



Baggrundsnotat til Vandmiljøplan III - midtvejsevaluering

Konsekvenser af klimaændringer for vandmiljøet

Jørgen E. Olesen
*Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet
Aarhus Universitet*

Indhold

1. Sammendrag.....	2
2. Indledning	2
3. Scenarier for klima og arealanvendelse	3
4. Arealanvendelse og afgrødevalg	3
5. Næringsstofanvendelse og tab	4
6. Tilpasninger til klimaændringer.....	5
7. Konklusion	6
Referencer	6

1. Sammendrag

Klimaet er allerede under forandring, og dette er medvirkende til de forandringer, der allerede nu ses i afgrødevalget i landbruget. Den eksplosive vækst i arealet med majs er således nært koblet til et varmere klima. Klimaet er tilsvarende blevet vådere (især vinteren) over de seneste årtier. Dette er medvirkende årsag til den forsat høje udledning af kvælstof og fosfor til vandmiljøet. Samtidig betyder de vådere vintre, at det i stigende grad bliver vanskeligt at holde lavtliggende arealer i dyrkning. Disse effekter vil blive forstærket over de kommende årtier under de forventede klimaændringer. Dette medfører konsekvenser ikke blot for landbruget, som må tilpasse sig ændringerne, men også for natur og miljø, som både direkte og indirekte vil blive påvirket af klimaændringerne. Klimaændringerne vil medføre ændrede dyrkningsmønstre i landbruget og ændrede forhold for naturen. Dette giver et behov for at revurdere samspillet mellem landbrug og natur i det danske landskab, som også bør afspejle sig i implementeringen af EU's Vanderammedirektiv. Det forventes, at klimaændringerne vil give behov for nye og forstærkede tiltag til reduktion af kvælstof- og fosfortabene fra landbruget til vandmiljøet.

2. Indledning

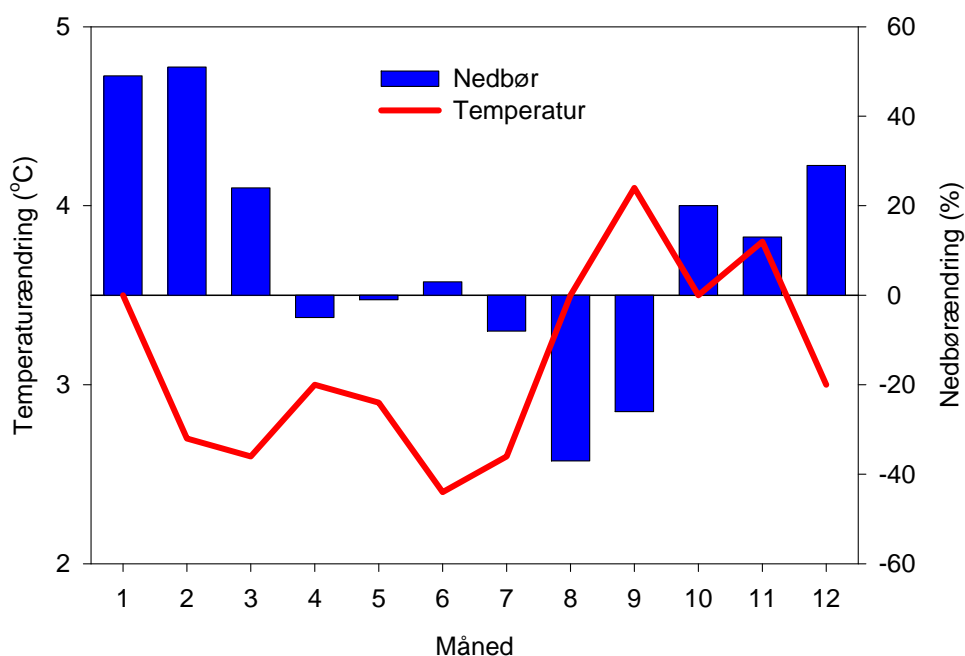
De menneskeskabte klimaændringer skyldes udledning af drivhusgasser, især kuldioxid, metan, lattergas og CFC. Den samlede udledning af disse gasser er stigende og forventes frem til år 2100 at føre til en stigning den globale middeltemperatur på mellem 1,4 og 5,8 °C (IPCC, 2007). Variationsbredden er udtryk for variation mellem en række mulige scenarier for udslip af drivhusgasser samt usikkerhed i klimamodellerne. De forskellige emissionsscenarier er udtryk for forskellige udviklingsmuligheder for verdens befolkningstilvækst, energiforbrug, velstand m.v. Selv med en stabilisering af atmosfærens indhold af drivhusgasserne på det nuværende niveau vil der ske en yderligere global temperaturstigning på op mod 1 °C (IPCC, 2007). Det skyldes, at klimaet er meget afhængigt af havtemperaturen, og det tager lang tid at få varmet oceanerne op.

Menneskeskabte klimaændringer er dog ikke blot noget, der hører fremtiden til. Over de seneste 50 år er den globale middeltemperatur steget med 0,6 °C, og temperaturstigningerne i Danmark har på det seneste endda været endnu større. I Danmark har dette ført til en forlængelse af vækstsæsonen med ca. en måned. Samtidigt har nedbørsmønstrene ændret sig. På verdensplan er der blevet mere udbredt tørke, især i de subtropiske områder. Det ses i Europa mest tydeligt i Middelhavsområdet, hvor stigende hyppighed af tørke har ført til stigende pres på vandingssystemerne. I Nordeuropa har der derimod været en stigning i nedbørmængderne. For Danmarks vedkommende er nedbørmængden steget med ca. 100 mm over de sidste 50 år. Ændringen er næste udelukkende sket i vinterhalvåret.

Det er dog ikke kun gennemsnitsklimaet, der har ændret sig. Der er også blevet flere ekstremer. Over det meste af verden er størrelsen og hyppigheden af meget intens nedbør steget. Det hænger sammen med, at varm luft kan rumme mere vanddamp, og dermed bliver der også mulighed for meget større nedbørmængder under regnvejr. De højere temperaturer og dermed højere energiindhold i atmosfæren giver også mulighed for kraftigere storme. Om sommeren vil tørre klimaområder, som f.eks. i Sydeuropa, kunne opleve meget større variation i temperatur og nedbør fra år til år.

3. Scenarier for klima og arealanvendelse

Klimaændringerne afhænger af, om det lykkes at begrænse udledningerne af drivhusgasser. Dette afspejles i forskellige scenarier for udledning af drivhusgasser. Nogle af de mest anvendte scenarier kaldes A2 og B2, hvor A2 betegner et scenarie med høje udledninger og B2 et scenarie med betydelige tiltag til reduktion af udledningerne. For de mest anvendte emissionsscenarioer ventes de menneskeskabte klimaændringer i år 2100 at føre til stigninger i den årlige danske middeltemperatur på 3-5 °C i forhold til 1990-niveauet (Olesen et al., 2006). Nedbøren i Danmark vil i vinterperioden stige med 20-40 %, mens nedbøren i sommerperioden vil falde med 10-25 % (figur 1). Man forventer samtidig havspejlsstigninger på 25-50 cm. Klimaændringerne i år 2050 bliver noget mindre. Til gengæld er der også meget mindre variation mellem de forskellige emissionsscenarioer. Det betyder, at vi med nogenlunde sikkerhed kan forudsige de generelle klimaforhold ca. 50 år frem. Hvad der kommer til at ske herefter, afhænger meget af, om det lykkes at reducere udledningerne af drivhusgasser.



Figur 1. Modelberegninger af ændringer i temperatur og nedbør i Danmark under A2 scenariet i 2080-2100 i forhold til 1961-90 (Christensen og Christensen, 2007).

Sæsonvariationen i ændringer i temperatur og nedbør i Danmark i 2080-2100 under A2-scenarier er vist i figur 1. Nedbørstigningerne forekommer især i vinterhalvåret, mens der især sker et fald i nedbøren i sensommeren. Den tørrere sensommer er koblet til lidt højere temperaturstigninger på denne årstid. For hver grads stigning i middeltemperatur rykker klimazonerne i Europa ca. 2-300 km nordpå. Frem til år 2050 forventes temperaturstigninger på 1,5-2,0 °C. Det giver et klima, der stort set svarer til det nuværende klima i Holland eller Middtyskland.

4. Arealanvendelse og afgrødevalg

Afgrødernes udbytte afhænger overordnet af tre forhold: 1) længden af den aktive vækstperiode, 2) den daglige produktion i vækstperioden, og 3) andelen af tørstofproduktionen, der går til høstbart udbytte. Alle disse faktorer varierer mellem afgrøderne og påvirkes også af klimaændringer. Et øget

CO₂-indhold øger produktionen i de fleste afgrøder (majs er en undtagelse). For afgrøder, som ikke modner (f.eks. græs og sukkerroer), vil en øget temperatur øge længden af vækstperioden og dermed give større udbytter, forudsat at der ikke optræder vandmangel (Olesen et al., 2006).

I enårige landbrugsafgrøder, som f.eks. korn, raps og kartofler, 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. 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. Et øget udbytte vil især kunne opnås ved at skifte afgrødearter og sorter.

Klimaændringerne vil formentlig ikke i nævneværdig grad påvirke kvægbrugene, som i stort omfang allerede er skiftet til fodring med kløvergræs og majs. Det svarer stort set til de sædskifter, der praktiseres på intensive kvægbrug i Tyskland og Holland. Dog vil udbytterne i græsmarkerne blive stimuleret ikke blot af den længere vækstsæson, men også af det højere CO₂ indhold, som især er gavnligt for kløver og andre bælgplanter. Majsarealet er vokset kraftigt over de sidste 10-20 år. Dette har primært været drevet af de varmere sommertemperaturer og den længere vækstsæson.

I et varmere klima vil vinterhvede udvikle sig hurtigere. Hvis udbyttetab skal undgås, må der dyrkes sorter, som udvikler sig langsommere og blomstrer på omtrent samme tid som for nuværende. Afgrøden vil under alle omstændigheder modne tidligere end nu. Det giver en længere periode i efteråret med bar jord og større risiko for kvælstofudvaskning i efterår og vinter. Der bliver derfor et øget behov for at dyrke efterafgrøder eller mellemafgrøder, som kan samle den overskydende kvælstofmængde op.

Danmark vil fortsat have et gunstigt klima for dyrkning af vinterraps, og med en tidligere høst af vinterhvede, kan det blive attraktivt at så vinterrapsen efter vinterhvede. Nye frøafgrøder, som solsikke og sojabønne, kræver temperaturstigninger på 2-4 °C før de bliver interessante for dyrkning i Danmark. De nye afgrøder vil dukke tidligst op i de sydlige egne af landet, mens klimaændringer først forventes at føre til egnede forhold i de nordlige egne af landet 20-30 år senere.

En temperaturstigning på 1-2 °C giver mulighed for at dyrke majs til modenhed i Danmark. I første omgang vil kernemajs til svinefoder formentlig blive høstet i våd tilstand og opbevaret i gastætte siloer. Med de senere års høje sommertemperaturer praktiseredes dette allerede i 2007 på ca. 2500 ha i Danmark, og arealet er stigende. Et stigende areal med majs i Danmark vil øge fokus på denne afgrødes miljøbelastning, og det medfører behov for dyrkning af efterafgrøder efter majs for at undgå tab af kvælstof og fosfor.

5. Næringsstofanvendelse og tab

Stigende udbytter i planteavl som følge af varmere klima og højere CO₂ koncentration vil formentlig øge behovet for kvælstofgødsning, hvis kvaliteten i afgrøderne skal opretholdes, og det større udbyttepotentiale realiseres. Samtidig må det forventes, at øget jordtemperatur vil øge omsætningen af jordens organiske stof i efterårs- og vintermånederne, som igen vil øge frigørelsen af mineralsk kvælstof i jorden, hvilket kan føre til øget kvælstofudvaskning. En øget vinternefbør 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 for A2 og -3 til 24 kg N/ha 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. Andersen et al. (2006) fandt ved anvendelse af en simpel empirisk model for N-udvaskning, at klimaændringer frem til 2080 under A2-scenariet ville øge N-udvaskningen med 9 % i et lerjordsopland og 7 % i et sandjordsopland.

Modelberegninger viser, at øget anvendelse af vårsæd med efterafgrøder vil kunne begrænse stigningen i N-udvaskningen (Olesen et al., 2004b). Det er sandsynligt, at en øget anvendelse af mellemafgrøder i vintersædsdyrkingen også vil have en gunstig effekt, da klimaændringer vil give tidligere høst i korn- og frøafgrøder og medføre senere såning af vintersæden. Dette giver en længere vækstperiode for mellemafgrøder i efteråret, som dermed får større muligheder for effektivt at samle kvælstof op fra både over- og underjord.

Tab af fosfor fra landbrugsjorden til vandmiljøet sker enten i form af opløst fosfor eller som partikelbundet fosfor (Kronvang et al., 2007). 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 (Andersen et al., 2006). Ved anvendelse af en simpel empirisk model for P-tab til vandmiljøet fandt Jeppesen et al. (2008), at klimaændringer frem til år 2080 under A2-scenariet vil øge P-tabet med ca. 7 %.

Det skal understreges at de foreliggende beregninger af tab af kvælstof og fosfor til vandmiljøet er behæftet med betydelige usikkerheder, som er knyttet til både de modeller der er blevet anvendt, til klimascenarier og til hvilke ændringer i dyrkningspraksis, som klimaændringerne vil afføde. Det er sandsynligt, at stigningerne i tabene til vandmiljøet vil blive større end de angivne værdier, da de nyeste beregninger af klimaændringer viser stigende værdier for ekstremnedbør (øget nedbørintensitet), hvilket sammen med øget længde af tørkeperioder vil øge risikoen for tab af både kvælstof og fosfor til vandmiljøet. Disse forhold er der ikke i tilstrækkelig grad taget højde for i de foreliggende modelberegninger.

6. Tilpasninger til klimaændringer

Stigninger i vandstanden vil visse steder i landet 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 med diger, hvilket dog kan have negative konsekvenser for naturen. Alternativt kan disse arealer opgives til landbrugsmæssig udnyttelse. Klimaændringer giver således i sig selv et incitament til retablering af vådområder langs en række vandløb. Dette kan udnyttes aktivt til at beskytte vandløbene mod tilførsel af kvælstof og fosfor fra nærliggende landbrugsarealer.

Under uændrede produktionsforhold og miljøregulering forventes klimaændringer som nævnt ovenfor at medføre større udledning af fosfor og til dels kvælstof til vandmiljøet. Der er dog fortsat store usikkerheder omkring størrelsen af disse ændringer i udledningerne. De stigende vandtemperaturer giver samtidig grundlag for øget algevækst og iltsvind i de indre danske farvande

(Søndergaard et al., 2006). Tilsammen vil de stigende udledninger og den større følsomhed i vandmiljøet indebære behov for yderligere tiltag til reduktion af udledningerne, hvis miljøbeskyttelsen af danske søer, fjorde og indre farvande skal opretholdes. Der er fortsat en række muligheder for yderligere at reducere tabene fra de dyrkede landbrugsarealer, især gennem øget anvendelse af efter- og mellemafgrøder samt tilpasning af jordbearbejdnings- og gødskningsstrategier. Det er dog tvivlsomt, om disse tiltag vil være tilstrækkeligt effektive, og der vil formentlig også blive behov for i større omfang at skabe bufferarealer mellem de dyrkede landbrugsarealer og vandmiljøet. Sådanne bufferarealer vil kunne opsamle udvasket kvælstof og fosfor inden dette havner i det følsomme vandmiljø.

7. Konklusion

De forventede klimaændringer vil i forhold til de fleste andre regioner i verden stille dansk landbrug gunstigt produktionsmæssigt. Det vil øge presset for en fortsat intensiv landbrugsproduktion i Danmark, og dermed også presset på naturen og vandmiljøet. Hvis vi skal kunne opretholde en acceptabel natur og en god kvalitet af vandmiljøet i Danmark, må der formentlig i højere grad ske en adskillelse mellem det intensivt dyrkede landbrug og den sårbare terrestriske og akvatiske natur. Der er brug for effektive bufferarealer mellem landbrug og natur, som mindsker næringsstofpåvirkningen fra landbruget på naturen. Samtidig må landbruget bidrage til at fjerne næringsstoffer fra den natur, som allerede er blevet forurenset med både kvælstof og fosfor. Det kan f.eks. ske ved at fjerne høstet biomasse og anvende det som biomasse til energiformål i landbruget, f.eks. i biogasanlæg.

Klimaændringerne forventes isoleret set at øge risikoen for tab af både kvælstof og fosfor til vandmiljøet. Størrelsen af disse ændringer i tab er dog endnu dårligt kendt, da tabene bestemmes af et kompliceret samspil mellem effekter af CO₂-koncentration, temperatur og nedbør, kvalitet af plantemateriale samt omsætning og transport i jorden. Desuden vil klimaændringernes effekter på arealanvendelse og landskabets struktur få stor betydning for transporten til recipienter og for disses følsomhed over for klimaændringer. Der er behov for grundlagsskabende viden om klimaets betydning for omsætnings- og transportprocesser og for at få denne viden inkluderet i eksisterende simuleringsmodeller på mark-, bedrifts- og landskabsniveau. Der er desuden behov for at udvikle og evaluere effektivitet af både eksisterende og nye metoder til reduktion af tabene af næringsstoffer til vandmiljøet som følge af klimaændringer. Der bør ses på metoder på flere skalaer: 1) mark (f.eks. jordbearbejdning, efterafgrøder, mellemafgrøder, gødskning), 2) bedrift (f.eks. teknologier til gødningshåndtering, fodring), og 3) landskab (f.eks. hegn, bufferzoner langs vandløb, særlige filterzoner for kvælstof og fosfor). Klimaændringerne vil samtidigt påvirke de omsætningsprocesser i jord og husdyrgødning, der betinger emissioner af CO₂, metan og lattergas. Der er derfor også brug for undersøgelser, der grundlæggende skal 1) belyse klimaets betydning for de processer, der giver anledning til emissioner af drivhusgasser, samt 2) klarlægge effektiviteten af tiltag til reduktion af landbrugets emissioner under et ændret klima.

Referencer

- Andersen, H.E., Kronvang, B., Larsen, S.E., Hoffmann, C.C., Jensen, T.S., Rasmussen, E.K., 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment* 365, 223-237.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B., 2007. A summary of PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Clim. Change* 81, 7-30.

- IPCC 2007. Summary for Policymakers. I Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. & Miller, H.L. (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K.M., Andersen, H.E., Lauridsen, T.L., Bekioglou, M., Ozen, A., Olesen, J.E., 2008. Climate change effects on runoff, phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environmental Quality* (in press).
- Kronvang, B., Vagstad, N., Behrendt, H., Bøgestrand, J., Larsen, S.E. 2007. Phosphorus losses at the catchment scale within Europe: an overview. *Soil Use and Management* 23, 104–116.
- Olesen, J.E., Petersen, S. O., Gyldenkerne, 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.
- Olesen, J.E., Jacobsen, B.H., Thorup-Kristensen, K., Andersson, N., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Hansen, L.M., Nielsen, B.L., Boelt, B., 2006. Tilpasning til klimaændringer i landbrug og havebrug. DJF rapport Markbrug nr. 128.
- Søndergaard, M., Kronvang, B., Pejrup, M., Sand-Jensen, K. (red.), 2006. Vand og vejr om 100 år. *Klimaforandringer og det danske vandmiljø*. Hovedland. 144 s.