modelberegnet ændring i gennemsnitsudbytte i tre landbrugsafgrøder ved ændringer i middeltemperatur for en lerjord i Danmark (Olesen, 2001).

3.3.2 Grovfoder

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. Mulige negative effekter for disse afgrøder er øget risiko for sommertørke, som også vil påvirke græssende dyr og øge behovet for vanding. 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, men også mulighed for en større N-ubalance i kvægfoderet med et stort N-overskud om sommeren.

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 dyrkningen 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 majsdyrkningen mere sikker under danske klimaforhold.

3.3.3 Frøgræs

Det danske klima er gunstigt for vernalisering af tempererede græsser, hvid- og rødkløver, samt spinat. Det skyldes kombinationen mellem daglængde og temperatur – med aftagende daglængde i efteråret kombineret med efterårstemperaturer, hvor de tempererede græssernes vækst aftager (typisk i september/oktober) og efterfølgende kommer en forholdsvis lang periode med temperaturer under 9 °C, som er den kritiske grænse for vernalisering. I foråret starter græssernes vækst typisk i marts/april, hvor den tiltagende daglængde initierer strækning af de anlagte frøstængler.

Overordnet set forventes de anførte klimaændringer at medføre mere gunstige forhold for frøproduktion i Danmark. Afgrøderne vil have en længere udviklingstid i efteråret, men tidsrummet for vernalisering vil fortsat være tilstrækkeligt for hovedparten af de arter, der dyrkes for nuværende. Rødsvingel (*Festuca rubra* L.), der er den anden største art i produktion med et areal på 23.645 ha i 2004, kræver dog ca. 20 uger med temperaturer under 9 °C, og med de angivne scenarier med temperaturstigninger på op til 4 °C kan vernaliseringen blive utilstrækkelig. Reducerede nedbørmængder i forsommeren kan medføre en forringet frøfyldning og dermed et lavere udbytte, men reduceret nedbør i høstmånederne juli-august vil medføre mere sikre høstbetingelser.

3.4 Husdyr

Klimaændringer påvirker husdyrholdet indirekte gennem tilgængeligheden og prisen på foder og indirekte gennem effekter på sundhed, vækst og reproduktion. Med de forventede stigninger i udbytter i danske afgrøder vil der formentlig ikke ske væsentlige ændringer i foderforsyningen. Dog kan øget sommertørke give øget behov for vanding af græsmarkerne. En længere vækstsæson for græsmarkerne kan give en længere afgræsningsperiode, formentlig især som en tidligere start på afgræsningen i foråret.

Klimaændringerne påvirker mest direkte de fritgående husdyr. Her kan der være tale om øget varmestress i forbindelse med meget varme somre. Til gengæld vil en opvarmning om vinteren betyde lavere foderkrav. Effekterne er formentlig mindre for opstaldede husdyr i intensive systemer.

Stigning i mængde og intensitet i nedbøren vil betyde, at det vil være vanskeligt at holde kød- og malkekvæg udendørs i de sene efterårsmåneder, idet markerne vil blive optrampede med mudder, hvilket kan medføre klovskaader. Begrænset adgang til udearealer vil alt andet lige

betyde nedsat velfærd for dyrene. Fugtigt indeklima kan betyde øget forekomst af f.eks. stikfluer, som er til stor gene for både kvæg og svin. De tørrere somre bør dog reducere problemet i denne periode.

3.5 Frilandsgrønsager

I frilandsproduktionen vil højere temperaturer især i forår og efterår betyde en forlænget produktionssæson, hvilket vil være en klar markedsmæssig fordel. Høje temperaturer om sommeren kan betyde både fordele og ulemper. Løg som er en vigtig afgrøde, er i Danmark tæt på sin nordgrænse, og højere temperaturer vil betyde både højere udbytte og bedre kvalitet. Ulemperne skyldes især, at flere vigtige grønsager har svært ved at tåle meget varme sommerdage (McKeown et al., 2005). Det gælder formentlig især kålafgrøder og ærter (Olesen og Grevsen, 1993).

Ifølge McKeown et al. (2005) er det ikke gennemsnitstemperaturen, men især sommerdage med maximumtemperaturer på over 30 °C der skader visse tempererede afgrøder. Derfor må det kontinentale Europa forventes at blive ramt klart hårdere af klimaændringerne end Danmark. De dyrkningsmæssige ulemper modvirkes dermed af markedsmæssige fordele, som det også blev set ved den europæiske hedebløge i sommeren 2003. Med højere temperaturer kan flere varmekrævende grønsagsafgrøder tages i dyrkning i Danmark, men den forventede temperaturstigningen er næppe stor nok til, at nye grønsager vil blive produceret i større stil.

Det ændrede nedbørmønster vil være en ulempe for grønsagsproduktionen, fordi det vil kræve mere vanding. Stort set alle grønsagsafgrøder vandes dog allerede, så dette udgør formentlig ikke noget stort problem. Øget temperatur vil give problemer med øgede angreb af skadedyr og sygdomme i afgrøderne, og dermed et øget behov for sprøjtning samt stigende kvalitets-skader i afgrøderne. Sygdomme og skadedyr er meget afhængige af temperatur for deres udvikling, og f.eks. vil et vigtigt skadedyr som kålfluen, der under de nuværende forhold typisk når 2 generationer per år i Danmark langt oftere kunne nå at udvikle 3 generationer. Højere temperaturer og tørre somre kan øge problemer med visse sygdomme og skadedyr og sænke problemerne med andre, men generelt er problemerne større ved højere temperaturer.

Samlet set må de forventede klimaændringer vurderes at være en fordel for dansk grønsagsproduktion. Der vil være klare ulemper, men fordelene i produktionsmuligheder og de konkurrencemæssige fordele må forventes at være større. Disse fordele vil også omfatte andre dele af det nordvestlige Europa, så øget konkurrence kan naturligvis også forekomme.

3.6 Frugt og bær

Inden for frugtavlen vil stigende temperaturer hovedsageligt medføre en række fordele for de danske producenter. Højere temperaturer vil medføre en tidligere blomstring i foråret, hvilket dog næppe fører til ændret risiko for frostskafer under blomstringen. Den længere vækstsæ-

son og de højere sommertemperaturer vil give både større frugter og en øget kvalitet med deraf følgende stigende priser på produkterne. En større frekvens af tørre somre forventes ikke at være noget stort problem i frugtavlen. Der kan dog forventes stigende problemer med skadedyr, som formentlig vil give et stigende pesticidforbrug, med mindre en del af dette vil kunne løses gennem biologisk bekæmpelse.

3.7 Væksthusproduktion

I væksthushproduktionen vil højere temperaturer betyde, at der kan spares energi til opvarmning. For høje temperaturer kan også forekomme i væksthuse, men dette bliver næppe alvorligt under danske forhold. Umiddelbart forventes klimaændringerne altså være til fordel for den danske produktion af væksthushgrønsager. Stigende problemer med for høje temperaturer i væksthuse i lande syd for Danmark kan betyde en afsætningsmæssig fordel for danske produkter. Et eksempel på dette blev set i sommeren 2003, som var meget varm i store dele af det centrale og sydlige Europa.

Energiforbruget i væksthuse kan estimeres ud fra varmekonsumtallet (P -værdi, $W m^{-2} K^{-1}$), hvor P -værdien afhænger af væksthushets fysiske tilstand med hensyn til alder, konstruktion og energibesparende foranstaltninger, f.eks. energigardiner. Gamle væksthuse uden energibesparende foranstaltninger har en P -værdi på ca. 8. De nyeste energioptimerede væksthuse har en P -værdi på 4, men udgør på grund af aldersfordelingen kun en meget lille del af det samlede væksthushareal.

Det er muligt på baggrund af scenarierne for klimaændringer at skønne ændringen i energiforbruget, men der kan ikke tages højde for ændringer i væksthusharelets størrelse og aldersfordeling. Den procentvise reduktion, beregnet ud fra stigningen i døgn minimumtemperatur, er ca. 5 % (år 2010-2020), ca. 20% (2040-2050) og mellem 20 og 40% afhængig af scenariet i perioden 2090-2100. Reduktionen i den årlige energimængde (MWh pr. $1000 m^2$) for de dårligste og bedste væksthuse fremgår af tabel 9. Vind og nedbør har kun lille indflydelse på energiforbruget og er derfor udeladt i beregningerne.

Tabel 9. Reduktion i energiforbrug (MWh pr. $1000 m^2$), beregnet på baggrund af ændring i minimum temperaturstigningen. Det nuværende energiforbrug er beregnet på baggrund af SBI's TRY og er henholdsvis 344 og 687 MWh pr. $1000 m^2$ ved en P -værdi på 4 og 8 ved en temperatur på $18 ^\circ C$ i væksthuset.

Periode	P -værdi	A2	B2	EU2C
2010-2020	4	27	27	27
	8	54	54	54
2040-2050	4	65	65	59
	8	130	130	120
2090-2100	4	134	104	66
	8	269	208	132

Med et varmere klima vil perioderne med kritisk høj luftfugtighed forekomme hyppigere i vinter- og efterårsperioderne. Høj luftfugtighed giver større risiko for svampeangreb, hvilket i væksthuse forsøges kontrolleret gennem klimastyring. Den nuværende metode er virksom, men energikrævende, idet der udluftes samtidig med, at der tilføres varme til væksthuset. Der er i ovenstående energiberegninger ikke taget forbehold for et større behov for aktiv luftfugtighedsstyring. Større variation i nedbørmængder kan udlignes ved at opsamle regnvand fra det glasdækkede areal, hvilket allerede sker i dag.

3.8 Næringsstofanvendelse og -tab

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 mineralisk kvælstof i jorden, hvilket kan føre til øget kvælstofudvaskning. En øget vinternedbør vil også øge risikoen for kvælstofudvaskning til vandmiljøet.

Olesen et al. (2004a) har for ensidig vinterhvede beregnet effekten af scenarier for klimaændringer for det økonomisk optimale niveau for kvælstofgødskning. Stigningen i beregnet optimal N-gødskning for A2 og B2 scenarierne for år 2050 ligger på 7 til 44 kg N ha⁻¹ for A2 og -3 til 24 kg N ha⁻¹ for B2. I begge scenarier var der en stigning i N-udvaskningen for et Vestdansk klima, hvorimod der især for lerjorderne var en tendens til et fald for et Østdansk klima. Effekterne af klimaændringer på miljøet kan derfor meget vel have en regional variation i Danmark. Desuden spiller jordtypen en rolle. Effekterne kan især tillægges ændringerne i temperatur og CO₂, da effekten af lavere nedbørmængde i vækstperioden opvejes af bedre vandudnyttelse ved højere CO₂ koncentration. Der er klar tendens i modelberegningerne til en større stigning i N-udvaskningen med klimaændringer på sandjord end på lerjord. Denne stigning i udvaskningen skyldes både en øget omsætning af organisk stof i jorden og en længere periode med bar jord i efteråret, men modvirkes i betydelig grad af et højere kulstofindhold i planterester som følge af stigende fotosyntese ved højere CO₂-koncentrationer. Modelberegninger viser, at øget anvendelse af vårsæd med efterafgrøder vil kunne begrænse stigningen i N-udvaskningen (Olesen et al., 2004b).

Der er også andre tab af N, der vil være betingede af de klimatiske vilkår. Dette gælder i særlig grad for ammoniakfordampningen, som stiger med stigende temperatur (Sommer et al., 2003). Da ændrede klimaforhold også vil betyde ændringer i tidspunktet for udbringningen af gødningen giver klimaændringerne dog formentlig kun mindre ændringer i ammoniakfordampningen fra udbragt husdyrgødning.

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 fosforet 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 ville øge risikoen for fosfortab betydeligt, og det gælder alle de tabsprocesser, der vedrører vandbevægelse. Der foreligger dog ingen kvantitative beregninger over dette.

Der er knyttet betydelige usikkerheder til vurderingen af mulige effekter af klimaændringer på landbrugets miljøpåvirkning. Usikkerheder knytter sig dels til scenarierne for fremtidens udledning af drivhusgasser og til klimaændringernes omfang og karakter. Andre usikkerheder vedrører den fremtidige landbrugspolitik, miljøpolitik og landbrugsstruktur, som formentlig har større betydning for afgrødevalget end klimaændringer. Der er dog ingen tvivl om at de skitserede klimaændringer vil øge produktiviteten i dansk planteavl med deraf følgende større behov for N-gødning. Usikkerhederne knytter sig især til vurderingen af miljøeffekterne, hvilket for effekten på kvælstofudvaskningen skyldes modsat rettede effekter af temperaturstigningen og af stigningen i CO₂-koncentrationen. Der skal ikke meget ændring til i balancen mellem disse ændringer og deres effekt på planteproduktion og omsætning i jorden for at effekten på N-udvaskningen kan ændres betydeligt. Der er derfor på miljøeffekt-området et betydeligt behov for at forbedre de eksisterende modeller for at kunne øge præcisionen i vurderingen af effekterne af klimaændringer. Dette gælder også for de processer, der betinger tab af fosfor fra landbrugsjorden.

3.9 Ukrudt, sygdomme og skadedyr

3.9.1 Ukrudt

Klimaændringer vil påvirke ukrudtsplanters vækst og dermed konkurrencen imellem afgrøde og ukrudt, herbiciders effekt på ukrudtet og herbiciders persistens i jorden.

Ukrudtsplanters vækst og konkurrenceevne vil især påvirkes af temperatur, jordfugtighed og luftens CO₂ indhold. En række forsøg under kontrollerede forhold har vist, at planter med C₃ fotosyntese (de fleste tempererede arter) vil have større fordel af stigende CO₂ koncentrationer i luften end C₄ planter (især varmekrævende arter som f.eks. majs). Hovedparten af de dominerende ukrudtsarter og dyrkede afgrøder, med undtagelse af majs, er C₃ planter, og derfor vil både ukrudt og afgrøde profitere af stigende CO₂ indhold i atmosfæren, og effekten på ukrudtets konkurrenceevne og dermed det potentielle udbyttetab må forventes at være marginalt. I majs vil ukrudtets konkurrenceevne forbedres mere end afgrødens med forøgede udbyttetab som følge.

Ukrudtsfloraens sammensætning er primært et resultat af sædskiftet i de enkelte marker. Klimaændringer vil imidlertid kunne bidrage til ændringer i ukrudtsfloraens sammensætning. F.eks. vil højere temperaturer og ikke mindst færre dage med frost betyde, at vinterannuelle ukrudtsarter med mere end en generation pr. vækstsæson som f.eks. enårig rapgræs vil kunne gennemløbe flere generationer med en øget frøproduktion til følge, hvilket vil favorisere denne ukrudtsart i forhold til ukrudtsarter med kun en generation. Klimaændringer vil også kunne

resultere i, at ukrudtsarter som i dag primært forekommer i de varmere egne af landet som f.eks. agerrøvehale vil blive mere udbredt, hvilket kan udløse et øget behov for ukrudtsbekæmpelse.

Ukrudtsarternes følsomhed overfor de anvendte herbicider kan ændres dels direkte via en effekt af klimaændringerne på herbicidernes effektivitet, og dels indirekte ved at klimaændringer modererer ukrudtsplantens følsomhed over for herbicidet. De forventede ændringer i temperaturen kan forventes kun at påvirke herbicidens effekt meget marginalt, derimod vil den lavere jordfugtighed og dermed risikoen for tørkestressede planter i forsommeren kunne have en markant negativ effekt på effektiviteten af de herbicider, der anvendes på dette tidspunkt af året. Med agertidsel er det vist, at forøget CO₂ indhold fremmer rodvæksten mere end bladvæksten, og som følge heraf øges forholdet imellem biomassen i de under- og overjordiske plantedele. Dette forhold er af betydning for effekten af de herbicider, som anvendes til bekæmpelse af flerårigt ukrudt, og forsøg har da også vist, at agertidselplanter dyrket ved et forhøjet CO₂ niveau er mindre følsomme end planter dyrket ved et normalt CO₂ niveau.

Herbicidens persistens er en afgørende parameter for effekten af de herbicider, som anvendes inden ukrudtets fremspiring, og som optages via ukrudtsplanternes rødder. Denne type herbicider anvendes især om efteråret. Stigende vintertemperaturer og større nedbørsmængder i vinterperioden betyder, at disse persistensen af disse herbicider reduceres, hvilket betyder at doseringen må forøges for at opnå varighed af effekten. Modelling på baggrund af engelske klimadata fra perioden 1980 til 2001 har vist, at klimaændringerne i denne forholdsvise korte periode reducerede varigheden af effekten af jordherbicidet isoproturon med 25%. Omvendt vil den lavere fugtighed i forsommeren betyde, at varigheden af jordherbicide anvendt om foråret forøges, men i praksis anvendes jordherbicide sjældent om foråret. Isoproturon er pt. forbudt i Danmark, men anvendes i mange andre lande, og det er sandsynligt at tilsvarende effekter af klimaændringer også vil gælde andre jordherbicide.

3.9.2 Sygdomme

Med vores nuværende klimaforhold og nuværende fordeling af landbrugsafgrøder findes de største tab indenfor svampesygdomme på korn, kartofler og grønsager. Mange forhold har betydning for, hvor store og kraftige angrebene af sygdomme bliver i det enkelte år, men af størst betydning er klimaforholdene i vækstsæsonen (især nedbør og temperatur), smittetrykket tidligt i sæsonen samt sorterens resistens. Smittetrykket er bl.a. påvirket af jordbehandling, og af hvor meget den enkelte afgrøde dyrkes i et område. Derudover har både fugt og temperatur betydning for, hvor godt de enkelte svampe vil overleve vinteren. For sygdomsudviklingen i løbet af vækstsæsonen er det varierende perioder, som er af betydning. I korn er det således typisk vejret i april, maj, juni og juli, som har størst indflydelse, mens det i kartofler er juni, juli og august.

Tabel 10 viser de for nuværende vigtigste plantesygdomme i Danmark. Det nuværende fungicidforbrug er hovedsageligt rettet mod skadegørere i korn og kartofler. Tabellen angiver det

vejledende antal behandlingshyppigheder (Petersen et al., 2004), som landmændene anbefales at overholde i bestræbelserne for at nå målsætningen i Pesticidplan 2004-2009.

Tabel 10. De vigtigste landbrugsafgrøder og svampesygdomme. For hver afgrøde er angivet en sprøjteindsats (BI, behandlingsindeks) jævnfør Pesticidplan 2004-2009, samt en sandsynlighed for om indsatsen vil stige eller være uændret ved de beskrevne klimaændringer. Sygdomme angivet med kursiv forventes at få øget betydning ved varmere klima.

Afgrøde	Vigtige skadegørere	BI og antal sprøjtninger (i parentes)	Sandsynlige ændring i BI
Hvede	Hvedegråplet, meldug, hvedebladplet, gulrust, <i>Fusarium brunrust</i> , <i>hvedebrunplet</i>	0,65 (2)	↑
Vinterbyg	Skoldplet, bygbladplet, meldug, bygrust, <i>Ramularia</i> bladplet	0,5 (1-2)	→
Vårbyg	Skoldplet, bygbladplet, meldug, bygrust, <i>Ramularia</i> bladplet	0,35 (0-2)	→
Rug + triticale	Meldug, skoldplet, <i>hvedebrunplet</i> , <i>brunrust</i>	0,2 (0- 1)	→
Rajgræs	Meldug, bladplet, kronrust, <i>sortrust</i>	0,1	↑
Kartofler til konsum	Kartoffelskimmel, <i>Alternaria</i>	5 (2-6)	↑
Kartofler til lægning	Kartoffelskimmel, <i>Alternaria</i>	5 (2-6)	↑
Kartofler til industri	Kartoffelskimmel, <i>Alternaria</i>	7,5 (6-10)	↑
Ærter	Ærteskimmel, gråskimmel	0,1 (0-1)	→
Raps	Knoldbægervamp, <i>alternaria</i> ,	0,15 (0-1)	→
Sukkerroer	<i>Ramularia</i> , rust, bedemeldug, <i>Cercospora</i>	0,2 (0-1)	↑

Nøjagtig hvordan plantesygdomme vil opføre sig under ændrede klimaforhold kan ikke forudsiges med sikkerhed, fordi sammenhængene er meget komplekse og et godt datagrundlag mangler (Coakley et al. 1999; Chakraborty et al., 2000; Boland et al., 2004). Ændringerne vil afhænge af flere forhold, herunder om der samtidig sker ændringer i sammensætningen af de afgrøder, jordbehandlingsmetoderne eller ændringer i de dyrkede sorters sygdomsresistens.

Generelt vurderes det, at mildere vintre vil øge risikoen for, at flere sygdomme vil overvintre. Det er således kendt, at gulrust i visse vintre helt kan forsvinde på grund af kraftig frost. Chancerne for en sådan dæmpning af smittepotentiale må forventes at blive mindre, når vintrene bliver mildere. Mildere vintre betyder også, at flere svampe vil gennemløbe flere generationer i løbet af vinterhalvåret og dermed oparbejde et større smittepotentiale i den tidlige vækstsæson, hvor afgrøderne generelt er mest følsomme.

Specifikt forventes det, at sygdomme som aksfusarium og brunrust vil kunne få øget betydning, hvis temperaturen stiger i juni og juli. Aksfusarium består af et kompleks af fusariumsvampe, hvor især *F. graminearum* er kendt for at fremmes af højere temperaturer (Thrane, 2000). Denne art er specielt uønsket på grund af dens betydelige mycotoxin produktion,

og især kendt fra dyrkningsforhold i Sydtykland og Frankrig. I dag har vi ikke praksis for at bekæmpe aksfusarium i korn med fungicider, men hvis sygdomme får større betydning kan dette blive aktuelt. Hvor meget aksfusarium vil øges, skal ses i sammenhæng med om arealet med majs og korn som forfrugt til korn vil tiltage. Begge dele vil være medvirkende årsag til at smitstofmængden vil øges.

Brunrust (og undertiden sortrust) er ligeledes kendt som et betydeligt problem i den varmere del af Europa, og ses normalt kun hos os i år med meget varme somre. Hvis vi generelt får varmere somre vil angrebene af denne sygdom øges. Dette vil for sortrust også gælde i rajgræs, hvor sygdommen bl.a. i dag er kendt som et betydeligt problem i Holland.

Såfremt forsommeren bliver mere nedbørfattig vil det muligvis kunne mindske angreb af fugtelskende svampe som hvedegråplet, skoldplet og bygbladplet. Længere perioder med bladfugt er afgørende for, at disse sygdomme kan spredes og opformeres. De fugtelskende svampe vurderes dog stadig at spille en væsentlig betydning i Midtyskland og Frankrig, så det er derfor noget uklart, om reduktionen af disse sygdomme bliver så kraftig, at det får reel betydning for pesticidforbruget.

Kartoffelskimmel overlever i Danmark enten ved smitstof i knolde i jorden eller ved egentlig jordsmitte i form af oosporer. Især oosporesmitte er i de senere år set mere hyppigt end tidligere. Mildere vintre og varmere forsomre kan øge betydningen af knold- og jordsmitte og føre til tidligere angreb, men egentlige undersøgelser mangler til vurderingen af de præcise epidemiologiske sammenhænge. Varmere somre kan medvirke til kraftigere epidemier af kartoffelskimmel og kan favorisere nye sygdomme som kartoffelbladplet (*Alternaria solani* og *A. alternata*), som trives bedst i varme somre.

I sukkerroer vil en temperaturstigning kunne få betydning for udbredelsen af *Cercospora* og *Ramularia*. Disse er begge kendt for at trives bedst ved højere temperaturer og er derfor almindeligt forekommende i varmere områder af Europa.

3.9.3 Skadedyr

Vinterkorn, vårkorn og vinterraps udgør i størrelsesordenen 75% af det samlede landbrugsareal. Det betyder, at det er i disse afgrøder de største mængder af insekticider anvendes, og det vil også være i disse afgrøder, man får de største ændringer i insekticidanvendelsen ved klimaændringer. Behandlingsindekset for insekticider har de senere år ligget omkring 0,3 med de mindre udsving forekomst eller mangel på samme af skadedyr det pågældende år har forårsaget (Miljøstyrelsen, 2005). Generelt set må bladlus (kornbladlus og havrebladlus) betragtes som de mest betydende skadedyr i kornafgrøderne.

Et fingerpeg på hvordan udviklingen vil gå, kan man få ved en beregning af gennemsnitstemperaturer for maj og juni i det nordlige Danmark og det sydlige Danmark. Her vil gennemsnitstemperaturen for de pågældende måneder i Midt- og Nordjylland ligge i størrelsesorde-

nen 0,5 °C lavere end i Sønderjylland, på Sjælland, Lolland og Falster. Det er også i disse områder, vi har de største angreb af bladlus – typisk i størrelsesordenen 50% kraftigere angreb med deraf følgende større behov for anvendelse af insekticider (Hansen, 2002, 2003).

I Danmark lever bladlusene såkaldt holocyklisk, hvilket vil sige, at de har den fulde udvikling og overvintrer som æg. Lidt længere nede i det sydlige Europa og det sydlige England har bladlusene i mange tilfælde sprunget ægstadiet over og overvintrer i stedet som voksne (anholocyklisk levevis). Det kan lade sig gøre, fordi klimaet her er varmere end i Danmark. En overvintring som voksne betyder større aktivitet om efteråret og samtidig også en hurtigere og større opformering om foråret. Den større aktivitet om efteråret betyder endvidere at muligheden for at sprede den bladlusoverførte virus sygdom havrerødsot (BYDV) bliver større (Nielsen et al., 2000). Det skønnes derfor at en forøgelse af temperaturen på i størrelsesordenen 1 °C vil øge bekæmpelsesbehovet i vores kornafgrøder til omkring det dobbelte.

I dag skyldes skadedyrsbekæmpelse i vinterraps primært glimmerbøsser, men i stigende grad også jordlopper (Augustinussen et al., 1995). En forøgelse af temperaturen vil med stor sandsynlighed øge problemet med begge skadedyr, som vi ser det i Midt- og Sydeuropa. Det er endvidere sandsynligt, at det øgede insekticidforbrug vil give endnu større problemer med insekticidresistente glimmerbøsser, end vi ser det i Danmark i dag.

Coloradobillen er et betydeligt skadedyr i kartoffeldyrkningen specielt i Midt- og Sydeuropa (Hansen, 2004b). I Danmark forekommer den kun sporadisk, selv om den i de senere år ser ud til i stigende grad at overvintrere. Klimaet i Danmark betinger, at coloradobillen vil kunne gennemføre sin livscyklus overalt i de fleste år. En temperaturstigning på omkring 1 °C betyder derfor risiko for to generationer om året. Det vil igen betyde, at mindst to insekticidspøjtninger pr. år vil være nødvendig. Imidlertid er kartoffelarealet ikke så stort (40.000 ha), så i det samlede behandlingsindeks vil det ikke betyde så meget.

Majs er en afgrøde, som i Danmark dækker omkring 124.000 ha. Behovet for at anvende insekticider i denne afgrøde er for tiden lille. Majsrodbillen er et meget betydende skadedyr i det sydlige Europa (Hansen et al., 2004). Udbredelsesmæssigt ser det ud til, at den er gået i stå i det sydlige Tyskland. I Danmark er det for koldt til, at den vil kunne gennemføre sin livscyklus. Imidlertid vil en temperaturstigning på blot 1 °C betyde, at dens livscyklus i de fleste år vil kunne gennemføres. Det vil betyde en stigning i insekticid forbruget på omkring 0,5-1,0 BI pr år i denne afgrøde. Et alternativ til denne behandling vil være dyrkning af GMO-majs med indbygget insektresistens.

4. Tilpasningsmekanismer

Dansk landbrug vil være gunstigt stillet med hensyn til de forventede klimaændringers virkninger på produktionspotentiallet. 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, som behandles særskilt efterfølgende:

- Afdræning af lavbundsarealer
- Vanding
- Gødskning
- Plantebeskyttelse

4.1 Tilpasning af landbrugspraksis

4.1.1 Landbrugsafgrøder

Blandt de kortsigtede tilpasninger hører ændring i såtidspunkt samt justering af mængden af kvælstofgødning. I et varmere klima vil vintersæden normalt skulle sås senere og vårsæden skulle sås tidligere for at sikre et optimalt udbyttensniveau (Olesen, 2005). Gødskningsniveau og gødskningstidspunkter vil skulle justeres til et ændret udbyttensniveau samt evt. ændrede tab, især ved kvælstofudvaskning. For kornafgrøderne vil nogle af de negative effekter af en temperaturstigning kunne modvirkes gennem valg af sorter med længere vækstsæson. Ved store temperaturstigninger bliver det også relevant at vælge mere varmekrævende afgrøder, f.eks. majs til modenhed.

4.1.2 Havebrugsafgrøder

Grønsagsproduktion er et dynamisk erhverv, hvor der hele tiden sker en hurtig tilpasning af produktionen til produktionsmuligheder, omkostninger og afsætningsmuligheder. Erhvervets tilpasning til de ændrede forhold må derfor forventes at ske ved autonom tilpasning.

Øgede vindhastigheder og hyppigere forekomst af storm vil få betydning for omfanget af stormskader på væksthuse. Et væksthuse er en let konstruktion og ændrede vindforhold vil kræve kraftigere konstruktioner og/eller mekaniske læhegn ved eksisterende væksthuse. Det

må forventes, at der automatisk sker ændringer i dimensioneringskrav efter ændrede vindnormer, for at få væksthuset forsikret.

I perioden frem til 2020 vil påvirkningen af klimaændringer kun have marginal indflydelse på energiforbruget i væksthuse. Det vil fortsat være nødvendigt at forske inden for energianvendelse i væksthuse for yderligere at sænke energiforbruget og for at kunne udnytte fornyelig energi.

Det vil også være nødvendigt at forske mere i luftfugtighedsstyringen, dels for at nedbringe energiforbruget, dels for at kunne undgå svampeangreb på planterne.

Der forventes ikke at ske en ændring i de konkurrencemæssige forhold mht. Sydeuropa i den første periode. I dag stoppes produktionen, f.eks. af tomat, typisk i juli-august i Sydeuropa, fordi temperaturen i væksthuse bliver for høje. Ved en yderligere stigning i temperaturen vil perioden uden produktion i væksthuse øges, men forholdene for vinterproduktion vil blive forbedret. En faldende nedbørsmængde kan virke begrænsende på produktionen i Sydeuropa, fordi den aktuelle fordampning ligger tættere på den potentielle i væksthuse.

4.1.3 Husdyr

En øget risiko for lange perioder med varme om sommeren og øget vinternedbør vil påvirke velfærden for husdyrholdet i Danmark. Danske stalde er ikke indrettet til afkøling og i den intensive produktion med stor dyretæthed vil varmestress kunne have fatale følger, især for hurtigt voksende dyr som slagtesvin og -kyllinger. Her vil systemer i svinestalde til overrisling med vand formentlig kunne afhjælpe en del af problemerne. Grisene vil behøve mere plads, fordi de ved høj varme termoregulerer ved at lægge sig i sideleje væk fra hinanden, og de gældende lovkrav vedr. areal kræver bugleje. Varmeperioder vil også kræve øget vandforsyning, og for nogle dyrearter, f.eks. minktæver med mange hvalpe under laktationen kan dette betyde at en tidligere fravæning er nødvendig. Allerede i dag kan det være nødvendigt at tildele vand med elektrolytter til tæver med mange hvalpe, især sidst i laktationen, for at undgå dehydrering. Varmestress vil også være et velfærdsmæssigt problem under transport af dyr.

4.2 Afgrødevalg og arealanvendelse

Anvendelsen af landbrugsarealer i Danmark er primært bestemt af det relative afkast ved forskellige landbrugsmæssige anvendelser. Ved forskellige anvendelser forstås her forskellige afgrøder samt muligheden for at lade arealer være udyrkede. Med afkast forstås i det følgende økonomisk afkast selvom andre typer af afkast, f.eks. rekreative, kan have betydning for landmandens valg af afgrøde. Afkastet er bestemt af udbytter (i bred forstand) og forbruget af indsatsfaktorer (gødning, pesticider, maskinomkostninger, arbejdskraft, kapital m.v.) samt priserne på såvel udbytte som indsatsfaktorer. Tilpasning af afgrødevalget vil være en løbende proces, som erhvervet (og den enkelte landmand) selv klarer. Målet vil være hele tiden at sikre den mest rentable produktion.

Afgrødevalget vil blive påvirket af klimaændringer, idet afgrøderne påvirkes forskelligt af disse ændringer. For eksempel vil det relative udbyttensniveau for græs og majs formentlig øges i forhold til kornafgrøder. Da forbruget af grovfoderafgrøder må formodes at være uændret vil dette føre til et faldende areal med disse afgrøder. Et varmere klima medfører at afgrøder, som ikke dyrkes i væsentlig omfang i dag, f.eks. solsikke, bliver mere konkurrencedygtige og dermed får en øget udbredelse i Danmark. Konsekvenserne af klimaændringer for landmændenes afgrødevalg er imidlertid vanskeligt at forudsige, idet valget af afgrøde og sædskifte ikke kun er bestemt af afgrødernes produktivitet, men i høj grad af politiske og markedsmæssige forhold.

Ændringerne i afgrødevalg vil også være stærkt knyttet til bedriftstypen. På kvægbedrifter vil et varmere klima gøre sædskifter med græs og majs mere dyrkningssikre, forudsat at der er tilstrækkelig med vand til rådighed. På svine- og plantebrug vil et varmere klima gøre det muligt i større omfang at dyrke andre proteinafgrøder, f.eks. solsikke, hestebønne og muligvis sojabønne. En temperaturstigning på 2 °C vil gøre det muligt at dyrke majs til modenhed i Danmark. Der vil dog formentlig skulle større temperaturstigninger til før majs til modenhed udbyttmæssigt vil være vinterhvede overlegent på alle jordtyper. Et tidligere afmodning af kornafgrøderne vil gøre det muligt at så vinterraps efter vinterhvede, hvilket vil reducere arealet med vinterbyg. For visse kortvarige grønsagskulturer (f.eks. salat og kål), kan det blive muligt at øge antallet af kulturer per areal under et varmere klima. Nogle grønsagsarter er dog følsomme over for meget høje temperaturer, og her kan meget store temperaturstigninger blive problematiske for dyrkningen om sommeren.

Da landbrugsprodukter handles globalt, vil det danske afgrødevalg og hele landbrugsproduktionens sammensætning afhænge af hvordan andre regioner påvirkes af klimaændringer. Inden for Europa forventes landbrugsproduktionen i især Sydeuropa og dele af Mellem- og Østeuropa at blive negativt påvirket. Danmark har meget gunstige jordbunds- og terrænforhold for landbrugsproduktion og ligger samtidigt klimamæssigt i et område, hvor tilpasningerne i afgrødevalg vil være fordelagtige. De naturgivne forhold vil derfor fortsat betinge, at en meget høj andel af det danske areal benyttes til landbrugsproduktion.

Frøfirmaer placerer opformering af frø, der hvor den bedste kvalitet opnås til de laveste produktionsomkostninger. De anførte klimaændringer kan medføre højere frøudbytter i en lang række arter, og for disse forventes produktionen at stige. For rødsvingel vil gennemsnitsudbyttet måske falde og dermed øges produktionsomkostningerne, og Danmark vil ikke være et særligt attraktivt opformeringsland.

Klimaændringerne vil ske over en lang tidshorisont. Konsekvenserne bør derfor vurderes i forhold til den forventede fremtidige socioøkonomiske kontekst. Der bør således tages stilling til den forventede teknologiske, demografiske, institutionelle udvikling. Eksempelvis, vil priserne på landbrugsprodukter afhænge af den globale fødevarer efterspørgsel, som vil afhænge af befolkningstilvæksten.

Den globale fødevarerproduktion (korn) og produktpriserne er blevet modelleret i en global ligevægtsmodel (BLS-modellen) (Parry et al., 2004). Der tages i modellen højde for teknologisk udvikling, befolkningstilvækst og økonomisk vækst samt tilpasninger i produktion som følge af klimaændringer. Uden klimaændringer forventes kornpriserne at stige, idet efterspørgsel stiger mere end udbuddet, som følge af befolkningstilvækst og økonomisk vækst. Der er estimeret øgede priser på 30-160% for 2080, afhængigt af det analyserede socioøkonomiske scenario. Hvis klimaændringerne inkluderes i analyserne falder den globale produktion med omkring 5-10% i forhold til produktionen i basisscenariet uden klimaændringer. Faldet i produktion i forhold til basisscenariet reduceres væsentligt, hvis der tages højde for øget CO₂ koncentration, som forventes at øge produktiviteten. Priserne på korn forventes at stige med omkring 5-20% som følge af klimaændringer, når der tages højde for CO₂-effekten, mens prisstigningen er væsentlig større uden CO₂-effekten. Det er på grundlag af analysen ikke muligt at sige noget om ændringer i de relative priser på landbrugsprodukter.

Analysen indikerer, at der vil være en større efterspørgsel efter landbrugsprodukter globalt set. Det betyder, hvis alt andet er uændret, vil der være et højere afkast fra landbrugsmæssig arealanvendelse i Danmark. Eventuelle reduktioner i udbytter i Danmark som følge af klimaændringer vil således kunne opvejes af en højere værdi af produktionen. Denne analyse giver således ikke grundlag for en forventning om øget ekstensivering i Danmark givet uændret produktivitet.

Rounsevell et al. (2005a) har analyseret den fremtidige landbrugsmæssige arealanvendelse i Europa baseret på SRES scenarierne. Der tages udgangspunkt i efterspørgslen efter europæiske fødevarer estimeret i IMAGE modellen (Strengers, 2002), forventede effekter af klimaændringer på udbytter samt teknologieffekter. Analysen viser, at i alle scenarier falder efterspørgslen efter landbrugsarealer i Europa, herunder i Danmark. Såfremt dette fald i efterspørgslen efter landbrugsarealer er større end den stigende efterspørgsel efter arealer til natur, skov, by- og infrastrukturudvikling samt til bioenergiformål må vi alt andet forvente lavere priser på fødevarer, da vi kan nøjes med at producere på de bedste boniteter. Dermed falder værdien af landbrugsproduktionen i Danmark og det er muligt vi ser øget ekstensivering af landbrugsarealer.

Tabel 11 viser de beregnede effekter for 2080 af A2 og B2 scenarierne for landbrugsarealet i omdrift. Reduktionen i landbrugsarealet er størst i A2, hvilket især skyldes antagelserne om en større teknologisk udvikling i dette scenario, som fører til højere udbyttestigninger end i B2. For begge scenarier er der kun ringe forskel mellem EU landene i ændringerne i landbrugsarealets størrelse. Dette skyldes især de underliggende socioøkonomiske antagelser i begge scenarier, som indebærer en stærk regional og lokal styring, som vil prioritere opretholdelsen af landbrugsproduktionen i de enkelte regioner, uanset stigende ændringer i omkostningsstruktur. Under de mere markedsorienterede SRES scenarier (A1 og B1) bliver faldet i landbrugsarealet i Danmark betydeligt lavere end i EU som helhed som følge af de mere gunstige

klimaforhold for landbrugsproduktion i Danmark sammenlignet med især Syd- og Centraleuropa. En del af det areal, som i scenarierne ikke længere udnyttes til produktion af foder og fødevarer, vil i fremtiden kunne anvendes til produktion af biomasse, f.eks. til energiformål.

Tabel 11. Beregnet landbrugsareal i omdrift (% total areal) i Danmark og EU i 2080 under A2 og B2 scenarierne. Tallene i parentes angiver relative ændringer (%) i forhold til udgangssituationen (Rounsevell et al., 2005a).

Område	A2	B2
Danmark	31,3 (-47)	42,4 (-28)
EU	12,7 (-45)	16,7 (-28)

4.3 Vinternedbør, vandstandsstigninger og afdræning

Den forventede øgede vinternedbør 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 vinternedbør 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.

4.4 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 van-

dingsbehov 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.

4.5 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., 2004b). For at reducere det mulige fremtidige fosfortab kan der være behov for allerede nu at mindske fosfortildelingen til mange danske landbrugsjorder.

4.6 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. Mere præcise epidemiologiske studier under forskellige temperatur- og fugtighedsforhold vil desuden kunne bidrage til fastlæggelse af risikoen i de beskrevne klimascenarie samt udvikling af kvantitative modeller til bestemmelse af konsekvenserne (Coakley et al., 1999, Chakraborty et al., 2000). De angivne sandsynligheder for ændringer i fungicidforbruget i tabel 10, skal derfor på det foreliggende grundlag tages med forbehold.

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. Hvis angrebene øges vil der, som udgangspunkt kunne ske en markant forøgelse af de sprøjtninger, som udføres på vækststadiet 65. Afhængigt af omfanget vil behandlingsindekset for hvedemarker med risiko for aksfusarium kunne øges med ca. 0,5. Indsatsen vil bl.a. styres af, at der findes et EU direktiv, som angiver maksimale mycotoxin niveauer i kornprodukter til konsum (Anonym, 2005), ligesom der arbejdes med et lignende tiltag til foderkorn. I kartofler kan klimaændringerne føre til en længere sæson for bekæmpelse og dermed flere sprøjtninger. 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. For at behandlingsindekset med insekticider ikke skal øges i forbindelse med en temperaturstigning er indgreb nødvendigt. Det kan være afgifter eller styring af behandlingsindeks. For bladlus er der udarbejdet beslutningsstøttesystemer, som vil kunne nedsætte insekticidforbruget. Imidlertid mangler vi viden om, hvordan vi får dem implementeret, således at avlerne vil anvende dem. For de ”nye” skadedyr mangler der at blive udviklet disse beslutningsstøttesystemer.

De fleste sygdoms- og skadedyrsproblemer i planteavlen er nært knyttede til værtsafgrøde og klima. 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 vil i sig selv øge behovet for kemisk plantebeskyttelse, og kan yderligere vanskeliggøre overholdelse af målsætningen om reduktion i behandlingsindekset i Pesticidplanen.

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 forbindelse 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.

4.7 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-scenarier kan hastigheden dog blive højere efter midten af den 21. århundrede.

5. Styringsmidler

En optimal strategi for tilpasninger til klimaændringer i landbruget skal sikre dels sikre opretholdelse af landbrugets konkurrenceevne og dels sikre at målsætningerne omkring reduktioner i landbrugets miljøpåvirkninger overholdes.

En opretholdelse af landbrugets konkurrenceevne vil forudsætte en målrettet forsknings- og udviklingsindsats, hvor de ændrede klimatiske vilkår indgår som en aktiv del i forskningen med henblik på at sikre en rettidig tilpasning af arealanvendelse og driftspraksis i landbruget. En optimal udnyttelse af dette forudsætter naturligvis også opretholdelsen af en effektiv rådgivning i landbruget.

For lavtliggende arealer kan såvel vandstandsstigninger som stigende efterårs- og vinternefbør medføre at den eksisterende landbrugsmæssige arealanvendelse må opgives. Sådanne arealer ligger ofte i tilknytning til vandløb eller andre naturområder, som ønskes beskyttet. Der kan derfor være en interesse fra såvel landbruget som samfund og myndigheder i at reduktionen i landbrugsarealet især sker på disse arealer. Dette kan dog for den enkelte landmand medføre en række problemer såvel driftsmæssigt (især med hensyn til overholdelse af harmonikrav omkring husdyrgødning) og økonomisk. Der kan derfor være behov for at staten og andre myndigheder understøtter denne proces gennem en arealmæssig planlægning og støtte til omlægninger, f.eks. via landdistriktsmidler.

Da det må forventes at de skitserede klimaændringer kan føre til stigende miljøproblemer i form af større udledninger af kvælstof og fosfor til vandmiljøet og i form af et stigende pesticidforbrug. I begge tilfælde vil dette påvirke ønsket om beskyttelse af såvel grundvand, vandmiljø og naturarealer. Der vil derfor være et stort behov for løbende at revidere reguleringen af den landbrugsmæssige drift og arealanvendelse set i forhold til ændringerne i klimaet.

6. Samfundsøkonomiske konsekvenser

De samfundsøkonomiske konsekvenser af ændringer i indtjening i landbruget som følge af klimaændringer lader sig vanskeligt vurdere, da disse vil afhænge af hvilken klimaændringer vil have på udbytte, men også afgrødernes konkurrenceevne og de fremtidige salgspriser. Salgspriser er her påvirket af udviklingen i fødevarer efterspørgselen og produktionsvilkårene i andre lande. Dertil kommer at de ændringer i form af regulering og omfang af støtte til landbruget på såvel globalt som EU-plan vil påvirke arealfordelingen. Danmark vil dog klimamæssigt ligge gunstigt med hensyn til klimaændringernes betydning for produktionen, hvilket kan øge konkurrenceevnen i dansk landbrug og havebrug.

6.1 Udbytter og indtjening

Som nævnt ovenfor vil effekter af klimaændringer i kombination med autonome tilpasninger i sektoren resultere i udbyttestigninger i landbrugsafgrøderne, der ved uændrede priser vil betyde en stigning i indtjeningen. Dog synes proteinindholdet i kornafgrøder at falde, hvilket kan reducere muligheden for at producere brødhvede, ligesom eksporten af maltbyg kan blive påvirket. For at vurdere hvordan klimaændringer påvirker salgspriserne er der behov for en analyse af det fremtidige udbud og efterspørgsel efter de enkelte afgrøder. Vil f.eks. forringede vækstbetingelser i Sydeuropa betyde stigende kornpriser?

Der vil i en række afgrøder skulle ske en øget behandling mod sygdomme og skadedyr. Den resulterende stigning i pesticidforbruget vil umiddelbart øge produktionsomkostningerne. Et stigende pesticidforbrug vil også kunne afføde krav fra politikere og myndigheder omkring yderligere stramninger af pesticidindsatsen, hvilket vil virke negativt for produktionsøkonomien.

Den øgede udbytter i grovfoderproduktionen vil reducere omkostningerne pr. foderenhed og dermed forbedre indtjeningen i kvægholdet. Omvendt vil flere tørre perioder øge behovet for vanding og dermed omkostningerne, mens den længere afgræsningsperiode reducerer behovet for indkøb af andre fodermidler. Klimaændringer synes her samlet at have en positiv indvirkning på indtjening i kvægsektoren.

Analysen kunne indikere at flere køer bliver opstaldet, men omvendt vil der være behov for investeringer i stalde, der muliggør afkøling således at varmestress undgås i stalde til svin og kyllinger. En stor del af behovet for afkøling i varme perioder vil dog formentlig i svinestaldene kunne løses gennem effektiv adgang til vand til afkøling.

For frøafgrøder indikerer analysen, at udbytterne vil stige og at høstbetingelserne forbedres, men også at tørke i nogle perioder kan være et problem. Der synes samlet set at være mulighed for en mindre stigning i indtjeningen fra frøgræsproduktionen.

For frilandsgrønsager forventes et højere udbytte og en bedre konkurrencesituation, idet Centraleuropa forventes at blive negativt påvirket. Samlet set skulle dette kunne styrke indkomsten i denne sektor.

For væksthushproduktionen kan der på sigt komme et lavere energiforbrug, hvilket reducere produktionsomkostningerne. Omvendt kan klimaændringer i andre lande betyde, at deres produktionsomkostninger falder. Der forventes dog ikke ændringer i de konkurrencemæssige forhold mht. til Sydeuropa i de nærmeste år.

6.2 Arealomfang

Øget nedbør og øget vandstand kan betyde, at en række lavbundsarealer ikke længere kan dyrkes. For ejere af disse arealer kan det betyde, at de også mister enkeltbetalingsstøtte på 2.240 kr. pr. ha til disse arealer. Omfanget af den slags arealer er dog ikke klarlagt, og der er derfor ikke for øjeblikket muligt at vurdere hverken tidsperspektiv eller samlet arealomfang. De samfundsøkonomiske omkostninger må dog forventes at blive betydeligt mindre end de privatøkonomiske, da der formentlig vil være betydelige miljømæssige gevinster ved tilbageførsel af lavbundsarealer til naturområder, da disse i mange tilfælde vil kunne reducere belastningen af vandmiljøet med kvælstof, fosfor og pesticider samt endvidere reducere udledningerne af drivhusgasser. Der foreligger dog ikke egentlige vurderinger af disse effekter under klimaændringer, da virkninger vil afhænge meget af de specifikke relationer mellem vandløb, våde lavbundsarealer og dyrkede marker.

6.3 Øgede krav til reduktion af landbrugets miljøpåvirkning

De stigende temperaturer og den stigende vinternedbør vil sandsynligvis betyde stigende N-udvaskning. For at nå de samme miljø kræves således, at der iværksættes virkemidler ud over VMP-III, således at den forventede reduktion opnås. Omkostningerne varierer med valg af virkemidler, men det virker ikke usandsynligt, at de budgetmæssige omkostninger vil udgøre 20-30 kr. pr. kg N i reduceret N-udvaskning. Der er dog knyttet betydelige usikkerheder til fastsættelsen af klimaændringernes kvantitative betydning for N-udvaskningen. Samtidigt vil klimaændringerne påvirke sårbarheden i vandmiljøet for udledninger af kvælstof. Det er derfor pt. ikke muligt at anføre de konkrete omkostninger på dette område.

Højere temperaturer vil med stor sandsynlighed øge forbruget af pesticider. Dette vil derfor kræve en revurdering af ambitionerne i Pesticidplanen, da det nuværende reduktionsmål kan vise sig umuligt at opnå med eksisterende virkemidler. Såfremt reduktionsmålene fastholdes og styrkes gennem egentlig regulering af pesticidanvendelsen kan klimaændringerne medføre et fald i udbyttet, selvom udbyttepotentialt stiger.

7. Behov for yderligere viden

Erhvervets muligheder for at undgå ulemper og udnytte de fordele, som klimaændringer medfører, forsætter et ordentligt vidensberedskab omkring disse emner. Det kan være viden om mere ressourceeffektive vandingssystemer, vigtige afgrøders reaktioner på klima, ikke mindst på ekstreme vejrforhold, næringsstofhåndtering under forhold med større vinternedbør og håndtering af de sygdomme og skadedyr, som vil udgøre et stigende problem.

På den grundlæggende viden bør der især fokuseres på klimaets betydning for landbrugets miljøpåvirkning og hvordan eksisterende redskaber til reduktion af næringsstoffab og pesticidforbrug vil fungere under ændrede klimaforhold. Der er især brug for en større indsigt i samspillet mellem processer i planter og jord og deres påvirkning af ændringer i atmosfærens CO₂ indhold i samspil med ændringer i temperatur og nedbør. Der er desuden kun gennemført en meget sparsom indsats i Danmark og Europa som helhed omkring klimaændringernes betydning for behovet for plantebeskyttelse. I betragtning af den store fokus i Danmark omkring reduktion af pesticidforbruget er der et stort behov for en mere grundlæggende forståelse af betydningen af klima og klimaændringer for forekomst af skadegørere i afgrøderne. Der vil desuden for en række af de mest dyrkede afgrøder være behov for mere detaljeret viden omkring deres reaktion på ændrede klimavilkår for at kunne optimere dyrkningen. En øget basal viden på disse områder vil dog også skulle udnyttes i anvendt forskning til at forbedre den landbrugsmæssige praksis. Dette vil være en forudsætning for opretholdelse af en konkurrencedygtig landbrugssektor med acceptable miljøpåvirkninger.

Omkring risikoen for oversvømmelse af landbundsarealer som følge af vandstandsstigninger og stigende vinternedbør er der et konkret behov for kortlægning af det arealmæssige omfang og af tidshorizonten for disse oversvømmelser under forskellige scenarier. Tilsvarende behov eksisterer for kortlægning af ændringer i vanding behov set i forhold til ændringer i de regionale vandressourcer.

Referencer

- Abildtrup, J., Audsley, E., Fekete-Farkas, M., Giupponi, C., Gylling, M., Rosato, P., Rousevell, M.D.A., 2005. Socio-economic scenario development for the assessment of climate change impacts on agricultural land use. *Environmental Science and Policy* (submitted).
- Anonym, 2005a. Dansk Gartneri i tal 2004. DEG. http://www.deg.dk/pdf_filer/ep_pdf/gartneri_i_tal_2004/
- Anonym, 2005b. Energistatistik 2004, Energistyrelsen. http://www.ens.dk/graphics/Energi_i_tal_og_kort/statistik/aarsstatistik/Statistik2004/Energistatistik_2004.pdf
- Anonym, 2005c. Kommissionens forordning (EF) nr 856/2005 af 6. juni 2005 om ændring af EU-forordning nr. 466/2001. som fastsætter grænseværdier for bestemte forurenende stoffer i fødevarer.
- Augustinussen, E., Hansen, L.M., Schulz, H., Jensen, P.K., Olsen, C.C., Rasmussen, K.J., Andersen, M.N., 1995. Udvikling af et dyrkningsprogram for vinterraps til non-food. Grundlag for forskning og modeludvikling. SP-Rapport nr. 2. Danmarks JordbrugsForskning.
- Boland, G.J., Melzer, M.S., Hopkin, A., Higgins, V., Nassuth, A., 2004. Climate change and plant diseases in Ontario. *Can. J. Plant Pathol.* 26, 335-350.
- Chakraborty, S., Tiedemann, A.V., Teng, P.S., 2000. Climate change: potential impact on plant diseases. *Environmental Pollution* 108, 317-326.
- Coakley, S.M., Scherm, H., Chakraborty S, 1999. Climate change and plant disease management. *Ann. Rev. Phytopathol.* 37, 399-426.
- Dansk Erhvervsgartnerforening, 2005. Dansk gartneri i tal 2004. www.deg.dk/pdf_filer/ep_pdf/gartneri_i_tal_2004/
- Drake, B.G., Gonzalez-Meler, M.A. & Long, S.P., 1997. More efficient plants: A consequence of rising atmospheric CO₂? *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48, 609-639.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J., Leemans, R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 101-116.
- Hansen, L.M., 2002. Bladlusmodeller. Havrebladlus i vårbyg. Teknisk rapport. Danmarks JordbrugsForskning
- Hansen, L.M., 2003. Bladlusmodeller. Kornbladlus i vinterhvede. Teknisk rapport. Danmarks JordbrugsForskning
- Hansen, L.M., Esbjerg, P., Nielsen, G.C., Larsen, B., Scheel, C., 2004a. Majsrodbillen. Grøn Viden, markbrug nr. 301. Danmarks JordbrugsForskning
- Hansen, L. M., Nielsen, G. C., Philipsen, H., Møller, L., Secher, B., 2004b. Coloradobillen. Biologi og bekæmpelse. Grøn Viden, markbrug nr. 302. Danmarks JordbrugsForskning
- 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.

- Jordan, A., O'Riordan, T., Lorenzoni, I., 2000. Europe in the new millenium. In Parry, M.L. (ed.): Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, p. 35-45.
- Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Adv. Agron.* 77, 293-368.
- McKeown, A., Warland, J., McDonald, R. (2005). Long-term marketable yields of horticultural crops in southern Ontario in relation to seasonal climate. *Can. J. Plant Sci.* 85, 431-438.
- Miljøstyrelsen, 2005. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2004. Miljøstyrelsen.
- 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.
- Nielsen, S.L., Nicolaisen, M., Hansen, L.M., Nielsen, G.C., 2000. Havrerødsot. Grøn viden, markbrug 228. Danmarks JordbrugsForskning
- Olesen, J.E., 2001. Climate change and agriculture in Denmark. I Jørgensen, A.M.K., Fenger, J. & Halnæs, K. (red.) Climate change research. Danish contributions. Gads Forlag. s. 191-206.
- Olesen, J.E., 2005. Climate change and CO₂ effects on productivity of Danish agricultural systems. *Journal of Crop Improvement* 13, 257-274.
- Olesen, J.E., Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.* 16, 239-262.
- Olesen, J.E., Grevsen, K., 1993. Simulated effects of climate change on summer cauliflower production in Europe. *Eur. J. Agron.* 2, 313-323.
- 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., 2004a. Jordbrug og klimaændringer - samspil til vandmiljøplaner. DJF rapport Markbrug nr. 109.
- Olesen, J.E., Rubæk, G., Heidmann, T., Hansen, S., Børgesen, C.D., 2004b. Effect of climate change on greenhouse gas emission from arable crop rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70, 147-160.
- 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.
- Petersen, P.H., Jensen, P.K., Nielsen, G.C., Jørgensen, L.N., Nielsen, S.F., Paaske, K., 2004. Vejledning i Planteværn. Landbrugsforlaget, Udkærvej 15, 8200 Århus N. pp.344.
- Rounsevell, M.D.A., Brignall, A.P., Siddons, P.A., 1996. Potential climate change effects on the distribution of agricultural grassland in England and Wales. *Soil Use Manage.* 12, 44-31.

- Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., Carter, T.R., 2005a. Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 117-135.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaanpää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P., Tuck, G., 2005b. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. (submitted).
- Shearman, V.J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K., Foulkes, M.J., 2005. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science* 45, 175-185.
- Sommer, S.G., Générémont, S., Cellier, P., Hutchings, N.J., Olesen, J.E. & Morvan, T. (2003). Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy* 19, 465-486.
- Soussana, J.F., Casella, E., Loiseau, P., 1996. Long-term effects of CO₂ enrichment and temperature increase on a temperate grass sward. II. Plant nitrogen budgets and root fraction. *Plant Soil* 182, 101-114.
- Strengers, B., 2001. The agricultural economy model in IMAGE 2.2. RIVM report no. 481508015, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven.
- Thrane, U., 2000. Mykotoksinproducerende *Fusarium* arter i dansk korn. 17. danske planteværnskonference. 165-170.

Resumé

De menneskeskabte klimaændringer ventes for Danmark over de næste 100 år at medføre temperaturstigninger på 3-5 °C, stigninger i vinternedbøren på 20-40% og fald i sommernedbøren på 10-25%.

Dansk landbrug vil være gunstigt stillet med hensyn til de forventede klimaændrings virkninger på produktionspotentialet. Dette forudsætter dog at driftspraksis tilpasses og optimeres mod de nye klimavilkår. Især inden for samspillet til landbrugets miljøpåvirkning vil der være behov for styring af tilpasningen. En overordnet regulering og styring af tilpasningen forventes især at være relevant inden for afdræning af landbrugsarealer, vanding, gødskning og plantebeskyttelse.

Markbrug



Havebrug



Husdyrbrug



Grøn Viden udkommer i en have-, mark- og husdyrbrugsserie.

Læs mere om publikationerne på vores hjemmeside www.agrsci.dk