

Konsekvenser og muligheder ved Danmarks deltagelse i Kyoto- protokollens artikel 3.4 på landbrugsområdet

Steen Gyldenkærne
Danmarks Miljøundersøgelser

Bjørn M. Petersen & Jørgen E. Olesen
Danmarks JordbrugsForskning

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 BAGGRUND	15
1.1 EMISSIONER FRA ÆNDRINGER I AREALANVENDELSE	16
1.1.1 Kulstof i mineraljorde i landbrugsmæssig drift	16
1.1.2 Emissioner fra organiske jorde i landbrugsmæssig drift	17
1.1.3 Anden vegetation	17
1.1.4 Andet	18
1.2 KYOTO-PROTOKOLLENS ARTIKEL 3.4	18
2 BEREGNING AF EMISSIONER FRA ÆNDRINGER I AREALANVENDELSE	20
2.1 OPGØRELSE AF LANDBRUGSMÆSSIG AREALANVENDELSE OG JORDTYPER	21
2.2 BEREGNING AF KULSTOFINDHOLD I MINERALJORDE	21
2.3 BEREGNING AF EMISSIONER FRA ORGANISKE JORDE	24
2.4 BEREGNING AF ANDRE EMISSIONER RELATERET TIL AREALANVENDELSE	25
2.4.1 Hegn	25
2.4.2 Gartneri	26
2.4.3 Kalkning	27
3 SCENARIER FOR ÆNDRET AREALANVENDELSE	28
4 KONSEKVENSER AF DELTAGELSE I KYOTO-PROTOKOLLENS ARTIKEL 3.4	31
5 OVERHOLDELSE AF RAPPORTERINGSKRAV	34
5.1 RAPPORTERINGSKRAV	34
5.2 RAPPORTERINGSMETODER	35
5.3 HVAD SKAL RAPPORTERES?	36
5.4 OMKOSTNINGER VED ØGET MONITERING OG AFRAPPORTERING	36
6 REFERENCER	39
APPENDIKS 1. MODEL FOR C I MINERALJORD	43
A1. INPUT AF C TIL MODELLEN	46
APPENDIKS 2 UDVIKLING I AFGRØDEUDBYTTET	49

Forord

Kyoto-aftalens artikel 3.4 giver mulighed for at inddrage CO₂ bindinger i afgrøder og jord som følge af ændret dyrkningspraksis i de danske reduktionsforpligtigelser. Under artikel 3.4 kan der vælges mellem ændringer i dyrkningspraksis for skovdrift (Forest management), landbrugsdrift (Cropland) og vedvarende græsarealer (Grassland). Dette projekt analyserer konsekvenserne af at vælge "landbrugsdrift" som en del af Danmarks reduktionsforpligtigelse. "Landbrugsdrift" omfatter alle ændringer som påvirker CO₂-balancen indenfor det geografiske afgrænsede område som defineres som landbrug. Det medfører at ændringer i den levende biomasse såsom hegn og gartneri, CO₂ udslip som følge af kalkning og ændringer i jordens organiske stof skal opgøres. Ændringer i jordens kulstof-indhold (C) sker kun langsomt og er vanskelige at opgøre. Inddragelse af artikel 3.4 i det nationale Kyoto-regnskab er bl.a. derfor forbundet med specifikke betingelser omkring opgørelsesmetoder samt konsekvenser, som også vil gælde for efterfølgende forpligtelsesperioder. Dette projekt har analyseret de mulige ændringer i den ovenjordiske biomasse, kalkning samt jordens kulstofindhold under forskellige scenarier for arealanvendelse, hvilket giver et grundlag for at vurdere usikkerhederne omkring konsekvenserne for Danmarks reduktionsforpligtigelse. Projektet har desuden analyseret kravene til opgørelsesmetode i forbindelse med indrapportering af opgørelsen, herunder de omkostninger, der er forbundet hermed.

Arbejdet har været diskuteret i en følgegruppe. Gruppens medlemmer var Ulla Blatt Bendtsen, Jesper Gundermann & Erik Rasmussen, Miljøstyrelsen, Lars Bach Jensen, Fødevareministeriet, Peter Iversen, Skov og Naturstyrelsen, Brian H. Jacobsen, Fødevareøkonomisk Institut, og Lars Vesterdal, Skov og Landskab, KVL.

Sammenfatning og konklusioner

Under Kyoto-protokollen har Danmark forpligtet sig til en reduktion af drivhusgasudslippet med 21% fra basisåret 1990 frem til forpligtelsesperioden 2008-12. Inden for landbrugssektoren indgår opgørelserne af udledninger af metan og lattergas umiddelbart i den nationale opgørelse af drivhusgasemissionerne og dermed i reduktionsforpligtelsen. Det samme gælder CO₂ emissioner fra brug af fossile brændsler i produktionen. Det stiller sig anderledes med de bidrag til CO₂-balancen, hvor netto-emissionerne af CO₂ kan tilskrives ændret skovdyrkning og ændret dyrkning af landbrugsafgrøder og græsmarker (artikel 3.4 under Kyoto-protokollen).

Bidragene til Kyoto-protokollen under artikel 3.4 vedrører ændringer i vegetationens og jordens C-lager. Strømmene af C til og fra biomasse og mineraljord skal under Kyoto-protokollen opgøres efter et netto-netto princip, hvor ændringen i nettoemissionen beregnes som ændringshastigheden for C-lageret i opgørelsesperioden (2008-2012) minus ændringshastigheden for C-lageret i referenceåret (1990). Ændringshastigheden kan beregnes på forskellig vis, men metoden skal være den samme i opgørelsesperioden som i referenceåret. For landbrug indgår følgende potentielle kilder til CO₂-emission og CO₂-binding:

- 1 Nettoændring af indholdet af kulstof i mineraljord i forbindelse med ændringer i arealanvendelse og dyrkning.
- 2 Nettoændring af jordens kulstoflager ved dræning og opdyrkning af organiske jorde eller ved retablering af vådområder.
- 3 Ændring af kulstofindhold i vedmasse i læhegn og frugtplantager.
- 4 Emission af CO₂ fra tilførsel af kalk til landbrugsjorden.

Kyoto-protokollens artikel 3.4 er konkretiseret i beslutninger fra COP7 i Marrakesh. Disse beslutninger kan opsummeres i følgende punkter:

- Opgørelsen må ikke omfatte fjernelse af CO₂ fra atmosfæren, som skyldes (a) øget CO₂ koncentration i atmosfæren over det førindustrielle niveau, (b) indirekte kvælstofdeposition, og (c) de dynamiske effekter af aldersstrukturer, som skyldes aktiviteter og praksis før referenceåret (1990).
- Opgørelserne skal være i overensstemmelse med IPCC guidelines for nationale emissionsopgørelser, herunder især Good Practice Guidance for LU-LUCF.
- Følgende områder kan enten til eller fravælges: ændringer i dyrkningspraksis i skov (Forest management), ændringer i dyrkningspraksis for det dyrkede areal (Cropland management), ændringer dyrkningspraksis for permanente græsarealer (Grazing land management) samt Revegetation. Det sidste omfatter opvækst af levende biomasse på arealer der har været eroderede og som ikke defineres som skov.
- Det skal i indrapporteringen godtgøres, at emissionsændringerne skyldes menneskeskabte aktiviteter efter 1. januar 1990.
- Når et areal først er indregnet under artikel 3.4, så vil det også skulle indgå i fremtidige forpligtelsesperioder.
- Den nationale emissionsopgørelse skal sikre, at landarealerne under artikel 3.4 er identificerbare.
- Opgørelserne vil blive gransket i overensstemmelse med artikel 8 i Kyoto-protokollen.

Emissionsopgørelsen fra arealanvendelse til UNFCCC opdeles på seks hovedområder: skov, dyrket land, permanente græsarealer, vådområder, bebyggelse og andet, som primært er is og klipper samt ikke klassificerede områder. Disse seks områder skal udgøre det samlede danske areal. Med de foreliggende oplysninger er det dog ikke muligt at fordele det danske landareal i de seks arealklasser og ændringer over tid siden 1990 med en tilstrækkelig sikkerhed. Det forudsættes i denne sammenhæng, at der på naturarealer, bebyggelse og andre områder ikke sker ændringer i jordens indhold af kulstof. Det forudsættes også at kulstof i skovjord behandles i anden sammenhæng. Da hovedparten af anvendelsen af græsmarker i Danmark indgår i den almindelige landbrugsmæssige drift, behandles landbrugsmæssige græsarealer under dyrket land, også de permanente græsarealer i landbrugsmæssig praksis.

I opgørelsen af ændringer i kulstofindholdet i dyrket jord skelnes mellem mineraljorder og organiske jorder. I henhold til IPCC's retningslinier har de organiske jorde et humusindhold over 20%. Dette afviger fra den danske jordklassificering, hvor grænsen er sat til 10%. Det har derfor været nødvendigt i denne sammenhæng at estimere andelen af organiske jorde mellem 10 og 20%, og disse er i nærværende opgørelse blevet behandlet som mineraljorder. Opgørelsen af ændringer i C-indholdet i mineraljorderne er sket ved anvendelse af en dynamisk model, som indebærer modellering af effekter af tilførsel af kulstof til jorden og omsætning af kulstof i jorden, herunder effekt af jordbearbejdning og klimaforhold.

Beregningerne af kulstofindhold i mineraljorderne viser store forskelle før og efter forbudet mod halmafbrænding, der trådte i kraft i 1990. I perioden op til 1990 blev der simuleret en faldende mængde C i jorden, mens indholdet er næsten uændret efter 1990. Der er dog en betydelig årsvariation i emissionerne, som følge af både klimavariation og udbyttevariation. Der er derfor i overensstemmelse med Good Practice Guidance benyttet en 5-års glidende midelværdi til opgørelse af netto-emissionerne i basisåret. Foruden af udjævne klimavariation m.v. har dette også den effekt at det udjævner effekten i udgangsåret af gennemførelsen af forbudet mod halmafbrænding. Halmafbrændingsforbudet trådte i kraft 1. januar 1990. Ifølge Good Practice Guidance skal effekten af halmafbrændingsforbudet indregnes fra det tidspunkt hvor det har effekt i opgørelsen *in situ*. Effekten af afbrændingsforbudet skal derfor formentlig indregnes fra høsten (august) 1990 og kan derfor medregnes i Kyoto-forpligtelsen.

For dyrkede organiske jorder med mere end 20% organisk stof fås en beregnet CO₂-emission i 1990 på 1,15 mio. t CO₂/år, som forventes faldende til ca. 1,05 mio. t CO₂/år i 2008-12, især som følge af et faldende landbrugsareal. Hegnsrejsning giver stort set ingen netto-emission i 1990, men en binding i 2008-12 på ca. 0,17 mio. t CO₂/år. Frugttræer og -buske bidrager kun marginalt til regnskabet. Anvendelsen af kalkning har været stærkt faldende i den seneste 15 år, hvilket medfører et fald i emissionerne fra 0,57 mio. t CO₂/år i 1990 til 0,22 mio. t CO₂/år i 2008-12.

Inddragelse af artikel 3.4 vil medføre en øget emission i basisåret på 3,28 mio. CO₂-ækv./år fra landbrugsmæssig arealanvendelse. I perioden 2008-12 er der et estimeret optag af CO₂ i mineraljorderne på 0,35 mio. t CO₂/år, hvilket ved sammenligning med 1990 fører til et beregnet optag i Kyoto-sammenhæng på 1,89 mio. t CO₂/år. Da der også er betydeligt lavere emissioner fra de øvrige elementer i opgørelsen, bliver der en samlet emissionsreduktion i perioden på 2,53 mio. t CO₂/år. Disse elementer indgår dog ikke i beregningerne af reduktioner.

tionsforpligtigheden for basisåret (Assigned Amounts), jvf. Kyoto-protokollens artikel 3.4, 3.7 og Annex A. Selvom inddragelse af arealanvendelse øger emissionen i basisåret påvirker det ikke AA, og den umiddelbare effekt er derfor en reduktion af den danske reduktionsforpligtighed på 2,53 mio. t CO₂/år.

Dette estimat er beregnet under forudsætning af at temperaturforholdene i 2008-12 ligger på niveau med klimaet i 1961-90. Hvis der indregnes en temperaturstigning på 0,02-0,03 °C per år siden 1990 som følge af de globale klimaændringer, øges netto-emissionerne fra mineraljorder med 0,39-0,59 og 0,54-0,81 mio. t CO₂/år i henholdsvis 2008-12 og 2025. Ved inddragelse af effekten af klimaændringer reduceres effekten af artikel 3.4 aktiviteterne på landbrugsområdet i 2008-12 til 1,94-2,14 mio. t CO₂/år. Dette vil endog kunne reduceres til 1,14 mio. t CO₂/år, hvis fremskrivningerne i stedet tager udgangspunkt i de meget varme år 2001-2004. Hertil kommer en usikkerhed som følgende af fremtidige mulige ændringer i arealanvendelse på 0,3-0,4 mio. t CO₂/år.

På grund af at mineraljorderne opgøres som en glidende middelværdi over 5 år ud fra aktuelle høstudbytter og temperaturer kan mineraljordernes endelige bidrag til en evt. reduktionsforpligtigheden først opgøres i 2014-2015. Ud fra en usikkerhedsbetragtning omkring høstudbytter og klima vurderes det at bidraget som minimum vil være i en størrelsesorden af 0,5 mio. tons CO₂/år. Dog vil en kombination af to dårlige høstår og to varme vintre i årene 2008-2012 reducere denne mængde yderligere.

Beregninger for en række scenarier for ændring i praksis og arealanvendelse viser at visse tiltag reducerer emissionen, mens andre vil øge denne. Reduceret emission især fra øget areal med vedvarende græs og efterafgrøder og specielt udtagning af organiske jorde vil samlet maksimalt kunne give en ændring i emissionen på omkring -1 mio. tons i 2008-12. Øget emission vil forekomme som følge af reduceret græsareal, fjernelse af halm fra markerne, afbrænding af gylle og fast gødning og dyrkning af non-food afgrøder på brakarealer. Samlet skønnes det i praksis maksimalt vil kunne give en øget emission på omkring 0,5 mio. tons i 2008-12, afhængigt af halmanvendelsen.

Der er således effekter af ændret arealanvendelse som både kan øge og reducere udledningen, og der foreligger ikke fremskrivninger af arealanvendelse, som vil tilsige at dette skal gå mest i den ene eller anden retning. Ved fastlæggelse af emissionsreduktionen kan der skønsmæssigt anslås en usikkerhed på 0,3 til 0,4 mio. ton CO₂/år som følge af usikkerhed omkring mulige ændringer i arealanvendelsen.

Ved et scenario med en fortsat temperaturstigning på 0,3 °C per tiår fås med basisfremskrivningen på arealanvendelsen en reduktion i emissionerne fra landbrugets arealanvendelse på ca. 1,94 mio. ton CO₂ pr. år. Denne temperaturstigning svarer til de scenarier for klimaændringer, der indgår som de centrale i det danske arbejde omkring tilpasning til klimaændringer, og som er baseret på kernescenarier defineret i IPCC arbejdet. Det sandsynlige bidrag fra landbrugets arealanvendelse til reduktionsforpligtigheden kan derfor estimeres til 1,6 til 2,3 mio. ton CO₂/år i forpligtelsesperioden 2008-12.

Effekten af inddragelse af Kyoto-protokollens artikel 3.4 for landbrugsområdet i fremtidige forpligtelsesperioder vil afhænge meget af om netto-netto princippet fortsættes for mineraljorderne, og hvilket basisår der i givet fald vælges. Hvis basisåret fortsat er 1990, vil der fortsat være mulighed for at

kunne godtgøre en netto-binding, mens dette bliver vanskeligere, hvis netto-emissionen i basisåret ikke fratrækkes, eller hvis der vælges et senere basisår. Desuden vil eventuelle klimaændringer spille en stor rolle for størrelsen af netto-udledningen fra landbrugsjorden.

Ved tilvalg af artikel 3.4 øges rapporteringskravet betydeligt, idet der er skærpede krav til opgørelse af arealanvendelse og krav om at modelberegninger af ændringer af kulstofindhold i jorden verificeres ved målinger. Dette vil for Danmarks vedkommende involvere analyse af satellitbilleder til fastlæggelse af arealændringer, udtagning af jordprøver til fastlæggelse af ændringer i C-indhold i jorden, opbygning og dokumentation af et samlet modelsystem, databaser og administrative rutiner. Dette vil skønsmæssigt kunne gennemføres for 52-68 mio. kr. Til brug for imødekomme af fremtidige krav til data og emissionsfaktorer vedrørende C-balancen i landbrugsjorderne og på naturarealer (eksklusiv skov) er der brug for en forskningsindsats i størrelsesordenen 15-37 mio. kr.

Summary and conclusions

Denmark has a commitment under the Kyoto Protocol to reduce the emissions of greenhouse gases by 21% from the reference year 1990 until the commitment period 2008-12. Emissions of methane and nitrous oxide from the agricultural sector are included in the national greenhouse gas inventories and thus also in the reduction commitment, and this is also the case for use of fossil fuels in production. This is, however, not the case for those contributions to the CO₂ balance, where net emissions can be ascribed to changes in cultivation of agricultural crops and grasslands (article 3.4 under the Kyoto Protocol).

The contributions under article 3.4 of the Kyoto Protocol concern changes in the carbon (C) storage in vegetation and soil. The fluxes of C to and from biomass and mineral soils must, under the Kyoto Protocol, be calculated on the basis of a net-net principle, where the net emissions are calculated as the rate of change in the C storage in the commitment period (2008-12) minus the rate of change in the reference year (1990). The rate of change can be estimated in different ways, but the method must be the same in the commitment and reference years. The following sources and sinks are included under the article 3.4 for agriculture:

- 1 Net changes in C storage in mineral soils as affected by changes in land use and agricultural practice.
- 2 Net changes in C storage by drainage and cultivation of organic soils or by re-establishment of wetlands.
- 3 Changes in C storage in trees in shelterbelts and fruit plantations.
- 4 Emissions of CO₂ from application of lime to agricultural land.

The implementation of article 3.4 of the Kyoto Protocol has been described in the decisions of the COP7 meeting in Marrakesh. These decisions can be summarised as:

- The inventories cannot include removal of CO₂ from the atmosphere, which is a result of (a) increased CO₂ concentration in the atmosphere above the pre-industrial level, (b) indirect nitrogen deposition, and (c) the dynamic effects of age structures, which result from activities and practices before the reference year (1990).
- The inventories must be performed in accordance with IPCC guidelines for national emission inventories, in particular the Good Practice Guidance for LU-LUCF.
- The following areas can be either included or excluded: Forest management, Cropland management, Grazing land management and Revegetation.
- The reporting must document that changes in emissions are due to human-induced activities after 1 January 1990.
- When a land area is included under article 3.4, it must remain there in future commitment periods.
- The national emissions inventory must ensure that land areas under article 3.4 are identifiable.
- The inventories will be reviewed in accordance with article 8 of the Kyoto Protocol.

The emissions inventory under land use for the UNFCCC is subdivided in six main areas: forestry, cropland, grazing land, wetlands, built areas and other, which mainly refer to ice-covered lands, rocks and non-classified areas. These six areas must constitute the total Danish area. The information currently available does not allow a subdivision of the Danish area into these six classes to be performed with sufficient accuracy, and it is also not possible to assess changes over time since 1990 with sufficient accuracy. It is assumed here that there is no change in C storage in natural areas, built areas and other land areas. It is also assumed that C storage in forest soils are considered elsewhere. Since the majority of grasslands in Denmark are included in the normal agricultural practice, these agricultural grasslands will be treated as cropland. This also includes permanent pastures used for agricultural purposes.

In the accounting of changes in C storage of cultivated soils, there is a distinction between mineral soils and organic soils. The IPCC guidelines use a threshold of 20% organic matter to distinguish these groups. This deviates from the Danish soil classification, which uses a threshold of 10%. It has therefore been necessary to estimate the proportion of organic soils with a content of 10 to 20% organic matter, and these soils are here treated as a special group of mineral soils. The accounting of changes in soil organic matter in mineral soils have been performed using a dynamic model, which includes modelling the effects of C additions to the soil and turnover rate of C in the soil, including the effects of soil tillage and climatic conditions.

The estimates of C storage in mineral soils show large differences before and after the prohibition of field straw burning, which was implemented in 1990. There was a simulated decline in soil C storage in the period up to 1990, whereas the content was almost unchanged in the period after 1990. There is a large inter-annual variation in the CO₂ emissions, both as a consequence of climatic variation and of variation in crop yields. It is therefore in accordance with the Good Practice Guidance to use a 5-year moving average to estimate the net emissions in the reference year. This will reduce the effect of the inter-annual climatic variability, but also even out the effect of the ban on straw burning. This ban was put into force from 1 January 1990, and the effect of such a measure should, according to the Good Practice Guidance, be counted from the time when it has an effect in the inventories *in situ*. The effect of the ban against burning of straw can therefore probably be included from harvest (August) 1990 and therefore included as a part of fulfilling the Kyoto commitment.

The CO₂ emissions from organic soils with more than 20% organic matter were calculated in 1990 at 1.15 mil. t CO₂/year with a decline to about 1.05 mil. t CO₂/year in 2008-12, primarily as a result of a reduction in the agricultural area. The setting up of new shelter belts had almost no net effects on emissions in 1990, but a net C sequestration in 2008-12 of about 0.17 mil. t CO₂/year. Fruit trees and bushes had only a marginal contribution to the inventory. The use of lime has been greatly reduced over the past 15 years, which has resulted in a reduction in net emissions from 0.57 mil. t CO₂/year in 1990 to 0.22 mil. t CO₂/year in 2008-12.

The adoption of article 3.4 will lead to increased emissions in the reference year of 3.28 mil. t CO₂/year from agricultural land use. During the period 2008-12 there will be an estimated uptake of CO₂ in mineral soils of 0.35 mil. t CO₂/year, which in comparison with the reference year leads to an estimated uptake in mineral soils of 1.89 mil. t CO₂/year. There are also considerably

lower emissions from the other components in the inventory, and the result is a total estimated reduction during the period of 2.53 mil. t CO₂/year. These elements are not included in the calculation of the Assigned Amounts (AA) according to articles 3.4, 3.7 and Annex A of the Kyoto Protocol, and the calculated emission in the base year therefore does not lead to an increase in the Danish AA. The immediate effect of an inclusion is therefore a reduction of the Danish reduction commitment of 2.53 mill. t CO₂/y. This estimate is, however, conditioned by a temperature during the commitment period (2008-12) that is identical to the climate during the normal period 1961-90. If a temperature increase of 0.02-0.03 °C/year since 1990 as a consequence of climate change is included in the estimates, then the net emissions from mineral soils are increased by 0.39-0.59 and 0.54-0.81 mil. t CO₂/year in 2008-12 and 2025, respectively. The effect of anticipated climate changes will therefore reduce the net effect of adopting article 3.4 for Cropland Management to 1.94-2.14 mil. t CO₂/year in the first commitment period. This may be reduced to 1.14 mil. t CO₂/year, if the projections in stead are based on the very warm years of 2001 to 2004. The uncertainties in this estimate due to future changes in land use are in the order of 0.3 to 0.4 mil. t CO₂/year.

Because the emissions from mineral soils are a 5-year average based on actual harvest yields and climate, it is not possible to estimate the final contribution to the Danish reduction commitment before 2014-15. The minimum contribution is assumed to be 0.5 mil. t CO₂/year in 2008-12. However, a combination of two years with poor harvests and two warm winters in 2008-12 will reduce this amount further.

The estimations show that some changes in agricultural practises and land use may reduce the emissions and others may increase the emissions. Reduced emissions, especially resulting from an increased area with permanent pastures, catch crops in the autumn and a reduction of organic soils in rotation will at best reduce the emissions by 1 mil. t CO₂/year in 2008-12. Increased emissions will take place if the area with grass is reduced, removal of straw from the field is increased, and if there is more burning of slurry and solid manure and more growing of non-food crops on set-a-side areas. In total it is assumed that the maximum increase will be an app. 0.5 mil. t CO₂/year in 2008-12.

Changes in agricultural practices may therefore both increase and decrease the emissions. There are no projections of land use to indicate that the emissions will increase or decrease. The uncertainty of the estimate of emissions is therefore estimated at 0.3 to 0.4 mil. t CO₂/year as a consequence of uncertainties in changes in agricultural practices.

A scenario with a continuous increase in the average temperature of 0.3 °C per 10 years and no changes in agricultural practices shows that cropland management and grassland management may contribute with app. 1.94 mill. t CO₂/year to the Danish reduction commitment. The most likely contribution from crop management and grass management on the Danish emissions reduction commitment may therefore be estimated at 1.6 to 2.3 mill. t CO₂/year in 2008-12.

The effect of adopting article 3.4 of the Kyoto Protocol for agricultural land in future commitment periods will depend on whether the net-net principle is continued for mineral soils, and which reference year is used. If the reference year is still 1990, then it will probably be possible to continue to argue for a

net reduction in emissions. This will be much more difficult if net emissions in the reference year cannot be subtracted, or if a later reference period is chosen. The effect of future climate changes will also play a major role for the size of net emissions from agricultural land use.

The adoption of article 3.4 will increase the demands on reporting considerably as there are increased demands on inventories of land use and demands for verification of model estimated changes in soil C storage. For Denmark this problem may be solved by making use of satellite imagery for assessing land use changes, soil sampling to determine change in soil C storage, implementation and documentation of a total model system and of databases and administrative routines. This can probably be implemented for DKK 52 to 68 mill. To improve the inventory for future commitment periods there is a demand for a research effort costing about DKK 15 to 37 mill.

1 Baggrund

FN's klimakonvention blev underskrevet af 154 lande i Rio de Janeiro i 1992 og udgør den globale ramme for imødegåelse af menneskeskabte klimaændringer. Konventionens formål er at opnå en stabilisering af atmosfærens indhold af drivhusgasser på et niveau, som kan forhindre farlig indvirkning på klimaet. Inden for rammerne af klimakonventionen færdigbehandles i 1997 den såkaldte Kyoto-protokol, der forpligtiger en række industrilande til en 5% reduktion i udledningen af drivhusgasser. Som følge af Kyoto-protokollen fra 1997 og den efterfølgende byrdefordelingsaftale i EU fra 1998 har Danmark en forpligtelse til i perioden 2008-2012 at have reduceret den gennemsnitlige årlige udledning af drivhusgasser (CO₂, metan, lattergas samt visse industri-gasser) med 21% i forhold til basisåret 1990 (Anonym, 2003).

Inden for landbrugssektoren indgår opgørelserne af udledninger af metan og lattergas umiddelbart i den nationale opgørelse af drivhusgasemissionerne og dermed i reduktionsforpligtigelsen. Det stiller sig anderledes med de bidrag til CO₂-balancen, som skyldes ændringer i arealanvendelsen inden for landbrug og skovbrug, og som skyldes ændringer i den mængde kulstof, som er lagret i plantemateriale (vedmasse) og i organisk stof i jorden. Her kan der både være tale om emissioner ("sources"), hvis der sker en nedgang i lageret af kulstof, og om en reduktion af emissionerne ("sinks"), hvis lageret af kulstof øges.

I Kyoto-protokollen under UNFCCC skelnes mellem fluxe af CO₂ som kan tilskrives skovrydning, skovrejsning og gentilplantning (artikel 3.3), og fluxe af CO₂ som kan tilskrives ændret skovdyrkning og ændret dyrkning af landbrugsafgrøder og græsmarker (artikel 3.4). Metoderne til opgørelse af CO₂-fluxene er beskrevet af IPCC (1997) i afsnittet vedr. i LULUCF, og yderligere beskrevet i en "Good Practice Guidance for LULUCF" (IPCC, 2004).

Fluxene af CO₂ under artikel 3.3 vedrører kulstof, som lagres i de nye skoves vedmasse og jord. Da skovrejsning på tidligere landbrugsjord er den dominerende ændring i arealanvendelsen, er det udelukkende kulstoflagringen ved skovrejsning som er inddraget.

Fluxene under artikel 3.4 vedrører ændringer i vegetationens og jordens C-lager. Fluxen af C til og fra biomasse og mineraljord skal under Kyoto-protokollen opgøres efter et netto-netto princip, hvor fluxen beregnes som ændringshastigheden for C-lageret i opgørelsesperioden (2008-2012) minus ændringshastigheden for C-lageret i referenceåret (1990). Ændringshastigheden kan beregnes på forskellig vis, men metoden skal være den samme i opgørelsesperioden som i referenceåret. For landbrug indgår følgende potentielle kilder til CO₂-emission og CO₂-binding:

1. Nettoændring af indholdet af kulstof i mineraljord i forbindelse med ændringer i arealanvendelse og dyrkning. Denne post opgøres efter netto-netto princippet.
2. Nettoændring af jordens kulstoflager ved dræning og opdyrkning af organiske jorde eller ved retablering af vådområder.
3. Ændring af kulstofindhold i vedmasse i læhegn og frugtplantager.
4. Emission af CO₂ fra tilførsel af kalk til landbrugsjorden.

Denne rapport behandler ovennævnte fluxe under artikel 3.4. Der gives dels en gennemgang af de overordnede principper bag fluxene, metoderne til opgørelse af disse fluxe samt beregninger af fluxene fra 1990 frem til 2025. I disse beregninger indgår en række scenarier af effekter af mulige ændringer i arealanvendelsen. Desuden er der givet en gennemgang af de rapporteringskrav, som deltagelse i artikel 3.4 medfører.

1.1 Emissioner fra ændringer i arealanvendelse

På verdensplan svarer puljen af C i landjordens vegetation til ca. 80% af C i atmosfærens CO₂, mens jordbunden indeholder godt dobbelt så meget C som atmosfæren. Den årlige udveksling af C mellem landjorden og atmosfæren svarer til 8% af atmosfærens samlede CO₂ mængde. Denne udveksling drives af planternes fotosyntese og den løbende nedbrydning af planterester og jordens organiske stof. Hertil kommer frigivelse af CO₂ ved afbrænding af plantemateriale.

Da forskellige typer vegetation fører til meget store forskelle i den mængde kulstof, der er lagret i vegetation og i jordens organiske stof, vil ændringer i arealanvendelse medføre ændringer i strømmene af kulstof til og fra jord og vegetation. Disse ændringer sker langsomt over årtier til århundreder fra én ligevægtstilstand til en anden. Ændringerne i arealanvendelse er ofte styret af menneskelige indgreb og derfor enten en kilde til CO₂ udledninger eller til lagring af CO₂.

Indholdet af organisk stof i jorden udgøres af rester af planter, dyr og mikroorganismer i alle nedbrydningsstadier, samt af forskellige omsætningsprodukter fra nedbrydningen. Hovedparten af jordens totale C-indhold er således bundet i organiske forbindelser. Danske undersøgelser i Kvadratnettet har vist, at de øverste 50 cm af dyrket jord i gennemsnit af mineraljord indeholder 110 t C ha⁻¹ (Heidmann et al., 2001). Organisk jorde med oprindelse i bl.a. højmoser eller ådale kan have et betydeligt højere indhold af C, med store variationer mellem steder afhængigt af oprindelse og dyrkningshistorie. Da der således er et betydeligt indhold af kulstof i de dyrkede jorde, kan selv små relative ændringer i indholdet få betydelige konsekvenser for netto-udledningerne.

1.1.1 Kulstof i mineraljorde i landbrugsmæssig drift

For en dyrket jord er indholdet af organisk stof udtryk for balancen mellem tilførsel og nedbrydning af organisk materiale i jordens forskellige organiske puljer. Samlet set er der grund til at antage, at en betydelig del (25-50%) af jordens organiske stof kan manipuleres inden for relativt korte tidsrum (< 25 år). Jordens samlede C-pulje udgøres af organisk stof med meget forskellig natur og omsættelighed. En væsentlig del er meget stabilt med halveringstider, der tælles i århundreder. Andre fraktioner omsættes med halveringstider, der strækker sig fra måneder til årtier. Mængden af organisk stof og dets fordeling på fraktioner af forskellig stabilitet afhænger af tidspunkt for opdyrkning, jordtype og dræningsforhold samt af driftsformen. En driftsform med hyppig brug af græsmarker, stor tilbageførsel af planterester og tilførsel af betydelige mængder husdyrgødning vil føre til en større lagring af C i jorden end en driftsform med intensiv kornavl og rækkeafgrøder, bortførsel af halm og brug af handelsgødning.

Dyrkningsjordens indhold af C kan principielt ændres på to måder; enten gennem tiltag, der påvirker den tilførte C mængde, eller gennem tiltag der påvirker omsætningen af C i jorden (Paustian et al., 1997). Mængden af C, der tilføres med planterester, påvirkes gennem valg af afgrøde og træart, tilbageførsel af planterester (f.eks. halm) og gødning (herunder husdyrgødning). Omsætningen af kulstof i jorden påvirkes via ændret mikroklima og jordstruktur, som er et resultat af afgrødevalg, jordbearbejdning, dræning, gødskning, vanding og kalkning.

Jordbearbejdningen medfører en fysisk forstyrrelse af jordens struktur, som vil øge omsætningen af organisk stof i jorden (Six et al., 2000). Årsagen er bl.a. en delvis opbrydning af aggregater, som har beskyttet organisk stof mod mikrobiel omsætning. Jordbearbejdningens stimulation af biologisk aktivitet afhænger af jordens aggregeringsgrad og tidspunktet for bearbejdningen, men også af mængden og sammensætningen af det fysisk beskyttede organiske materiale.

1.1.2 Emissioner fra organiske jorde i landbrugsmæssig drift

Vådområder (f.eks. moser og engarealer) indeholder en meget betydelig mængde kulstof, som omsættes i forbindelse med afvanding og landbrugsmæssig anvendelse af disse arealer. Dette fører til udledninger af både CO₂ og lattergas (N₂O). Der foreligger en enkelt dansk undersøgelse af kulstofftab på lavbundsjord. Her målt et tab på 4,0-6,3 tons CO₂-C år⁻¹ fra højmosetørv efter afvanding (Pedersen, 1978).

I den danske jordklassificering er organiske jorde defineret som jorde med et indhold af organisk stof over 10%. Dette er noget lavere end den grænseværdi på 20%, som anvendes i IPCC-sammenhæng. Det må vurderes at IPCC's grænseværdi giver en mere entydig definition af de organiske jorde, som ved opdyrkning giver en betydelig udledning af CO₂. Derimod vil jorde med et højt indhold af organisk stof, men under 20%, modelmæssigt kunne behandles nogenlunde som mineraljorder.

1.1.3 Anden vegetation

Anden vegetation omfatter i denne sammenhæng den vegetation, som i det dyrkede landskab kan give anledning til binding eller udledninger af CO₂ som følge af ændringer i vedmassen, og som ikke betegnes som skov. Dette omfatter hegn og frugtplantager.

1.1.3.1 Hegn

Mængden af C bundet i hegn er ikke opgjort i Danmark. De danske hegn er ikke registreret i større omfang og i langt de fleste tilfælde ej heller omfattet af fredning. Hegn bliver imidlertid indregnet under det dyrkede land eller permanente græsarealer, da de ikke falder ind under FAOs definition af skov.

Gennem de sidste 30 år har der været ønske om flere hegn i Danmark. Forskellige undersøgelser har vist at der har været en generel stigning i antallet af småbiotoper og hegn (Primdahl 1998). På finansloven er der afsat 16-30 mio. kr. om året til hegnrejsning (LBK nr 17 af 18/01/1996). Tilskuddene til hegn administreres af Landsforeningen af Danske Planteforeninger. I emissionsopgørelsen til Klimakonventionen er valgt at inddrage bindingen i hegn rejst med statsstøtte og ikke private rejste hegn (Gyldenkerne et al., 2005). Hvert år siden starten af 70'erne er der rejst ca. 1000 km hegn med støtte. C bundet i hegn indgår i opgørelserne for arealanvendelsen for det dyrkede land. Da det

ikke har været muligt at finde samlede opgørelser over den reelle stigning i hegn og småbiotoper kan det ikke afgøres om den generelle stigning er et udtryk for de statsstøttede hegn eller om dette også omfatter en stigning i privat rejste hegn.

1.1.3.2 Frugttræer og frugtbuske

Mængden af C bundet i frugttræer og -buske er opgjort efter Gyldenkærne et al. (2005) til ca. 0,22 mio. tons CO₂ svarende til ca. 7 t C i levende biomasse ha⁻¹. Arealet har været nogenlunde konstant siden 1990 og omfatter i dag ca. 8400 ha. Der har været en ændring indenfor erhvervet fra frugttræer over mod flere frugtbuske, som dog ikke har medført større ændringer i den bundne kulstofmængde. I opgørelserne er kun inddraget levende overjordisk og underjordisk biomasse. Jordens indhold af C i arealerne med frugttræer og -buske antages at være konstant over tid.

Der forventes ikke nogle større ændringer i arealet med frugttræer og -buske i fremtiden. Da de samtidigt udgør en meget lille del af den samlede C-pulje, er indvirkningen på Kyoto-opgørelsen lille.

1.1.4 Andet

1.1.4.1 Kalkning

Kalk tilføres jorden for at imødegå forsuring fra sur nedbør og brug af ammoniumholdigt husdyr- og handelsgødning. I Danmark tilføres kalk som calciumcarbonat (CaCO₃). Jordbrugskalk til formålet opgraves mange steder i Danmark. I emissionsopgørelserne skal forbruget fordeles på det dyrkede areal, på permanent græs og på skov. I skovbruget anvendes kalk kun i meget begrænset omfang, ligesom forbruget på de permanente græsarealer er beskedent. Der findes dog ingen opgørelser over fordelingen, hvorfor hele forbruget er opgjort under det dyrkede areal og derfor i artikel 3.4 sammenhæng underlagt det dyrkede areal.

1.2 Kyoto-protokollens artikel 3.4

Kyoto-protokollen er tiltrådt af EU i rådsbeslutning 2002/358/CE. Der er i senere råds- og kommissions beslutninger (280/2004/EC) givet en beskrivelse af hvorledes Kyoto-protokollen skal implementeres i EU. Heraf fremgår at de enkelte medlemslande senest 15 januar 2006 skal indsende en oversigt over antropogene netto-udledninger af drivhusgasser ("sources and removal by sinks") i basisåret (1990). Dette er de såkaldte "assigned amounts". Medlemslandene skal endvidere inden for denne tidsfrist vælge om man ønsker at gøre brug af artikel 3.4 i Kyoto-protokollen sammen med information om hvordan det nationale system til emissionsopgørelser vil identificere de tilhørende landarealer. Dette skal omfatte en angivelse af de enkelte aktiviteter under artikel 3.4, som ønskes medtaget i Kyoto-forpligtelsen, og det skal angives hvorvidt der i forpligtelsesperioden (2008-2012) forventes en årlig afrapportering eller en afrapportering for hele forpligtelsesperioden.

Kyoto-protokollens artikel 3.4 er konkretiseret i beslutninger fra COP7 i Marrakesh (UNFCCC 2002a,b,c). Disse beslutninger kan opsummeres i følgende punkter:

- Opgørelsen må ikke omfatte fjernelse af CO₂ fra atmosfæren, som skyldes (a) øget CO₂ koncentration i atmosfæren over det førindustrielle niveau, (b) indirekte kvælstofdeposition, og (c) de dynamiske effekter af aldersstrukturer, som skyldes aktiviteter og praksis før referenceåret (1990).

- Opgørelserne skal være i overensstemmelse med IPCC guidelines for nationale emissionsopgørelser.
- Følgende områder kan enten til eller fravælges: ændringer dyrkningspraksis i skov (Forest management), ændringer i dyrkningspraksis for det dyrkede areal (Cropland management), ændringer dyrkningspraksis for permanente græsarealer (Grazing land management) samt Revegetation. Det sidste omfatter opvækst af levende biomasse på arealer har været eroderede og som ikke defineres som skov.
- Det skal i indrapporteringen godtgøres, at emissionsændringerne skyldes menneskeskabte aktiviteter efter 1. januar 1990.
- Når et areal først er indregnet under artikel 3.4, så vil det også skulle indgå i fremtidige forpligtelsesperioder.
- Den nationale emissionsopgørelse skal sikre, at landarealerne under artikel 3.4 er identificerbare.
- Opgørelserne vil blive gransket i overensstemmelse med artikel 8 i Kyoto-protokollen.

Det fremgår af artikel 3.7 i Kyoto-protokollen, at assigned amounts indbefatter antropogene udledninger af CO₂ og øvrige drivhusgasser i 1990 plus ændringer netto-emissioner af drivgasser fra ændringer i arealanvendelse og skovbrug i 1990 for de lande, hvor dette var en netto-kilde til emissioner. Det fremgår ikke af artikel 3.7, at nettoemissioner fra ændringer i kulstofbinding i jorden skal medtages i assigned amounts. UNFCCC (2002b, side 58) anfører således at der på dette område kun medregnes "deforestation" i assigned amounts.

2 Beregning af emissioner fra ændringer i arealanvendelse

Ifølge Kyoto-protokollens artikkel 3.4 kan ændringer i dyrkningspraksis for skov, landbrug og andre arealer som medfører ændringer i lagring og/eller emissionen af CO₂ og andre drivhusgasser inddrages i reduktionsforpligtigelsen under bestemte vilkår. Denne rapport gennemgår vilkårene for indregning af emissioner fra de dyrkede arealer og i begrænset omfang fra de permanente græsarealer. De permanente græsarealer er i denne sammenhæng defineret som de af Danmarks Statistiks opgjorte arealer med vedvarende græs, heder, strandenge, sommerhusområder og så videre og som ikke er defineret som skov (jf. FAO's definition).

Emissionsopgørelsen fra arealanvendelse til UNFCCC opdeles på seks hovedområder: skov, dyrket land, permanente græsarealer, vådområder, bebyggelse og andet (IPCC, 2004) hvor andet primært er is og klipper samt ikke klassificerede områder. Samlet vil disse seks områder skulle udgøre det samlede danske areal. Med de foreliggende oplysninger er det ikke muligt at fordele det danske landareal i de seks arealklasser og ændringer over tid siden 1990 med en tilstrækkelig sikkerhed. Nedenstående er givet en kort definition af de seks områder, samt hvordan de har indflydelse på emissionsopgørelserne. De seks områder underopdeles, hvor det er nødvendigt.

Skovarealet opgøres af Danmarks Statistik. Dette areal stemmer ikke overens med arealet opgjort efter FAOs definition. Samtidig opgør Danmarks Statistik kun skovarealet hvert tiende år. F.eks. vil Plantager og træsamlinger i og omkring sommerhusområder kunne falde ind under FAOs skovdefinition uden at disse er registreret i Danmarks Statistik. Ændringer i C-indholdet opgøres under skov.

Det dyrkede areal vil i IPCC-sammenhæng (IPCC, 2000) normalt være defineret som det samlede dyrkede landbrugsareal opgjort af Danmarks Statistik fratrukket permanente græsarealer, det braklagte areal samt væksthushuset. Arealet med flerårige afgrøder, såsom gartneri og frugtplantager, indgår dermed i det dyrkede areal. Hertil kommer et ikke endelig opgjort areal i og omkring det dyrkede land samt arealer med hegn som ikke er omfattet af skovdefinitionen. Det dyrkede areal fordeles på mineraljorde og organiske jorde (Gyldenkerne et al., 2005). I dette projekt er valgt at lægge de danske vedvarende græsarealer ind under det dyrkede land. Det skyldes dels at det danske landskab er meget heterogent, og at der uvægerligt vil ske ændringer mellem arealanvendelserne. I den nuværende danske afrapportering til UNFCCC indgår kun de organiske jorde. Ændringer i mineraljordernes C-indhold er endnu ikke indregnet i opgørelserne.

Som nævnt ovenfor har DMU i emissionsmæssige sammenhænge valgt at overføre Danmarks Statistiks definition af vedvarende græsarealer fra IPCCs definition til det dyrkede areal, da disse græsarealer indgår i den landbrugs-mæssige arealanvendelse. Det permanente græs areal opgøres derfor som størstedelen af det der normalt kaldes "Naturarealer", dvs. heder, overdrev som ikke indgår i permanente græsarealer, sommerhusområder der ikke er

omfattet af skovdefinitionen og ej heller er omfattet af definitionen på bymæssig bebyggelse. I den nuværende emissionsopgørelse er det antaget at der på permanente græsarealer (naturarealer) ikke sker ændringer i den bundne kulstofmængde per ha.

Vådområder er her defineret som mosearealet opgjort i DMUs Arealinformationssystem (AIS 2000). Emissioner fra naturlige vådområder (primært CH₄) indgår ikke i den nuværende emissionsopgørelse. Emissioner og bindinger fra menneskeskabte aktiviteter indgår i den nationale opgørelse fra arealer hvor der brydes tørv (885 ha i 2004), vådområder etableret under VMP II og 20-årige MVJ-aftaler for ændret afvanding. I de nuværende opgørelse og under Danmarks Kyoto-forpligtigelse indgår de tre ovennævnte områder.

Bebyggelse er her defineret som al udmatrikuleret ejendom til beboelse og industri, veje, jernbaner, græsarealer til sport, parkanlæg osv. Indtil videre er det antaget at der ikke sker nogen ændringer i C-indholdet i områder, som er defineret som bebyggelse.

Arealet "andet" omfatter is og klipper samt andre golde områder, men fordi der ikke er sket en fuldstændig klassificering af det danske landareal i de seks grupper anvendes "andet" også som en udefineret restgruppe. "Andet" anvendes også i mange andre lande som en restgruppe for udefinerede landarealer indtil en endelig klassificering har fundet sted. I emissionsopgørelsen er det antaget, at der ikke sker ændringer i C-indholdet her, hverken i eller over jorden.

2.1 Opgørelse af landbrugsmæssig arealanvendelse og jordtyper

Landbrugsarealerne omfatter det af Danmarks Statistisk opgjorte dyrkede landbrugsareal, braklagt areal, gartneriarealet, areal med vedvarende græs samt et tillæg for arealer anvendt til hegn og andre småbiotoper i nærheden af landbrugsarealet. Størrelsen og beliggenheden af det sidstnævnte areal skal afklares, hvis Danmark vælger at gøre brug af artikel 3.4. for landbrugsarealet. Som udgangspunkt kan anvendes det samlede areal i markblokkortet, men en analyse af satellitbilleder vil give et betydeligt bedre estimat.

For at foretage opdelingen mellem mineralske jorde og humusjorde i overensstemmelse med IPCC's retningslinier (IPCC, 2004), er de organiske jorde med humusindhold under 20% også inkluderet i opgørelsen for mineraljorde (afsnit 2.2). Emissionen fra organiske jorde med højere humusindhold fremgår af afsnit 2.3. Fordelingen mellem mineraljorde og organiske jorde med en grænseværdi på 20% er sket på grundlag af teksturdata-basen fra jordbunds-kortlægningen.

2.2 Beregning af kulstofindhold i mineraljorde

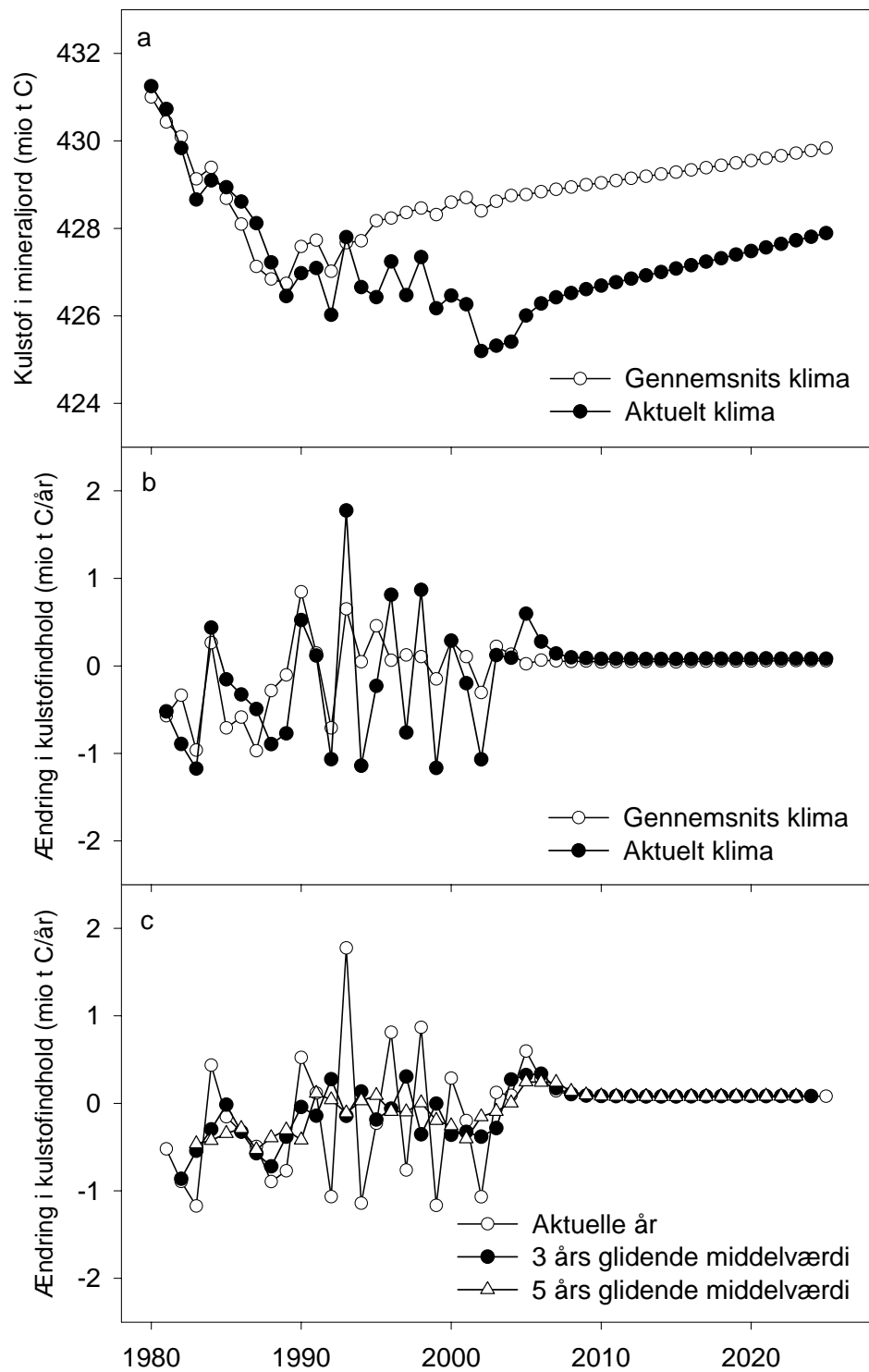
Mineraljordernes C-indhold er beregnet til 435.5 Tg (mio. tons) i 0-1 m for 2.779.587 hektar i 1980. Dette giver i gennemsnit 157 t C ha⁻¹, hvilket er en del højere end angivet af Krogh et al. (2003). Forskellen kan tilskrives forskelle i målemetoder og opskaleringsmetode. Eksempelvis er jordprøverne fra Kvadratnettet opblandet for hver 25 cm interval. Jordprøverne fra Profildatabasen er derimod ikke opblandet, her er der udtaget en eller flere tilstræbt repræsentative prøver for hver jord-horisont.

Udviklingen i mineraljordenes indhold af organisk stof er beregnet med en dynamisk model, hvilket i IPCC-sammenhæng svarer til en tier-3 metode. Modellen og dens anvendelse i denne sammenhæng er beskrevet i appendiks 1. Udviklingen i landbrugsarealets størrelse er indregnet i disse simuleringer, således at det areal der årligt fragår, er antaget jævnt fordelt på jordtyper. Endvidere er det antaget at fragået jord ikke efterfølgende undergår ændringer i C-indhold.

For hvert amt indgår arealerne med de respektive afgrøder, tilbageførte rester af organisk materiale fra afgrøderne, herunder nedmuldet halm og rodrester samt husdyrgødning. Inputdata kommer fra Danmarks Statistik, Landbrugsregistre samt målingerne i det landsdækkende Kvadratnet. For perioden 2005–25 er der tale om en fremskrivning, hvor den gennemsnitlige arealfordeling for perioden 2000–04 anvendes. Der antages dog en reduktion i landbrugsarealet på 12.000 ha årligt. I fremskrivningerne holdes udbyttet af de fleste afgrøder konstante, dog antages stigende udbytter for roer og kartofler (appendiks 2). Frem til gennemførelse af forbudet mod afbrænding af halm antages det at 80% af tilbageført halm og 50% af avner m.v. på de berørte arealer afbrændes.

Figur 1a viser udviklingen i det beregnede kulstofindhold i mineraljordene for perioden 1980 til 2025. Udviklingen er dels beregnet med et gennemsnitsklima svarende til perioden 1961-90 og dels med aktuelle temperaturer for de pågældende år. Der er i fremskrivningerne i begge tilfælde benyttet gennemsnitsklima for 1961-90. Inddragelse af de aktuelle temperaturer giver en betydeligt større årsvariation (figur 1b), men dette må antages at give et mere retvisende billede af de aktuelle forhold. Dette gælder især fordi temperaturen har været stigende i over de seneste to årtier sammenlignet med normalperioden.

Resultaterne kan opdeles i to perioder, før og efter halmafabrændningsforbudet, der trådte i kraft i 1990. I første periode blev der simuleret en faldende mængde C i jorden (Figur 1a), mens der er en vis stigning i anden periode. Der er gennemført målinger af jordens C-indhold i Kvadratnettet i 1987 og 1997. Over denne periode viser simuleringerne ingen sikker tendens i denne periode, hvilket er i overensstemmelse med målingerne i Kvadratnettet (Heidmann et al., 2001). Her var der heller ikke nogen sikker stigning i målingerne fra 0-50 cm's dybde i perioden, men dog en tendens til stigning i 25-50 cm's dybde.



Figur 1. Udvikling i beregnet kulstofindhold i mineraljord i landbrugsdrift for et gennemsnitsklima og for et aktuelt klima vist som kulstofmængde i jorden (a) og årlig ændring i kulstofindholdet (b). For beregninger med aktuelt klima er de årlige ændringer også vist med 3 og 5 års glidende middelværdi (c).

Den store årsvariation i de årlige ændringer i jordens kulstofindhold bevirker at nettoemissionen i et enkelt år i mindre grad bliver udtryk for menneskelig påvirkning og i højere grad udtryk for variation i miljøforholdene. For at kompensere for dette kan netto-emissionerne angives som glidende middelværdier. I figur 1c er dette vist med 3 og 5 års glidende middelværdier. For basisåret 1990 fås en CO₂-binding i mineraljorden på 1,90 mio. t CO₂, hvilket blandt andet skyldes høje udbytter i dette år. I de foregående år var der en nettoemission af CO₂, bl.a. på grund af forbudet mod halmafbrænding, men også i 1992 var der en netto-emission som følge af lave udbytter. Ved anvendelse af en glidende middelværdi på 3 år fås en CO₂-udledning i 1990 på 0,16 mio. t CO₂/år, og med en glidende middelværdi på 5 år fås en CO₂-udledning i 1990 på 1,54 mio. t CO₂/år. For forpligtelsesperioden (2008-2012) fås med fremskrivning af normaltemperaturerne en CO₂-binding på 0,35 mio. t CO₂/år. I Good Practice Guidance (IPCC, 2004) anbefales det, at der anvendes en glidende middelværdi på 5 år i tilfælde, hvor klimaforhold eller usikkerheder i bl.a. arealopgørelse bevirker meget høje årsvariationer. Der benyttes derfor i det følgende en CO₂-udledning fra mineraljorderne i basisåret på 1,54 mio. t CO₂/år.

Resultaterne fra denne dynamiske simulering af jordens C-indhold fremkommer grundlæggende som en balance mellem nedbrydning og tilførsel af C. Til begge poster er der knyttet parametre med en usikkerhed der ikke er kendt, så det er vanskeligt at vurdere den samlede usikkerhed ved denne metode. Derimod må det antages at ved vurdering af **ændringer** i tendensen for udviklingen af SOC i jorden, som kan forårsages af ændret tilførsel af C eller ændrede temperaturforhold, er simuleringerne andre metoder overlegne.

2.3 Beregning af emissioner fra organiske jorde

Anvendelsen af de organiske jorde adskiller sig fra mineraljordene. En analyse foretaget af Gyldenkerne et al. (2005) viste at kun 54% af de organiske jorde var i sædskiftet med årlige afgrøder, resten var enten brak, græs i omdrift eller vedvarende græs. For mineraljordene var 82% med årligt sædskifte. Dette har været muligt ved hjælp af en samkøring af det generelle landbrugsregister (GLR), markblokkortet og jordbundskortet. Metoden er beskrevet mere indgående i Gyldenkerne et al. (2005).

Dyrkning af de organiske jorde frigiver CO₂ som følge af at det organiske stof mineraliseres. Emissionsberegningen er baseret på den aktuelle anvendelse af de organiske jorde. Herved tages for eksempel hensyn til at flerårige græsmarker har en lavere mineralisering end sædskiftemarker, hvor den årlige pløjning vil fremme mineraliseringen. Ud fra sammenstillingerne er opgjort at den gennemsnitlige emission fra organiske jorde er ca. 3,6 t C ha⁻¹ år⁻¹ svarende til 13,2 t CO₂ ha⁻¹ år⁻¹.

Emissionen fra de organiske jorde beregnes med en fast faktor per ha, jf. IPCC (2004):

$$CO_2 - C = \sum A_{DOS,k} * EF_{DOS,CO_2}$$

hvor $A_{DOS,k}$ er arealet, k er arealanvendelsen og EF_{DOS,CO_2} er emissionsfaktoren.

Emissionskoefficienterne for de organiske jorde er estimeret på baggrund af data fra Tyskland, Storbritannien, Sverige, Finland og Danmark (Gyldenkerne et al., 2005). De anvendte emissionskoefficienter for organiske jorde samt

arealandelene som anvendes til fordeling af de årlige arealopgørelser fra Danmarks Statistik er vist i tabel 1.

Tabel 1. Anvendte arealandele og emissionsfaktorer for organiske jorde (Gyldenkerne et al., 2005).

	% organo- gen jord	% dyb	% våd	Emissionsfaktor, t C ha ⁻¹			
				Tør, grund	Tør, dyb	Våd, grund	Våd, dyb
Sædskiftemarker	3,8	38	0	5	8	0	0
Græsmarker i omdrift	11,2	38	0	5	8	0	0
Braklægning med græs	10,4	38	50	3	4	-0,5	-0,5
Græsarealer udenfor omdrift	19,5	38	50	3	4	-0,5	-0,5

I Jordklassificeringen er FK7 defineret som organogen jord med minimum 10 % organisk stof (OM) i muldlaget. I IPCC sammenhæng er organogen jord karakteriseret ved et indhold af organisk stof på minimum 20 %. For at få et mål for, hvor stor en del af FK7 områderne, der opfylder 20 % kravet er der i Gyldenkerne et al. (2005) foretaget analyser på Jordklassificeringen og den tilhørende teksturdatabase. For landbrugsarealer (AIS 2000) i Jordklassificeringen udgør FK7 i alt 4.7 % af det klassificerede areal. Ud af 38.028 teksturanalyser på landbrugsarealer kan 1646 eller 4,3 % klassificeres som FK7, dvs. procentvis af samme størrelsesorden som arealet. Benyttes en grænse ved 20 % organisk stof er det kun 759 analyser ud af 1646 eller 46,1 %, der kvalificeres som organogen jord. Det betyder, at kun ca. 60.000 ha af 130.687 ha med organogen jord opfylder kravet om minimum 20 % organisk stof. Det er ikke umiddelbart muligt med det til rådighed værende kortgrundlag at udpege områderne præcist. I emissionsopgørelsen indgår kun det beregnede areal med organiske jorde med et indhold af organisk stof over 20%.

Under nedbrydningen af det organiske stof frigøres kvælstof. En del af kvælstoffet omdannes til lattergas (N₂O). Emissionen af N₂O bestemmes ud fra mængden af omsat N, er beregnes ud fra kulstofemissionen, idet der antages et gennemsnitlig C/N forhold på 20 for organiske jorde, idet der dog benyttes en højere værdi på 36 fra sphagnumjorde.

Samlet er der beregnet en udledning af CO₂ og N₂O i basisåret (1990) på 1,15 mio. t CO₂-ækv. faldende til 1,05 mio. t CO₂-ækv./år forpligtelsesperioden (2008-2012).

2.4 Beregning af andre emissioner relateret til arealanvendelse

2.4.1 Hegn

Gyldenkerne et al. (2005) beskriver modellen, som anvendes i den årlige C-binding i hegn til opgørelsen under Klimakonventionen. Denne model er baseret på længden af nyrejst hegn med statsstøtte på baggrund af anvendt plantetal og hvor meget hegn der er fjernet til fordel for de nye hegn. I de senere år er 75-80% af plantningen nyplantning og den resterende del erstatning af gamle hegn. Fjernelse af kulstof i de gamle regn modregnes i emissionsopgørelsen.

I de senere år har nettobindingen været ca. 0,15 mio. tons CO₂ per år. Da bindingen beregnes fra etableringsåret og frem til en maksimal C-mængde i år 25 efter etableringen, vil det med overvejende sandsynlighed være denne mængde, der kan inddrages i Kyoto-forpligtigelsen, dog under forudsætning af at der sker en tilsvarende nytilvækst i de kommende år. Når der anvendes ovennævnte udtryk skyldes det en uklarhed i tolkningen af Kyoto-teksten. Inden for skov (artikel 3.3) og skov management (artikel 3.4) kan alle ændringer i C indholdet i levende biomasse inddrages direkte. Ved beregning af nettoemissionen under artikel 3.4. for landbrugsarealet skal der anvendes netto-netto princippet, hvilket primært skyldes at her er tale om ændringer i jordens C-indhold. Anvendelse af netto-netto princippet på ændringer i hegn er også muligt. Dette vil have en mindre indflydelse på den opgjorte effekt, men det er dog ikke i tråd med reglerne indenfor skovrejsning og skov management. Det antages derfor at netto-netto-princippet ikke er gældende for hegn, men at der anvendes den totale bundne C-mængde. Det samme gør sig gældende for frugttræer og -buske.

I 2004 blev beløbet der var afsat på finansloven ikke opbrugt, hvilket bl.a. skyldes at tilskuddet per km hegn anses for at være for lavt eller at behovet for hegnsrejsning er ved at være mættet. Hvis støtteordningen forbliver på det nuværende niveau, må det antages at hegnsrejsningen vil falde svagt i de kommende år.

Mængden af biomasse, B , m³ ha⁻¹ i hegn der fjernes opgøres som:

$$\Delta B_{h,i} = w_1 l_{1i} * b_f * BEF * d_g / 10000$$

hvor w er bredden af hegnet i meter, l længden af hegnet i meter, b_f er den overjordiske biomasse i gammelt hegn, m³ ha⁻¹, BEF er ekspansionsfaktoren for at inddrage rødder, d_g er rumvægten i gammelt hegn. Parametrene er angivet i Gyldenkerne et al. (2005).

Arealet i ha med ny hegn er opgjort som:

$$A_i = (w_3 l_{3i} + w_6 l_{6i}) / 10$$

hvor A_i angiver det nytplantede areal i ha i år i for arealer under Landsforeningen de Danske Planteforeninger, L_3 og L_6 angiver længden af hhv. 3- og 6-rækkede hegn i km, og 10 omregner fra km til hektar.

Ændringerne i hegn og læbælter opgjort på denne måde er beregnet at have ført til en nettoemission på 0,02 mio. t CO₂ i 1990 og en estimeret nettobinding på 0,17 mio. t CO₂ år⁻¹ i forpligtelsesperioden (2008-12).

2.4.2 Gartneri

I relation til drivhusgasopgørelserne til Klimakonventionen og Kyoto-aftalen er det kun relevant at beregne emissionen fra 1990. Da arealet er forholdsvis lille, da fældede hhv. nyplantede arealer er ukendte, og da der er en stor spredning i plantetal og dyrkningsteknik foretages der en simplificering, således at det kun er den absolutte arealændring som medfører til ændringer i emissionen. Der anlægges derfor ikke en betragtning, hvori der indgår tilvækstmodeller for de forskellige buske og frugttræer. Det er ligeledes antaget at ændringen i arealanvendelsen ikke medfører ændringer i jordens basale C-indhold set i forhold til de almindelige jorde i omdrift.

Den årlige ændring i biomassen er beregnet efter følgende:

$$\Delta C_i = A_i (CS_a - CS_{b,i}) * CF$$

hvor ΔC_i er den årlige ændring i biomassen ved ændring fra frugtplantage til dyrket land, A_i er det årlige konverterede areal, CS_a biomassen på arealet efter ændringen (default = 0) i ton ts ha⁻¹, CS_{hi} er biomassen umiddelbart før ændringen i ton ts ha⁻¹ og CF er kulstoffractionen.

Ændringer i vedmassen i frugtplantager medfører ikke netteemissioner af CO₂ i hverken basisåret (1990) eller i forpligtelsesperioden (2008-12).

2.4.3 Kalkning

Det årlige forbrug af kalk i landbruget opgøres af Dansk Landbrugsrådgivning som mængden af solgt ren CaCO₃ efter korrektion for indholdet af inerte stoffer ud fra gødningskontrollens resultater (Birkmose, 2004). For landbrugets vedkommende, hvor der anvendes de direkte tal fra Dansk Landbrugsrådgivning, er der således ikke behov for korrektion for forskelle i sammensætning. Indenfor havebrugssektoren er der indhentet salgsoplysninger fra Firmaet Lars Andersen, Kongerslev Havekalk A/S. Firmaet oplyser at de står for ca. 80 % af afsætningen i små poser til havebruget. På baggrund af dette skønnes det årlige forbrug i havebruget til 2.300 tons på CaCO₃ år⁻¹ (korrigeret for inert materiale jf. Plantedirektoratets gødningskontrol). Samlet anvender havebruget mindre end 0,5 % af det samlede forbrug. Der er kun mindre variationer i forbruget mellem årene og i betragtning af de små mængder er der i opgørelserne anvendt det samme forbrug på 2300 tons i alle år.

Siden slutningen af 80'erne er der sket et kraftigt fald i kalkforbruget fra ca. 1,5 mio. tons til ca. 0,39 mio. tons i 2004. Variationen mellem enkelte år kan skyldes klimatiske forhold, f.eks. hvorvidt det er muligt at køre i marken, men det generelle fald i forbruget skyldes sandsynligvis især den kraftige reduktion af "sur nedbør" som følge af kraftværkernes svovlfiltre, mindre svovlholdige brændstofprodukter til transport samt at landbruget har reduceret forbruget af kvælstofgødning.

Dansk Landbrugsrådgivning skønner at behovet for kalkning i fremtiden vil være ca. 0,5 mio. t år⁻¹ (Birkmose, 2005). Det kan dog være lavere på grund af et fald i kvælstofforbruget og lavere emissioner af svovl til luften. Hvis forsuring af gylle får udbredt anvendelse vil behovet for kalkning dog stige.

Kalkning medførte en beregnet udledning på 0,57 mio. t CO₂ i 1990 og 0,22 mio. t CO₂/ha i forpligtelsesperioden (2008-12).

3 Scenarier for ændret arealanvendelse

For at belyse følsomheden af fremskrivningerne for de forudsætninger, der ligger i fremskrivningerne for perioden, er der foretaget beregninger på en række scenarier med ændrede forudsætninger. Scenarierne er vist nedenfor og vedrører både ændringer i afgrødevalg (især græsmarker, efterafgrøder og udnyttelse af brakarealet), tilførsel af planterester (halm og husdyrgødning), dyrkningsform (reduceret jordbearbejdning) samt anvendelse af organiske jorder. Da der benyttes en tier-3 model til opgørelse af C-ændringer i mineraljorden, som er følsom over for temperatur, er der også foretaget beregninger under forudsætning af temperaturstigninger i fremskrivningen.

Følgende scenarier er analyseret for perioden fra 2008 til 2025. Det antages, at arealændringerne træder i kraft i 2008, hvorimod der i scenariet for temperaturændringer antages en ændret fremskrivning fra og med 2005:

Græsmarker:

1. Halvering af arealet med vedvarende græs, som går til græs i omdrift
2. Halvering af arealet med græs i omdrift, som går til vedvarende græs
3. Øget varighed af græs i omdrift fra 2 til 3 år
4. Reduceret græsareal med 50.000 ha, som går til majs

Halm:

5. Fjernelse af al halm fra markerne

Husdyrgødning:

6. Afbrænding af 50% af fiberfraktionen efter separering af gyllen
7. Afbrænding af al fast gødning
8. Forsuring af 50% af gyllen (effekt på kalkforbrug)

Efterafgrøder:

9. Yderligere 50.000 ha med efterafgrøder

Brakareal:

10. Vedvarende græs på hele brakarealet
11. Et-årigt græs på hele brakarealet
12. Vinterraps til non-food på hele brakarealet
13. Energipil på hele brakarealet

Reduceret jordbearbejdning:

14. Reduceret jordbearbejdning med harvning til 10 cm på 100.000 ha

Klimaændringer:

15. Øget temperatur svarende til en temperaturstigning på $0,02 \text{ }^\circ\text{C år}^{-1}$ siden 1990 med udgangspunkt i klimaet for 1961-90
16. Øget temperatur svarende til en temperaturstigning på $0,03 \text{ }^\circ\text{C år}^{-1}$ siden 1990 med udgangspunkt i klimaet for 1961-90.
17. Øget temperatur svarende til en temperaturstigning på $0,02 \text{ }^\circ\text{C år}^{-1}$ siden 2004 med udgangspunkt i klimaet for 2001-04.

Ændret anvendelse af organiske mineraljorde

18. Undladelse af dyrkning af organiske mineraljorde med et indhold af organisk stof på 10-20% (ca. 65.000 ha)
19. Udtagning af 50% af de organiske jorde med $>20\%$ organisk stof (ca. 30.000 ha)

Scenario 8 påvirker alene kalkforbruget. Den totale mængde gylle i Danmark kan på baggrund af antal dyr, normtal for gyllemængder og fordelingen af dyrene på staldd typer opgøres til ca. 32 mio. tons år^{-1} . Til forsuring af 1 ton gylle medgår normalt 3,5-5 kg 96% H_2SO_4 . Her regnes med et gennemsnit på 4,5 kg ton^{-1} (Dansk Landbrugsrådgivning, 2005). Med en mol-vægt for svovlsyre på 98 medgår der 45,9 Mol ton^{-1} . Til neutralisering af et Mol H_2SO_4 skal der anvendes et Mol CaCO_3 . Forsuring af 50% af gyllen, svarende til 16 mio. tons, vil derfor medføre et øget behov for kalkning på 73.500 tons CaCO_3 . Den øgede emission af CO_2 som følge af forsuringen kan derfor estimeres til 0,032 mio. ton CO_2 år^{-1} .

De øvrige scenarier påvirker indholdet af kulstof i jorden. Her er modellen fra Appendix 1 benyttet til beregning af effekterne med de ændringer i forudsætninger, der fremgår af scenarierne. Dog er modellen fra afsnit 2.3 benyttet for scenario 17. Effekterne af scenarierne på ændringer i emissioner fremgår af tabel 2. De største effekter og stigninger i netto-emissionerne fås ved at øge halmfjernelsen fra markerne samt ved afbrænding af husdyrgødningen. Ændringer i anvendelsen af brakarealet har også en betydelig effekt, især ved ændring af den nuværende dyrkningsform til vinterraps til non-food. De eneste af de viste scenarier for ændret arealanvendelse, der giver en betydelig stigning i kulstoflagringen, er unkladelse af dyrkning af organiske mineraljorder og organiske jorder. Ændring af arealet med vedvarende græs giver kun så effekter, da der her er tale om en balance mellem mindre C-input ved vedvarende græs end ved græs i omdrift, men til gengæld en lavere omsætningshastighed for organisk stof i marker med vedvarende græs.

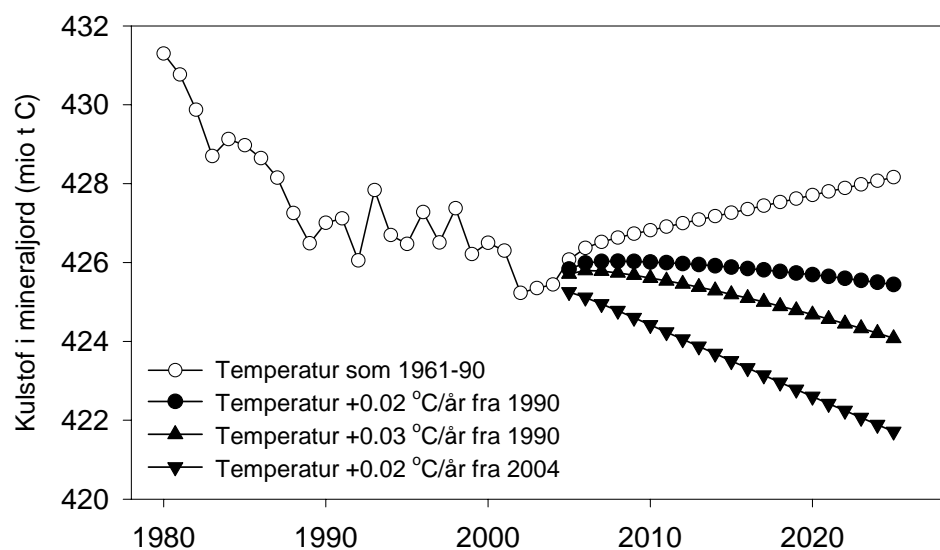
Tabel 2. Effekt af scenarier for ændret arealanvendelse på ændring i netto-emissioner af CO_2 (mio. t $\text{CO}_2/\text{år}$). Et negativt tal angiver en binding af CO_2 og et positivt tal angiver en øget CO_2 emission.

Scenario	2008-12	2025
1. Halvering af arealet med vedvarende græs	-0,05	0,00
2. Halvering af arealet med græs i omdrift	0,06	0,00
3. Øget varighed af græs i omdrift fra 2 til 3 år	-0,03	-0,03
4. Reduceret græsareal med 50.000 ha (til majs)	0,16	0,08
5. Fjernelse af al resterende halm fra markerne	1,02	0,46
6. Afbrænding af 50% af fiberfraktionen fra gylle	0,33	0,22
7. Afbrænding af al fast gødning	0,29	0,17
8. Forsuring af 50% af gyllen	0,03	0,04
9. Yderligere 50.000 ha med efterafgrøder	-0,05	-0,02
10. Vedvarende græs på hele brakarealet	-0,08	-0,05
11. Et-årigt græs på hele brakarealet	0,08	0,06
12. Vinterraps til non-food på hele brakarealet	0,28	0,16
13. Energipil på hele brakarealet	-0,08	-0,05
14. Reduceret jordbearbejdning på 100.000 ha	-0,05	-0,04
15. Temperaturstigning på 0,02 °C år^{-1} siden 1990	0,39	0,54
16. Temperaturstigning på 0,03 °C år^{-1} siden 1990	0,59	0,81
17. Temperaturstigning på 0,02 °C år^{-1} siden 2004	1,00	0,99
18. Udtagning af de organiske mineraljorde	-0,29	-0,22
19. Udtagning af halvdelen af organiske jorde	-0,57	-0,57

Scenario 18 og 19 reducerer ligeledes lattergasemissionen (Olesen et al., 2004). Lattergasemissionen af rapporteres under landbrug og indgår derfor i reduktionsforpligtelsen uanset om artikel 3.4 vælges eller ej.

Alle arealanvendelsesscenarioer må betegnes som maksimal-scenarioer, hvor den ændring der fremgår formentlig ligger i overkanten af hvad der kan forventes i perioden frem til 2025. Det vil ikke være realistisk for nogen af scenarioerne at disse være etableret i fuldt omfang i perioden 2008-12. Da det i beregningerne er forudsat, at ændringerne i arealanvendelse træder i kraft i 2008, er effekten også størst i denne periode, og betydeligt mindre i 2025. Et udtryk for den fremtidige usikkerhed i emissioner fra kulstoflagring kan fås ved at summere effekterne af de nævnte scenarioer, dog frataget scenarioet med klimaændringer. Dette giver en samlet øget emission på 1,05 mio. t CO₂/år for 2008-12 og 0,21 mio. t CO₂/år for 2025. Flere af disse scenarioer udelukker dog gensidigt hinanden og da der er tale om maksimalscenarioer ligger usikkerheden formentlig kun på ca. en tredjedel af den samlede øgede emission for 2008-12, svarende til 0,3-0,4 mio. t CO₂/år.

For mineraljorderne har temperaturen også betydning for beregningerne af ændringerne (figur 2). Under antagelse af en stigning i temperaturen på 0,02 °C år⁻¹ øges CO₂ emissionerne med 0,39 og 0,54 mio. t CO₂/år i henholdsvis 2008-12 og 2025, hvorimod en temperaturstigning på 0,02 °C år⁻¹ giver øgede emissioner på 0,59 og 0,81 mio. t CO₂/år i henholdsvis 2008-12 og 2025. Disse temperaturstigninger svarer til scenarioer for effekter af menneskeskabte klimaændringer i Danmark i denne periode (Olesen et al., 2004). Disse beregninger er foretaget med udgangspunkt i normalklimaet for 1961-90. Tages der i stedet udgangspunkt i klimaet for 2001-04 fås med en temperaturstigning på 0,02 °C år⁻¹ øgede emissioner på 1,00 og 0,99 mio. t CO₂/år i henholdsvis 2008-12 og 2025.



Figur 2. Udvikling i beregnet kulstofindhold i mineraljord i landbrugsdrift for basisscenariet, hvor klimaet er fremskrevet som normal for 1961-90, og for forskellige scenarioer for stigninger i temperaturen.

4 Konsekvenser af deltagelse i Kyoto-protokollens artikel 3.4

De estimerede nettoemissioner fra kilderne vedr. landbrugsmæssig arealanvendelse er vist i tabel 3 for basisåret og for den første Kyoto-forpligtelsesperiode samt for 2025. Da der som nævnt i kapitel 2 ikke antages at ske nettoemissioner fra naturarealer og anden arealanvendelse end skov, vil disse estimater dække emissioner fra al anden arealanvendelse i Danmark end skov.

Tabel 3. Estimerede nettoemissioner ("sources" minus "sinks") (mio. t CO₂-ækv./år) for landbrugsmæssig arealanvendelse i Danmark i basisåret (1990) samt for Kyoto-forpligtelsesperioden (2008-12) og for 2025 i basisfremskrivningen. For mineraljordene er der i basisåret benyttet en 5-års glidende middelværdi. Et negativt tal angiver en binding af CO₂ og et positivt tal angiver en CO₂ emission.

Kilde	1990	2008-12	2025
Mineraljorde	1,54	-0,35	-0,34
Organiske jorde	1,15	1,05	0,99
Hegn	0,02	-0,17	-0,22
Frugttræer og -buske	0,00	0,00	0,00
Kalkning	0,57	0,22	0,21
I alt	3,28	0,75	0,64
Ændring i forhold til 1990		-2,53	-2,64

Estimaterne medfører en øget emission i basisåret på 3,28 mio. CO₂-ækv./år fra landbrugsjorde. Dette er af samme størrelse som i den nuværende emissionsopgørelse til UNFCCC. I den nye opgørelse er der sket en reklassifikation af de organiske jorde fra den tidligere danske klassifikation på 10% organisk stof til den af IPCC anvendte definition på 20% organisk stof. Reklassificeringen medfører at emissionen fra de organiske jorde er reduceret med 1,2 mio. tons CO₂ i 1990. Til gengæld stiger udledningen fra mineraljordene, som nu medtager nogle arealer med et meget højt indhold af organisk stof.

Usikkerheden på estimatet for den samlede emission fra landbrugsarealet er især påvirket af den metode, der benyttes til fastlæggelse af ændring i C-indholdet i mineraljordene. Her er der i henhold til IPCC (2004) valgt at benytte en glidende middelværdi på 5 år. Dette udjævner den meget store årlige variation i C-ændringerne i jorden. Det har dog også den effekt, at estimatet bliver et gennemsnit af C-ændringer i jorden før og efter gennemførelse af forbudet mod halmafbrænding i 1989. Halmafbrændingen i 1980'erne medførte generelt en nedgang i jordens C-indhold, og umiddelbart efter forbudet mod afbrænding (dvs. 1990-1991) sker en meget stor ophobning af C i jorden som følge af ophobning af mindre omsatte rester af halmen. I henhold til Marrakesh-aftalen skal det som nævnt i afsnit 1.2 godtgøres, at emissionsændringerne skyldes menneskeskabte aktiviteter efter 1. januar 1990. Da effekten af forbudet mod halmafbrænding skal indregnes fra det tidspunkt hvor kulstofændringen aktuelt finder sted *in situ* (IPCC 2004, p 4.31) vil det aktuelle tidspunkt være fra høsten 1990, Dette tolkes som om at effekten af halmafbrændingen kan indregnes.

På grund af at mineraljordene opgøres som en glidende middelværdi over 5 år ud fra aktuelle høstudbytter og temperaturer kan mineraljordenes endelige bidrag til reduktionsforpligtigelsen først opgøres i 2014-2015. Ud fra en usikkerhedsbetragtning omkring høstudbytter og klima vurderes det at bidraget som minimum vil være i en størrelsesorden af 0,5 mio. tons CO₂/år. Dog vil en kombination af to dårlige høstår og to varme vintre i årene 2008-2012 reducere mængden yderligere.

Halmafrændingsforbudet i 1989 giver umiddelbart en lang række vanskeligheder i opgørelserne, da forbudet jo har konsekvenser også for ændringer C-indholdet i de følgende år, og denne effekt kun vil være langsomt aftagende over tid indtil en ny ligevægt i jordens C-indhold har indstillet sig. Det vil derfor være fejlagtigt som estimat for basisåret blot at benytte værdien for C-ændring i 1990, som estimat for basisåret, da C-ophobningen i dette år vil være ekstra stor som følge af forbudet mod halmafrænding i det foregående år. Ved anvendelse af en glidende middelværdi på 5 år omkring 1990 korrigeres derfor både årsvariation i klimaforhold og for usikkerheder i arealopgørelser samt delvis for effekterne af forbudet mod halmafrænding i 1989.

I den første forpligtelsesperiode er der et estimeret optag af CO₂ i mineraljordene på 0,35 mio. t CO₂/år, hvilket ved sammenligning med 1990 fører til et beregnet optag i Kyoto-sammenhæng på 1,89 mio. t CO₂/år. Da der også er betydeligt lavere emissioner fra de øvrige elementer i opgørelsen, bliver der en samlet emissionsreduktion i perioden på 2,53 mio. t CO₂/år. Disse elementer indgår ikke i beregningerne af reduktionsforpligtigelsen basisåret (Assigned Amounts), jvf. Kyoto-protokollens artikel 3.4, 3.7. og Annex A (Erik Rasmussen, MST, personlig medd.). Selvom inddragelse af arealanvendelse øger emissionen i basisåret påvirker det ikke AA, og den umiddelbare effekt er derfor en reduktion af den danske reduktionsforpligtigelse på 2,53 mio. t CO₂/år.

Beregninger for en række scenarier for ændring i praksis og arealanvendelse viser at visse tiltag reducerer emissionen, mens andre vil øge denne. Reduceret emission især fra øget areal med vedvarende græs og efterafgrøder og specielt udtagning af organiske jorde vil samlet maksimalt kunne give en ændring i emissionen på omkring -1 mio. tons i 2008-12. Øget emission vil forekomme som følge af reduceret græsareal, fjernelse af halm fra markerne, afbrænding af gylle og fast gødning og dyrkning af non-food afgrøder på brakarealer. Samlet skønnes det i praksis maksimalt vil kunne give en øget emission på omkring 0,5 mio. tons i 2008-12, afhængigt af halmanvendelsen.

Der er således effekter af ændret arealanvendelse som både kan øge og reducere udledningen, og der foreligger ikke fremskrivninger af arealanvendelse, som vil tilsige at dette skal gå mest i den ene eller anden retning. Ved fastlæggelse af emissionsreduktionen kan der skønsmæssigt anslås en usikkerhed på 0,3 til 0,4 mio. ton CO₂/år som følge af usikkerhed omkring mulige ændringer i arealanvendelsen.

Ved et scenario med en fortsat temperaturstigning på 0,3 °C per tiår fås med basisfremskrivningen på arealanvendelsen en reduktion i emissionerne fra landbrugets arealanvendelse på ca. 1,94 mio. ton CO₂ pr. år. Denne temperaturstigning svarer til de scenarier for klimaændringer, der indgår som de centrale i det danske arbejde omkring tilpasning til klimaændringer, og som er baseret på kernescenarier defineret i IPCC arbejdet. Det sandsynlige bidrag fra landbrugets arealanvendelse til reduktionsforpligtigelsen kan derfor estimeres til 1,6 til 2,3 mio. ton CO₂/år i forpligtelsesperioden 2008-12.

I fremskrivningerne til 2025 er der et lille fald i den årlige binding af CO₂ i mineraljorderne, hvilket især skyldes at effekten af de tiltag, som har øget C-bindingen (forbudet mod halmafbrænding, flere efterafgrøder m.v.) er aftagende over tid. C-bindingen i fremskrivningerne er også påvirket af, at der forventes færre husdyr i fremtiden. Effekterne i 2025 vil dog være meget påvirket af udviklingen i landbrugspraksis, og her giver scenarierne i kapitel 3 et indtryk af de mulige ændringer. Især en øget fjernelse af halm fra markerne og afbrænding af husdyrgødningen vil kunne øge netto-emissionen med en maksimal effekt på henholdsvis 1,02 og 0,62 mio. t CO₂/år. Disse effekter aftager dog over tid efterhånden som der indstiller sig en ny ligevægt i jordens C-indhold. Udviklingen vil også i betydelig grad være påvirket af klimaændringerne i sig selv, idet øget temperatur vil øge omsætningen af kulstof i jorden. Med et realistisk scenario for effekten af de menneskeskabte klimaændringer øges netto-emissionerne fra mineraljorder med 0,39-0,59 og 0,54-0,81 mio. t CO₂/år i henholdsvis 2008-12 og 2025. Ved inddragelse af effekten af klimaændringer reduceres effekten af artikel 3.4 aktiviteterne på landbrugsområdet til 1,94-2,14 mio. t CO₂/år. Dette vil endog kunne reduceres til 1,14 mio. t CO₂/år, hvis fremskrivningerne i stedet tager udgangspunkt i de meget varme år 2001-2004. Hertil kommer en usikkerhed som følgende af fremtidige mulige ændringer i arealanvendelse på 0,3-0,4 mio. t CO₂/år.

Et af de væsentlige spørgsmål i forhold til fremtidige forpligtelsesperioder vil være, hvordan kulstofbindingen i mineraljorderne skal opgøres. Her spiller især spørgsmålet om eventuel fortsættelse det nuværende netto-netto princip en stor rolle. Under netto-netto princippet opgøres bidraget til reduktionsforpligtelsen som ændringen i netto-emissionen i forpligtelsesåret minus netto-emissionen i basisåret. Hvis dette princip bliver fastholdt, spiller valg af basisår en afgørende rolle. Hvis basisåret fortsat er 1990, vil der også fremover være mulighed for en betydelig binding i danske mineraljorde. Hvis basisåret derimod fremskrives, vil denne binding med stor sandsynlighed ændre sig til en lille netto-emission. Hvis principperne ændres til opgørelse af netto-emissionen i forpligtelsesperioden uden at fratække netto-emissionen i basisåret vil der næppe være noget større netto-bidrag fra danske mineraljorder. Dette vil dog afhænge meget af eventuelle klimaændringers påvirkning af omsætningen af organisk stof i jorden.

5 Overholdelse af rapporteringskrav

5.1 Rapporteringskrav

Ved tilvalg af artikel 3.3 og artikel 3.4 øges rapporteringskravet betydeligt. Generelt følges de samme guidelines (IPCC, 2000) men der er skærpede krav til dokumentation af ændringerne i C-balancen under Kyoto-protokollen. Det er således ikke tilstrækkeligt, at der anvendes årlige arealopgørelser fra Danmarks Statistik som grundlag, hvilket er god praksis til rapportering under Klimakonventionen.

Ved brug af 3.4 behøver man ikke at vælge det samlede danske landareal under Kyoto-reduktionsforpligtigelsen. Man kan udelukke egne hvor man antager at der ikke sker større ændringer eller ændringer som ikke kan afrapporteres under artikel 3.4 uden unødvendigt store omkostninger. Emissionsopgørelsen til Klimakonventionen skal dog stadig indeholde estimater fra disse områder. Da det danske landskab er meget heterogent og at alle aktiviteter som har medført til ændringer i C er gennemført over hele Danmark anbefales det som udgangspunkt at hele Danmark anvendes, eller med andre ord at hvis Danmark vælger at anvende artikel 3.4 og ændringer i landbrugspraksis bør hele det danske landbrugsareal indgå.

Når først et landområde er tilvalgt, skal alle menneskeskabte ændringer i emissionerne indenfor dette område estimeres i indeværende og efterfølgende forpligtigelsesperioder. Det medfører at det samlede areal ikke kan reduceres. Yderligere kan et landområde ikke skifte fra et valgt tiltag til et ikke valgt tiltag. Det betyder for eksempel at hvis Danmark vælger at tilvælge landbrugsdrift men ikke vedvarende græs kan et landbrugsareal som bliver udlagt som naturområde ikke overgå til kategorien vedvarede græs for at undgå de øgede rapporteringskrav. Arealet skal til stadighed registreres under landbrug og de emissionsmæssige konsekvenser opgøres.

For at kunne følge ændringerne i arealanvendelse skal det valgte areal fordeles på de seks hovedgrupper, skov, landbrug, vedvarende græs, bymæssig bebyggelse inkl. infrastrukturer og andet land, med udgangspunkt i 1990. Hver hovedgruppe kan/skal så opdeles i relevante undergrupper. Alle arealer skal kunne stedfæstes geografisk. Ændringer i arealanvendelse som medfører skift fra en gruppe til en anden skal registreres og stedfæstes. Når der for eksempel sker inddragelse af landbrugsjord til skovrejsning skal arealet kunne stedfæstes, men stadig registreres under landbrugsjord i de efterfølgende 20 år, før end det overføres til hovedgruppen skov.

Der skal derfor opbygges et hierarkisk system som klassificerer alle områder så overlap undgås, ud fra definitioner som skal være fastlagte i 2006. For skov er det god praksis at anvende FAO's definition. Det medfører at skovarealet vil være anderledes end det nuværende opgjorte skovareal i 1990, da dette er baseret på Danmarks Statistik. Da hegn og andre mindre arealer i landskabet skal indgå i landbrugsarealet vil dette areal ikke være lig med landbrugsarealet opgjort af Danmarks Statistik, som er det dyrkede areal.

Fastlæggelse og stedfæstelse af landbrugsarealet i opgørelsesmæssig sammenhæng kan derfor bedst ske ved analyse af satellitbilleder fra 1990. En sådan analyse bør koordineres med fastlæggelse af skovarealet. Ved at udvide billedanalyserne til at omfatte CORINE 1990, Arealanvendelsesinformationssystemet (AIS 2000), markblokkort og GLR vil det være muligt at foretage en stedfæstelse af landbrugsarealet som opfylder kravene til identifikation af skov. For skov er kravene til mindste areal på 0,05-1 ha. Det medfører at billedanalyser skal have en opløsning på ned til 20×20m², hvilket normalt ikke tilstrækkeligt til at identificere hegn som typisk er 3-6 meter brede. Her bør andre kortgrundlag såsom analoge kort over hegnsræjsningen, Top10-DK og andre kort inddrages.

For frugtplantager og træsamlinger som eksisterede før 1990 i landbrugsarealet er det god praksis at fastholde arealet i denne kategori, mens for frugtplantager og træsamlinger rejst efter 1990 og som overholder klassifikationen som skov er det god praksis at betegne dette som skovrejsning.

5.2 Rapporteringsmetoder

Der kan anvendes to forskellige rapporterings metoder, herefter benævnt, metode 1 og metode 2. Metode 1 omfatter et landområde som er afgrænset af legale, administrative eller økosystemgrænser, hvor der indenfor området kan være flere forskellige tilvalgte aktiviteter. Det vil sige både skovrejsning, landbrug og vedvarende græs. Med metode 2 er der kun én aktivitet indenfor hvert landområde. Med metode 2 skal alle områder defineres geografisk.

Med metode 1 skal summen af alle arealer i området svare til hele landområdet, mens for metode 2 er arealstørrelsen defineret for hvert område. I emissionsopgørelsen skal der for hvert område opgøres ændringer i C-balancen samt en tilhørende usikkerhedsangivelse på estimatet.

Valg af metode skal analyseres nærmere. I det heterogene danske landskab kan metode 1 være en fordel fordi man i givet fald kan nøjes med at have Danmark som et samlet område eller evt. en opdeling på amts-, kommune- eller jordbundsbasis afhængig af hvilke parametre der indgår i kulstofmodellerne. Dette skal endvidere koordineres med hvordan skovrejsning og artikel 3.3 skal implementeres. En opdeling i mindre regioner, der er jordbunds-, afgrøde- og driftstypespecifikke er sandsynligvis nødvendig for at kunne foretage en tilstrækkelig sikker validering af ændringerne i mineraljordernes kulstofindhold, fordi der er forskelle mellem landsdele som følge af den skæve fordeling af husdyr og græsmarker. Hvis metode 1 anvendes skal der foreligge oplysninger om geografiske koordinater for prøveudtagningssteder, hvilket geografisk område der dækkes, hvilke aktiviteter der forgår i området, prøveudtagningshyppigheder, en beskrivelse af landområderne og så videre. Metode 2 med geografisk reference kræver udvidede dataanalyser, men giver en komplet beskrivelse af landet uden overlap. I kombination med satellitovervågning er det muligt at udføre den geografiske reference af arealanvendelse præcist og opdele landet i grid eller polygoner. Når det drejer sig om kortlægning af jorden kræves dog anvendelse af prøvetagning evt. kombineret med anden viden, hvor den geografiske angivelse i sagens natur bliver mere usikkert angivet.

5.3 Hvad skal rapporteres?

Alle ændringer i C-indholdet i over- og underjordisk biomasse, dødt træ, organisk materiale på jorden samt jordens indhold af organisk stof skal i princippet afreporteres. Marrakesh-aftalen specificerer dog at et land kan undlade at rapportere en C-pulje, hvis det på grundlag af repræsentative undersøgelser eller litteraturstudier kan dokumenteres at puljen ikke er en CO₂-kilde. For landbrugsarealet er den væsentligste kilde omsætningen af C i jorden, hvorfor denne skal indgå. Hegnsrejsningen kan give et væsentlig bidrag på 0,2 mio. ton CO₂ til reduktionsforpligtigheden, men denne vil kunne udelades da det kan dokumenteres/ skønnes at dette ikke er en CO₂-kilde. Meromkostningerne ved at dokumentere hegnsrejsningen antages at være betydeligt mindre end hegnsrejsningens bidrag til reduktionsforpligtigheden.

Marrakesh-aftalen specificerer at kulstofændringerne kan afreporteres for hele første forpligtelsesperiode eller årligt det vil sige separat for 2008, 2009, 2010, 2011 og 2012. Da Danmark afreporterer drivhusgasemissionen til Klimakonventionen årligt vil det ikke være et større merarbejde at afreportere årligt under Kyoto-aftalen. Det vil dog være nødvendigt med årlige korrektioner af forrige års opgørelse som følge af modelopbygningen. Hvis der ikke foretages specificerede opgørelser i alle år kan disse beregnes ved interpolation. Fordi kulstofmodellen for jord er meget følsom for årsvariationer bør opgørelserne foretages uden interpolation. Variationen i hegnsrejsningen er lille, hvorfor den med fordel kan interpoleres mellem år ved anvendelse af satellitbilledanalyserne, som gennemføres sammen med analyserne af skovrejsningen.

Da opgørelsen af ændringerne i jordens C-indhold foretages ved en modelberegning skal estimerne valideres med udtagning i jordprøver. Ændringerne i jordens indhold af C i forhold til den samlede kulstofmængde sker kun langsomt. Derfor vil en intensiv prøvetagning over et kort tidsrum ikke forbedre opgørelserne. Der skal derfor foretages en analyse af hvordan man optimerer prøveudtagningerne i relation til de forskellige geografiske enheder, der bliver anvendt (metode 1 eller 2).

Alle dokumenter der beskriver aktiviteter, antagelser, metoder og ændringer som påvirker C-balancen skal arkiveres således at uafhængige eksperter kan følge opgørelsesmetoderne. Opgørelserne skal i øvrigt følge IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land Use and Forestry (IPCC 2004).

Til beregning af kulstofændringerne i jorden er benyttet kulstofmodellen, C-TOOL. Der er behov for at få verificeret nogle af beregningerne med denne model, og desuden vil modellen skulle publiceres internationalt. Modelberegningerne bør desuden sammenlignes med målte data og med andre modeller (f.eks. RothC) til vurdering af usikkerheder på modelberegningerne

5.4 Omkostninger ved øget monitorering og afreportering

Der er i det følgende givet et overslag over de omkostninger (2005 priser), der vil være forbundet med øgede monitoringskrav frem til afreporteringen af første forpligtelsesperiode i 2013. Nogle af projekterne skal gennemføres for at kunne overholde rapporteringskravene. Det gælder som minimum punkterne 1-5 og med meget stor sandsynlighed også punkterne 6 og 7. Klimakonventionens review-team har i sin seneste review-rapport (Emissionsopgørelsen for 2003), henstillet til at Danmark foretager egne målinger af drivhusemissi-

onen fra de organiske jorde. Denne henstilling tolkes som om at man anser emissionsopgørelsen opgjort på et for usikkert grundlag. Derfor bør der ske en nykartering af de organiske jorde samt udarbejdes danske emissionsfaktorer for disse. Emissionen fra de organiske jorde udgør, med det nuværende datagrundlag, ca. 1,5% af den samlede danske drivhusgasudledning. Desuden vil det for fremtidige reduktionsforpligtelser være fordelagtigt at allerede nu kunne fastsætte danske emissionsfaktorer ved at gennemføre det analyse- og forskningsarbejde, der ligger i punkterne 8 til 10. Dette vil også kunne forbedre udgangspunktet for forhandlingerne omkring næste forpligtelsesperiode væsentligt.

For alle punkter vedrørende arealanvendelsesmonitoring er der betydelige synergieffekter ved allerede nu at kunne foretage en samlet koordinering. Denne koordinering skal danne basis for den underinddeling af landet, som er optimal i forhold til hvilke arealer og drivhusgaskilder der skal overvåges og analyseres nærmere i fremtiden.

1. Udtagning og analysering af jordbundsprøver i Kvadratnettet samt publicering af data og kobling til modelberegninger. Dette bør gennemføres hvert 5. år, som minimum i 2007 og 2012. For hvert måleår vil omkostninger ligge på ca. 2-3 mio. kr.
2. Endelig model opbygning og verifikation af C-TOOL, herunder kombination med klimadatabaser og registre samt publicering. Dette er en engangsudgift i størrelsesordenen 1,5 mio. kr.
3. Analyse af satellitbilleder i 1990, 2005, 2008, 2010 og 2012 til opnåelse af geografiske referencer og tidserier. Dette arbejde udføres i samarbejde med Skov og Landskab, KVL, DJF og DMU for optimal udnyttelse af ressourcer og viden. Dette arbejde skal foregå kontinuert fra 2006 og frem til 2013. Anslået pris 8-9 mio. kr. i alt for perioden 1990 til 2012.
4. Hegnsrejsningen skal sandsynliggøres bedre og især at de ikke registrerede hegn ikke er nogen "source". Dette kan ske ved kortanalyser kombineret med satellitbilledanalyserne. Omkostninger skønnes at ligge på 1-2 mio. kr.
5. Afrapportering, opbygning af administrative rutiner og databaser til håndtering af arealovergange, emissionsopgørelser, møder, rejser, koordinering med øvrige forskning og udvikling på området. Anslået ca. 0,5 mio kr til opbygning af systemet og ca. 0,15 mio. kr per år i løbende drift.
6. Nykartering af de organiske jorde. Desværre er kendskabet til omfanget og beliggenheden af organogene jorde meget mangelfulde, og der vil formentlig i forbindelse med emissionsopgørelsen til artikel 3.4 være et krav om opdeling af det nuværende kort for organiske jord i jord i arealer med et indhold af OM over og under 20%. Samtidigt bør kortlægning af det samlede areal med organiske jorde opdateres, idet mange organogene jorde formentlig er forsvundet som følge af tørvegravning eller den biologiske omsætning som følge af landbrugsudnyttelse. En sådan kortlægning vil kunne gennemføres for 30-40 mio. kr.
7. Udarbejdelse af emissionsfaktorer for de danske organiske jorde for hhv. overfladiske og dybe jorde, både i sædskifter, græs i omdrift og vedvarende græs. Omkostningerne skønnes at ligge på 6-8 mio. kr.
8. Der er forbundet en betydelig usikkerhed med emissionsopgørelsen for kalkning. Dette vil ikke få indflydelse på første forpligtelsesperiode, men får betydning for hvordan emissioner i efterfølgende forpligtelsesperioder kan/skal opgøres. Der er behov for en nærmere analyse af den samlede C-balance fra kalkningen, dennes reaktioner i jorden, dens udvaskning og omsætning/udfældning i vandløb og indre danske farvande. Resultaterne kan endvidere bruges i forbindelse med fastlæggelse af reduktionsforpligtig-

gelsen i anden forpligtigelsesperiode. Arbejdet bør gennemføres af DMU og DJF i fællesskab. Dette vil kunne gennemføres for en anslået pris på 5-6 mio. kr.

9. I nuværende forpligtigelsesperiode indgår kun menneskeskabte emissioner. I fremtiden må forudses at ændringer i drivhusgasser fra naturarealer ligeledes skal monitoreres. Der er således stort behov for at få klarlagt "sources" og "sinks" i naturarealerne. Det gælder både genvæksten på hederne, øget opbygning af form i A-horisonten (dødt organisk materiale), naturlige emissioner fra moserne, ændrede C-lagringer i habitatområderne osv. Der bør derfor allerede nu: 1) tages højde for naturarealernes udvikling vha. billeanalyserne, 2) kombineres med SNSs og DMUs kortlægning af habitatområderne som vil være tilendebragt i 2006, 3) udvikles målemetoder og modeller der kan estimere lattergas og metan emissionen fra moser og vådområder, 4) udvikles modeller for kulstofbindinger i naturarealernes over- og underjordiske biomasse samt 5) kombineres med det forskningsarbejde der pt. indgår på drivhusgasområdet omkring monitoring af naturområder. F.eks. VULCAN-projektet på Risø. Den anslåede omkostning ligger på 10-30 mio. kr.
10. Hegnsrejsningsmodellen bør valideres med hensyn til bedre bestemte C-estimer. Den nuværende model er udarbejdet på baggrund af nogle få flisningsdata udført af Hedeselskabet A/S. Den anslåede omkostning ligger på 0,4-0,8 mio. kr.

Udgifterne efter 2013 vil beløbe sig til ca. 2-3 mio. kr årligt (2005 priser). I dette indgår vedligeholdelse af systemet, udtagning af jordprøver i kvadratnettet og satellitmonitoring. Kartering af de organiske jorde bør gentages med 20-30 års mellemrum for at følge de arealmæssige ændringer.

Tilskudsordningen til hegnsrejsningen bør genvurderes i relation til også at inddrage kulstofbindingen, således at det sikres at det nuværende niveau fortsætter fremover.

6 Referencer

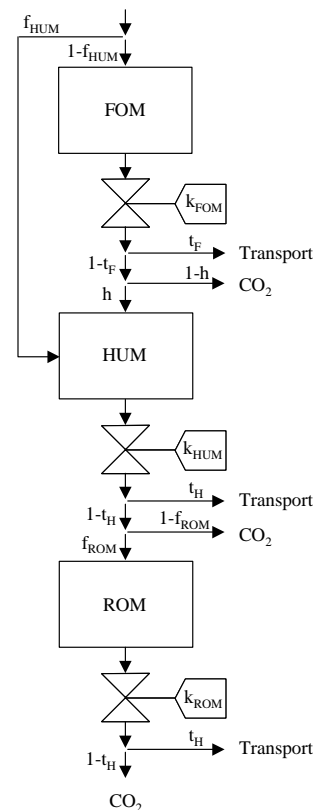
- Accoe, F., Boeckx, P., Van Cleemput, O., Hofman, G., Hui, X., Bin, H. & Chen, G.X., 2002. Characterization of soil organic matter fractions from grassland and cultivated soils via C content and delta C-13 signature. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 16, 2157-2164.
- Andrén, O., Kätterer, T. & Karlsson, T. 2004. ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 70, 231-239.
- Anonym, 2003. En omkostningseffektiv klimastrategi. Finansministeriet.
- Anonym. 2004. Landbrugsstatistik 2004. Danmarks Statistik.
- Birkmose, T.S., 2004. Dansk Landbrugsrådgivning, Personlig meddelelse.
- Birkmose, T.S., 2005. Planteavlsoverretning - 07-548, Dansk Landbrugsrådgivning.
- Bol, R.A., Harkness, D.D., Huang, Y. & Howard, D.M. 1999. The influence of soil processes on carbon isotope distribution and turnover in the British uplands. *Eur. J. Soil Sci.*, 50, 41-51.
- Coleman, K. & Jenkinson, D.S., 1996. RothC-26.3. A model for the turnover of carbon in soil. In: D.S. Powlson, P. Smith & J.U. Smith (Eds.), *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing, Long-Term Datasets*, NATO ASI series I, Vol 38, Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 237-246.
- Dansk Landbrugsrådgivning 2005. Forsuring. (http://www.lr.dk/bygningerogmaskiner/diverse/gs_050726_wmp3_12.htm)
- Elzein, A. & Balesdent, J. 1995. Mechanistic Simulation and Vertical Distribution of Carbon Concentrations and Residence Times in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 1328-1335.
- Gyldenkerne, S., Münier, B., Olesen, J.E., Olesen, S.E., Petersen, B.M. & Christensen, B.T. (2005). Opgørelse af CO₂-emissioner fra arealanvendelse og ændringer i arealanvendelse. LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry). Metodebeskrivelse samt opgørelse for 1990-2003. **Arbejdsrapport fra DMU** nr. 213.
- Gyldenkerne, S., Münier, B.E. Olesen, J.E., Olesen, S.E., Petersen, B.M. & Christensen, B.T. 2005. Opgørelse af CO₂-emissioner fra arealanvendelse og ændringer i arealanvendelse LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry), Metodebeskrivelse samt opgørelse for 1990 – 2003., *Arbejdsrapport fra DMU*, nr. 213. (Methodology and Emission CO₂- estimates from LULUCF 1990-2003).
- Hansson, A.-C. & Andrén, O. 1999. Root dynamics in barley, meadow fescue and lucerne, investigated with a mini-rhizotron technique. *Plant Soil*, 103, 33-38.
- Heidmann, T., Nielsen, J., Olesen, S.E., Christensen, B.T. & Østergaard, H.S., 2001. Ændringer i indhold af kulstof og kvælstof i dyrket jord: Resultater fra Kvadratnettet 1987-1998. DJF rapport Markbrug nr. 54.
- IPCC, 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual.
- IPCC, 2000. IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2004. Good practice guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Jenkinson, D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from 14C

- labelled ryegrass decomposing under field conditions. *Journal of Soil Science*, 28, 424-434.
- Kätterer, T. & Andrén, O. 1999. Growth dynamics of reed canarygrass (***Phalaris arundinacea L.***) and its allocation of biomass and nitrogen below ground in a field receiving daily irrigation and fertilisation. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 54, 21-29.
- Kätterer, T., Andrén, O. & Persson, J. 2004. The impact of altered management on long-term agricultural soil carbon stocks – a Swedish case study. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 70, 179-187.
- Kätterer, T., Hansson, A.-C. & Andrén, O. 1993. Wheat root biomass and nitrogen dynamics – effects of daily irrigation and fertilization. *Plant Soil*, 151, 21-30.
- Kirschbaum, M.U.F., 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem.* 27, 753-760.
- Klimanek, E.-M. 1997. Importance of crop and root residues of agricultural crops for soil organic matter (in German). *Arch. Acker- Pfl. Boden*, 41, 485-511.
- Krogh, L., Noergaard, A., Hermansen, M., Greve, M.H., Balstroem, T. & Breuning-Madsen, H., 2003. Preliminary estimates of contemporary soil organic carbon stocks in Denmark using multiple datasets and four scaling-up methods. *Agric. Ecosyst. Environ.* 96, 19-28.
- Kuzyakov, Y. & Domanski, G. 2000. Carbon inputs by plants into the soil. *Review. J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163, 421-431.
- Liljeroth, E., Kuikman, P. & Van Veen, J.A. 1994. Carbon translocation to the rhizosphere of maize and wheat and influence on the turnover of native soil organic matter at different soil nitrogen levels. *Plant Soil*, 161, 233-240.
- Lomander, A., Kätterer, T. & Andrén, O. 1998. Carbon dioxide evolution from top- and subsoil as affected by moisture and constant and fluctuating temperature. *Soil Biol. Biochem.* 30(14): 2017-2022.
- 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., 2004. Jordbrug og klimaændringer - samspil til vandmiljøplaner. *DJF rapport Markbrug* nr. 109.
- Olesen, J.E., Hansen, E.M. & Elsgaard, L., 2005. Udledning af drivhusgasser ved pløjefri dyrkningsystemer. I: Olesen, J.E. (red). *Drivhusgasser fra jordbruget - reduktionsmuligheder. DJF rapport Markbrug* nr. 113, s. 52-66.
- Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Van Noordwijk, M. & Woome, P.L., 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Manage.* 13, 230-244.
- Petersen, B.M., 2003. C-Tool version 1.1. A tool for simulation of soil carbon turnover. Description and users guide. Danmarks JordbrugsForskning, pp. 29. Kan hentes fra www.agrsci.dk/c-tool.
- Petersen, B.M., Berntsen, J., Hansen, S. & Jensen, L.S. (2005). CN-SIM - a model for the turnover of soil organic matter. I: Long term carbon development. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 359-374.
- Petersen, B.M., Jensen, L.S., Berntsen, J., Hansen, S., Pedersen, A., Henriksen, T.M., Sørensen, P. & Trinsoutrot-Gattin, I. (2005). CN-SIM - a model for the turnover of soil organic matter. I: Short term carbon and nitrogen development. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 375-393.
- Primdahl, J. (1998): *Jordbrug, landskab og offentlig regulering. Grænser i landskabet.* Nr. 3, Januar 98, s. 11-14.

- Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. & Sommer, S.G., 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. DJF rapport nr. 36 – husdyrbrug, Danmarks Jordbrugsforskning.
- Six, J., Elliott, E.T. & Paustian, K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099-2103.
- Soussana, J.-F., Loiseau, P., Vuichard, N., Ceschia, E., Balesdent, J., Chevalier, T. & Arrouays, D. 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use Man.*, 20, 219-230.
- Springob, G. & Kirchmann, H. 2002. C-rich Ap horizons of specific land-use contain large fractions of refractory organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, 34, 1559-1570.
- Stemmer, M., Roth, K. & Kandeler, E. 2000. Carbon mineralization and microbial activity in a field trial used for ¹⁴C turnover experiments over a period of 30 years. *Biol. Fert. Soils*, 31, 294-302.
- Søgaard, K., Deneken, G., Nielsen, K.A. & Mikkelsen, M. (2000). Anbefalede frøblandinger til græsmarker 2001. Grøn Viden Markbrug nr. 231.
- UNFCCC (2002a). Report of the Conference of the Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. Part two: Action taken by the conference of the parties. Volume 1. FCCC/CP/2001/13/Add 1.
- UNFCCC (2002b). Report of the Conference of the Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. Part two: Action taken by the conference of the parties. Volume 2. FCCC/CP/2001/13/Add 2.
- UNFCCC (2002c). Report of the Conference of the Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. Part two: Action taken by the conference of the parties. Volume 3. FCCC/CP/2001/13/Add 3.

Appendiks 1. Model for C i mineral-jord

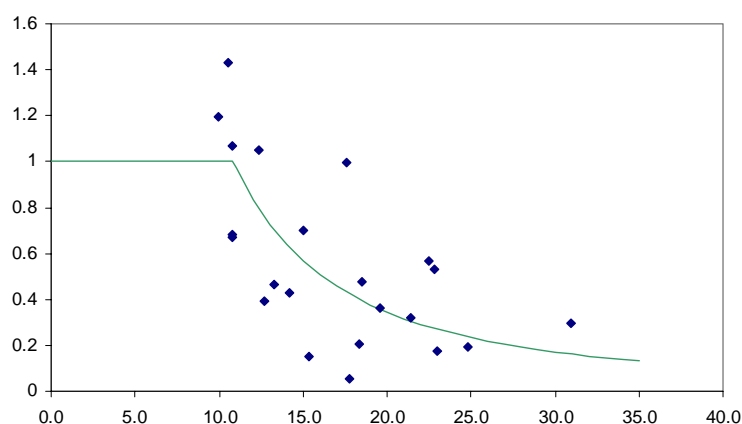
Med værktøjet C-TOOL er der opbygget en dynamisk 3-puljet SOC-model med førsteordens nedbrydningsrater implementeret (figur A1). Modellen er initialiseret med landsdækkende målinger af C-indholdet i 0-100 cm's dybde, foretaget i 1987 og beregningerne er foretaget på amtsbasis for perioden 1980 - 2025.



Figur A1. Modelstruktur. FOM: Fresh Organic Matter, HUM: "Humus", ROM: Resilient Organic Matter.

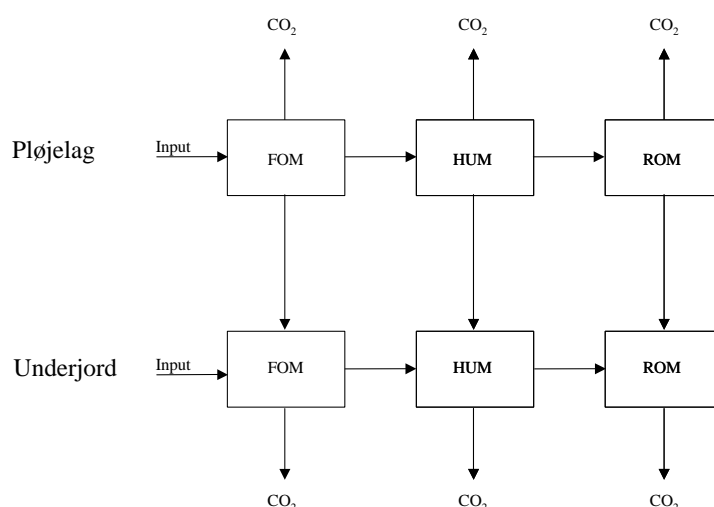
Modellens "FOM"-pulje er en samlepulje for delvist omsat materiale, mellemprodukter, svampe, bakterier og smådyr. Med den her ønskede mindste opløsning på et år kan disse samles i én pulje, mens modeller med finere tidsmæssig opløsning må differentiere mellem disse puljer (Petersen et al., 2005b). "HUM"-puljen består af stabiliseret organisk materiale ("aktiv humus"), med en halveringstid omkring et halvt århundrede. "ROM"-puljen består af meget langsomt omsætteligt stof. ^{14}C dateringer viser at jord fra pløjelaget typisk har en gennemsnitlig alder omkring 800-1000 år. Sammenholdes dette med data for omsætning i jorden, kan det konkluderes at en betydelig del af jordens organiske stof ("ROM"-puljen) nødvendigvis må være årtusinder gammel. Dermed kan denne pulje regnes for praktisk taget inaktivt, hvis man betragter udviklingen indenfor nogle årtier eller århundreder.

Der findes ingen laboratorieanalyser der med acceptabel sikkerhed kan måle denne "inaktive" andel. Men ved anvendelse af modelberegninger kan fås et estimat for det gennemsnitlige indhold i pløjelaget på 40,5 %, Petersen et al. (2005a). Dette indhold sættes op ved høje C/N forhold, således at der er mindre CO₂-udvikling per mængde C i jorden, jf. figur A2.



Figur A2. Relativ CO₂-udvikling plottet mod jordens C/N ratio. Punkterne angiver målinger fra Springob og Kirchmann (2002).

Jorden under pløjelaget udgør en særlig problemstilling ved anvendelse af denne type modeller. Der findes kun få data for C-udviklingen i jorden under pløjelaget, "underjorden", selv om gennemsnitligt 56 % af SOC findes i 25-100 cm's dybde, og kun 44 % findes i 0-25 cm's dybde, beregnet ud fra de prøver fra Kvadratnettet der indgår i datagrundlaget. Det er vist at der er en væsentlig CO₂ udvikling også fra jorden under pløjelaget, selv om den udviklede mængde per enhed C i jorden er mindre end fra pløjelaget (Lomander et al. 1998, Accoe et al. 2002). Derfor må der antages at foregå en betydelig nedadgående netto-transport af C i jorden, da langt størsteparten af rodmaterialiet afsættes i pløjelaget. Denne transport er blandt andet forårsaget af jordlevende dyr, herunder regnorme samt opløst organisk stof og kolloid-bundet C. For enkeltheds skyld opererer modellen med to jordlag, pløjelaget i 0-25 cm's dybde og "underjorden" i 25-100 cm's dybde (figur A3).



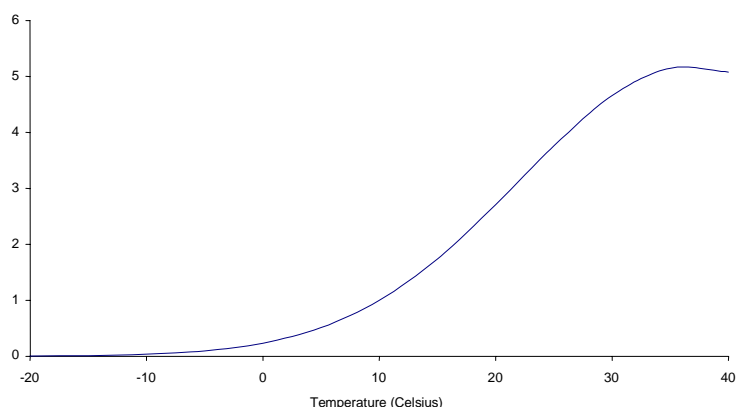
Figur A3. C-TOOLS opdeling i pløjelag og underjord, med nedadgående transport.

Ved parametriseringen er modellens nedadgående transport af "humus" (t_H , figur A1) sat således at fordelingen af SOC mellem 0-25 cm og 75-100 cm i en "steady-state" modelsimulering er lig med gennemsnittet fra Kvadratnetets mineraljorde. Herved fås en værdi for t_H på 0,43, hvilket er i god overensstemmelse med Elzein og Balesdent (1995), som fandt at flowet ud af "aktiv humus" puljen var nærværd ligeligt fordelt mellem transport og CO₂-udvikling, samt (Bol et al., 1999) der anslog en faktor mellem 0,3 og 0,5. Parameteren t_F (0,006) er estimeret ud fra resultaterne i Jenkinson (1977).

Omsætningshastigheden i de tre puljer følger 1. ordens kinetik

$$\frac{dC_i}{dt} = -k_i C_i$$

hvor C_i er indholdet af kulstof i pulje i (t ha⁻¹), t er tid (år) og k_i er omsætningshastigheden for pulje i (år⁻¹). Der benyttes månedlige tidsskridt, som integreres ved benyttelse af 4. ordens Runge-Kutta metoden. Omsætningshastigheden er angivet ved 10 °C, og modificeres ved at multiplicere med temperaturfunktionen fra figur A4. I denne simulering er anvendt målte månedsværdier fra DMI for perioden 1961-90, og derefter gennemsnitlige månedsværdier fra 2005. Pløjelaget antages at følge lufttemperaturen, mens underjordens temperatur simuleres som en gennemsnitlig svingning i jordtemperatur i 0.6 m's dybde, udregnet efter Hansen et al. (1990, s. 81)



Figur A4. Sammenhæng mellem relative omsætningsrater og temperatur (Kirschbaum 1995).

Fordelingen mellem SOC tabt fra FOM puljen som CO₂, og SOC indbygget i HUM puljen er taget fra Coleman og Jenkinson (1996):

$$R(X) = 3.09 + 2.67 \exp(-0.079 X) \quad (X)$$

hvor X er lerprocenten og R ratioen (CO₂-C tab)/(SOC indbygget i HUM puljen). For husdyrgødningens vedkommende indbygges yderligere 8 % direkte i HUM puljen (f_{HUM}). Dette tal er baseret på resultaterne i Stemmer et al. (2000).

Den vitale modelparameter k_{HUM} (0,0289 år⁻¹ inklusive transport) er optimeret på dataserierne fra mark- og rammeforsøg ved Rothamsted, Ultuna, Askov og Risø. Disse dataserier til optimering og validering er taget fra Petersen et al. (2005a), ligesom algoritmerne til optimering er herfra. For at forbedre modelparametrene er der foretaget en kalibrering af modellen ud fra simuleringer af jordens udvikling i ¹⁴C (Petersen et al., 2005a). Omsætningshastigheden for FOM er 1.44 år⁻¹ (Petersen, 2003), mens omsætningshastigheden for ROM (0,00046 år⁻¹ inklusive transport) er sat således at

(0,00046 år⁻¹ inklusive transport) er sat således at indholdet af ¹⁴C i overjorden svarer til niveauet for Askov Forsøgsstation før de atmosfæriske atomprøve-sprængninger. Dette ¹⁴C indhold bidrager til at parametrisere omsætningen af ROM-puljen.

Jordbearbejdning er ikke inkluderet i modellens kalibreringsgrundlag. For dog alligevel at kunne vurdere betydningen af dette, er det antaget at omsætnings-hastigheden af HUM puljen halveres (Olesen et al., 2005) i de år hvor der ikke forekommer jordbearbejdning. Omsætningshastigheden af HUM er justeret, således at effekten af jordbearbejdning samlet set er neutral i perioden 1980-2004. Græsareal i omdrift, lucerne og frøavl antages i gennemsnit at ompløjes hvert andet år. Halvdelen af brakarealet antages at ompløjes hvert år, mens halvdelen antages at være varig.

A1. Input af C til modellen

Som input til modellen indgår arealerne på amtsbasis med de respektive afgrøder, tilbageførte rester af organisk materiale fra afgrøderne, herunder nedmuldet halm, samt husdyrgødning. Mængden af C fra rodafsætning og afgrøderester er beregnet ud fra udbytterne via allometriske funktioner.

For årene 1980-1989, hvor halmafbrænding var tilladt, er det antaget at 80% af det efterladte halm blev afbrændt. Endvidere er det antaget at dette bevirkede en 50% reduktion af de øvrige efterladte planterester på de berørte arealer. Mængden af C i husdyrgødning er baseret på antallet af husdyr som indgår i de nationale emissionsopgørelser (DIEMA 2004) samt beregnet på baggrund af husdyrgødningsnormtallene ab lager (Poulsen et al., 2001) og antallet af husdyr fordelt på de forskellige staldd typer korrigeret for afgræsning. Mængden af husdyrgødning afsat på græs er beregnet ud fra foderindtaget korrigeret for foderudnyttelse.

Der er skelnet mellem 3 former for C input til jorden: 1) overjordiske planterester der ikke kan høstes, 2) overjordiske planterester der kan høstes (eksempelvis halm) 3) rodrester og løbende rodafsætning.

Der blev lavet allometriske funktioner for sammenhængen mellem udbyttet og de ovenstående C-kilder, undtagen for græsarealer og lucerne. På de sidstnævnte arealer blev konstant C-input per arealenhed antaget. Disse funktioner blev dannet ved at parametrisere følgende: i) det høstede primærprodukt (eksempelvis kerne) som andel af den samlede overjordiske biomasse ("høstindekset"), ii) andelen af det "sekundære" produkt (halm, roetop) som er høstbart i forhold til den samlede overjordiske biomasse, og iii) andelen af den totale nettoproduktion som antages at gå til rod og rodafsætning (C kilde nr. 3 ovenstående). Givet disse 3 parametre (tabel A1), og andelen af det sekundære produkt der er høstet, kan jordens C input udregnes. Andelen af C i tørstof blev sat til 45% for alle plantedele.

For græsarealer, brak og lucerne, antages C inputtet at fordele sig med forholdet 2:1 mellem rodafledt og overfladeafledt input.

For vinterafgrøder antages 70% af det rodafledte C at blive afsat i pløjelaget (her sat til 0-25 cm's dybde), i overensstemmelse med fordelingen for vinterhvede (Kätterer et al., 1993).

Tabel A1. Tørstofrelationer.

Afgrøde	Hovedproduktets andel af overjordisk biomasse ved høst	Høstbart sekundærprodukt i forhold til hovedproduktet	Andelen af den totale nettoproduktion der afsættes underjordisk
Hvede	0.39 ¹	0.55 ²	0.25 ³
Vårbyg	0.45 ¹	0.55 ²	0.17 ⁴
Vinterbyg	0.39 ¹	0.55 ²	0.17 ⁴
Rug	0.38 ¹	0.80 ²	0.25 ³
Havre	0.40 ¹	0.60 ²	0.17 ⁴
Triticale og øvrige korn	0.38 ⁵	0.80 ²	0.25 ³
Ært til modenhed	0.42 ¹	0.50 ²	0.10 ⁶
Raps	0.37 ¹	0.90 ²	0.25 ¹
Græsfrø	0.15 ⁶	3.60 ⁶	0.45 ⁷
Kløverfrø	0.06 ⁶	0.00 ⁸	0.35 ⁶
Kartofler	0.70 ⁹	0.00 ⁸	0.11 ⁹
Sukkerroer	0.70 ⁹	0.00 ⁸	0.12 ⁹
Fodderroer	0.70 ⁹	0.34 ⁶	0.12 ⁹
Ært til ensilage	0.71 ¹⁰	0.00 ⁸	0.10 ⁶
Majs	0.85 ¹¹	0.00 ⁸	0.15 ¹²
Kornafgrøder til ensilage	0.75 ¹⁰	0.00 ⁸	0.17 ⁴

¹Kätterer et al (2004).

²Anonym (2004).

³Kuzyakov & Domanski (2000), værdi for hvede.

⁴Værdi for byg, under antagelse af at kun 65 % (Kuzyakov & Domanski, 2000) så meget C bliver translokeret til roden som for hvede.

⁵Taget fra rug.

⁶Estimeret.

⁷Kuzyakov & Domanski (2000), værdi for græsmark.

⁸Ingen høst af sekundærprodukt antaget for denne afgrøde.

⁹Beregnet allokering når udbytterne fra Anonym (2004) bliver brugt som input til beregningsmetoden i Andrén et al. (2004).

¹⁰Sum of kerne og halm for den samme afgrøde for høst ved modenhed.

¹¹Estimeret ud fra resultaterne i Klimanek (1997, Fig. 2).

¹²For majs, er kun 60% så stor en fraktion af C som for hvede (Liljeroth et al., 1994) antaget at gå til roden.

Tabel A2. Estimeret input for græsarealer og brak.

Afgrøde	C input (t ha ⁻¹ år ⁻¹)
Græsarealer i omdriften samt lucerne	5.6 ¹
Græsarealer udenfor omdriften samt brakarealer	4.2 ²

¹Ifølge Soussana et al. (2004) bliver 9 t C ha⁻¹ år⁻¹ translokeret til jorden. Under antagelse af at dette overvejende er rodinput, er det yderligere antaget at 38% (Kuzyakov og Domanski, 2000) går til respiration.

²På grund af lavere tilførsel af næringsstoffer til disse arealer, antages C input til jorden at være 25% lavere end for græsarealer i omdriften.

For vårafgrøder antages andelen afsat i pløjelaget at være 80%, i overensstemmelse med fordelingen for vårbyg (Hansson og Andrén, 1987). Græsare-

aler antages at afsætte 90% af det rodafledte input i pløjelaget (Kätterer og Andrén, 1999), og den samme værdi anvendes for brak og lucerne.

I landbruget anvendes efterafgrøder i nogen udstrækning som et middel til at reducere kvælstofudvaskningen. Disse efterafgrøder vil samtidigt føre til et øget kulstofinput til jorden. Det er imidlertid vanskeligt fra de nationale opgørelser af afgrøder og dyrkningspraksis at adskille disse efterafgrøder fra udlæg af græs til øvrige græsmarker, dyrkning af italiensk rajgræs til efterårsslæt og dyrkning af vinterraps. De deciderede efterafgrøder vil normalt være rajgræs, der er udsæt med en lavere udsædsmængde end normal græs. Dette vil dog ofte også føre til en mindre tørstofproduktion end ved etablering af normale græsmarker som udlægsafgrøder. Der er derfor valgt at tage udgangspunkt i statistikken for salg af græs og kløverfrø fra Plantedirektoratet. Arealet er beregnet som den solgte frømængde divideret med en standard udsædsmængde på 25 kg/ha (Søgaard et al., 2005). Dette giver et udlægsareal af græsmarker i efteråret på 240.000 ha i 1990 stigende til 293.000 ha i 2000 og derefter faldende til 270.000 ha i 2004. Faldet i arealet med udlæg af græsmarker efter 2000 skyldes især et faldende areal med italiensk rajgræs til efterårsslæt som følge af et stigende majsareal, hvor majsens erstatter græsset som foder i kvægproduktionen. Arealet med efterafgrøder antages at afsætte 1 t C ha⁻¹.

Startværdierne for kulstof i jorden er taget fra Kvadratnettet (data stillet til rådighed af Dansk Landbrugsrådgivning, Landscenteret), hvor der er målt ned til en meters dybde med 25 cm intervaller i 1987. Over 600 punkter herfra indgår i herværende simuleringer. Farvekode-klasserne er opdelt på Jylland og Øerne, således at der anvendes gennemsnitlige jorde for disse to respektive områder indenfor hver farvekode i jordbundskortlægningen (FK). C/N forholdet i jorden er dels taget fra datasættet der ligger til grund for Heidmann et al. (2001), dels fra DJF's profildatabase. Jordtypefordelingen på de enkelte amter er fra 1995. Beregningerne af disse fordelinger omfatter landbrugsarealer (kode 2112) i Areal Informations System (AIS 2000), som er baseret på topografiske kort, TOP 10 DK kort, samt amternes kortlægning af beskyttede naturtyper.

Appendiks 2 Udvikling i afgrødeudbytter

Der er taget udgangspunkt i udbytter på landsplan af landbrugsafgrøder fra Danmarks Statistik for perioden 1990 til 2004. Udbytterne er omregnet til relative udbytter ved at dividere udbyttet med gennemsnitsudbyttet for den pågældende afgrøde for hele perioden og gange med 100.

Udviklingen i de relative udbytter viser store forskelle mellem de forskellige afgrøder (figur A5). For kornafgrøderne er der undtagelse af 1992 kun små udsving i udbytterne. Udbyttet i vårsæden i 1992 var negativt påvirket af sommertørke. Der er for alle rodfrugter (kartofler og sukkerroer) en gradvis stigning i udbyttene over perioden. For lucerne sker et uforklarligt hop i udbyttene i 1997, hvorimod udbytterne i græs stort set er uændret over periode. For korn til helsæd sker et fald i udbytterne over perioden, hvorimod majsudbytterne er svagt stigende. Dette kan for helsædens vedkommende skyldes et skift mod helsæd i vårsæd.

Trenden i udbytterne er beregnet ved lineær regression af de relative udbytter på årstal. Regressionsanalyserne er gennemført på afgrødegrupper både på hele datamaterialet og med 1992 udeladt (tabel A3). Der er ingen signifikant udbyttetrend for korn, raps, bælgssæd eller græs og lucerne. For rodfrugter er der en signifikant stigning i udbytterne.

I fremskrivningerne tages udgangspunkt i gennemsnitsudbytterne for 2000 til 2004. Disse udbytter fastholdes uændret for alle afgrøder med undtagelse af rodfrugterne. For rodfrugter benyttes en årlig stigning i udbyttet på 1% af udbyttet i perioden 2000 til 2004.

Tabel A3. Gennemsnitlig årlig udbyttestigning (%) for perioden 1990 til 2004 beregnet for hele perioden eller med året 1992 udeladt.

Afgrøde	Hele perioden	1992 udeladt
Vinterkorn	0,6 *	0,1
Vårkorn	-0,1	-0,8 *
Raps	0,8	0,6
Bælgssæd	-0,6	-1,3
Rodfrugter	1,1 ***	1,0 ***
Græs og lucerne	0,7	0,4
Majs og korn til ensilage	-0,3	-0,7

Signifikans: * P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.001.

