

Effekten af statsskovenes overgang til naturnær drift på kulstofbinding i skovene

Andreas Brunner, Vivian Kvist Johannsen & Lars Vesterdal
Center for Skov, landskab og Planlægning - KVL

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	9
1 FORMÅL	11
2 METODER	12
2.1 BEVOKSNINGSLISTE	12
2.2 SCENARIER	14
2.2 HUGSTMODELLER	14
2.3 VÆKSTMODELLER	16
2.4 OMRREGNING AF VEDMASSE TIL KULSTOF I BIOMASSEN	16
2.5 PLANER FOR OMSTILLING TIL NATURNÆR DRIFT	17
2.5.1 Omdriftsforlængelse	18
2.5.2 Træartsskifte	19
2.5.3 Vedvarende skovdække	20
2.5.4 Ekstensive foryngelser	20
2.5.5 Åbne arealer	20
2.5.6 Pyntegrønt	20
2.5.7 Dødt ved	20
2.5.8 Urørt skov	21
2.5.9 Tynding	21
2.5.10 Andre naturnære tiltag	21
2.6 RISIKOANALYSER	22
3 RESULTATER	23
3.1 KULSTOFBINDING I TRÆERNES BIOMASSE	23
3.1.1 Effekt af enkelte naturnære tiltag	31
3.1.2 Manglende viden	41
3.2 KULSTOFBINDING I JORDEN	41
3.3 MONITERINGSOMKOSTNINGER	43
3.3.1 Behov	43
3.3.2 Eksisterende skovovervågning	43
3.3.3 Metoder til monitorering af kulstoflageret i statsskov	44
3.3.4 Omkostninger	46
4 KONKLUSION	48
4.1 KULSTOFBINDING	48
4.2 MONITERING	49
4.3 OPFØLGNING	49
5 LITTERATUR	50
BILAG 1 - SAS-PROGRAM KULSTOFMODEL.SAS	53

Forord

Skov- og Naturstyrelsen har i december 2004 fremlagt udkast til en handlingsplan for omstilling af statsskovene til naturnær skovdrift (S&N 2004). Overgangen til naturnær drift vil føre til ændringer i skovstrukturen og træproduktionen. Metoderne i den naturnære drift og effekterne på træproduktionen er dog aldrig blevet kvantificeret. Vi har derfor i denne rapport for første gang kvantificeret tiltagene i den naturnære drift sammen med Skov- og Naturstyrelsens Driftsplankontor.

Kyoto-aftalens artikel 3.4 giver mulighed for at regne ændringer i kulstofbindingen i skovene i perioden 2008 – 2012 ind i forpligtelser for reduktionen af emission af klimagas. I denne periode kan Danmark under artikel 3.4 maksimalt afregne en nettokulstofbinding på 183.000 t CO₂/år i skove som eksisterede den 1. januar 1990.

Der er derfor aktuelt behov for at kvantificere forventede ændringer i kulstofbindingen i de danske skove over de næste 50 –100 år. Statsskovenes overgang til naturnær skovdrift kan her være et første eksempel, som samtidig vedrører en betydelig del af det danske skovareal. Der er behov for kvantificering af den samlede kulstofbinding i statsskovene ved overgang til naturnær skovdrift, sammenlignet med fortsat traditionel drift.

En implementering af de relevante mekanismer i Kyoto-aftalen vil kræve en monitorering af forløbet i kulstofbindingen i skovene. Skovovervågningen, som **Skov & Landskab** udfører for hele det danske skovareal, skal modificeres for at kunne overvåge ændringer i hele kulstofpuljen i de danske statsskove. Disse ekstraomkostninger skal derfor kvantificeres samtidig.

Denne rapport har til formål at indgå som en del af beslutningsgrundlaget vedr. anvendelse af Kyoto Protokollens art. 3.4 i Danmark. Naturnær skovdrift omfatter kun en del af de skovdrifts tiltag, der kan tænkes bragt i spil under art. 3.4, og rapportens resultater er derfor kun et eksempel på konsekvensen af nogle tiltag, der kan rubriceres under begrebet naturnær skovdrift. Konkretiseringen af naturnære drifts tiltag samt deres arealmæssige udstrækning i statsskovene er endnu på et tidligt stade. I forbindelse med dette projekt har det imidlertid været nødvendigt at give et konkret bud på dette. Det er sket i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsens Driftsplankontor. Rapportens resultater er i sagens natur meget nært knyttet til dette specifikke bud på, hvad naturnær skovdrift i de statslige skove indebærer.

Arbejdet har været finansieret af Miljøstyrelsen og drøftet i en arbejdsgruppe i forbindelse med evalueringen af tiltag til reduktion af drivhusgasemissioner i de ikke-kvotebelagte sektorer. Gruppens medlemmer var Ulla Blatt Bendtsen, Trine Nielsen, Camilla K. Damgaard og Lars Klem Nielsen, Miljøstyrelsen, Peter Iversen og Kitt Bell Andersen, Skov- og Naturstyrelsen, Søren Tafdrup, Energistyrelsen, Lars Bach, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Jørgen E. Olesen, Danmarks JordbrugsForskning, Kurt Hjorth-Gregersen, Syddansk Universitet, Brian Jakobsen, Fødevarøkonomisk Institut, KVL, Steen Gyldenkerne og Mette Hjorth Mikkelsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Lars Vesterdal, **Skov & Landskab**, KVL.

Sammenfatning og konklusioner

Formålet med projektet var at kvantificere ændringer i kulstofbindingen i den danske statsskov ved overgang til naturnær skovdrift og estimere monitoringsomkostninger forbundet med den nuværende kvote på 183.000 t CO₂/år.

Vi har beregnet kulstofbindingen ved hjælp af en række scenarier med hhv. traditionel og naturnær drift. Overgangen til naturnær skovdrift i løbet af de næste 100 år blev kvantitativt beskrevet ved hjælp af 9 enkelte tiltag. Scenarierne fremskrev bevoksningslisten fra 2004 over de næste 100 år ved hjælp af hugst- og vækstmodeller og beregnede kulstofindholdet i træernes biomasse ved hjælp af forskellige omregningsfaktorer.

Resultaterne viser en meget stor dynamik i kulstofbindingen i statsskovene i løbet af de næste 100 år. Den ujævne aldersklassfordeling af skovene fører til en vedmasseopbygning og dermed stor nettokulstofbinding i løbet af de næste 20 – 40 år, efterfulgt af en periode med vekslen mellem mindre kulstofbinding og kulstofstab. Større stormfald kan ændre dynamikken, men har lille indflydelse på den samlede kulstofbinding i hele perioden.

I gennemsnit over de næste 100 år er kulstofbindingen i træernes biomasse 0,091 mio. t CO₂/år for hele skovarealet under konvertering til naturnær drift. Det er mindre end hidtil antaget i analyser uden inddragelse af den reelle aldersklassfordeling. I perioden 2008 – 2012 vil statsskovene sandsynligvis alene kunne opfylde kvoten på 0,183 mio. t CO₂/år. Til gengæld vil der med stor sandsynlighed i efterfølgende perioder ske en nettofrigivelse af kulstof fra statsskovene.

Naturnær skovdrift vil sandsynligvis føre til en lidt mindre kulstofbinding i forhold til fortsat traditionel drift. Positive effekter på kulstofbindingen (omdriftsforlængelse, dødt ved, urørt skov) bliver opvejet af de negative effekter (stærkere hugst i nål, ekstensive foryngelser, åbne arealer).

Estimaterne af den samlede kulstofbindingen i statsskovene afventer dog stadig et mere kvalificeret bud på mulige ændringer i kulstofpuljen i jorden.

Monitoringsdetaljerne er endnu ikke fastlagt i internationale aftaler, og det er derfor svært at planlægge en monitoringsmetode og vurdere tilhørende omkostninger. Under forudsætningen, at der ikke kræves en identifikation af enkeltarealer, kan den nuværende nationale skovstatistik bruges til at monitorere kulstofbindingen. Der bør dog tilføjes en monitoring af kulstofpuljen i jord, og ekspansionsfaktorerne skal udvikles for danske forhold.

Summary and conclusions

The objective of this project was to quantify the change in carbon stocks in Danish state forests under conversion to nature-based forest management and to estimate the monitoring costs associated with the cap for the first commitment period of 183.000 t CO₂/yr.

We calculated the rate of carbon sequestration using scenarios for traditional (business as usual) and nature-based forest management. The conversion to nature-based forest management over the next 100 years was characterized by 9 different management options. The scenarios projected state forest stand data from 2004 over the next 100 years using models for harvesting and growth and carbon stocks in tree biomass was subsequently calculated using various conversion factors.

The results showed large temporal variability in carbon stocks in state forests over the next 100 years. The uneven age class distribution for stands leads to significant biomass accumulation and thus net carbon sequestration over the next 20-40 years. This situation is followed by a period with alternating modest carbon sequestration and modest carbon loss. Larger windstorm incidents may shortly affect these temporal dynamics, but have little influence on carbon sequestration during the whole period.

Mean carbon sequestration in tree biomass over the next 100 years is estimated at 0,091 mio. t CO₂/yr for the whole converted state forest area. This is less than previously estimated in analyses that did not account for the actual age class distribution. During the period 2008 – 2012 state forests may therefore alone account for the cap of 0,183 mio. t CO₂/yr. However, during later periods net losses of carbon will occur from time to time.

The scenario for nature-based forest management probably leads to slightly less carbon sequestration compared to the business as usual scenario. Positive effects on the rate of carbon sequestration (prolonged rotation period, more dead wood, non-intervention forests) are offset by negative effects (increased harvesting of conifers, less intensive regeneration measures, natural succession and open areas).

An estimation of the total carbon sequestration potential in state forests needs to also address possible changes in soil carbon stocks. The necessary knowledge for this is not available for all management options within nature-based forest management.

As guidelines for monitoring are not yet settled internationally it is difficult to plan monitoring and evaluate associated costs. Assuming that it is not necessary to identify single areas, national forest statistics can monitor carbon sequestration. However, it may be necessary to supplement the current sampling of Danish forests with a soil inventory. Furthermore, conversion factors such as biomass expansion factors need to be documented or verified for Danish conditions.

1 Formål

Formålet med projektet var at kvantificere ændringer i kulstofbindingen i de danske statsskove ved overgang til naturnær skovdrift og estimere monitoringsomkostninger forbundet hermed. Dette skal ses i lyset af den nuværende kvote på 183.000 t CO₂/år.

2 Metoder

Vi har analyseret kulstofbindingen i statsskovene i løbet af de næste 100 år ved hjælp af en række scenarier. Skov- og driftsplankontor udleverede statsskovenes bevoksningsliste og konkretiserede planerne for omstillingen til naturnær drift. Baseret på disse oplysninger definerede vi scenarierne med hhv. traditionel og naturnær drift og fremskrev hele skovarealet ved hjælp af hugst- og vækstmodeller samt beregnede kulstoflageret ud fra vedmassen ved hjælp af forskellige nøgletal. Alle beregninger er gennemført med SAS og programkoden er dokumenteret i bilag 1.

2.1 Bevoksningsliste

Bevoksningslisten 2004 for hele statsskovarealet var udgangspunkt for vores beregninger. Bevoksningslisten blev den 6. december 2004 udskrevet fra planlægningssystemet Proteus af Kim Dralle (Driftsplankontoret).

Bevoksningslisten indeholder for hver bevoksning dens areal, træart, alder, produktionsklasse (PK), vedmasse, bevoksningskvotient og en række andre informationer. For bevoksninger med flere træarter er arealet delt op per træart ved hjælp af en indblandingsprocent. Overstandere og foryngelse er i bevoksningslisten noteret med en indblandingsprocent på 0.

I vores scenarier har vi grupperet træarterne (Tabel 1), primært baseret på tilgængelige tilvækstoversigter (afsnit 3.4). I præsentationen af resultaterne blev træartsgrupperne 3, 4 og 5 slået sammen til en gruppe 'andre løvtræarter' og træartsgrupperne 8 og 10 til en gruppe 'andre nåletræarter'.

Tabel 1. Træartsgruppering.

Nr.	Træartsgruppe	Træarter
1	Bøg	Bøg
2	Eg	Eg
3	Ask	Ask
4	Ær	Ær, Løn
5	Andre løvtræarter	Alle andre løvtræarter
6	Rødgran	Rødgran
7	Sitkagran	Sitkagran
8	Ædelgran	Ædelgran, Grandis, Nordmannsgran, Nobilis
9	Fyr	Skovfyr, Bjergfyr, Contortafyr, Fransk Bjergfyr, Weymouthsfyr, Østrigsk fyr
10	Andre nåletræarter	Alle andre nåletræarter, inkl. Lærk og Douglas

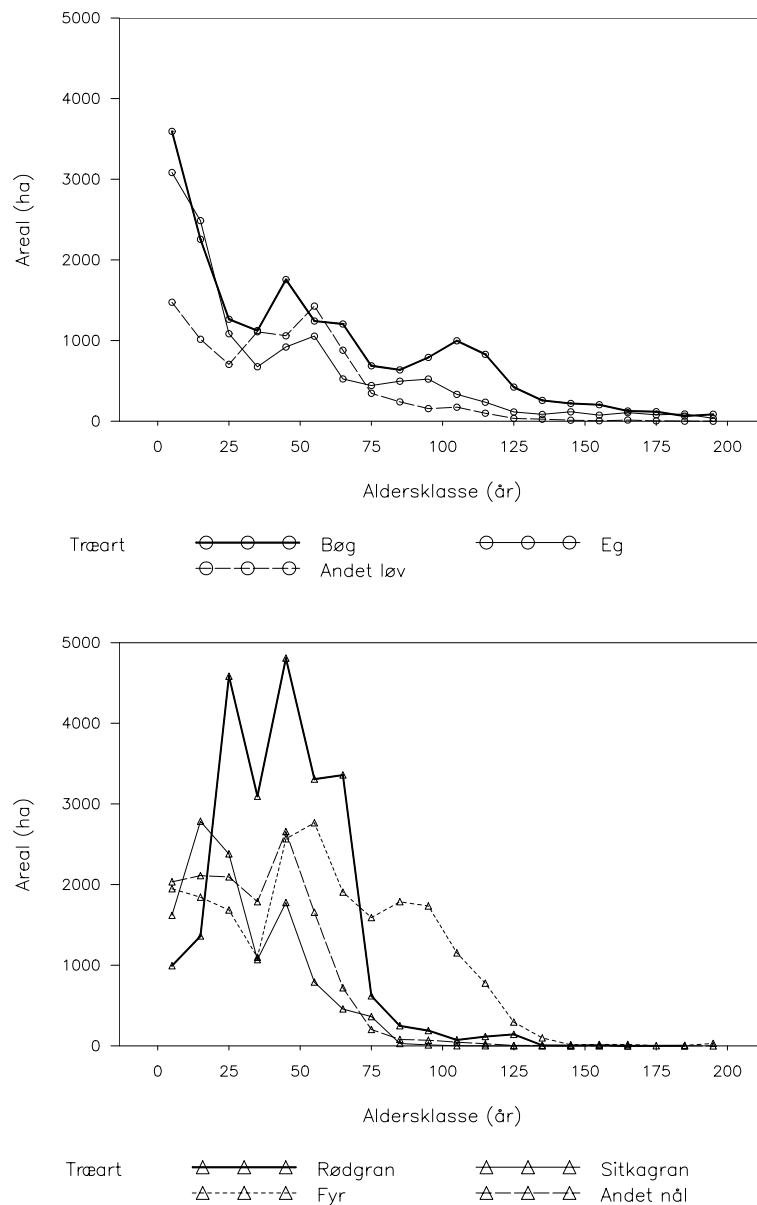
Vi har grupperet lokaliteterne per træart i tre klasser (lave, middelgode, gode boniteter) så at alle tre klasser har cirka det samme areal (Tabel 2). Bonitetsklasserne blev brugt til at håndtere forskelle i behandlingerne mellem klasserne (f.eks. omdriftstiderne).

Tabel 2. Produktionsklassegruppering.

Nr.	Træartsgruppe	PK-grænser for middelgode boniteter
1	Bøg	8 – 10
2	Eg	5 – 6
3	Ask	5 – 6
4	Ær	7 – 10
5	Andre løvtræarter	4 – 6
6	Rødgran	10 – 12
7	Sitkagran	8 – 10
8	Ædelgran	11 – 13
9	Fyr	3 – 5
10	Andre nåletræarter	8 – 12

Bevoksningslisten 2004 dækker et bevokset areal på 109.069 ha med 55.450 bevoksninger. Træartssammensætning af hele arealet er vist i Tabel 3, aldersklassesammensætningen i Figur 1.

Bevoksningskvotienten var i gennemsnit 0,96 – 0,97.



Figur 1. Aldersklassefordeling i statsskovene i 2004.

Artikel 3.4 i Kyotoaftalen er relateret til skovarealer, som var skovbevokset den 1. januar 1990. Derfor skal skovrejsningsarealer efter 1. januar 1990 ikke inkluderes i beregningen. I bevoksningslisten 2004 er kun skovrejsningsarealer efter 1993 markeret (1498 ha i alt, 263 ha bøg, 465 ha eg). Derfor har vi valgt at anvende hele skovarealet i beregningerne og vise det mulige bidrag fra skovrejsningsarealerne i et scenario, hvor skovrejsningsarealer efter 1993 er ekskluderet.

Tabel 3. Træartssammensætning i statsskovene i 2004.

Træartsgruppe	Arealandel (%)	Vedmasseandel (%)
Bøg	16,8	21,1
Eg	11,8	6,5
Ask	1,5	1,0
Ær	1,4	1,0
Andre løvtræarter	5,2	2,9
Rødgran	21,0	26,0
Sitkagran	10,4	11,2
Ædelgran	6,8	7,3
Fyr	19,6	16,8
Andre nåletræarter	5,6	6,2
Ukultiveret	0,8	0,0

2.2 Scenarier

Ved hjælp af hugstmodellerne (afsnit 3.3) og vækstmodellerne (afsnit 3.4) blev bevoksningslisten fremskrevet over de næste 100 år. Bevoksningslisten blev opdateret i 5-årige intervaller, hvor vedmassen bliver korrigeret for tilvæksten i den foregående periode og hugsten til tidspunktet. Vedmassen angiver derfor vedmassen efter hugst.

To grundlæggende scenarier simulerede hhv. naturnær og traditionel skovdrift.

Traditionel skovdrift er her defineret som den praktiseredes i perioden 1990 – 1999, dvs. før stormfaldet 1999 og den efterfølgende begyndende konvertering til naturnær drift.

Ni enkelte naturnære tiltag blev simuleret i ellers traditionel drevet statsskov for at analysere bidraget af de enkelte tiltag til helheden og er beskrevet i detalje i afsnit 3.6. For at analysere effekten af et større stormfald blev scenario 'Naturnær skovdrift' gentaget med et stormfald i 2019. For at analysere bidraget af skovrejsningsarealerne til kulstofbindingen blev scenario 'Naturnær skovdrift' gentaget uden skovrejsningsarealer efter 1993. I alt blev 13 scenarier beregnet.

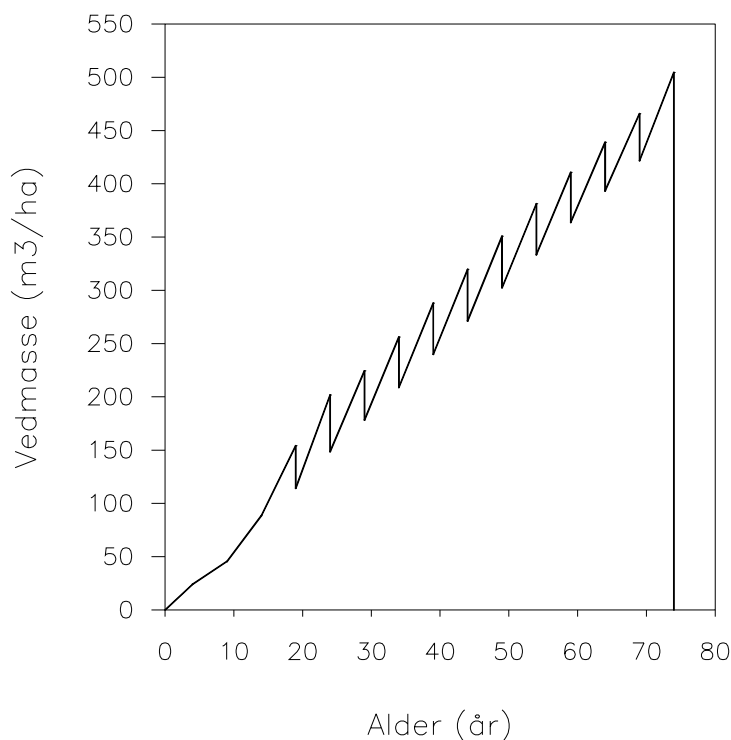
Ukultiverede arealer i 2004 blev inden simulationsstart genkultiveret med den hyppigste træart i skoven og tilhørende produktionsklasse.

2.2 Hugstmodeller

Vi har desværre ikke kunnet basere hugstmodellerne på data fra statsskovene, fordi data fra 1990 – 1999 ikke er tilgængelige. Vi har derfor etableret hugstmodeller som samlet simulerer en hugstmængde for statsskoven der svarer til kendte hugstmængder. I 1998 og 1999 blev hhv. 466.000 og

445.000 m³ hugget i alt. Pga. stormen den 3. december 1999 var hugsten i 2000 1.029.000 m³.

I vores hugstmodel begynder tyndingen ved 20% af omdriftsalderen. Tyndingen fjerner 60% af den løbende tilvækst (I tilvækstoversigten for rødgran af C.M. Møller bliver 70% af den løbende tilvækst fjernet). Ved renafdrift bliver hele vedmassen fjernet ved omdriftsalderen. Et eksempel for en bevoksningsudvikling med denne hugstmodel er gengivet i Figur 2.



Figur 2. Udvikling af vedmasse i rødgranbevoksning (PK 13).

Renafdrift er standardmetoden til foryngelse i det traditionelle scenario. Omdriftstiderne er fremstillet i afsnit 3.6.1. Efter renafdrift genkultiveres med samme træart, samme bevoksningskvotient, samme produktionsklasse og alder 2 år for løv eller alder 4 år for nål. Der tages ikke hensyn til foryngelse registreret i bevoksningslisten.

Skærmforyngelse anvendes i traditionel drift for bøg og i naturnær drift for bøg, rødgran, ædelgran og sitkagran. Skærmperioden varer 20 år, omfatter 5 hugster og afsluttes ved omdriftsalderen. Skærmen bliver reduceret med 20%, 25%, 33%, 50%, 100% hhv. i de 5 hugster. Bevoksningskvotienten og dermed tilvæksten reduceres tilsvarende. Foryngelsen etableres efter anden hugst på samme måde som efter renafdrift.

Overstandere og andre mindre indblandinger (indblandingsprocent = 0) vokser ikke i vores scenarier, bliver ikke tyndet og kun afdrevet ved omdriftsalder + 30% (dog omdriftsalder + 80% for bøg og eg).

I 2004 blev kun bevoksninger over omdriftsalderen renafdrevet. Bevoksningslisten antages at være opdateret for tilvækst og hugst i den foregående periode. Den samlede hugst i 2004 blev fordelt over en 5-årig periode (2000 – 2004) fordi hugstmængden ellers ville være urealistisk høj

pga. justeringen af omdriftsalderen. Hugstmængden i 2000 – 2004 svarer til den gennemsnitlige årlige hugstmængde før 1999.

Urørte skove (3946 ha urørt skov, 5567 ha biodiversitetsskov, dvs. plukhugst, græsningskov, stævningsskov) vokser i scenarierne, men hugges ikke. I det traditionelle scenario er 8,5% af arealet derfor uden hugst.

2.3 Vækstmodeller

Fremskrivning af bevoksningslisten ved hjælp af vækstmodellerne følger metoden fra Larsen & Johannsen (2002) og Johannsen (2002).

Der er anvendt matematiske modeller af allerede publicerede produktionsoversigter (Skov- og Naturstyrelsen, Skovbrugstabeller 1990). Modellerne er leveret af Skov- og Naturstyrelsen, mens vi har forestået selve beregningerne. Tabel 4 angiver tilvækstoversigterne for de enkelte træartsgrupper og bonitetsklasser.

Under minimum alder af tilvækstoversigten har vi benyttet lineær interpolation mellem minimum alder og alder 0 med vedmasse 0. Over maksimum alder af tilvækstoversigterne har vi benyttet tilvæksten fra maksimum alder. Den totale vedmasse blev estimeret til at være 3% højere end den salgbare vedmasseberegnet ud fra tilvækstoversigterne. Tilvæksten blev korrigeret med bevoksningskvotienten fra bevoksningslisten 2004.

Tabel 4. Tilvækstoversigter.

Træartsgruppe	Træartsgruppe	Tilvækstoversigt
1	Bøg	C.M. Møller (1933)
2	Eg	C.M. Møller (1933)
3	Ask	C.M. Møller og C. Nielsen (1959)
4	Ær	V. Kjølby (1958)
5	Andre løvtræarter	C.M. Møller (1933) for bøg
6	Rødgran	C.M. Møller (1933) hvis PK > 12 G. West-Nielsen (1950) hvis PK < 12 S. Magnussen (1983) for Falster distrikt
7	Sitkagran	H. A. Henriksen (1958)
8	Ædelgran	H. A. Henriksen (1957)
9	Fyr	K.F. Madsen for skovfyr
10	Andre nåletræarter	C.M. Møller (1933) for rødgran hvis PK > 12 G. West-Nielsen (1950) for rødgran hvis PK < 12

2.4 Omregning af vedmasse til kulstof i biomassen

Omregning fra vedmasse til biomasse og kulstof følger metoden fra Larsen & Johannsen (2002) og Johannsen (2002).

På baggrund af de beregnede vedmasser har vi beregnet hvor meget kulstof, der er bundet i træerne. For at omregne m³ stammemasse for nåletræ og salgbar vedmasse for løvtræ til ton kulstof i den totale biomasse (stamme, grene, kviste, blade/nåle, stød og rødder) anvendes et sæt af omregningsfaktorer som angivet i Tabel 5 og Tabel 6. Først omregnes den salgbare vedmasse fra m³ til ton. Der er anvendt artsspecifikke danske rumtæthedsfaktorer som angivet i Tabel 5.

Derefter multipliceres med den såkaldte ekspansionsfaktor (i Tabel 6) for at få den totale biomasse. I dette tilfælde er ekspansionsfaktorerne for løv- og nåletræ baseret på værdier fundet i litteraturen. Kulstofindholdet er ret præcist halvdelen af vægten. For at omregne den bundne mængde kulstof til en tilsvarende mængde CO₂, ganges kulstofmængden med forholdet mellem CO₂ molekylets og kulstofatomets vægt (44/12). Ved at anvende omregningsfaktorerne fremkommer et overslag over mængden af CO₂, som er bundet i de forskellige træarter.

Tabel 5. Rumtæthed for danske skovtræarter (efter Moltesen 1988).

	Rumtæthed (t tørstof/m ³ frisk volumen)
Rødgran	0,38
Sitkagran	0,37
Ædelgran	0,38
Douglasgran	0,41
Skovfyr	0,43
Bjergfyr	0,48
Contortafyr	0,37
Lærk	0,45
Bøg	0,56
Eg	0,57
Ask	0,56
Ahorn (Ær)	0,49

Tabel 6. Omregningsfaktorer fra vedmasse til kulstof (efter Nihlgård *et al.* 1977, Schöne & Schulte 1999, Vande Walle *et al.* 2001).

	Løvtræ	Nåletræ
Ekspansionsfaktor (t total biomasse/t total vedmasse)	1,2	1,8
Kulstofindhold (t C/t total biomasse)	0,5	0,5
CO ₂ indhold (t CO ₂ /t C)	3,67	3,67

2.5 Planer for omstilling til naturnær drift

Skov- og Naturstyrelsen har i december 2004 fremlagt en handlingsplan for omstilling af statsskovene til naturnær skovdrift (S&N 2004).

Handlingsplanen beskriver målene og planlægningsprocessen, men kan ikke bruges alene til en kvantitativ beskrivelse af overgangen til naturnær drift i statsskovene. Vi har derfor sammen med Mads Jensen fra Driftsplankontoret den 7. december 2004 sat tal på en række naturnære tiltag, som vi forventer vil have effekt på kulstofbindingen (Tabel 7). Vores antagelser om overgangen til naturnær drift er dokumenteret i de følgende afsnit 3.6.1 - 3.6.10.

Tabel 7. Forventede effekter af overgangen til naturnær skovdrift på kulstofbindingen.

Naturnær tiltag	Effekt på biomasse tilvækst	Effekt på hugst (reduktion i bio- masse)	Effekt på kulstof i jorden	Samlet Effekt på CO ₂ - binding
Længere omdrifter	-	-	+	+
Naturlig foryngelse, vedvarende skovdække	+	0	+	+
Konvertering af pyntegrønt til skov	+	0 (-)	+	+
Dødt ved	0	-	+	+
Konvertering til urørt skov	+	-	+	+

Mindre jordbearbejdning	0	0	+	+
Mindre dræning	-	0	+	+ / 0
Træartsskifte nål til løv	0	-	-	+ ?
Hugststyrke, hugstmåde	?	?	+ ?	0 / - ?
Blandskov	+ ?	+ ?	?	0 / + ?
Konvertering til plukhugstdrift	0	0 / +	?	0 / -
Græsningsskov	-	+	-	-
Fri succession, ekstensiv foryngelser	-	0	-	-
Rydning af skov til åbne arealer	-	+	-	-

2.5.1 Omdriftsforlængelse

Omdriftstiderne er ikke fastlagt for hele statsskovarealet, men bestemmes for de enkelte bevoksninger, når de nå hugstmodenheden. I vores scenarier opererer vi med faste omdriftstider per træartsgruppe og bonitetsklasse.

For at bestemme omdriftstider i den nuværende, traditionelle drift har vi sammenlignet bevoksningslisterne fra 1990, 1995, 1999 (modtaget af Bjørn Ole Ejlersen, Driftsplankontoret, 7. december 2004). Vi har fremskrevet aldersklassefordelingen per træart fra 1990 og 1995 til hhv. 1995 og 1999 og sammenlignet den fremskrevne med den faktiske aldersklassefordeling for at finde huggede bevoksninger og deres alder. Vi har også inddraget aldersklassefordelingen for træartsgrupperne og bonitetsklasser fra bevoksningslisten 2004 i bestemmelsen af omdriftstider, for at undgå at vores scenarier hugger store arealer med gamle bevoksninger i en simuleret tilpasning af omdriftstiderne. De resulterende estimater for aktuelle omdriftstider er sammenstillet i Tabel 8 under scenario 'traditionel'. For Nobilis har vi brugt en omdriftstid på 60 år, for nordmannsgran generelt 30 år, men 80 år for de arealer som var ældre end 30 år i 2004.

Omdriftsforlængelsen i den naturnære drift blev fastlagt i relation til nuværende omdriftstider (Tabel 8).

Tabel 8. Gennemsnitlige realiserede omdriftstider ved traditionel drift og forventede omdriftstider ved naturnær drift.

Træarts- gruppe	Træart	Scenario	Omdriftstid (år) lave boniteter	Omdriftstid (år) middelgode boniteter	Omdriftstid (år) gode boniteter
1	Bøg	Traditionel	140	130	120
		Naturnær	150	140	130
2	Eg	Traditionel	180	160	140
		Naturnær	180	170	150
3	Ask	Traditionel	100	90	80
		Naturnær	100	90	80
4	Ær	Traditionel	140	125	110
		Naturnær	150	135	120
5	Andet løv	Traditionel	100	90	80
		Naturnær	100	90	80
6	Rødgran	Traditionel	110	90	70
		Naturnær	130	110	90
7	Sitkagran	Traditionel	90	80	70
		Naturnær	100	90	80
8	Ædelgran	Traditionel	100	90	80
		Naturnær	120	100	90
9	Skovfyr	Traditionel	150	130	110
		Naturnær	150	130	110

9	Bjergfyr	Traditionel	140	110	80
		Naturnær	140	110	80
9	Contortafyr	Traditionel	80	75	70
		Naturnær	80	75	70
10	Andet nål	Traditionel	90	80	70
		Naturnær	90	80	70

2.5.2 Træartsskifte

Overgangen til naturnær skovdrift er forbundet med en ændring i træartssammensætning. Forholdet mellem nål og løv skal ændres fra nu 63:37 til 40:60 i løbet af de næste 100 år. Vi har estimeret en træartssammensætning om 100 år som opfylder dette kriterium (Tabel 9).

I vores scenarier bliver træartsgrupperne rødgran, sitkagran og fyr derfor konverteret til løv ved afdrift (Tabel 10). De enkelte bevoksninger til konvertering bliver tilfældig udvalgt. Konverteringen sker med genkultivering efter renafdrift. Ved konvertering til løvtræ bliver PK-værdien justeret med forholdet mellem PK-middelværdien af de to træarter og reduceret til 80% for at tage højde for at nåletræsbevoksninger i dag i gennemsnit findes på lavere boniteter end løvtræsbevoksninger (Tabel 10).

Tabel 9. Ændring i træartssammensætning i statsskovene ved overgang til naturnær skovdrift.

Træartsgruppe	Arealandel 2004 (%)	Forventet arealandel 2104 (%)
Bøg	16,8	28
Eg	11,8	17
Ask	1,5	3
Ær	1,4	3
Andre løvtræarter	5,2	9
Rødgran	21,0	10
Sitkagran	10,4	7
Ædelgran	6,8	7
Fyr	19,6	10
Andre nåletræarter	5,6	6

Tabel 10. Træartskonverteringsfaktorer.

Træartsgruppe	PK- klasse	Bøg	Eg	Ask	Ær	Andet løv (birk)	I alt
Arealandel der konverteres til træart ...							
Rødgran	god	0,40	0	0,10	0,10	0	0,60
	middel	0,45	0,10	0	0	0	0,55
	lav	0	0,25	0	0	0,25	0,50
Sitkagran	god	0,10	0,10	0,08	0,08	0	0,36
	middel	0,10	0,15	0	0	0,05	0,30
	lav	0	0,15	0	0	0,15	0,30
Fyr	god	0,40	0	0,10	0,10	0	0,60
	middel	0,45	0,10	0	0	0	0,55
	lav	0	0,25	0	0	0,25	0,50
Ændring i PK ved overgang til træart ...							
Rødgran		0,65	0,40	0,40	0,62	0,36	
Sitkagran		0,80	0,49	0,49	0,76	0,44	
Fyr		1,80	1,10	1,10	1,70	1,00	

2.5.3 Vedvarende skovdække

Vedvarende skovdække er en vigtig del af den naturnære drift. Renafdrifter skal undgås og erstattes af naturlig foryngelse. I bøg bliver naturlig foryngelse allerede brugt i den traditionelle drift. Udmøntet i vores scenarier betyder vedvarende skovdække derfor alene naturlig foryngelse af nål. Alle rødgran-, sitkagran- og ædelgranbevoksninger, som ikke konverteres til en anden træart, forynges derfor naturligt ved skærmstilling (ca. 200 ha per år). Skærmstillingsmetoden er beskrevet i afsnit 3.3.

Renafdrift fortsættes i træartsgrupperne eg, fyr og andet nål. Samlet svarer det til en forventet reduktion i kultur på renafdrift fra 1500 ha årligt nu til 300 – 400 ha årligt i fremtiden. Kultur under skærm også ved konvertering til andre træarter forventes at tiltage i omfang men er ikke medtaget i vores scenarier.

2.5.4 Ekstensive foryngelser

På cirka halvdelen af det resterende renafdriftsareal (dvs. ca. 150 ha per år) forventes naturlig tilgroning at blive brugt, fortrinsvis på lave boniteter og i nål. Det forventes at naturlig tilgroning fører til en produktionsforsinkelse mellem 0 og 20 år, i middel 10 år. Naturlig tilgroning bruges på 22% af rødgranarealet på lave boniteter og ca. halvdelen af fyrretræsarealet på middelgode og gode boniteter.

I konverteringen af nåletræsarealerne udelukker en række forskellige tiltag hinanden, f.eks. træartsskifte, skærmforyngelse, ekstensive foryngelser, åbne arealer og urørt skov. Det var derfor ikke i alle detaljer muligt at realisere de af Driftsplankontoret estimerede arealer for de enkelte tiltag.

2.5.5 Åbne arealer

6000 ha skal konverteres til åbne arealer i løbet af de næste 100 år: 3500 ha bjergfyr, 1500 ha omorika, og 1000 ha rødgran på lave boniteter. Konverteringen sker som renafdrift ved omdriftsalderen.

2.5.6 Pyntegrønt

Arealet med pyntegrønt reduceres fra nu 3100 ha (1500 ha nobilis, 1600 ha nordmannsgran) til 1000 ha (666 ha nobilis, 334 ha nordmannsgran). Dvs. for resten af arealet med pyntegrønt forlænges omdriftstiden til den, som gælder for træartsgruppen ædelgran.

2.5.7 Dødt ved

Siden 1994 er der som regel blevet efterladt 3-5 store træer/ha i løvtræbevoksningerne som dødt ved ved hovedskovningen. Denne regel anvendes i den kommende naturnære drift for alle bevoksningstyper. I scenarierne efterlades derfor 4% af den stående vedmasse ved hovedskovningen til forfald (16% af den resterende vedmasse ved sidste hugst i skærmforyngelserne).

Scenarierne efterlader dødt ved uden at følge kulstofpuljen videre. Vi har ikke inkluderet modeller, som beskriver nedbrydning af dødt ved og den

tilknyttede frigivelse af kulstof. Kulstof bundet i dødt ved bliver derfor i skovene igennem hele simulationsperioden.

2.5.8 Urørt skov

Der udlægges yderligere 1000 ha urørt skov og 1000 ha biodiversitetsskov i løbet af de næste 100 år, halvdelen i løvtræbevoksninger og halvdelen i nåletræbevoksninger, generelt i de ældste bevoksninger. I vores scenarier har vi derfor i 2004 fredet en del af bevoksningerne med alder over 100 år. Af 2866 ha nål over 100 år blev 35% overført til urørt skov, af 5736 ha løv over 100 år blev 17% overført til urørt skov.

2.5.9 Tynding

Det forventes at nåletræ tyndes hårdere i den naturnære drift, pga. fristillingen af fremtidstræer i stedet for hugst fra neden. Derfor øges i scenarierne tyndingsmængden for nål fra 60% af den løbende tilvækst i de traditionelle scenarier til 80% af den løbende tilvækst i de naturnære scenarier (I tilvækstoversigten for rødgran af C.M. Møller bliver 70% af den løbende tilvækst fjernet). For løvtræ forventes det ikke at tyndingsmængden ændrer sig.

2.5.10 Andre naturnære tiltag

En række andre naturnære tiltag, som vi forventer at have mindre indflydelse på kulstofbindingen kunne ikke kvantificeres og er derfor ikke medtaget i vores scenarier.

Græsningsskoven skal udvides med 1000 ha i løbet af de næste 100 år. En kraftigere hugst og en lidt mindre tilvækst vil her sandsynligvis reducere kulstofbindingen i konverteringsperioden.

Den naturnære skovdrift bygger meget på blandskov. I skovudviklingstypekataloget (S&N 2004) er fremtidens mål beskrevet som 100% blandskov med strukturvariation. Det er imidlertid ukendt om blandskov alene har effekter på kulstofbindingen, som er isoleret fra effekter af vedværende skovdække, træartsskifte eller omdriftsforlængelse. Vi har derfor ikke kvantificeret denne mulige effekt.

Måldiameterhugst bliver introduceret som generelt hugstprincip i foryngelsesfasen i den naturnære drift. Det er usikkert om måldiameterhugst har andre effekter på kulstofbindingen end skærmstillingen. Derfor har vi ikke medtaget måldiameterhugst som enkelttiltag.

Dræning kan have store effekter på kulstofpuljer i både træer og jorden. Handlingsplanen beskriver at grøfterne ikke bliver aktivt lukket. Grøftesystemerne falder naturligt til, men bliver eventuelt oprenset for at sikre stående værdier. Det forventes at 10.000 – 15.000 ha bliver mere våde i løbet af de næste 100 år. Selv om dette tiltag kan have stor betydning for kulstofpuljen, kan vi ikke kvantificere effekterne. Det må også forventes, at øget kulstofbinding i jorden til en vis grad kompenseres ved mindre kulstofbinding i træerne. Endelig forventes det, at forsumpningen først vil have fuld effekt sidst i simulationsperioden .

Jordbearbejdningen har mere indflydelse på kulstofpuljen i jorden end i biomassen. I den traditionelle drift bliver jordbearbejdning brugt i bøg under

skærm og på renafdrift, i alt på ca. 1500 ha. Arealet forventes at være det samme i fremtidens naturnære drift, nu mest under skærm. Men intensiteten reduceres så at det bearbejdede areal reduceres med 50% pga. overgang fra fladebehandling til stribevis eller punktvis behandling.

2.6 Risikoanalyser

Stormfald, brand, insekt- og svampeangreb kan ødelægge dele af skovarealet, sætte kulstof fri og føre til en ændring i aldersklassesammensætningen, som har konsekvenser for kulstofbindingen. Det er desværre ikke – eller kun med meget stor usikkerhed – muligt at forudsige disse store forstyrrelser.

Mindre stormfald, som indtræffer kort før omdriftsalder og ikke overstiger den samlede hugst, kan antages at være inkluderet i scenarierne. Kun større stormfald, som enten rammer mange unge bevoksninger eller overstiger i summen den normale årlige hugst, har en effekt på det samlede resultat af scenarierne, fordi de forandrer aldersklassesammensætningen.

Vi har simuleret to scenarier, som inkluderer stormfald for at vise effekten af stormfald på kulstofbindingen. Begge scenarier tager udgangspunkt i scenario 'Naturnær drift'. Det første scenario simulerer et meget stort stormfald i 2019. Det andet scenario simulerer 10 enkelte store stormfald med ti års mellemrum. Stormfaldene i de to scenarier overstiger enten med deres styrke eller med deres hyppighed stormfaldene fra de sidste 40 år. Vi har valgt disse ekstremer for at vise den maksimale effekt, som stormfald kan forventes at have på kulstofbindingen.

Et meget stort stormfald i 2019 blev simuleret i scenario 'Naturnær drift & stormfald 2019'. I scenariet blev kun nåletræ væltet af stormen. 30% af alle bevoksninger (tilfældig udvalgt) med alder over 65% af omdriftsalderen blev renafdrejet, svarende til fladefald med efterfølgende genkultivering. Dette stormfald resulterede i en gennemsnitlig hugst i 5-års perioden på 1,16 mio. m³/år, hvilket svarer til en stormfaldsmængde på 3,8 gange den normale årshugst i denne periode. Til sammenligning har stormfaldet i december 1999, som var det hidtil største i Danmark og som har ramt statsskovene hårdere end resten af skovarealet, ført til en hugstmængde i 2000 som svarer til det dobbelte af den normale årshugst i statsskovene.

Ti store stormfald blev simuleret i scenario 'Naturnær drift & stormfald'. Stormfaldene blev simuleret hvert tiende år fra 2009 til 2099. Til sammenligning har de sidste fire store stormfald (1967, 1981, 1999 og 2005) haft en gennemsnitlig afstand på 13 år. 10% af alle bevoksninger (tilfældig udvalgt) med alder over 65% af omdriftsalderen blev renafdrejet. Stormfaldene væltede en mængde på cirka 2 gange den normale årshugst i perioden, dog aftagende til 1,5 gange årshugsten i perioden hen mod slutningen af simulationsperioden pga. den aftagende nåletræsandel. Cirka halvdelen af stormfaldsmængden stammer fra de specificerede nåletræsbevoksninger, mens resten sætter sig sammen som den normale årshugst.

Det tilfældige udvalg af bevoksninger i vores scenarier i stedet for et tilfældigt udvalg af vedmasser har til følge at stormfaldsmængderne varierer mellem gentagelser af samme scenario. Variationen er dog så lille, at de ikke har indflydelse på kulstofbindingen i relation til de andre scenarier. Vi har derfor valgt kun at præsentere resultater fra et scenario fremfor gennemsnittet af et antal gentagelser af samme scenario.

3 Resultater

3.1 Kulstofbinding i træernes biomasse

Den forventede kulstof- og vedmassedynamik i statsskovene for de næste 100 år under hhv. traditionel og naturnær drift er sammenfattet i Tabel 11, Figur 3 og Figur 4. I begge figurer kan man tydelig se en fase med betydelig opbygning af vedmasse og dermed kulstofbinding. Derefter opnås en ligevægt mellem faser med nettobinding og nettofrigivelse af kulstof. I Tabel 11 har vi derfor beregnet middelværdier for hele perioden (2004 – 2104), for vedmasseopbygningsfasen (2004 – 2034), for ligevægtsfasen (2034 – 2104) og for en periode som indeholder den første forpligtelsesperiode i Kyotoaftalen (2008 – 2012).

Tabel 11. Sammenligning af kulstof- og vedmassedynamik ved traditionel og naturnær drift.

Periode	Scenario	Nettokulstof- binding (mio. t CO ₂ /år)	Nettoænd- ring i stående vedmasse (mio. m ³ /år)	Hugst (mio. m ³ /år)	Bundet kulstof (mio. t CO ₂)	Stående vedmasse (mio. m ³)
2004- 2104	Traditionel	0,109	0,089	,872	34,7	27,3
	Naturnær	0,091	0,078	0,839	34,3	27,1
	Differens	-0,018	-0,012	-0,033		
2004- 2034	Traditionel	0,320	0,254	0,762	33,8	26,4
	Naturnær	0,303	0,244	0,773	33,1	26,0
	Differens	-0,017	-0,010	0,011		
2034- 2104	Traditionel	0,019	0,019	0,941	35,7	28,2
	Naturnær	0,000	0,006	0,906	35,4	28,1
	Differens	-0,019	-0,012	-0,035		
2009- 2014	Traditionel	0,507	0,399	0,602		
	Naturnær	0,408	0,326	0,677		
	Differens	-0,098	-0,074	0,075		

For de næste 100 år binder statsskovene under traditionel drift 0,109 mio. t CO₂/år og under naturnær drift 0,091 mio. t CO₂/år, hvilket svarer til 83% af den traditionelle drift. Under begge scenarier er kulstofbindingen langt mindre end hidtil antaget (Larsen & Johannsen 2002, Anthon *et al.* 2003, S&N 2004). Naturnær drift, som den er beskrevet i vores scenarier, kan mindske kulstofbindingen i statskovene, uanset hvilken periode man betragter.

Forskellen til tidligere beregninger ligger i at vores scenarier tager højde for den reelle aldersfordeling i skovene, som sammen med omdriftstiderne har meget stor indflydelse på vedmasse- og kulstofniveauet. Det kan illustreres ved at se på aldersklassefordelingen i statsskovene (Figur 1). Især tre afvigelser fra normalskoven har stor indflydelse på vores resultater:

- Der findes en mindre andel rødgran i aldersklassen 0-20 år og sitkagran i aldersklassen 0-10 år end i en normalskov og mere bøg og eg i aldersklassen 0-20 år. Dette er en indikation for et påbegyndt træartsskifte, som kun delvis skyldes skovrejsningen.
- Der findes store arealer i aldersklasserne 20-30 år og 40-50 år for rødgran og 10-30 år for sitkagran. Deres afdrift bevirker store udsving i stående vedmasse, hugst og kulstofbinding.
- Der findes mindre arealer end i en normalskov i alle træartsgrupper, undtagen andet løv, i aldersklassen 30-40 år. Dette er en følge af stormfaldet i 1967.

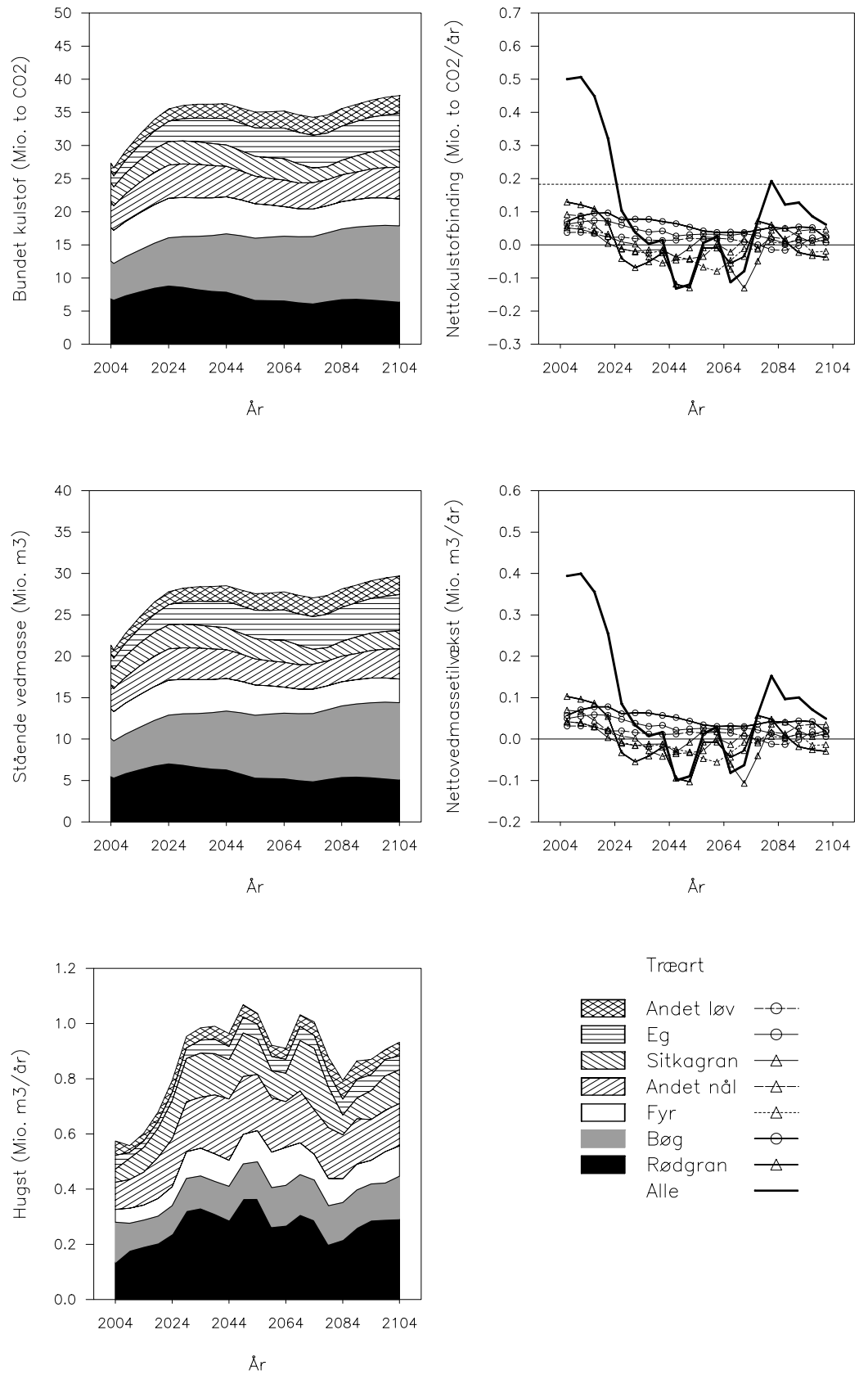
Samlet set har statsskovene en ujævn aldersklassefordeling som også i en fortsat traditionel drift ville føre til store udsving i den stående vedmasse og dermed kulstofbindingen.

Den stående vedmasse stiger i vores scenarier fra 196 m³/ha i 2004 til gennemsnitlig 258 m³/ha og 257 m³/ha i perioden 2034-2104 i hhv. traditionel og naturnær drift, svarende til en stigning på 31% eller 0,6 m³/ha/år. Denne stigning skyldes overvægten af unge aldersklasser i statsskovene i dag. Med tiden vil vedmassen derfor automatisk stige, hvis ikke stormfald eller andre forstyrrelser ændrer aldersklassefordelingen i retning af den nuværende. Tilsvarende stiger hugsten kraftigt for alle scenarier fra et niveau i begyndelsen (2004 - 2009), som svarer til hugsten før stormfaldet 1999, til næsten det dobbelte.

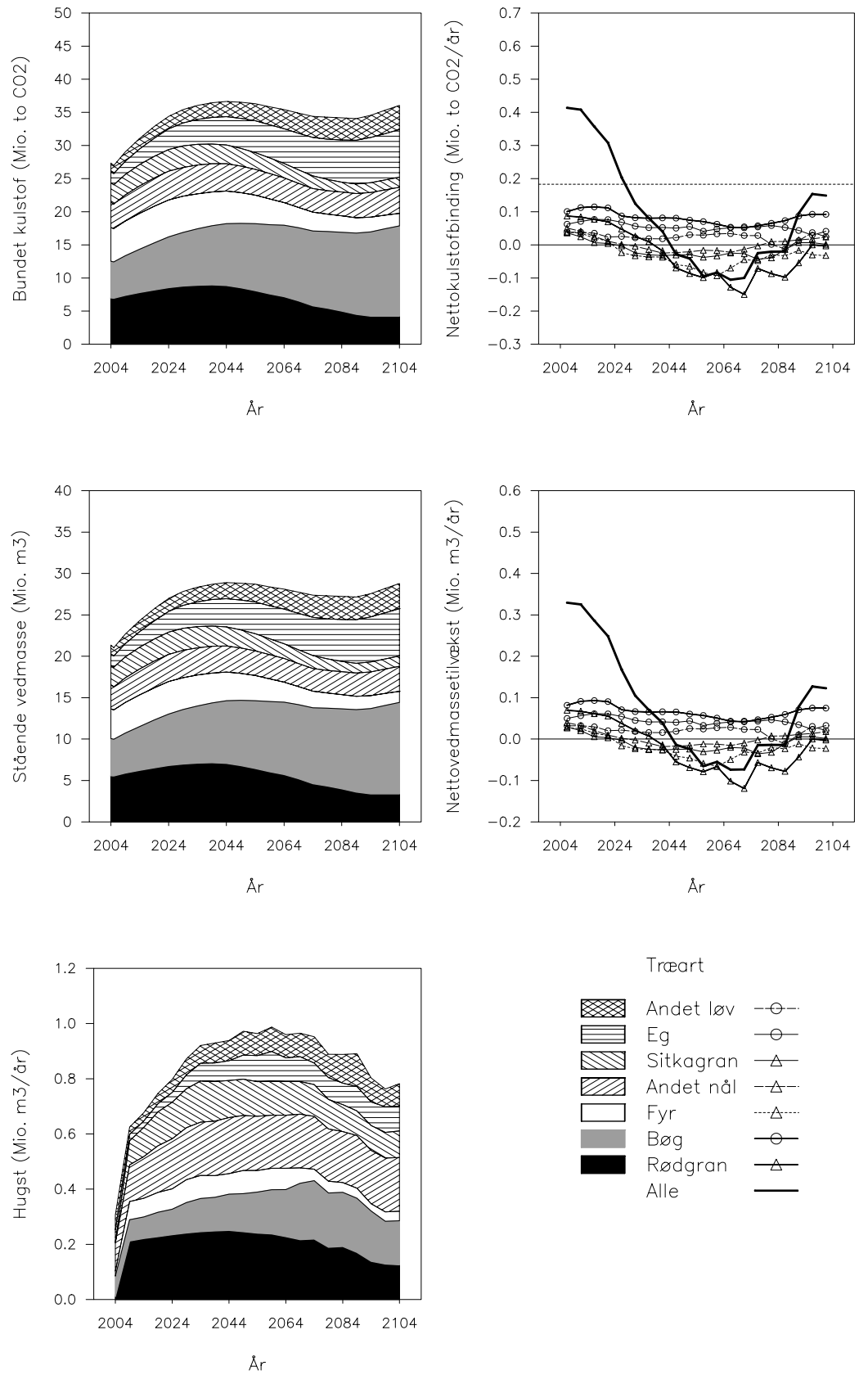
Artikel 3.4 i Kyotoaftalen er relateret til arealer, som har været skov den 1. januar 1990. Derfor skal skovrejsningsarealer efter 1. januar 1990 ikke inkluderes i beregningen. Vi valgte at beregne kulstofbindingen for hele skovarealet fordi vi i bevoksningslisten kun kunne identificere skovrejsningsarealer efter 1993. For at vise størrelsesorden af bidraget fra skovrejsningsarealerne har vi beregnet scenario 'Naturnær drift' i en variant hvor skovrejsningsarealer efter 1993 er ekskluderet. (Figur 5, Tabel 12). Her falder nettokulstofbindingen til 0,084 mio. t CO₂/år, som svarer til 92% af det som vi har beregnet for hele statsskovarealet. I perioden 1994 - 2004 blev 1498 ha bevoksede arealer etableret. I perioden 1990 - 1993 var skovrejsningsintensiteten mindre (Kirkebæk & Thormann 2000), men det bevoksede areal fra skovrejsninger i den periode er ukendt. Hvis man antager at 750 ha fra skovrejsninger i perioden 1990 - 1993 er inkluderet i vores scenarier, kan man estimere at nettokulstofbindingen på skovarealer fra før 1990 er 88% af det som scenario 'Naturnær skovdrift' viser for hele skovarealet (svarende til 0,080 mio. t CO₂/år over hele perioden).

Stormfald og andre forstyrrelser fjerner vedmasse fra skovene og kan ændre alderklassesammensætningen af skovarealet og har dermed betydelig effekt på kulstofbinding i skovene. Vi har derfor beregnet to scenarier hvor effekten af et enkelt meget stort stormfald i 2019 med 3,8 gange den normale årlige hugstmængde og effekten af ti store stormfald med 10 års mellemrum blev simuleret. Resultaterne (Figur 6 & 7, Tabel 12) viser, at stormfaldene fører til en betydelig frigivelse af kulstof i en kort periode. Sammenlignet med samme scenario uden stormfald (Figur 4 & 6) fører et enkelt meget stort stormfald til en forlængelse af perioden med vedmasseopbygning. De ti store stormfald fører til store udsving mellem 5-årsperioder med og uden stormfald sammenlignet med scenariet uden stormfald (Figur 4 & 7) uden at den generelle trend dog ændres. Set over hele den 100-årige simulationsperiode har det meget store stormfald i 2019 ingen effekt på kulstofbindingen og de 10 store

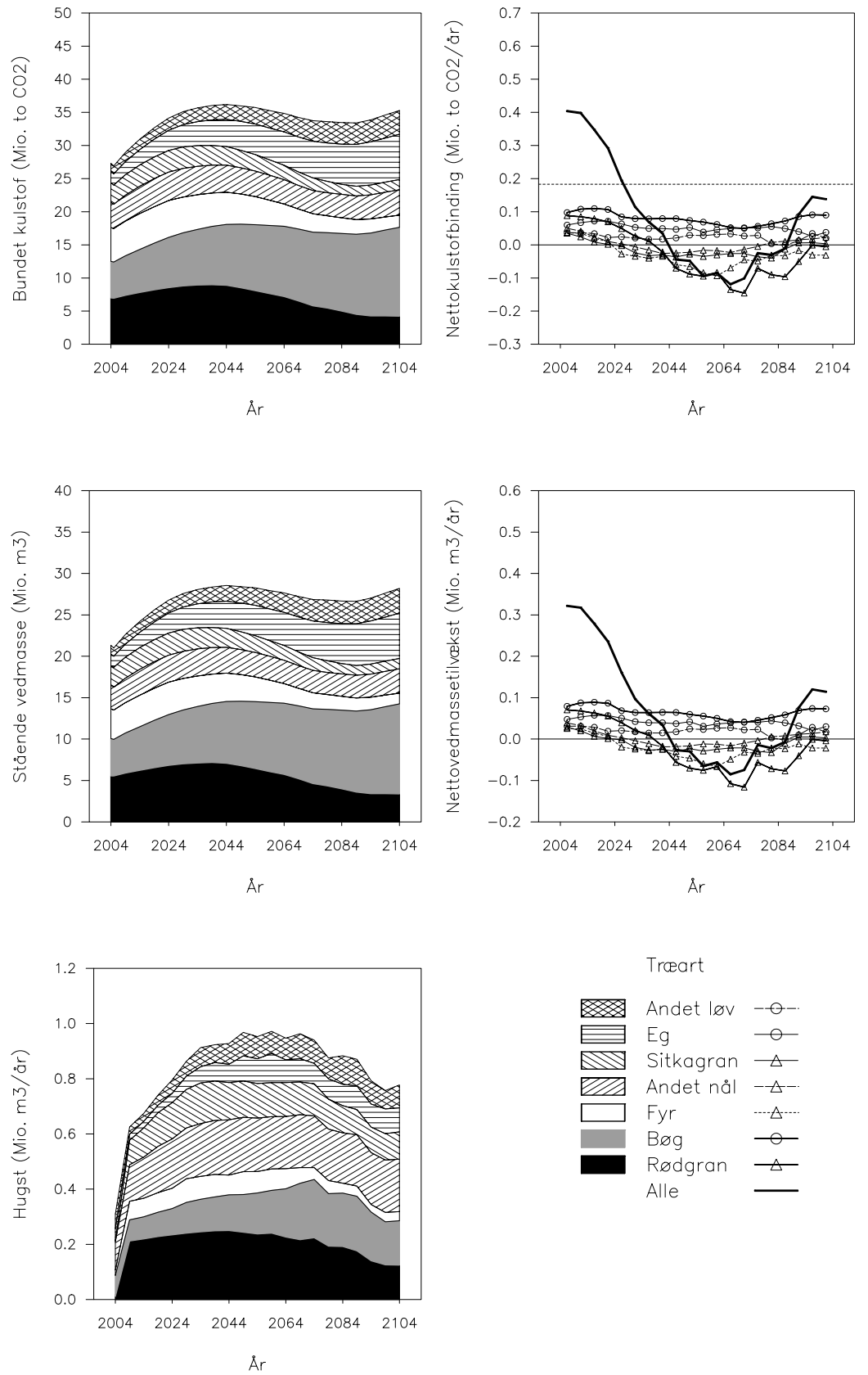
stormfald reducerer kulstofbindingen med 2%. Reduktionen i kulstofbindingen pga. de 10 store stormfald skyldes mest en hurtigere konvertering fra nål til løv forbundet med en reduktion af tilvæksten og dermed vedmassen. I kortere perioder kan stormfaldene dog reducere kulstofbindingen betydeligt.



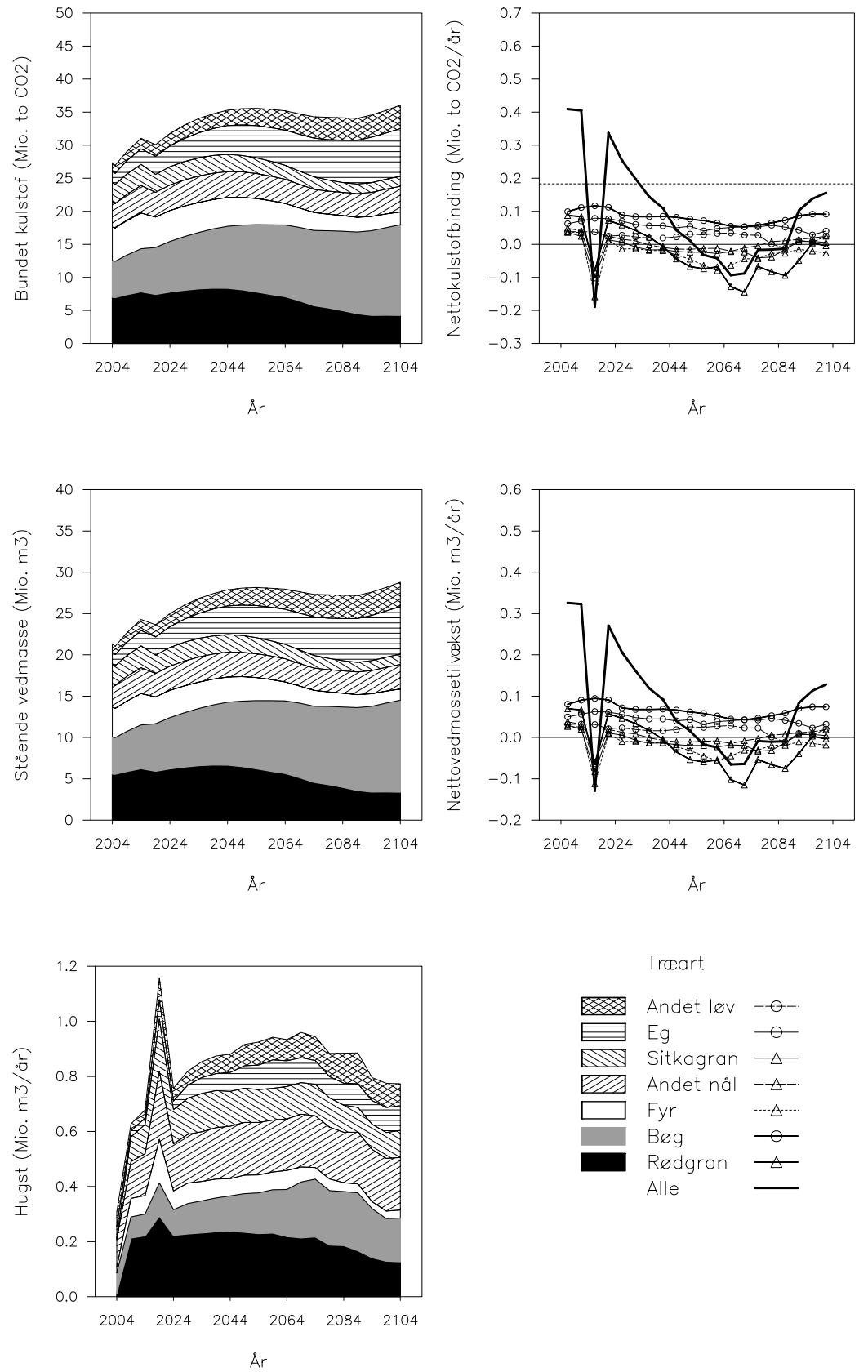
Figur 3. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Traditionel skovdrift'.



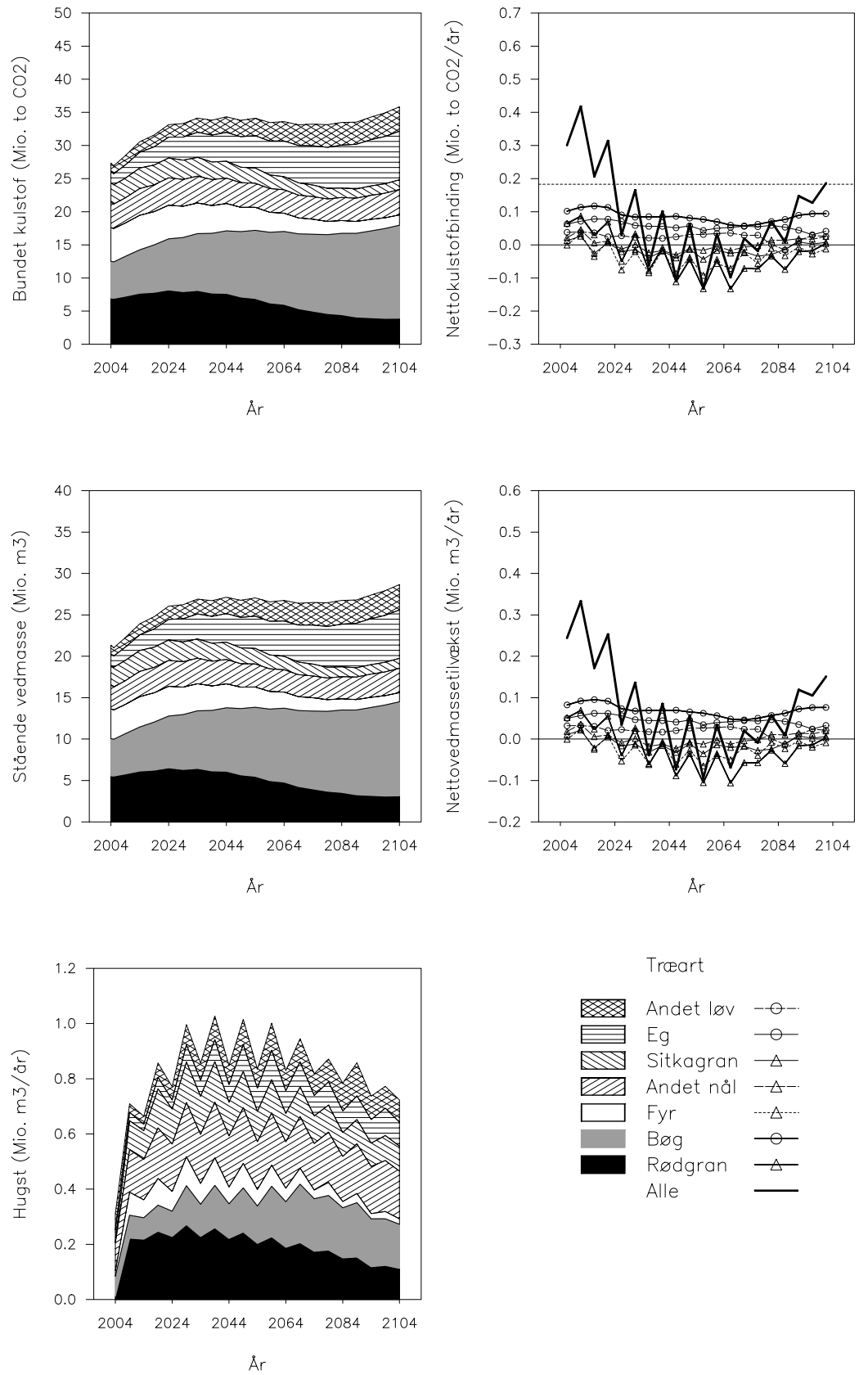
Figur 4. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Naturnær skovdrift'.



Figur 5. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenarion 'Naturnær skovdrift uden skovrejsningsarealer'.



Figur 6. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Naturnær skovdrift & stormfald 2019'.



Figur 7. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Naturnær skovdrift & stormfald'.

3.1.1 Effekt af enkelte naturnære tiltag

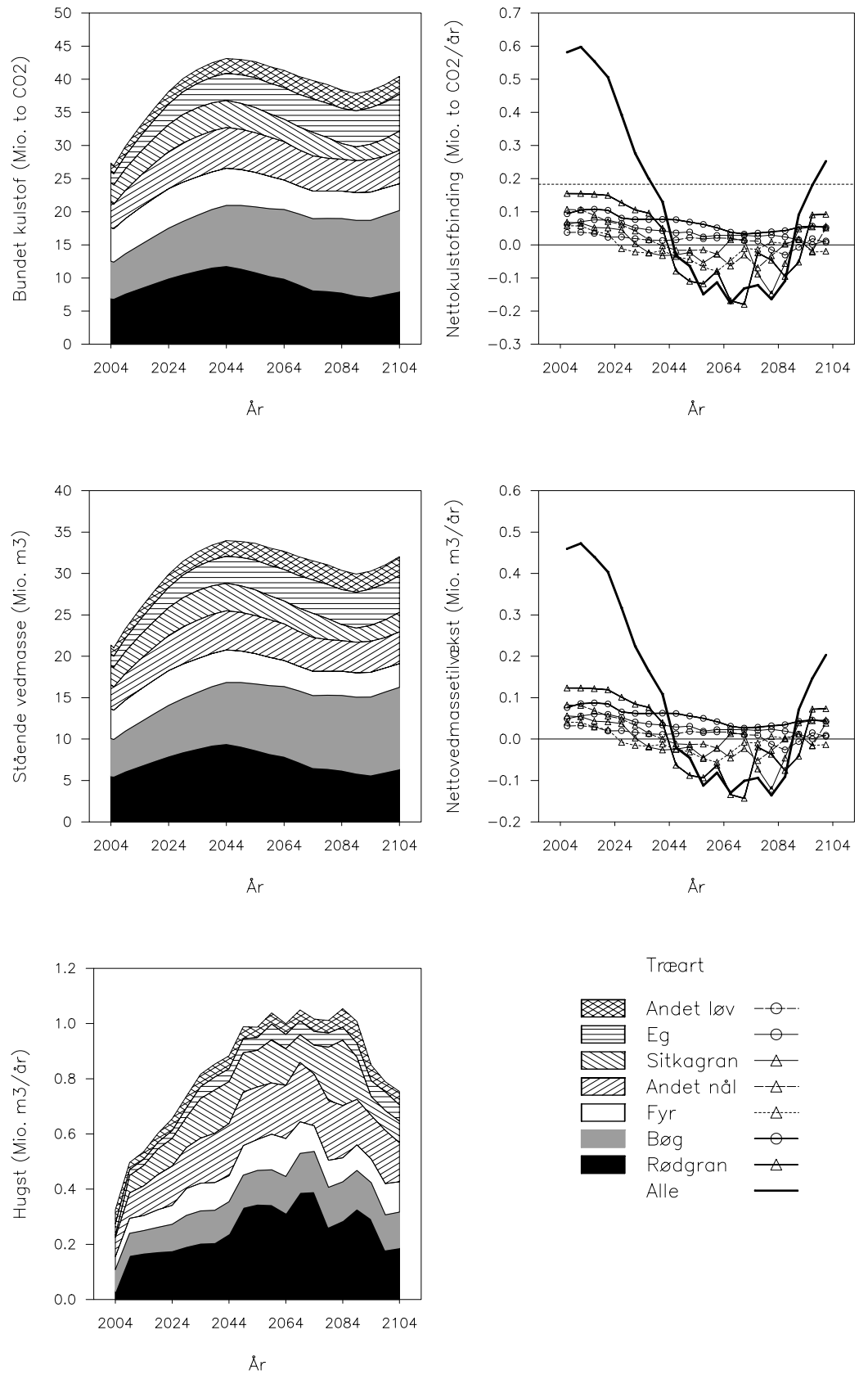
I en sensitivitetanalyse har vi undersøgt effekten af 9 enkelte naturnære tiltag på kulstofbindingen. I hvert scenario blev kun det enkelte tiltag implementeret og ellers holdt driften på den traditionelle måde. Resultaterne er fremlagt i Tabel 12 og Figur 8 - Figur 16 sammen med alle andre scenarier.

Det må pointeres at effekten af de enkelte tiltag ikke er additiv, fordi der eksisterer vekselvirkninger mellem de enkelte tiltag. Det betyder også at scenarier, hvor man fjerner enkelte naturnære tiltag fra en ellers naturnær drift, vil føre til andre bidrag af de enkelte tiltag end dem som er vist i vores resultater.

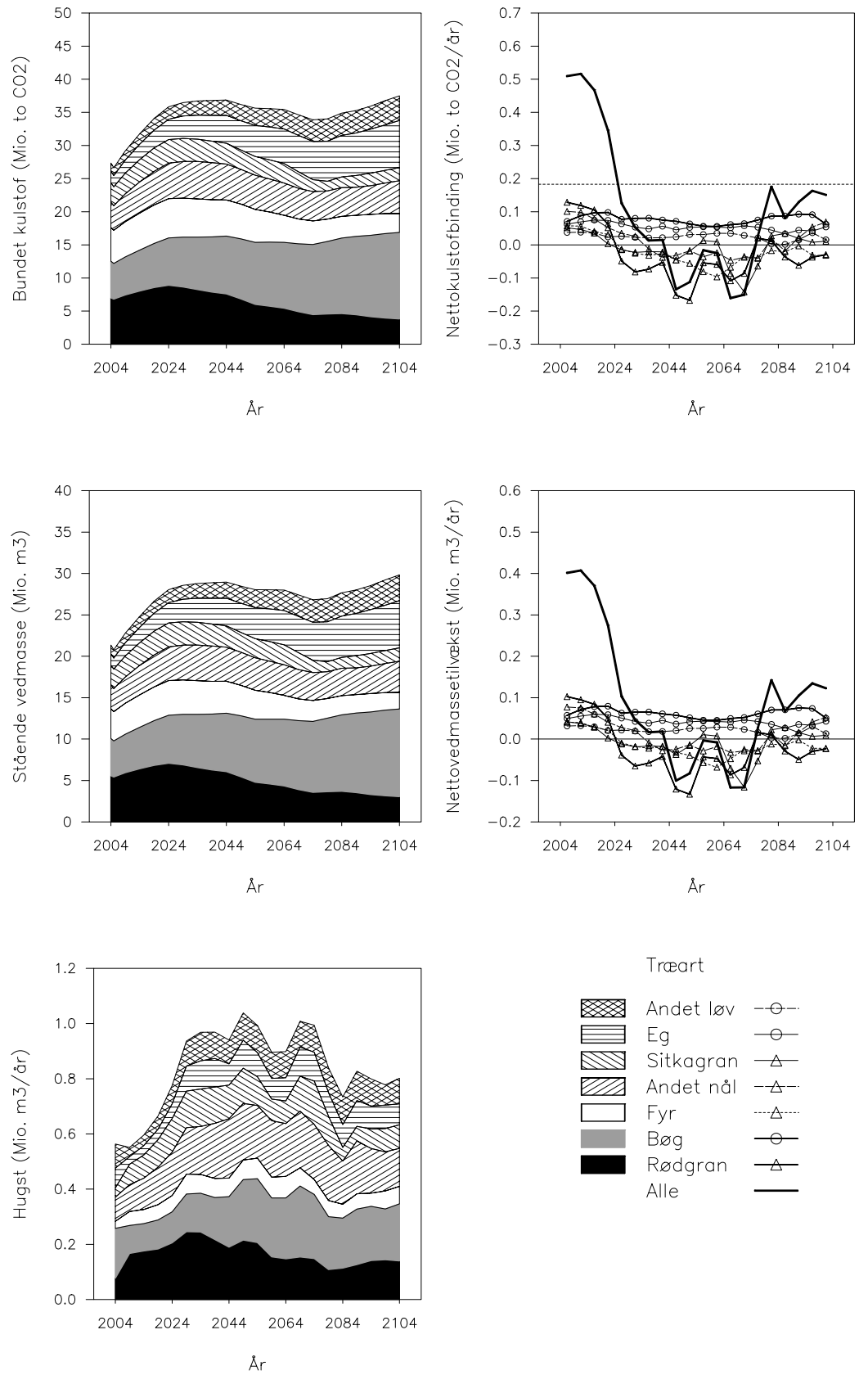
Tabel 12. Effekt af enkelte naturnære tiltag på kulstofbindingen og vedmasseudviklingen.

Scenario	Nettokulstofbinding		Nettoændring i stående vedmasse (mio. m ³ /år)	Hugst (mio. m ³ /år)	Bundet kulstof (mio. t CO ₂)	Stående vedmasse (mio. m ³)
	(mio. t CO ₂ /år)	(%)				
Traditionel drift	0,109	100	0,089	0,872	34,7	27,3
Enkelte naturnære tiltag:						
Omdriftsforlængelse	0,135	124	0,110	0,831	38,7	30,5
Træartsskifte	0,109	99	0,110	0,837	34,8	27,4
Vedvarende skovdække	0,108	99	0,088	0,907	34,5	27,1
Ekstensive foryngelser	0,082	75	0,069	0,845	34,3	27,0
Åbne arealer	0,103	95	0,085	0,865	35,0	27,5
Pyntegrønt til skovtræarter	0,111	102	0,091	0,874	35,1	27,6
Dødt ved	0,124	113	0,101	0,862	35,9	28,2
Urørt skov	0,118	108	0,096	0,860	35,7	28,1
Tynding	0,058	53	0,050	0,911	31,1	24,5
Naturnær drift	0,091	83	0,078	0,839	34,3	27,1
Naturnær drift & stormfald 2019	0,091	83	0,078	0,837	33,6	26,6
Naturnær drift & stormfald	0,089	81	0,076	0,820	33,0	26,1
Naturnær drift, uden skovrejsningsarealer	0,084		0,072	0,832	33,8	26,8

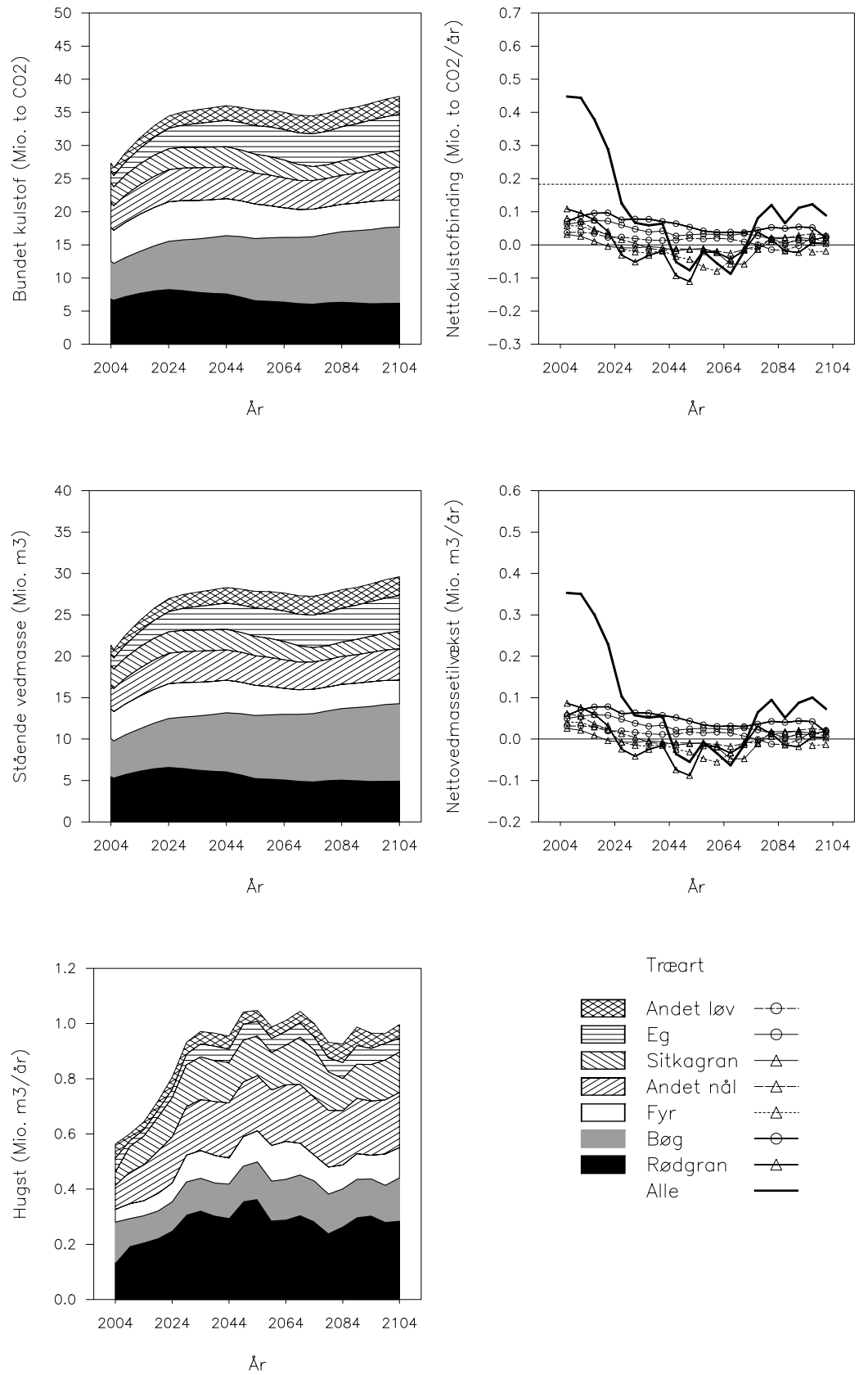
Den største positive effekt på kulstofbindingen i hele perioden har omdriftsforlængelsen (+24%), efterladelse af dødt ved i nåletræsbevoksninger (+13%) og konvertering til urørt skov (+8%). Den største negative effekt har intensiveret tynding i nåletræsbevoksningerne (-47%). Effektens størrelse skyldes dog delvis at nåletræ stadig er dominant i det ellers traditionelle scenario. I det samlede naturnære scenario er bidraget fra mere intensiv tyndede nåletræsbevoksninger mindre. Ekstensive foryngelser (-25%) og konvertering til åbne arealer (-5%) mindsker også kulstofbindingen. Træartsskifte, naturlig foryngelse af nåletræ (vedvarende skovdække) og konvertering af pyntegrønt til skov har kun mindre effekt på kulstofbindingen.



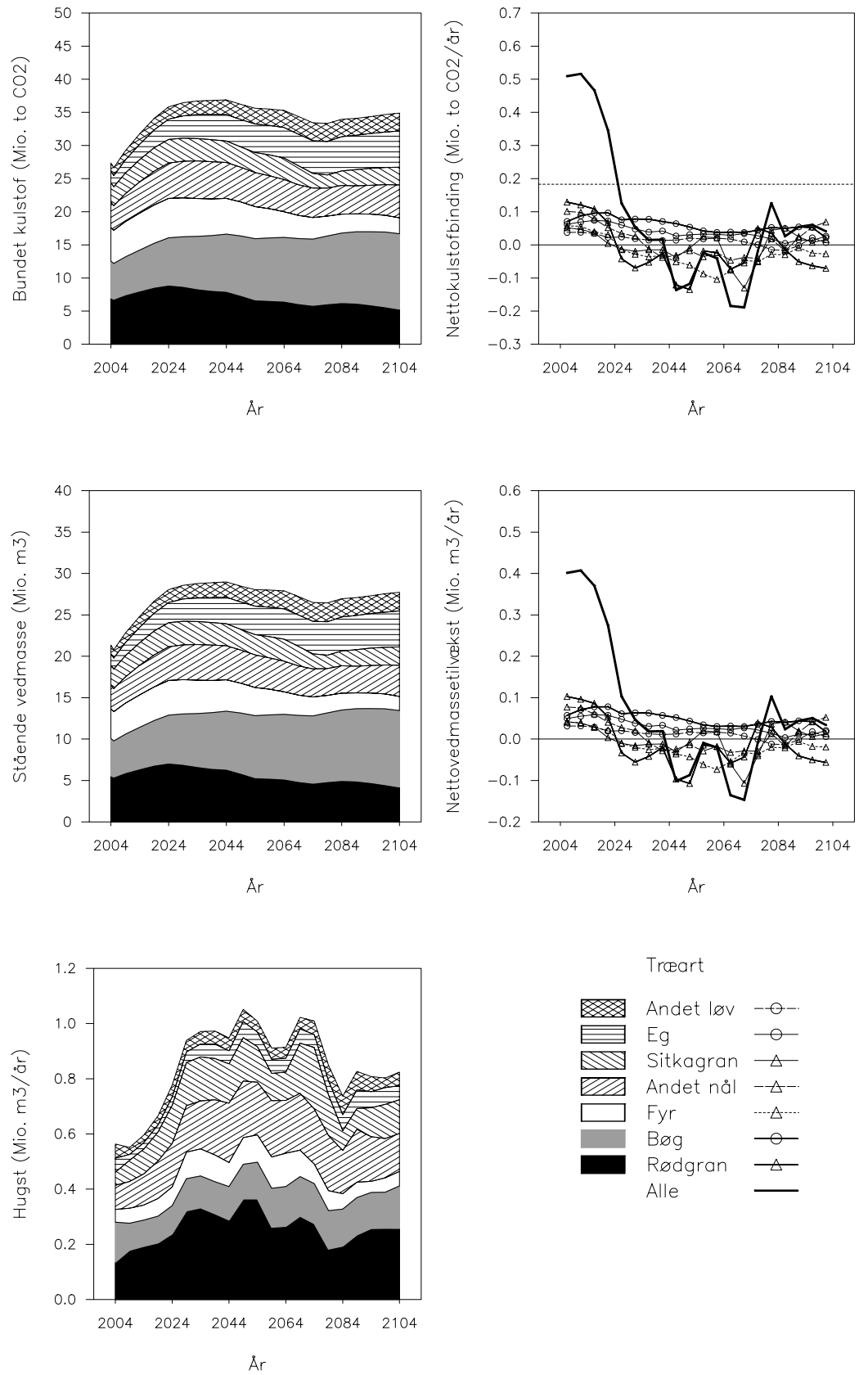
Figur 8. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenarion 'Omdriftsforlængelse'.



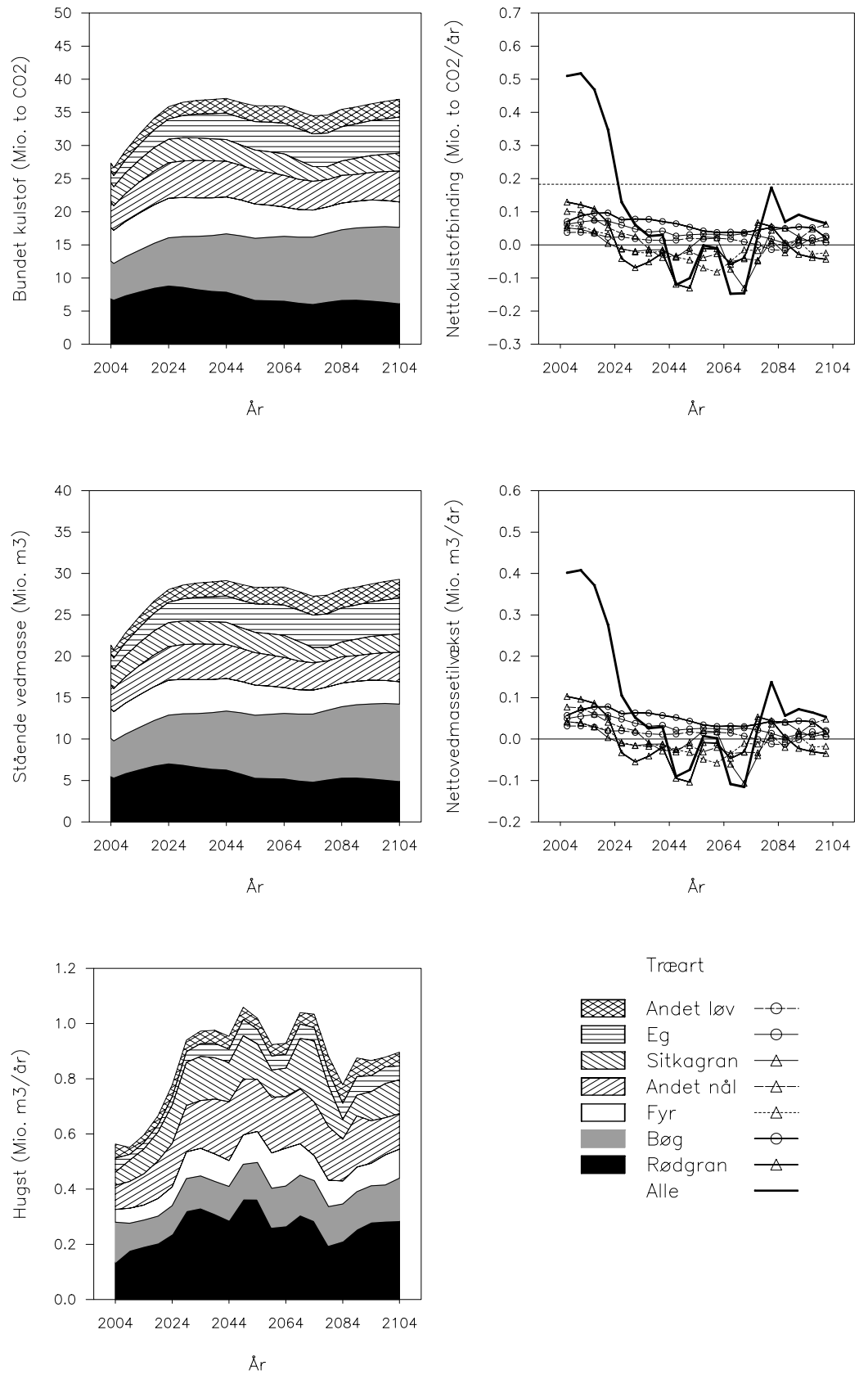
Figur 9. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Træartsskifte'.



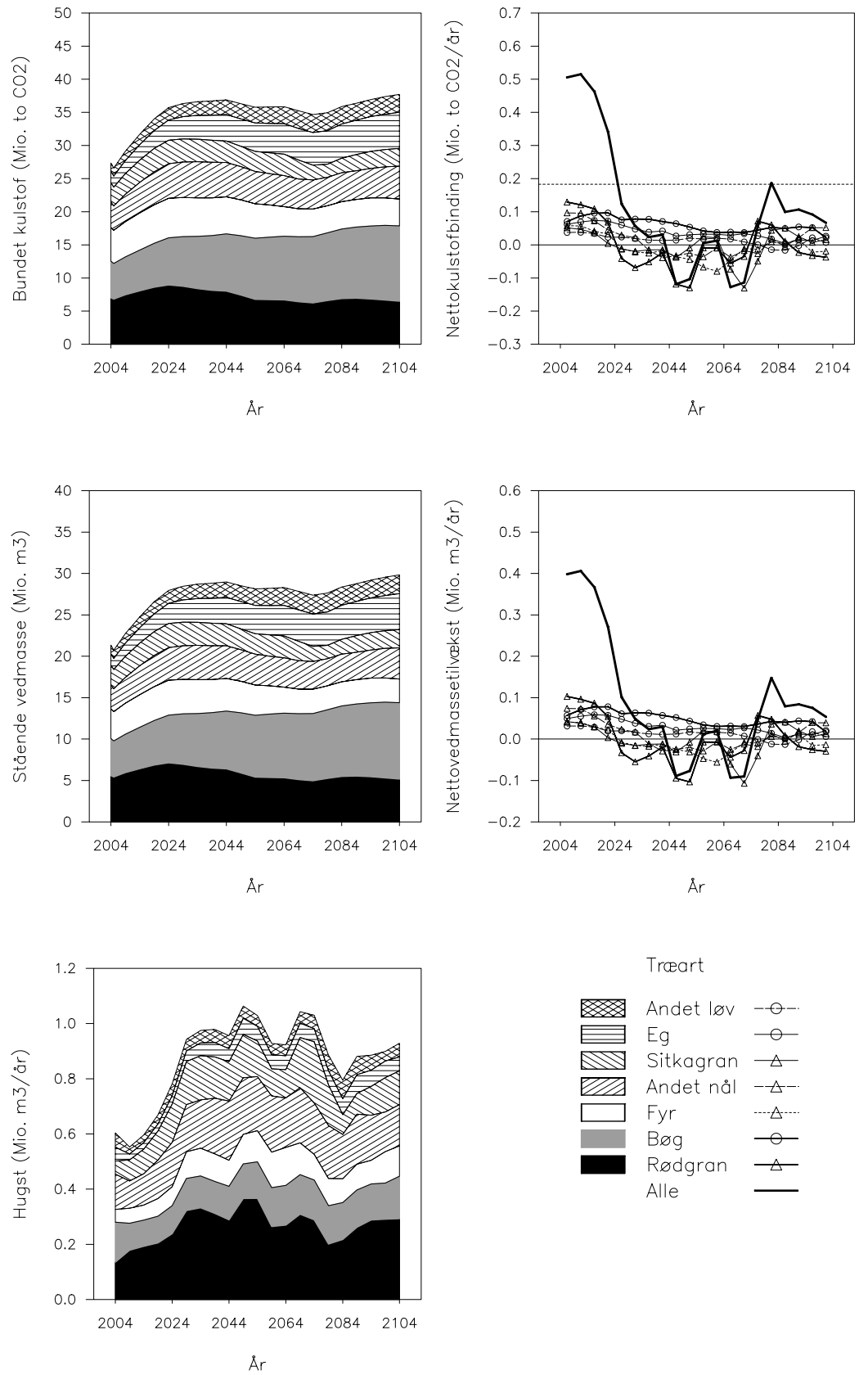
Figur 10. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Vedvarende skovdække'.



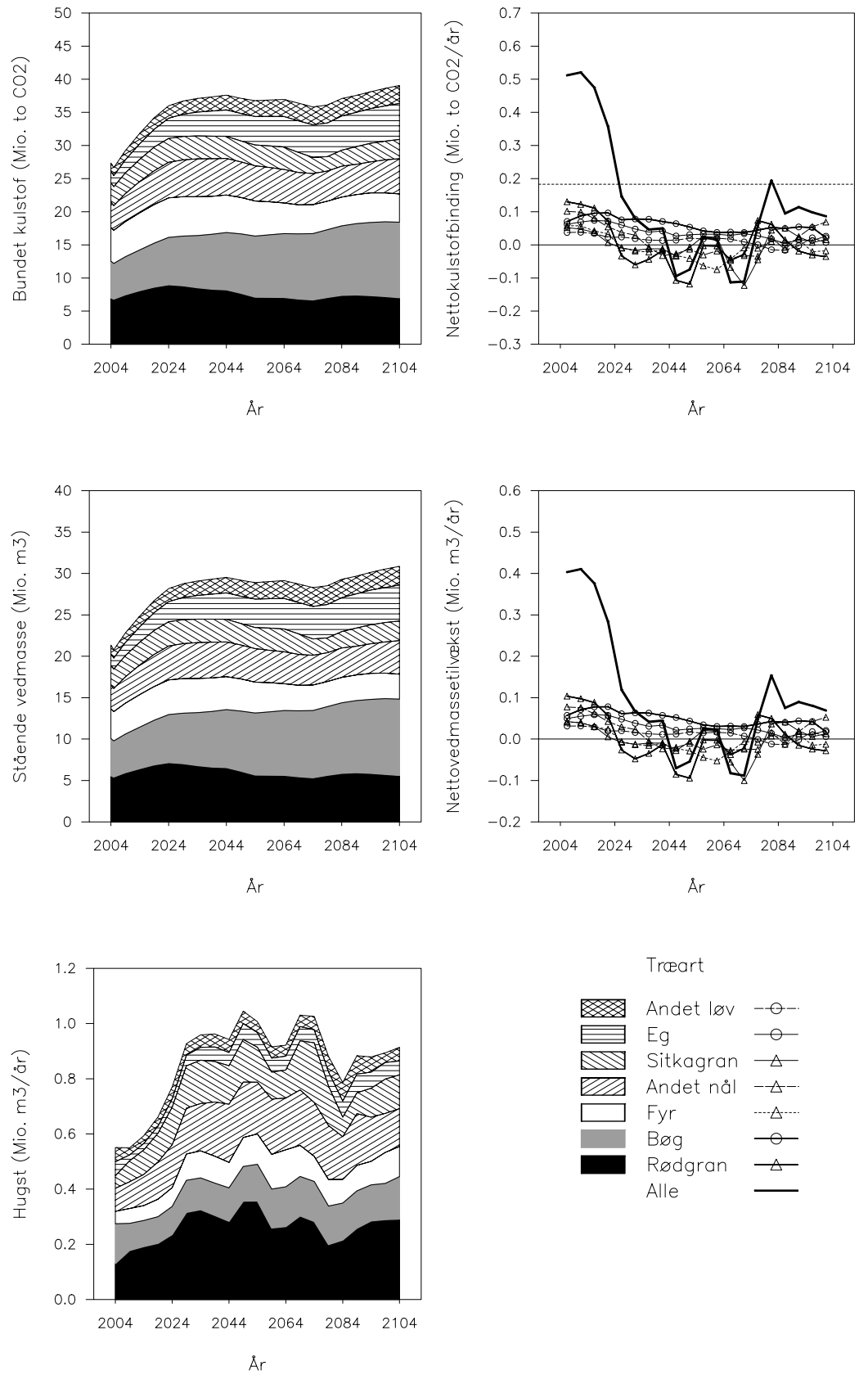
Figur 11. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Ekstensive foryn- gel ser'.



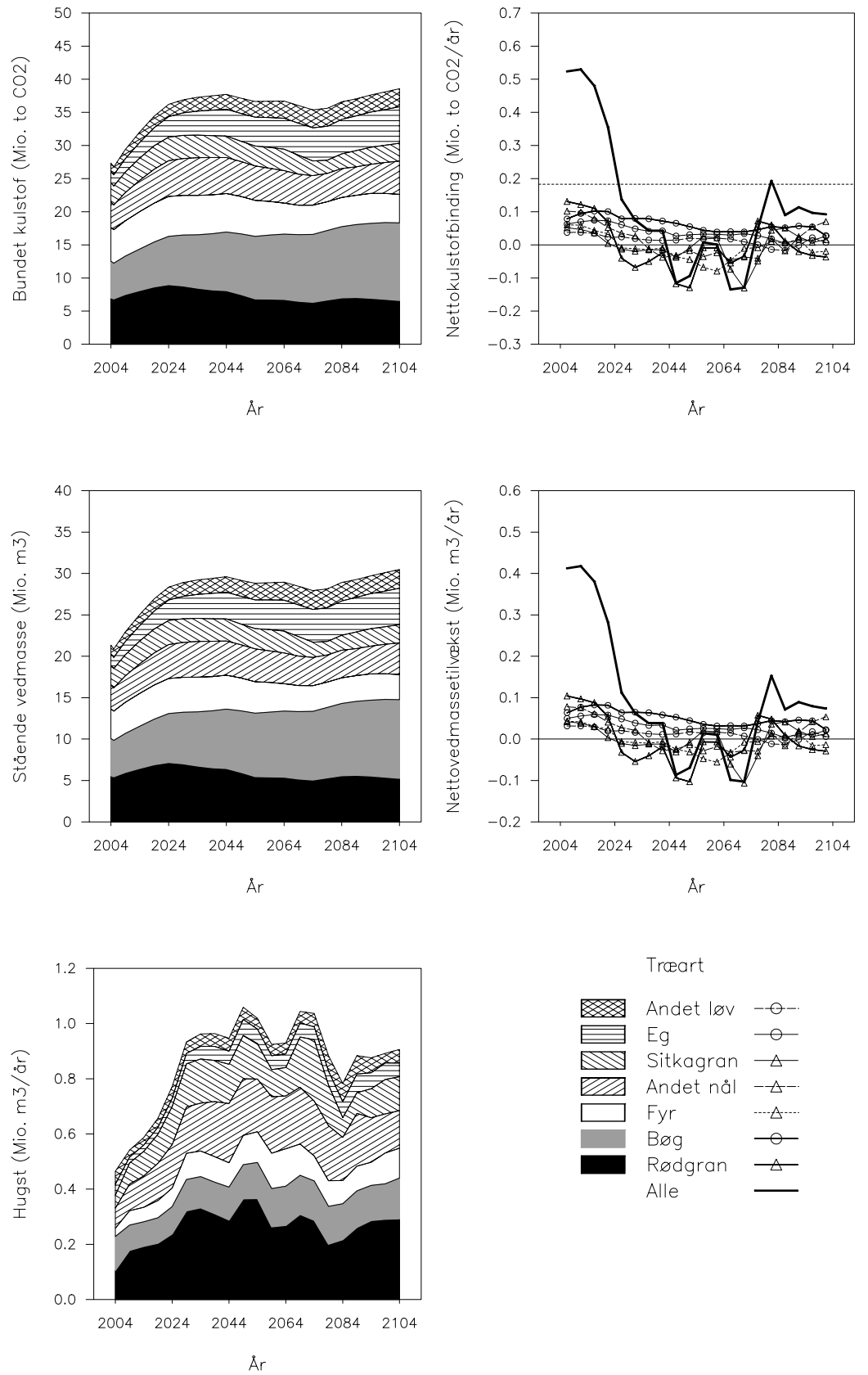
Figur 12. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Åbne arealer'.



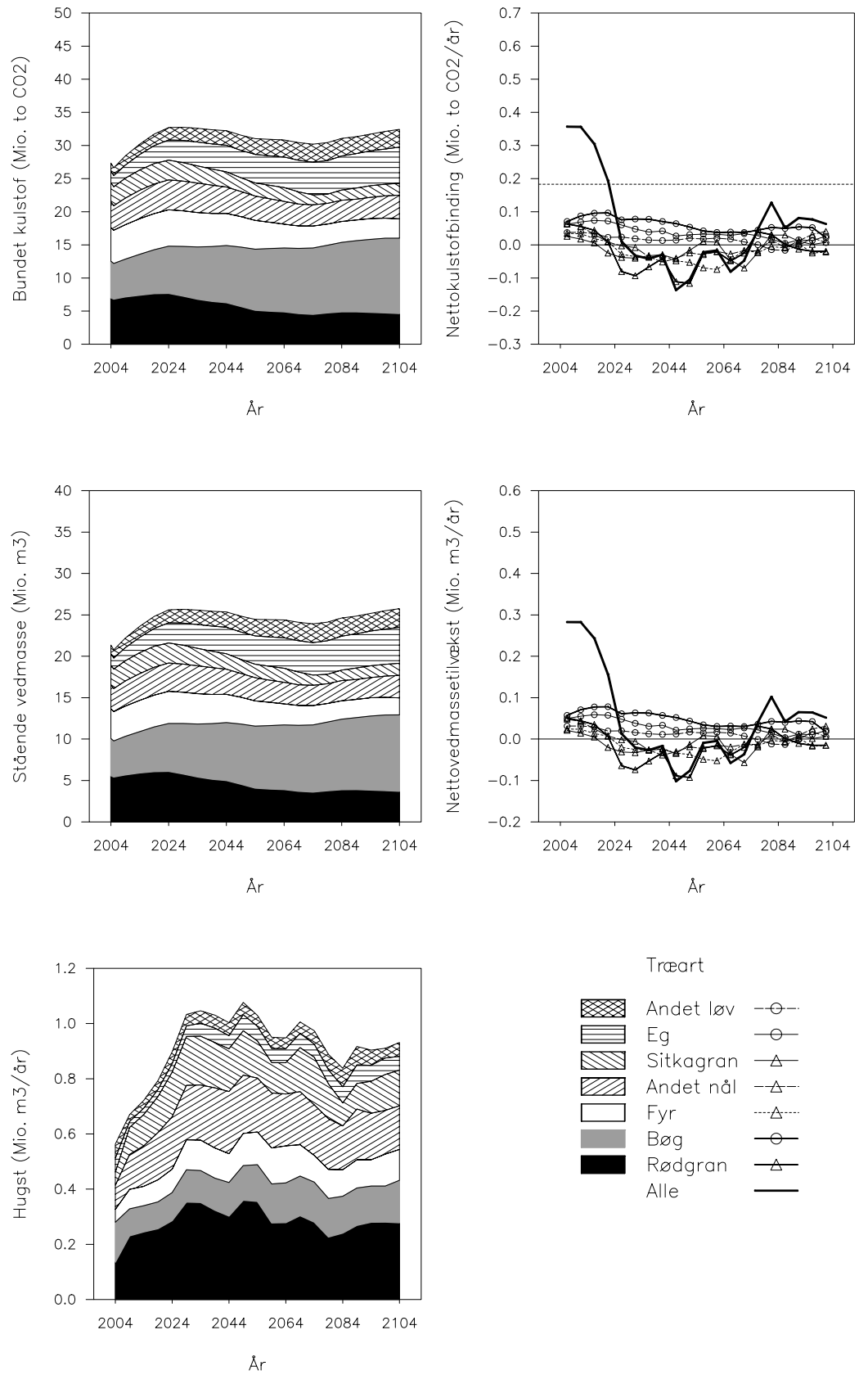
Figur 13. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Pyntegrønt'.



Figur 14. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Dødt ved'.



Figur 15. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Urrørt skov'.



Figur 16. Udvikling af kulstof og vedmasse i scenario 'Tyding'.

3.1.2 Manglende viden

Vores scenarier er baseret på mange antagelser, som skyldes at vores viden om kvantitative sammenhænge er utilstrækkelig på mange områder. Det begrænser scenariernes prædiktionspræcision ligesom uforudsigelige hændelser (fx større stormfald, store udsving i efterspørgsel af træprodukter og dermed hugsten) vil gøre. Der var desværre ikke ressourcer nok til at kortlægge alle antagelsernes indflydelse på resultaterne ved hjælp af sensitivitetsanalyser. Vi vil her kun pege på de områder hvor vi forventer at forkerte antagelser pga. manglende viden kan have afgørende indflydelse på resultaterne.

Planerne for omstilling til naturnær drift er under udarbejdelse. På mange områder er planerne endnu ikke konkretiseret og de fleste planer er ikke kvantificeret på en måde som tillader at fremskrive skovens vedmasse. Vi har derfor sammen med Skov- og Naturstyrelsens Driftsplankontor forsøgt at kvantificere de mest afgørende planer. Men vores estimater vil sandsynligvis ofte ikke være i overensstemmelse med mere detaljerede planer eller praksis.

Omdriftstiderne har en meget stor betydning for vores resultater. De reelle omdriftstider kan kun tilnærmelsesvis estimeres fra aldersklassefordelinger eller sammenligning af bevoksningslister.

Vækstmodellerne er det centrale element i vores scenarier til fremskrivning af vedmassen og kulstofbinding. Tilvækstoversigterne, som blev brugt her i mangel af bedre vækstmodeller, har en række ulemper, som kan have indflydelse på resultaterne. Mest afgørende er her den behandling, som tilvækstoversigterne er baseret på og som ikke nødvendigvis er den samme i realiteten. Tilvæksten reagerer heller ikke realistisk på ændringer i bevoksningstæthed. På grund af ændrede lokalitetsforhold kan væksten i dag være anderledes end i de historiske data, som er basis for tilvækstoversigterne.

For at beregne biomassen fra vedmassen har vi brugt ekspansionsfaktorer. Biomasseekspansionsfaktorer er i realiteten afhængig af træart, alder, bevoksningens tæthed, forudgående behandling, vækstforhold, osv. Ingen af disse faktorer er inkluderet i vores analyse, som kun benytter en gennemsnitlig faktor for hhv. løvtræer og nåltræer. I Danmark mangler vi data, som kan hjælpe til at oprette et system af ekspansionsfaktorer eller -funktioner.

Vores analyse har fokuseret på kulstofbinding i biomassen. Kulstof i jorden kan have stor betydning for den samlede kulstofbinding, men det kvantitative viden er utilstrækkelig for at beregne dette bidrag i scenarier (afsnit 4.2).

Hugsten og stormfald har stor indflydelse på kulstofbinding. Begge faktorer er dog ekstremt svære at forudsige pga. afhængigheden af hhv. træmarkederne og vejret. Vi har derfor valgt ikke at inkludere disse faktorer dynamik, vel vidende, at det begrænser vores scenariers prædiktionssevne.

3.2 Kulstofbinding i jorden

Jordens kulstofpulje er både bestemt af tilførslen af kulstof med strøfald og bestemt af omsætningshastigheden af jordens organiske stof. Konvertering til naturnær skovdrift kan i nogen grad påvirke begge processer. Det er imidlertid særdeles vanskeligt at anslå den kvantitative betydning for jordens kulstoflager

af overgang til naturnær drift. Jordens kulstoflager reagerer kun langsomt på ændringer i tilførsel og omsætning af organisk stof, og der er kun få langsigtede forsøg, der konkret kan belyse betydningen af de to skovdyrkningssystemer på jordens kulstoflager.

I det traditionelle renaftdriftssystem produceres der i en ca. 10-20-årig periode efter renaftdrift kun lidt organisk stof til at opretholde jordens kulstofpulje. Dette gør sig særligt gældende i nåleskov, hvor træerne i en årrække kun opbygger ny biomasse og ikke kaster nåle. I løvskov er strøfaldet også først på det maksimale niveau efter, at der er total kron Slutning i den nye bevoksning. Samtidig bevirker den drastiske ændring af mikroklimaet efter renaftdrift, at der kan ske en stimulation af omsætningen i jorden (Olsson *et al.* 1996). Dette øger yderligere risikoen for, at jordens kulstofpulje reduceres. I renaftdriftssystemet er det derfor også observeret, at der sker en reduktion i jordens kulstoflager i de første år efter bevoksningen er ryddet, hvorefter kulstoflageret øges igen til maksimum nås, inden næste renaftdrift (Aber *et al.* 1978, Heinsdorf 2002). Covington (1981), Heinsdorf (2002) og Peltoniemi *et al.* (2004) har beskrevet denne dynamik baseret på kronosekvenser bestående af bevoksninger med forskellig alder og modellering. Jordens kulstoflager når et minimum 10-20 år efter renaftdrift og gentilplantning, hvorefter det øges igen. Helt generel kan denne dynamik dog ikke siges at være. På det seneste har andre (fx Yanai *et al.* 2000) ikke fundet det samme klare mønster.

I et naturnært skovdyrkningssystem opretholdes mere eller mindre kontinuert kronedække. De mindre lysninger, der opstår ved fældning af træer, lukkes hurtigt igen af omgivende træer eller af allerede eksisterende foryngelse. Dermed undgås i højere grad både periodevis reduktion i strøfald og ødelæggelse af skovklimaet. Bibeholdelse af en forholdsvis stor stående biomasse på arealet sikrer, at jorden løbende modtager organisk stof i form af løv, kviste og grene mv. Ved det mere kontinuerte skovdække undgås også bedre perioder med øget omsætning af jordens organiske stof og reduceret strøfald. Alt andet lige vil såvel biomasse som skovklima have mindre udsving end i renaftdriftssystemet, hvorved jordens kulstoflager må antages at kunne vedligeholdes på et højere niveau end ved foryngelse ved renaftdrift eller traditionel fladeselvforyngelse. Foryngelse i lysbrønde opstået efter fældning af et enkelt eller få træer er et eksempel på mere naturnær skovdrift, men disse små åbninger i skoven må antages at have langt mindre betydning for jordens kulstoflager end renaftdrift. Bauhus *et al.* (2004) fandt således ingen betydning af naturlig foryngelse af bøg i lysbrønde på jordens kulstoflager otte år efter dannelsen af lysbrøndene. I Danmark er der heller ikke fundet tydelig effekt af lysbrønde i (10-20 m diameter) i bøgeskov på nedbrydning af organisk stof (Ritter 2004).

Forøgelsen af jordens lager af organisk stof ved overgang til mere naturnære systemer afhænger dog af mange faktorer og er derfor vanskelig at konkretisere på baggrund af eksisterende viden. Indtil der er mere specifik viden til rådighed, må formodningen om, at naturnær skovdrift fører til øget kulstoflagring i jorden stå som en hypotese. Separate studier i renaftdriftssystemet og skovdyrkningssystemer med enkelttræhugst eller gruppevis hugst peger som nævnt på, at naturnær skovdrift kan gøre en forskel, men grundlaget er endnu for spinkelt til at forskellen kan kvantificeres med sikkerhed. Et bud på potentialet for kulstoflagring i jorden kan være 40 - 100 t CO₂/ha over en 100-årig periode, svarende til 0,4 - 1,0 t CO₂/ha/år. Men det må pointeres, at usikkerheden er meget stor.

Det må formodes, at kun en del af statsskovarealet faktisk gennemgår den beskrevne konverteringsproces i løbet af de næste 100 år uden renafdrift. Denne del kan tænkes at består af (1) den del af nåletræsarealet, som konverteres til bøg (11% af arealet) (2) den del af nåletræsarealet som ikke konverteres til løv og som forynges ved skærmstilling (24% af arealet), samlet 35% af statsskovarealet. Dermed er et bud på kulstofbinding i jorden ved naturnær drift 0,015 – 0,037 mio. t CO₂/år for hele statsskovarealet.

Såfremt overgangen til naturnær drift også betyder mere våde skovjorde, er potentialet for kulstoflagring i jord imidlertid større. Dræningsforholdene er sandsynligvis den faktor, der i højest grad kan øge jordens kulstoflager i skov. I "våde jorde" findes i Danmark gennemsnitligt ca. 350 t C/ha mod kun 125 t C/ha i veldrænede skovjorde (Krogh *et al.* 2003), hvilket antyder et lagringspotentiale i jorde under forsumpning i omegnen af 200 t C/ha, måske over 100 år. Sådanne lagringspotentialer er dog kun mulige i de specifikke områder med naturnær drift, hvor manglende vedligeholdelse af grøfter og dræn fører til kraftig forsumpning. Dette kan dog føre til en mindsket biomasse, som følge af træartsskift eller manglende trævækst, så den totale kulstoflagring per ha vil ikke nødvendigvis blive højere efter forsumpning.

For den traditionelle skovdrift antages at kulstofpuljerne i jorden er i ligevægt set over hele statsskovarealet og at der over de næste 100 år derfor ikke vil ske kulstofbinding i eller -frigivelse fra jorden.

3.3 Moniteringsomkostninger

3.3.1 Behov

For at kunne rapportere i forhold til Kyoto-aftalens artikel 3.4 er der behov for en monitoring af bl.a. ændringen i kulstoflageret i skovene i perioden 2008 til 2012 (Ståhl *et al.* 2004). Særligt for statsskovenes arealer er denne monitoring interessant, idet der samtidigt for disse arealer omstilles til naturnær skovdrift.

Der er således behov for at opgøre de forskellige komponenter af skovens kulstoflager, der er fordelt i den overjordiske, den underjordiske og den døde biomasse samt i jorden. Det følgende beskriver nogle metoder til at opgøre dette og ændringerne heri over tid. Omkostningerne til monitoringen afhænger af den krævede nøjagtighed på estimerne og hvor mange af puljerne der skal monitoreres.

3.3.2 Eksisterende skovovervågning

Danmark har i 2002 startet en national skovstatistik - NFI. Den gennemføres ved konkrete målinger i skov.

Arealer med mere end 0,5 ha skov eller anden træbevoksning indgår i Danmarks nye skovstatistik. På grundlag af internationale definitioner opdeles arealerne i "skov" og "andet træbevokset areal". Et areal klassificeres som skov, hvis kroneslutningen på arealet er mere end 10 %, og træerne kan blive mere end 5 m høje. Hvis kroneslutningen er mellem 5 og 10 % (uanset højden), klassificeres arealet som "andet træbevokset areal". I Danmark findes forholdsvis få arealer i denne sidste klasse, men i andre lande kan den være mere anvendt. Pyntegrøntarealer indgår i skovarealet.

Målepunkterne er udvalgt ved at opdele hele Danmark i et 2 x 2 km kvadratnet. I hvert kvadrat placeres 4 målepunkter. Ved hjælp af flyfotos vurderes alle målepunkter. Alle punkter, der er placeret i skov eller på et andet træbevokset areal, vil blive målt. Placeringen af målepunkter sker uafhængigt af skovens opbygning og ejendomsforhold.

Alle målepunkter indgår ved beskrivelsen af skovens tilstand. For at skabe grundlag for beskrivelse af udviklingen over tid vil ca. 1/3 af alle målepunkter blive permanente. Det indebærer, at nogle målepunkter vil indgå i alle fremtidige landsdækkende skovstatistikker. De øvrige 2/3 af alle målepunkter er midlertidige og vil kun blive målt én gang. Formålet med denne kombination af faste og midlertidige målepunkter er at få det bedst mulige grundlag for at beskrive både tilstand (på grundlag af alle målepunkter) og udvikling (på grundlag af alle faste målepunkter).

For hvert målepunkt foretages en generel beskrivelse af bevoksningen, med henblik på at kunne klassificere de efterfølgende målinger vedr. fx artssammensætning, bevoksningsstruktur, produktivitet, topografi, jordbund. Måling af levende træer såvel som dødt ved foretages på et cirkulært areal med en radius på 15 m.

Foryngelse opgøres på dele af målepunktet. Der registreres bl.a. antal, artssammensætning og højde af foryngelsen. Hugst foretaget inden for det foregående år registreres. På de faste målepunkter vil det være muligt at følge udviklingen nøjere.

Alle punkter i skov i Danmark måles i løbet af en 5-årig periode, hvor hele landet repræsenteres hvert år, ved at årets målepunkter fordeles jævnt over landet. Idet målingerne startede i 2002 forventes de resterende punkter målt i 2006, hvorefter en fuld landsdækkende skovstatistik for skovens tilstand kan udarbejdes. I den anden landsdækkende skovstatistik (2007-2012) vil grundlaget for at vurdere udviklingen over tid udgøres af alle faste punkter, der så bliver målt anden gang. Samtidigt indgår de midlertidige målepunkter i opgørelsen af skovens tilstand. Der er således mulighed for at bruge resultater fra skovstatistikken i forhold til Kyoto-rapporteringer.

Parallelt med skovstatistikken følges skovens udvikling mere intensivt på nogle udvalgte lokaliteter. Her sikres viden om en lang række faktoreres indflydelse på træernes vækst og sundhed gennem løbende registreringer.

3.3.3 Metoder til monitorering af kulstoflageret i statsskov

Statsskovarealerne udgør ca. 1/4 af det danske skovareal. Der vil således i skovstatistikken være et stort antal punkter beliggende i statsskov. Ud fra de første 3 år af skovstatistikken, vurderes det at der vil blive målt på knap 1900 målepunkter i statsskov. Dette vil omfatte såvel permanente (ca. 600) og temporære (ca. 1300) målepunkter - svarende til 760 grupper af målepunkter i alt. Skovstatistikken leverer data for mængde og struktur af overjordisk biomasse såvel som død biomasse. Dette er nogle af nøgleparametrene i skovstatistikken generelt. Den underjordiske biomasse skal estimeres ud fra den overjordiske. Jordens indhold af kulstof måles ikke, men nogle enkle indikatorer, O- og A-horisonernes tykkelse måles. Men der er nogle usikkerheder i at komme fra skovstatistikkenes målinger til nogle estimater for kulstoflagerets størrelse og ændringerne heri. Disse beskrives i det følgende sammen med metoder der kan medvirke til bedre estimater.

Sampling

Generelt er skovstatistikken designet til at give estimater på lands- og regionalt plan, men ikke til brug for en beskrivelse af den enkelte ejendom. Dog udgør statsskovarealerne ca. 1/4 af den samlede areal og det vil være muligt at foretage beregninger på statsskovarealet som helhed. Herunder kan også ændringerne over tid følges og dermed vil effekterne af en ændret skovdrift kunne registreres hermed.

Hvis målet bliver at foretage mere detaljerede vurderinger af enkelte arealer eller mindre distrikter, kan det blive nødvendigt at supplere skovstatistikens sampling med ekstra målepunkter i det pågældende distrikt, for at sikre tilstrækkelig præcision og sikkerhed på estimatet.

Hvis der bliver stillet krav om identifikation af enkelt arealer i forbindelse med ændringer i arealanvendelsen, vil der blive behov for supplerende sampling. Her vil det blive nødvendigt at inddrage metoder vedr. billedbehandling, f.eks. af fly- eller satellit-billeder (EO-data) i kombination med div. kortregistre. Disse metoder er ikke fuldt udviklet.

Overjordisk biomasse

Grundlaget for kulstofberegningerne er de faktiske målinger som omfatter diameter- og højdemålinger på træer i de enkelte målepunkter. Dette måles i skovstatistikken.

For at komme frem til kulstoflageret er der behov for en beregning af biomasse og efterfølgende omregning til kulstof for træerne. Omsætningen til vedmasse (evt. kun stammemasse som for nåltræer) sker ved vedmassefunktioner der er baseret på et stort datamateriale fra langsigtede feltforsøg. Men den videre omsætning til biomasse og efterfølgende kulstof er baseret på et begrænset data materiale og i nogle tilfælde er der tale om brug af erfaringstal fra nabolande (bl.a. Sverige og Tyskland). Dette indfører en usikkerhed.

Man kunne forbedre beregningerne ved at fastlægge danske ekspansionsfaktorer, der tager højde for bl.a. træart og bevoksningsstruktur. Dette kan gøres ved at foretage biomassemålinger på en række prøvetræer fordelt på forskellige træarter og bevoksningsstrukturer. Det vil være relevant at verificere de brugte faktorer der anvendes til at omregne biomasse til kulstof. Dette gøres ved at analysere prøver af de målte prøvetræer.

Underjordisk biomasse

Den underjordiske biomasse udgøres af rødder - ned til 2 mm tykkelse. Denne er vanskeligt måleligt i alle målepunkter og vil derfor bygge på ekspansionsfaktorer. Det er nødvendigt at fastlægge faktorer til at beregne dette ud fra de målte træer. Faktorerne kan fastlægges ved at undersøge større jordprøver (i m³ størrelse) og ved at optage rodsystemer på en række prøvetræer, gerne de samme som anvendes til fastlæggelse af ekspansionsfaktorer for den overjordiske biomasse. Kulstofindhold kan fastlægges ved at analysere prøver af rødderne.

Dødt ved

Grundlaget for kulstofberegningerne er de faktiske målinger, som omfatter diameter og højde målinger på stående dødt ved samt diameter og længde af liggende dødt ved i de enkelte målepunkter. Nedbrydningsgraden af det døde ved registreres. Disse data indsamles i skovstatistikken.

For at beregne kulstoflageret er der behov for en beregning af biomasse og efterfølgende omregning til kulstof for det døde ved. Volumenberegninger er enkle at foretage, mens omsætningen til kulstoflager er behæftet med nogen usikkerhed. Der frigives kulstof fra det døde ved under nedbrydningen, selv om en del af kulstoffet også kommer til at indgå i jordens pulje af kulstof. Der mangler viden om kulstofmængden i dødt ved forskellige nedbrydningsgrader. Da kulstofkoncentrationen i dødt organisk stof er ret konstant ca. 50% af vægten, er det rumtæthed af det døde ved, der bør undersøges. Enkelte studier har kigget på dette. Grundlaget kan forbedres ved at analysere prøver af dødt ved, evt. indsamlet i Danmark i forbindelse med skovstatistikken.

Kulstof i jord

O- og A-horisonernes tykkelse måles. Dette gøres på baggrund af at størstedelen af jordens indhold af kulstof findes i disse lag. Der mangler dog viden om mængden af kulstof i disse lag, hvorfor estimater herudfra kan forbedres ved at analysere prøver fra et udvalg af horisonter. Det vil være muligt at indsamle prøver i forbindelse med skovstatistikken for efterfølgende analyser. Det vil være relevant at gøre dette i permanente målepunkter, hvorved det vil være muligt at gentage analyserne efter en årrække for at belyse effekterne af ændret driftsform. Herved vil ikke kun ændringer i tykkelsen af jordbundens horisonter monitoreres, men også en evt. ændring i sammensætning.

En række faktorer kan påvirke jordens kulstofindhold. I skovstatistikken registreres der ligeledes kronedækning for alle målepunkter ligesom der foretages en grov klassifikation af jordens fugtighed og tilstanden af grøfter i nærheden af målepunkterne. Udviklingen i disse forhold over tid kan dermed følges.

3.3.4 Omkostninger

De følgende vurderinger af omkostninger er foreløbige og baseret på erfaringstal fra allerede igangværende overvågning og projekter med emner svarende til problemstillingerne vedr. beregning af kulstoflageret.

Sampling

Hvis den generelle skovstatistiks sampling anvendes, vil der ikke være ekstra omkostninger til grundmålingerne. Beregning af statskovenes udvikling vil være en del af de rutinemæssige beregninger.

Omkostningerne pr. ekstra gruppe af prøveflader er ca. 7000 kr for udvælgelse, måling og databehandling.

Omkostningerne ved at udvikle metoder til inddragelse af EO-data vil dels være udviklingsomkostninger og dels driftsomkostninger. Beløbene hertil er endnu ikke fastlagt.

Ekspansionsfaktorer - overjordisk og underjordisk biomasse

Omkostningerne ved at forbedre ekspansionsfaktorerne er fastlagt i nogle mindre projekter, der søger at fastlægge ekspansionsfaktorer for udvalgte træarter. Et projekt der skal fastlægge forbedrede ekspansionsfaktorer for hovedtræarterne - rødgran og bøg - kan tage udgangspunkt i en analyse af træer fra langsigtede feltforsøg. Der bør udtages minimum 3 træer fra hver bevoksning. For at dække variationsbredden i bevoksninger i Danmark, bør der tages prøver i 30 bevoksninger for hver træart. Indsamling og opmåling af prøver er meget tidskrævende, hvorfor hovedomkostningerne er timelønninger

til de 1800 timer. Beregning, analyse og modellering samt rapportering kræver en del tid, hvorfor der afsættes 800 timer til dette. De samlede omkostninger bliver derfor 1.673.400 kr, fordelt over 2 år.

Indsamling	999.000 kr
Udstyr	100.000 kr
Analyser & rapport	575.000 kr
Ialt	1.674.000 kr

Der haves ikke p.t. tilstrækkelige data til at vurdere præcisionen af den foreslåede analyse. Det bør overvejes om andre arter skal inddrages, f.eks. eg, ær og andre løvtræarter, der fremmes ved overgangen til naturnær drift.

Dødt ved

Indsamling af prøver og efterfølgende laboratorieanalyser samt rapport er et afgrænset projekt. Beløbene hertil er endnu ikke fastlagt.

Jordbund

Indsamling af prøver og efterfølgende laboratorieanalyser samt rapport er et afgrænset projekt. Projektet vil give et estimat for kulstofpuljen i jord i statsskov. I hovedtræk foreslås følgende sampling: I alle 600 permanente målepunkter i skov udtages jordprøver 3 steder. Prøverne puljes, således at der efterfølgende kan foretages analyser af kulstofmængden i O-horisonten og 4 forskellige lag af mineraljorden ned til 1 m dybde. Der foretages ekstensive volumenvægt analyser i felten på hver 4. af målepunkterne. Prøverne antages indsamlet af skovstatistikens personale. Tidsforbruget pr. målepunkt vil være 1 time for 2 mand. I laboratoriet forberedes jordprøverne ved sigtning og formaling, hvorefter kulstofindholdet analyseres. Den efterfølgende beregning og rapportering skønnes at kunne foretages på 300 timer. Dermed bliver den samlede omkostning for at få et estimat for kulstofpuljen i jord i statsskov 1.831.400 kr, fordelt over 5 år (den tid går før alle permanente målepunkter er målt).

Indsamling	666.000 kr
Laboratoriarbejde	850.000 kr
Udstyr	100.000 kr
Analyser & rapport	215.400 kr
Ialt	1.831.400 kr

Der haves ikke p.t. tilstrækkelige data til at vurdere præcisionen af den foreslåede analyse. Der bør gå nogle år (minimum 10) før projektet gentages, for at sikre at ændringerne overstiger usikkerheden på bestemmelsen. Med resultaterne af det foreslåede projekt, vil det dog være muligt dels at vurdere behovet for indsats for skovene generelt - dvs. omfattende de private skove og dels at vurdere samplingsbehovet ved et opfølgende projekt.

Forventninger til resultater - præcision og sikkerhed

Inden fastlæggelse af den endelige monitoringsindsats for ændringer i kulstoflageret i statsskov som følge af overgangen til naturnær skovdrift, bør det overvejes hvilke krav der vil være til præcision (nøjagtighed) og sikkerhed (spredning på estimatet). Dette gælder både ved opgørelsen af det totale kulstoflager og ved opgørelse af ændringer heraf. Analyser af dette er ikke foretaget inden for det nærværende projekt, men henvises til et efterfølgende projekt.

4 Konklusion

4.1 Kulstofbinding

Naturnær skovdrift er det realistiske scenario for den videre udvikling af statsskovene. Vi har kun inkluderet traditionel skovdrift i beregningerne for at gøre effekten af overgangen til naturnær skovdrift tydelig. Vores scenario 'Naturnær skovdrift' beskriver overgangen til naturnær skovdrift fra den nuværende skovtilstand og ikke en naturnær skovdrift i ligevægt. Resultaterne viste kun små forskelle mellem traditionel og naturnær drift som ligger indenfor usikkerheden i scenarierne pga. usikre antagelser. Det kan derfor ikke sikkert siges med baggrund i vores scenarier om overgangen til naturnær drift vil have en positiv eller negativ effekt på kulstofbindingen. Med stor sandsynlighed er forskellen lille.

Omdriftstidforlængelse har den største positive effekt af alle undersøgte enkelte naturnære tiltag, en mere intensiv tynding i nåletræ har den største negative effekt. Træartsskifte fra nål til løv har kun en lille effekt på kulstofbindingen. Effekten er her også mindre end på vedmassetilvæksten, fordi løv og nål producerer lignende mængder biomasse, som dog i mindre omfang lagres i stammen hos løvtræarterne end hos nåletræarterne.

Samlet er nettokulstofbindingen i træernes biomasse over de næste 100 år lille og mindre end tidligere antaget (Larsen & Johannsen 2002, Anthon *et al.* 2003, S&N 2004): 0,091 mio. t CO₂/år for hele skovarealet, eller 0,080 mio. t CO₂/år for skovarealet uden skovrejsning efter 1989. Statsskovene alene ligger i denne 100-årige periode tydelig under den fastlagte nationale afregningsgrænse for 2008 – 2012 på 0,183 mio. t CO₂/år. Statsskovene bidrager kun en fjerdedel til det samlede danske skovareal. Men det er næppe muligt at ekstrapolere lineært fra scenarierne for statsskovene til hele skovarealet. Vores scenarier viste, at alderklassesammensætningen har afgørende indflydelse på nettokulstofbindingen. Det skal derfor tages højde for aldersklassefordelingen i hele det danske skovareal ved ekstrapolering.

Der henvises også til den betydelige dynamik i nettokulstofbindingen. I enkelte perioder er nettokulstofbindingen betydelig højere eller lavere end gennemsnittet. Det er derfor afgørende, hvilke perioder afregnes i internationale aftaler. I perioden 2008 – 2012 vil statsskovene sandsynligvis alene ville kunne opfylde kvoten på 0,183 mio. t CO₂/år. Til gengæld vil der med stor sandsynlighed i efterfølgende perioder ske en nettofrigivelse af kulstof fra statsskovene.

Det er ikke muligt at forudse store stormfald, som kan ændre dynamikken i kulstofbindingen. Vores scenarier med stormfald af ekstrem styrke eller gentagelsesinterval viser at store stormfald har stor effekt på kulstofbindingen i skovene i korte perioder, men langt mindre effekt set over de næste 100 år.

Kulstofbinding i jorden er ikke inkluderet i vores scenarier, som kun beregner kulstofbinding i træernes biomasse. Kulstofbinding i jorden kan groft estimeres til 0,015 – 0,037 mio. t CO₂/år for de næste 100 år ved overgang til

natur nær drift. Dermed kan kulstofbinding i jorden bidrage signifikant til den samlede kulstofbinding. Dette er dog et meget usikkert bud, fordi kvantitativ viden mangler om denne proces.

4.2 Monitering

Moniteringsdetaljerne er endnu ikke fastlagt i internationale aftaler og det er derfor svært at planlægge en monitoringsmetode og vurdere tilhørende omkostninger. Under forudsætningen at der ikke kræves en identifikation af enkeltarealer kan den nuværende nationale skovstatistik bruges til at også monitere kulstofbindingen. Der bør dog tilføjes en monitering af kulstofpuljen i jord og ekspansionsfaktorerne skal udvikles for danske forhold.

Et projekt der giver et estimat for kulstofpuljen i jord i statsskov vurderes at ville koste 1.831.400 kr, fordelt over 5 år.

Omkostningerne ved at forbedre ekspansionsfaktorerne vurderes at ville koste 1.673.400 kr, fordelt over 2 år.

Der haves ikke p.t. tilstrækkelige data til at vurdere præcisionen af de foreslåede analyser.

4.3 Opfølgning

For at implementere Kyoto-aftalens mekanismer på lang sigt er det afgørende at gennemføre samme undersøgelse for hele det danske skovareal. Samtidig skal effekterne i den efterfølgende træproduktkæde kvantificeres så vidt de har indflydelse på den samlede kulstoflagring. Dette er forbeholdt kommende projekter.

5 Litteratur

- Aber, J.D., Botkin, D.B., Melillo, J.M., 1978. Predicting the effects of different harvesting regimes on forest floor dynamics in northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 8, 306-315.
- Anthon, S., Jacobsen, J.B., Thorsen, B.J. 2003. Skovens mulige rolle i klimapolitikken. En scenarioanalyse af CO₂-reduktionspotentiale og marginale økonomiske omkostninger. Arbejdsrapport nr. 50-2003, Skov & Landskab (FSL), Hørsholm. 59 pp.
- Bauhus, J., Vor, T., Bartsch, N., Cowling, A., 2004. The effects of gaps and liming on forest floor decomposition and soil C and N dynamics in a *Fagus sylvatica* forest. *Canadian Journal of Forest Research* 34, 509-518.
- Covington, W.W., 1981. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods. *Ecology* 62, 41-48.
- Heinsdorf, D., 2002. Einfluss der Bewirtschaftung auf den Kohlenstoffhaushalt von Forstökosystemen on Nordostdeutschen Tiefland. *Beitr. Forstwirtschaft u. Landschaftsökol.* 36, 168-174.
- Johannsen, V.K. Dokumentation af beregninger i forbindelse med Skovtælling 2000. Skovstatistik Arbejdsnotat nr. 6. Skov & Landskab (FSL), Hørsholm.
- Kirkebak, M., Thormann, A. 2000. Evaluering af den gennemførte skovrejsning 1989-1998. Skov- og Naturstyrelsen. <http://www.sns.dk/skov/netpub/evaluering>.
- Krogh, L., Nørgaard, A., Hermansen, M., Greve, M.H., Balstrøm, T, Breuning-Madsen, H., 2003. Preliminary estimates of contemporary soil organic carbon stocks in Denmark using multiple datasets and four scaling-up methods. *Agric. Ecosystems Environ.* 96, 19-28.
- Larsen, P.H., Johannsen, V.K. 2002. Skove og plantager 2000. Danmarks Statistik, *Skov & Landskab* (FSL) og Skov- og Naturstyrelsen. 171 pp.
- Moltesen, P., 1988. Skovtræernes ved. Skovteknisk Institut, Akademiet for Tekniske Videnskaber. ISBN 87-87798-52-2.
- Nihlgård, B., Lindgren, L., 1977. Plant biomass, primary production and bioelements of three mature beech forests in South Sweden. *Oikos* 28: 95-104.
- Olsson, B.A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtsson, J., Rosén, K., 1996. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *For. Ecol. Manage.* 82, 19-32.
- Peltoniemi, M., Mäkipää, R., Liski, J., Tamminen, P. 2004. Changes in soil carbon with stand age –an evaluation of a modelling method with empirical data. *Global Change Biol.* 10, 2078-2091.

- Ritter, E., 2004. Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gaps in a Danish beech (*Fagus sylvatica*) forest. Soil Biology and Biochemistry (in press).
- S&N 2004. Handlingsplan for naturnær skovdrift. Skov- og Naturstyrelsen, Driftsplankontoret.
- Schöne, D., Schulte, A. 1999. Forstwirtschaft nach Kyoto: Ansätze zur Quantifizierung und betrieblichen Nutzung von Kohlenstoffsinken. Forstarchiv 70: 167-176.
- Skov- og Naturstyrelsen, Planlægningssystem (Tauron/Proteus)
- Skovbrugstabeller 1990, Det Forstlige Forsøgsvæsen.
- Ståhl, G., Boström, B., Lindkvist, H., Lindroth, A., Nilsson, J., Olsson, M. 2004. Methodological options for quantifying changes in carbon pools in Swedish forests. Studia Forestalia Sueica 214.
- Vande Walle, I. Mussche, S., Samson, R., Lust, N., Lemeur, R. 2001. The above- and belowground carbon pools of two mixed deciduous forest stands located in East-Flanders (Belgium). Annals of Forest Science 58: 507-517.
- Yanai, R.D., Arthur, M.A., Siccama, T.G., Federer, C.A., 2000. Challenges of measuring forest floor organic matter dynamics: Repeated measures from a chronosequence. For. Ecol. Manage. 138, 273-283.

1 SAS-program kulstofmodel.sas

```

LIBNAME datalib 'C:\andreas\SL\Projekter\NS-Karbon-
2004\Data\Bevliste_2004';
LIBNAME resltlib 'C:\andreas\SL\Projekter\NS-Karbon-
2004\Data\Results';
/*****/
/* Carbon model */
/*****/

/*****/
/* Husk at importere Omdrifter */
/*****/

/*****/
/* Scenariovariabler */
/*****/
*naturnær drift;
%LET nnd = 11;
/* 0 = BAU */
/* 1 = omdriftsforlængelse */
/* 2 = træartsskifte */
/* 3 = vedværende skovdække, naturforyngelse nål */
/* 4 = ekstensive foryngelser */
/* 5 = åbne arealer */
/* 6 = pyntegrønt til skov */
/* 7 = dødt ved */
/* 8 = urørt skov */
/* 9 = hugststyrke nål */
/* 10 = naturnær skovdrift */
/* 11 = naturnær skovdrift + storm */

/*****/
/* Vedmassefremskrivning */
/*****/
*korrigerig af salgbar masse til total masse;
%LET volkorr = 1.03;
/*****/
* Macro taucalc
* September 2001 Vivian Kvist Johannsen *
*****/
%MACRO taucalc (pk=, v1=, v2=, v3=, v4=,
                p1=, p2=, p3=, p4=, age=);
    /* beregner stående vedmasse;
*   Vhap = 1/(&v1+&v2*exp(-&v3*&age))+&v4;
    /* tilvækst over år;
    /* beregnes ud fra forskel i total
produktion ;
    totp1 = 1/(&p1+&p2*exp(-&p3*(&age)))+&p4;
    totp2 = 1/(&p1+&p2*exp(-&p3*(&age+5)))+&p4;
    Iha = totp2 - totp1;
%MEND taucalc;

```

```

data blin;
set datalib.bl2004;

*if distrikt_nr = 65;
*if id='60_2_201_542_b'; /*BØG*/
*if id='60_2_201_321_c'; /*RGR*/
*if rejst ne 1;

indaar = 2003;
indalder = alder;
indbpct = bpct;

/* Træart og PK til UKU */
if anv='UKU' then do;
found = 0;
  DO n3=1 TO numobs3 UNTIL (found);
    SET datalib.skovarter (RENAME=(artgrp=skovartgrp
anv=skovanv distrikt_nr=dist skovpart_nr=skp skov_nr=skov
pk=skovpk pkkl=skovpkkl)) NOBS=numobs3 POINT=n3;
    IF distrikt_nr=dist & skovpart_nr=skp &
skov_nr=skov THEN DO;
      found = 1;
      anv = skovanv;
      artgrp = skovartgrp;
      pk = skovpk;
      pkkl = skovpkkl;
      END;
    END;
alder = 2;
if artgrp > 5 then alder = 4;
end;

keep id distrikt_nr indaar areal indbpct anv indalder ipct
pk masse_ialt masse__ha fy_1 uroert artgrp pkkl;
run;
data blout blin;
modify blin;
set blin;

tvo = "XXX";
afdrevet = 0;
skaerm = 0;
fy_vent = 0;

aar = indaar;
alder = indalder;
bpct = indbpct;

/* Urørt skov */
if (&nnd=8 OR &nnd>9) & alder>100 then do;
  rand = ranuni(0);
  if artgrp<6 & rand<=0.17 then uroert = 1;
  if artgrp>5 & rand<=0.35 then uroert = 1;
end;

/* Åbne arealer */
aaben = 0;
if (&nnd=5 OR &nnd>9) & (artgrp=6 OR artgrp=9 OR anv='OMO')
& uroert=. then do;
  rand = ranuni(0);
  if artgrp=6 & pkkl=1 & rand<=0.18 then aaben = 1;

```

```

        if artgrp=9 & pkkl=1 & rand<=0.40 then aaben = 1;
        if anv='OMO' then aaben = 1;
        end;

/* Artsskifte */
artsskifte = 0;
if (&nnd=2 OR &nnd=3 OR &nnd>9) & (artgrp=6 OR artgrp=7 OR
artgrp=9)
    & aaben=0 & uroert=. then do;
    rand = ranuni(0);
    if artgrp=6 & pkkl=1 & rand<=0.60 then artsskifte = 1;
    if artgrp=6 & pkkl=2 & rand<=0.55 then artsskifte = 1;
    if artgrp=6 & pkkl=3 & rand<=0.50 then artsskifte = 1;
    if artgrp=7 & pkkl=1 & rand<=0.36 then artsskifte = 1;
    if artgrp=7 & pkkl=2 & rand<=0.30 then artsskifte = 1;
    if artgrp=7 & pkkl=3 & rand<=0.30 then artsskifte = 1;
    if artgrp=9 & pkkl=1 & rand<=0.60 then artsskifte = 1;
    if artgrp=9 & pkkl=2 & rand<=0.55 then artsskifte = 1;
    if artgrp=9 & pkkl=3 & rand<=0.50 then artsskifte = 1;
    end; /* artsskifte */

/* aar 2003 (indaar) */
vha = masse_ha;
if vha<0 then vha = 0; /* unge bevoksninger med vha < 0 */
vtot = vha * areal * &volkorr;
if ipct<1 then vtot = masse_ialt; /* Rang I, 0, I% = 0 */
vtothugst = 0;
if vtot>0 OR vtothugst>0 then output blout;

/*****/
/* Period loop */
/*****/
if indaar=2003 then indaar = indaar + 1;
do aar=indaar to 2104 by 5;
if aar>indaar then alder = alder + 5;
vtothugst = 0;
/*****/
/* Afdrift& Genkultivering */
/*****/
if uroert=. then do;

/* Find passende omdriftsalder */
if aar=indaar OR afdrevet=1 then do;
found = 0;
omdnnd = 0;
if &nnd=1 OR &nnd>9 then omdnnd = 1;
omdart = anv;
if anv="ØSF" then omdart = "SKF";
if anv="FBF" then omdart = "BJF";
DO n=1 TO numobs UNTIL (found);
    SET resltlib.omdrifter (RENAME=(artgrp=omdartgrp
anv=omdanv)) NOBS=numobs POINT=n;
    artcheck = 1;
    if artgrp=9 & omdanv ne omdart then artcheck = 0;
    IF artgrp=omdartgrp & naturnaer=omdnnd & artcheck=1
THEN DO;
        found = 1;
        if pkkl=1 then omdalder = od_lav;
        if pkkl=2 then omdalder = od_mid;
        if pkkl=3 then omdalder = od_god;
    END;

```

```

END;

if (&nnd=0) & artgrp=8 then do;
  if anv="NGR" then do;
    omdalder = 30;
    if indalder>30 then omdalder = 80;
  end;
  if anv="NOB" then omdalder = 60;
end;
/* Konvertering PYN->skov */
if (&nnd=6 OR &nnd>9) & artgrp=8 then do;
  rand = ranuni(0);
  if anv="NGR" & rand<=0.21 then omdalder = 30;
  if anv="NOB" & rand<=0.44 then omdalder = 60;
end;

end; /* if aar=indaar OR afdrevet=1 */

/* Marker til afdrift */
if aaben=0 then afdrevet = 0;
if alder>=omdalder then do;
  afdrevet = 1;
  omd_overstand = 1.3;
  if artgrp<3 then omd_overstand = 1.8;
  if ipct<1 & alder<omdalder*omd_overstand then afdrevet =
0;
end; /* if alder>omdalder */

/* Stormfald */
stormfald = 0;
if (&nnd=11) & (aar=2009 OR
  aar=2019 OR
  aar=2029 OR
  aar=2039 OR
  aar=2049 OR
  aar=2059 OR
  aar=2069 OR
  aar=2079 OR
  aar=2089 OR
  aar=2099)
  & artgrp>5 then do;
  rand = ranuni(0);
  if alder>=0.65*omdalder & rand<=0.1 then do;
    afdrevet = 1;
    stormfald = 1;
  end;
end;

end; /* if uroert=.* */

if aar>indaar then do;
  /****** */
  /* Tilvækst */
  /****** */
  /* Find passende tilvækstoversigt */
  if aar=indaar+5 OR afdrevet=1 then do;
  blartgrp = artgrp;
  if artgrp = 5 then blartgrp = 1;
  if artgrp = 10 then blartgrp = 6;

  tvo = "";

```



```

if blartgrp = 6 then do;
    tvo = 'CMM';
    if pk<12 then tvo = 'GWN';
    if distrikt_nr = 21 & anv = 'RGR' then tvo = 'SMA';
end;

found = 0;
DO n2=1 TO numobs2 UNTIL (found);
    SET resltlib.tvo4 (RENAME=(artgrp=tvoartgrp
tvo=tvotvo)) NOBS=numobs2 POINT=n2;
    if blartgrp ne 6 AND blartgrp ne 10 then tvotvo='';
    IF blartgrp=tvoartgrp AND tvo=tvotvo AND pkb le pk
AND pkt ge pk THEN DO;
        found = 1;
    END;
END;
end;

/* Beregn tilvækst */
*Vhax=.;
Ihax=.;
testt = 0;

tvoalder = alder - 5;
IF tvoalder < minage THEN DO;
    tvoalder = minage;
    testt = 1;
END;
IF tvoalder > maxage THEN DO;
    tvoalder = maxage;
END;

%taucalc (pk=pk, v1=vt1, v2=vt2, v3=vt3, v4=vt4,
          p1=pt1, p2=pt2, p3=pt3, p4=pt4, age=tvoalder);
*Vhat=Vhap;
*IF Vhat < 0 THEN Vhat = 0;
Ihat = Iha;
IF Ihat < 0 THEN Ihat = 0;

%taucalc (pk=pk, v1=vb1, v2=vb2, v3=vb3, v4=vb4,
          p1=pb1, p2=pb2, p3=pb3, p4=pb4, age=tvoalder);
*Vhab=Vhap;
*IF Vhab < 0 THEN Vhab = 0;
Ihab = Iha;
IF Ihab < 0 THEN Ihab = 0;

*if pk-values inside tvo range;
IF pkt NE 100 AND pkb NE 0 THEN DO;
*   Vhax = Vhat - (Vhat - Vhab)*((pkt-pk)/(pkt-pkb));
   Ihax = Ihat - (Ihat - Ihab)*((pkt-pk)/(pkt-pkb));
   END;
ELSE DO;
*if pk-values below tvo range - use min pk;
IF pkb = 0 THEN DO;
*   Vhax = Vhat;
   Ihax = Ihat;
   END;
*if pk-values above tvo range - use max pk;
IF pkt = 100 THEN DO;
*   Vhax = Vhab;
   Ihax = Ihab;

```

```

        END;
END;

IF testt = 1 THEN DO;
    plt = 4;
    if artgrp < 6 then plt = 2;
*   Vhax = Vhax * (alder - plt) / (minage-plt);
    Ihax = Ihax * (alder - plt) / (minage-plt);
END;

*if aar=2004 then vhatvo = Vhax * bpct/100 * ipct/100;

ivha = Ihax * bpct/100 * ipct/100; /*dvs. ingen tilvækst og
hugst, hvis I%=0*/
if fy_vent>0 then ivha = 0;
if aaben=1 & afdrevet=1 then ivha = 0;
vha = vha + ivha;

/*****/
/* Skærmafvikling */
/*****/
if ipct>0 & uroert=.
    & (artgrp=1 OR
        (&nnd=3 OR &nnd>9) & artsskifte=0 & (artgrp=6 OR artgrp=7
OR artgrp=8 OR artgrp=10) & aaben=0 & stormfald=0)
    then do;
        if (alder>=omdalder-20 & alder<omdalder) then skaerm = 1;
        if afdrevet then skaerm = 2;
        if artgrp=6 & pkkl=1 & skaerm>0 then skaerm = 0;
        end;
if skaerm=1 then do;
    vtyndha = vha * (1/(1+ceil((omdalder-alder)/5))) - 0.60 *
ivha;
    vha = vha - vtyndha;
    vtothugst = vtothugst + (vtyndha * areal * &volkorr);
    bpct = bpct * (1 - 1/(1+ceil((omdalder-alder)/5)));
    end;
/* Etablering af naturlig foryngelse */
/*****/
if skaerm=1 & (alder>=omdalder-15 & alder<omdalder-10) then
do;
    indaar = aar;
    masse_ialt = 0;
    masse__ha = 0;
    indalder = 0;
    indbpct = 100;
    output blin;
    end;

/*****/
/* Tyndingshugst */
/*****/
if uroert=. & afdrevet=0 & alder>0.2*omdalder then do;
vtyndha = 0.60 * ivha;
if (&nnd=9 OR &nnd>9) & artgrp>5 then vtyndha = 0.80 * ivha;
vha = vha - vtyndha;
vtothugst = vtothugst + (vtyndha * areal * &volkorr);
end;

end; /* if aar>indaar */

```

```

/* total vedmasse */
if ipct>0 then vtot = vha * areal * &volkorr; /* Ingen
opdatering for I%=0 */

/*****
/* Afdrift& Genkultivering */
/*****
if afdrevet = 1 then do;

/* Afdrift */
/*****
if (&nnd=7 OR &nnd>9) OR artgrp<6 then do;
  /* Efterlad dødt ved */
  if skaerm=0 then do;
    vtothugst = vtot * 0.96;
    vha = vha * 0.04;
    vtot = vtot * 0.04;
    end;
  if skaerm=2 then do;
    vtothugst = vtot * 0.84;
    vha = vha * 0.16;
    vtot = vtot * 0.16;
    end;
  end;
  else do;
    vtothugst = vtot;
    vha = 0;
    vtot = 0;
    end;

/* Genkultivering efter renafdrift */
/*****
/* ekstensive foryngelser */
if (&nnd=4 OR &nnd>9) & ((artgrp=9 & pkkl>1) OR (artgrp=6 &
pkkl=1))
  & artsskifte=0 & aaben=0 then do;
  if fy_vent>0 then fy_vent = fy_vent - 1;
  if fy_vent=0 then fy_vent = 2;
  end;

if ipct>0 & skaerm=0 & fy_vent=0 & aaben=0 then do; /* ingen
genkultivering for ipct=0 eller skærm */
/* artsskifte */
if artsskifte=1 & (&nnd=2 OR &nnd>9) then do;
  rand = ranuni(0);
  if artgrp=6 & pkkl=1 then do;
    if rand<0.67 then do;
      artgrp = 1;
      anv = "BØG";
      pk = pk * 0.65;
      end;
    if rand>=0.67 & rand<0.83 then do;
      artgrp = 3;
      anv = "ASK";
      pk = pk * 0.40;
      end;
    if rand>=0.83 then do;
      artgrp = 4;
      anv = "ÆR";
      pk = pk * 0.62;
      end;
  end;

```

```

end;
if artgrp=6 & pkkl=2 then do;
  if rand<0.82 then do;
    artgrp = 1;
    anv = "BØG";
    pk = pk * 0.65;
  end;
  if rand>=0.82 then do;
    artgrp = 2;
    anv = "EG";
    pk = pk * 0.40;
  end;
end;
if artgrp=6 & pkkl=3 then do;
  if rand<0.50 then do;
    artgrp = 2;
    anv = "EG";
    pk = pk * 0.40;
  end;
  if rand>=0.50 then do;
    artgrp = 5;
    anv = "ALØ";
    pk = pk * 0.36;
  end;
end;
if artgrp=7 & pkkl=1 then do;
  if rand<0.28 then do;
    artgrp = 1;
    anv = "BØG";
    pk = pk * 0.80;
  end;
  if rand>=0.28 & rand<0.56 then do;
    artgrp = 2;
    anv = "EG";
    pk = pk * 0.49;
  end;
  if rand>=0.56 & rand<0.78 then do;
    artgrp = 3;
    anv = "ASK";
    pk = pk * 0.49;
  end;
  if rand>=0.78 then do;
    artgrp = 4;
    anv = "ÆR";
    pk = pk * 0.76;
  end;
end;
if artgrp=7 & pkkl=2 then do;
  if rand<0.33 then do;
    artgrp = 1;
    anv = "BØG";
    pk = pk * 0.80;
  end;
  if rand>=0.33 & rand<0.83 then do;
    artgrp = 2;
    anv = "EG";
    pk = pk * 0.49;
  end;
  if rand>=0.83 then do;
    artgrp = 5;
    anv = "ALØ";
  end;
end;

```

```

        pk = pk * 0.44;
        end;
    end;
if artgrp=7 & pkkl=3 then do;
    if rand<0.50 then do;
        artgrp = 2;
        anv = "EG";
        pk = pk * 0.49;
        end;
    if rand>=0.50 then do;
        artgrp = 5;
        anv = "ALØ";
        pk = pk * 0.44;
        end;
    end;
if artgrp=9 & pkkl=1 then do;
    if rand<0.67 then do;
        artgrp = 1;
        anv = "BØG";
        pk = pk * 1.8;
        end;
    if rand>=0.67 & rand<0.83 then do;
        artgrp = 3;
        anv = "ASK";
        pk = pk * 1.1;
        end;
    if rand>=0.83 then do;
        artgrp = 4;
        anv = "ÆR";
        pk = pk * 1.7;
        end;
    end;
if artgrp=9 & pkkl=2 then do;
    if rand<0.82 then do;
        artgrp = 1;
        anv = "BØG";
        pk = pk * 1.8;
        end;
    if rand>=0.82 then do;
        artgrp = 2;
        anv = "EG";
        pk = pk * 1.1;
        end;
    end;
if artgrp=9 & pkkl=3 then do;
    if rand<0.50 then do;
        artgrp = 2;
        anv = "EG";
        pk = pk * 1.1;
        end;
    if rand>=0.50 then do;
        artgrp = 5;
        anv = "ALØ";
        pk = pk *1.0;
        end;
    end;
end; /* artsskifte */
*pkkl = ...; /* samme som før */
alder = 2;
if artgrp > 5 then alder = 4;
end; /* if ipct>0, genkulitvering */

```

```

end; /* if afdrevet=1, afdrift */

if vtot>0 OR vtothugst>0 then output blout;
if skaerm=1 & afdrevet=1 then aar=9999;
end; /* aar-loop */

keep artgrp aar vtot vtothugst stormfald;
*keep artgrp aar vtot vtothugst areal ipct;
run;

data vstorm;
set blout;
if stormfald=1;
drop stormfald;
run;
proc sort data=vstorm;
by aar;
run;
proc means data=vstorm noprint;
by aar;
var vtothugst;
output out=resltlib.vstormsum
sum(vtothugst)= vstorm
;
run;
data resltlib.vstormsum;
set resltlib.vstormsum;
vstorm = vstorm / 1000000;
run;

data blout;
set blout;
drop stormfald;
run;
proc sort data=blout;
by artgrp aar;
run;
proc means data=blout noprint;
by artgrp aar;
var vtot vtothugst;
output out=resltlib.vbyart
sum(vtot)=sum_vtot
sum(vtothugst)=sum_vtothugst
;
run;

/*****/
/* Expansion fra vedmasse til karbon */
/*****/
/*****
* Variables used for Carbon stock calc. *
*****/
*kulstofindhold tC/t totalmasse;
%LET Cforhold = 0.5;
*Ekspansionsfaktor t totalmasse/t stammemasse;
%LET LOvekspa = 1.2;
%LET NALekspa = 1.8;
*Fastmasse t toerstof / m3 frisk volumen;
%LET CRGR = 0.38;
%LET CSGR = 0.37;

```

```

%LET CEGR = 0.38;
%LET CANN = 0.43;

%LET CBOG = 0.56;
%LET CEG = 0.57;
%LET CASK = 0.56;
%LET CER = 0.49;
%LET CANL = 0.56;
data resltlib.vbyart;
set resltlib.vbyart;

v = sum_vtot / 1000000;

/* Løv */
if artgrp < 6 then do;
  c = v * &LOVekspa * &Cforhold * 3.67;

  if artgrp = 1 then c = c * &CBOG;
  if artgrp = 2 then c = c * &CEG;
  if artgrp = 3 then c = c * &CASK;
  if artgrp = 4 then c = c * &CER;
  if artgrp = 5 then c = c * &CANL;
end;
/* Nål */
else do;
  c = v * &NALEkspa * &Cforhold * 3.67;

  if artgrp = 6 then c = c * &CRGR;
  if artgrp = 7 then c = c * &CSGR;
  if artgrp = 8 then c = c * &CEGR;
  if artgrp = 9 then c = c * &CANN;
  if artgrp = 10 then c = c * &CANN;
end;

run;
data resltlib.vbyart;
set resltlib.vbyart;

vh = sum_vtothugst / 1000000;
if aar ne 2004 then vh = vh / 5;

pv = lag1(v);
pc = lag1(c);
if artgrp=lag1(artgrp) & aar ne 2004 then do;
iv = (v - pv)/5;
ic = (c - pc)/5;
end;
keep artgrp aar v c iv ic vh;
run;
proc sort data=resltlib.vbyart;
by aar;
run;
proc means data=resltlib.vbyart noprint;
by aar;
var v c iv ic vh;
output out=resltlib.vsum
sum(v c iv ic vh)=v c iv ic vh
;
run;
data vsumcor;
set resltlib.vsum;

```

```

if aar>2003;
run;
proc means data=vsumcor noprint;
var v c iv ic vh;
output out=resltlib.vmeans
sum(v c iv ic vh)=v c iv ic vh
;
run;
data resltlib.vmeans;
set resltlib.vmeans;
v = v / 21;
c = c / 21;
iv = iv / 20;
ic = ic / 20;
vh = vh / 21;
period = "2004-2104";
run;
data icperiods;
set resltlib.vsum;
if aar>2004;
if aar <2039 then period = "2004-2034";
if aar >2034 then period = "2034-2104";
run;
proc means data=icperiods noprint;
by period;
output out=icperiodsmeans
mean(v c iv ic vh)=v c iv ic vh
;
run;
data resltlib.vmeans;
merge resltlib.vmeans icperiodsmeans;
by period;
run;
data icperiods;
set resltlib.vsum;
if aar=2014;
period = "2009-2014";
keep period ic iv vh;
run;
data resltlib.vmeans;
merge resltlib.vmeans icperiods;
by period;
drop _type_ _freq_;
run;

/*****/
/* Grafer */
/*****/
data plotdata0;
set resltlib.vbyart;
if artgrp ne .;
if artgrp = 3 then artgrp = 5;
if artgrp = 4 then artgrp = 5;
if artgrp = 8 then artgrp = 10;
keep aar artgrp v c iv ic vh;
run;
proc sort data= plotdata0;
by artgrp aar;
run;
proc means data=plotdata0 noprint;
by artgrp aar;

```



```

var v c vh iv ic;
output out=plotdata
sum(v)=v
sum(c)=c
sum(vh)=vh
sum(ic)=ic
sum(iv)=iv
;
run;
data plotdata;
set plotdata;
if artgrp=6 then rank=1;
if artgrp=1 then rank=2;
if artgrp=9 then rank=3;
if artgrp=10 then rank=4;
if artgrp=7 then rank=5;
if artgrp=2 then rank=6;
if artgrp=5 then rank=7;
run;
proc sort data= plotdata;
by aar rank;
run;
data plotdata;
set plotdata;
ccum = ccum + c;
vcum = vcum + v;
vhcum = vhcum + vh;
iccum = iccum + ic;
ivcum = ivcum + iv;
if aar ne lag1(aar) then do;
    ccum = c;
    vcum = v;
    vhcum = vh;
    iccum = ic;
    ivcum = iv;
end;
iaar = aar-2.5;
staar = aar;
if staar = 2004 then staar = 2005;
if staar = 2003 then staar = 2004;
output;
if rank=7 then do;
rank = 8;
artgrp = 11;
iv = ivcum;
ic = iccum;
ccum = .;
vcum = .;
vhcum = .;
output;
end;
retain ccum vcum vhcum;
retain iccum ivcum;
run;

/* Husk at køre Danish-letters */
PROC GREPLAY igout=GSEG tc=tempcat nofs;
    DELETE _ALL_ ;
run;
goptions reset=all;
goptions

```

```

htext = 10 pt
vsize = 8 cm
hsize = 8 cm
gunit = pct
;
goptions keymap=mykeymap;
GOPTIONS DEVICE=CGMMW6C
        GSFMODE=REPLACE
        GSFLEN=80
        FTEXT = simplex
        NOPROMPT
        GSFNAME=graph
;
filename graph 'C:\andreas\SL\Projekter\NS-Karbon-
2004\Data\Results\scenario_11a';
proc gplot data=plotdata;

axis1
label=(angle = 90 'Stående vedmasse (Mio. m3)')
order=0 to 40 by 5
value=(height=8pt)
major=(h=4pt) minor=none
offset=(0,0)
;

axis11
label=(angle = 90 'Bundet kulstof (Mio. to CO2)')
order=0 to 50 by 5
value=(height=8pt)
major=(h=4pt) minor=none
offset=(0,0)
;

axis14
label=(angle = 90 'Hugst (Mio. m3/år)')
order=0 to 1.2 by 0.2
value=(height=8pt)
major=(h=4pt) minor=none
offset=(0,0)
;

axis2
label=('År')
order=2004 to 2104 by 20
value=(height=8pt)
major=(h=2pt) minor=none
offset=(5)pct
;

symbol1 I=join V=none C=black;
symbol2 I=join V=none C=black;
symbol3 I=join V=none C=black;
symbol4 I=join V=none C=black;
symbol5 I=join V=none C=black;
symbol6 I=join V=none C=black;
symbol7 I=join V=none C=black;
symbol8 I=join V=none C=black;

pattern1 V=solid C=black;
pattern2 V=SOLID C=GRAY9D;
pattern3 V=EMPTY C=black;

```

```

pattern4 V=M1N45 C=black;
pattern5 V=M1N135 C=black;
pattern6 V=M1N0 C=black;
pattern7 V=M1X45 C=black;
pattern8 V=M1X0 C=black;
*pattern9 V=M3N45 C=black;
*pattern10 V=M3N135 C=black;

plot vcum * staar = rank /vaxis=axis1 haxis=axis2 areas=8
nolegend name='vdyn';
plot ccum * staar = rank /vaxis=axis11 haxis=axis2 areas=8
nolegend name='cdyn';
plot vhcum * aar = rank /vaxis=axis14 haxis=axis2 areas=8
nolegend name='vhdyn';

run;
proc sort data= plotdata;
by aar artgrp;
run;
proc gplot data=plotdata;

axis12
label=(angle = 90 'Nettovedmassetilvækst (Mio. m3/år)')
order=-0.2 to 0.6 by 0.1
value=(height=8pt)
major=(h=4pt) minor=none
offset=(0,0)
;

axis13
label=(angle = 90 'Nettokulstofbinding (Mio. to CO2/år)')
order=-0.3 to 0.7 by 0.1
value=(height=8pt)
major=(h=4pt) minor=none
offset=(0,0)
;

axis2
label=('År')
order=2004 to 2104 by 20
value=(height=8pt)
major=(h=2pt) minor=none
offset=(5)pct
;

symbol1 I=join V=circle h=6pt L=1 W=10 C=black;
symbol2 I=join V=circle h=6pt L=1 W=1 C=black;
symbol3 I=join V=circle h=6pt L=4 W=1 C=black;
symbol4 I=join V=triangle h=6pt L=1 W=10 C=black;
symbol5 I=join V=triangle h=6pt L=1 W=1 C=black;
symbol6 I=join V=triangle h=6pt L=2 W=1 C=black;
symbol7 I=join V=triangle h=6pt L=4 W=1 C=black;
symbol8 I=join V=none L=1 W=40 C=black;

plot iv * iaar = artgrp /vaxis=axis12 haxis=axis2 nolegend
vref=0 name='ivdyn';
plot ic * iaar = artgrp /vaxis=axis13 haxis=axis2 nolegend
vref=0 0.183 lvref=(1 2) name='icdyn';

run;
quit;

```

```

/* Legends */
data legend;
length function color $8 text $25;
retain hsys xsys ysys '3';

/* Titles */
function='label'; x=50; y=99; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Træart'; output;
function='label'; x=50; y=89; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Andet løv'; output;
function='label'; x=50; y=83; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Eg'; output;
function='label'; x=50; y=77; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Sitkagran'; output;
function='label'; x=50; y=71; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Andet nål'; output;
function='label'; x=50; y=65; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Fyr'; output;
function='label'; x=50; y=59; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Bøg'; output;
function='label'; x=50; y=53; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Rødgran'; output;
function='label'; x=50; y=47; position='6'; color='black';
size=5; angle=0; text='Alle'; output;

/* Lines */
function='move'; x=75; y=88; output;
function='draw'; x=85; y=88; line=4; color='black';
size=0.01; output;
function='symbol'; x=80; y=88; line=1; color='black';
size=5; text='circle'; output;

function='move'; x=75; y=82; output;
function='draw'; x=85; y=82; line=1; color='black';
size=0.01; output;
function='symbol'; x=80; y=82; line=1; color='black';
size=5; text='circle'; output;

function='move'; x=75; y=76; output;
function='draw'; x=85; y=76; line=1; color='black';
size=0.01; output;
function='symbol'; x=80; y=76; line=1; color='black';
size=5; text='triangle'; output;

function='move'; x=75; y=70; output;
function='draw'; x=85; y=70; line=4; color='black';
size=0.01; output;
function='symbol'; x=80; y=70; line=1; color='black';
size=5; text='triangle'; output;

function='move'; x=75; y=64; output;
function='draw'; x=85; y=64; line=2; color='black';
size=0.01; output;
function='symbol'; x=80; y=64; line=1; color='black';
size=5; text='triangle'; output;

function='move'; x=75; y=58; output;
function='draw'; x=85; y=58; line=1; color='black';
size=0.1; output;

```

```

function='symbol'; x=80; y=58; line=1; color='black';
size=5; text='circle'; output;

function='move'; x=75; y=52; output;
function='draw'; x=85; y=52; line=1; color='black';
size=0.1; output;
function='symbol'; x=80; y=52; line=1; color='black';
size=5; text='triangle'; output;

function='move'; x=75; y=46; output;
function='draw'; x=85; y=46; line=1; color='black';
size=0.4; output;

/* Bars */
pattern1 V=solid C=black;
pattern2 V=SOLID C=GRAY9D;
pattern3 V=EMPTY C=black;
pattern4 V=M1N45 C=black;
pattern5 V=M1N135 C=black;
pattern6 V=M1N0 C=black;
pattern7 V=M1X45 C=black;
pattern8 V=M1X0 C=black;
function='move'; x=35; y=90; output;
function='bar'; x=45; y=86; line=0; color='black'; size=5;
style='M1X45'; output;

function='move'; x=35; y=84; output;
function='bar'; x=45; y=80; line=0; color='black'; size=5;
style='M1N0'; output;

function='move'; x=35; y=78; output;
function='bar'; x=45; y=74; line=0; color='black'; size=5;
style='L1'; output;

function='move'; x=35; y=72; output;
function='bar'; x=45; y=68; line=0; color='black'; size=5;
style='M1N45'; output;

function='move'; x=35; y=66; output;
function='bar'; x=45; y=62; line=0; color='black'; size=5;
style='EMPTY'; output;

function='move'; x=35; y=60; output;
function='bar'; x=45; y=56; line=0; color='GRAY9D'; size=5;
style='SOLID'; output;

function='move'; x=35; y=54; output;
function='bar'; x=45; y=50; line=0; color='black'; size=5;
style='SOLID'; output;

run;
proc gslide annotate=legend name='LABEL';
Title1 ' ';
Footnote1 ' ';
run;

/*Combine 6 graphs into one*/
goptions display VSIZE=20 CM HSIZE=12 CM;
*filename graph 'D:\SL\Projekter\NS-Karbon-
2004\Data\Results\grafs\scen00.cgm';
PROC GREPLAY IGOUT=GSEG TC=TEMPCAT NOFS;

```

```

TDEF MUCHOS DES='all'

1/LLX=0 LLY=67 ULX=0 ULY=97 URX=50 URY=97 LRX=50 LRY=67
2/LLX=0 LLY=34 ULX=0 ULY=64 URX=50 URY=64 LRX=50
  LRY=34
3/LLX=0 LLY=1 ULX=0 ULY=31 URX=50 URY=31 LRX=50 LRY=1

4/LLX=50 LLY=67 ULX=50 ULY=97 URX=100 URY=97 LRX=100
  LRY=67
5/LLX=50 LLY=34 ULX=50 ULY=64 URX=100 URY=64 LRX=100
  LRY=34
6/LLX=50 LLY=1 ULX=50 ULY=31 URX=100 URY=31 LRX=100
  LRY=1
;

TEMPLATE=MUCHOS;
TREPLAY      1:cdyn
              2:vdyn
              3:vhdyn
              4:icdyn
              5:ivdyn
              6:label
;

run;
quit;

```