



**Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100  
perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi**

Graudal, Lars; Nielsen, Ulrik Braüner; Schou, Erik; Thorsen, Bo Jellesmark; Hansen, Jon Kehlet; Bentsen, Niclas Scott; Johannsen, Vivian Kvist

*Publication date:*  
2013

*Document version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*  
Graudal, L., Nielsen, U. B., Schou, E., Thorsen, B. J., Hansen, J. K., Bentsen, N. S., & Johannsen, V. K. (2013). *Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100: perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi*. Frederiksberg: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.



# Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100

Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling  
mod en biobaseret økonomi

IGN Rapport

Oktober 2013 – Endelig revision januar 2014

**Titel**

Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100. Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi

**Forfattere**

Lars Graudal<sup>1</sup>, Ulrik Braüner Nielsen<sup>1</sup>, Erik Schou<sup>1</sup>, Bo Jellesmark Thorsen<sup>2</sup>, Jon Kehlet Hansen<sup>1</sup>, Niclas Scott Bentsen<sup>1</sup>, Vivian Kvist Johannsen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KU, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning/Skov & Landskab

<sup>2</sup> KU, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi/Skov & Landskab

**Bedes citeret**

Graudal, L., Nielsen, U.B., Schou, E., Thorsen, B.J., Hansen, J.K., Bentsen, N.S., og Johannsen, V.K. (2013): Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100. Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, 86 s. ill.

**Udgiver**

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning  
Rolighedsvej 23  
1958 Frederiksberg C  
Tlf. 3533 1500  
www.ign.ku.dk

**Ansvarshavende redaktør**

Niels Elers Koch

**ISBN**

978-87-7903-636-9

**Forsidefoto**

Vivian Kvist Johannsen

**Publicering**

Rapporten er udelukkende publiceret på [www.ign.ku.dk](http://www.ign.ku.dk)

**Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse**

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame.

**Note, januar 2014**

Nærværende rapport er udarbejdet af IGN for Naturstyrelsen i 2013. Resultater af arbejdet har været præsenteret løbende, senest i efteråret 2013. Publikationen indeholder de endelige kvalitetssikrede beregninger, som på enkelte punkter afviger fra de foreløbige resultater, der hidtil har været tilgængelige. Omsætning fra træmasse til energi var fejbehæftet og produktiviteten i kombinations scenarier svarede ikke i alle tilfælde til de ønskede virkemidler. Disse forhold er nu korrigeret. Tillige er foretaget en uddybende nuancering af effekten af enkelte af de skovdyrkningsmæssige virkemidler, som er rapportens centrale indhold.



# Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100

Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling  
mod en biobaseret økonomi

Lars Graudal, Ulrik Braüner Nielsen, Erik Schou,  
Bo Jellesmark Thorsen, Jon Kehlet Hansen,  
Niclas Scott Bentsen, og Vivian Kvist Johannsen

# Indhold

<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INTRODUKTION</b> .....	<b>7</b>
1.1 SKOVENES UDVIKLING I DANMARK MOD EN BIOBASERET DAGSORDEN .....	7
1.2 FORMÅL.....	8
1.3 METODE OG AFGRÆNSING .....	9
<b>2 RATIONALE OG POTENTIALT FOR UDVIDELSE AF TRÆPRODUKTIONEN</b> .....	<b>13</b>
2.1 RATIONALET: PRODUKTION OG FORBRUG AF TRÆ, GLOBALT OG NATIONALT .....	13
2.2 POTENTIALT.....	21
2.3 BRUG AF TRÆ OG DYRKNING AF SKOV TIL AFDÆMPNING AF KLIMAFORANDRINGER .....	24
<b>3 DE ENKELTE VIRKEMIDLER</b> .....	<b>37</b>
3.0 VURDERING AF MILJØEFFEKTER .....	38
3.1 SKOVREJSNING.....	40
3.2 ARTSVALG VED SKOVREJSNING .....	41
3.3 OMDRIFTSALDER.....	43
3.4 FORYNGELSE AF EKSISTERENDE SKOV .....	45
3.5 URØRT SKOV/BIODIVERSITETSSKOV .....	47
3.6 VALG AF HUGSTGRAD OG AFLÆGNING AF SORTIMENTER .....	48
3.7 FORÆDLING .....	50
3.8 ØVRIGE VIRKEMIDLER.....	54
3.9 SAMMENFATNING ALLE BEHANDLEDE VIRKEMIDLER.....	55
<b>4 UDVALGTE SCENARIERS EFFEKT PÅ PRODUKTION, OPBYGNING AF VEDMASSE OG CO<sub>2</sub> BALANCE</b> .....	<b>62</b>
4.1 HØST OG UDBYTTET FOR FIRE SCENARIER .....	62
4.2 KLIMAETS BETYDNING .....	67
4.3 DE FAKTISKE EFFEKTER: ÆNDRINGER I PRODUKTION, STÅENDE MASSE OG BIDRAG TIL CO <sub>2</sub> BALANCEN .....	68
<b>5 DISKUSSION OG KONKLUSIONER</b> .....	<b>72</b>
5.1 RAPPORTENS BEGRÆNSNINGER .....	72
5.2 MULIGHEDER FOR AT ØGE PRODUKTIONEN: FORSYNINGEN MED RÅTRÆ .....	72
5.3 SAMSPILLET MELLEML BIOMASSEPRODUKTIONEN OG SKOVENES ANDRE VÆRDIER, VELFÆRDSØKONOMISKE ASPEKTER .....	74
5.4 OMRÅDER MED BEHOV FOR VEJLEDNING TIL PRAKSIS .....	76
<b>6 REFERENCER</b> .....	<b>78</b>
<b>7 BAGGRUNDSNOTATER</b> .....	<b>86</b>

## Sammendrag

Danmark står foran store udfordringer med omlægning af energiforsyning og imødegåelse af klimaforandringer. Planen er, at Danmark i 2050 skal være overgået helt til vedvarende energi, og at vi over de kommende år skal reducere vort udslip af CO<sub>2</sub> meget markant.

Den foreliggende rapport giver en vurdering af potentialet for, hvordan skovbruget i Danmark kan medvirke hertil. Rapporten er udarbejdet af Skov & Landskab ved Københavns Universitet for Naturstyrelsen, Miljøministeriet i 2013.

I tilknytning til denne rapport, med bilag i form af et antal baggrundsnotater, er tillige udarbejdet en kort version under titlen 'Dansk skovbrugs mulige bidrag til øget træproduktion og imødegåelse af klimaforandringer 2010-2100'.

### Rapportens grundlag og begrænsninger

Rapporten vurderer mulighederne for at øge produktionen og optimere udnyttelsen af træressourcen i de danske skove *på en klimavenlig måde* og under passende hensyn til skovens øvrige funktioner, de rekreative, miljøbeskyttelsen i bredere forstand og som levested for biologisk mangfoldighed.

For at vurdere hvor meget skovens vækst kan øges, er der taget udgangspunkt i hvor meget ny skov, der etableres, og i hvordan skovene i dag ser ud: Hvor store arealer, hvilke træarter, deres alder og størrelse, hvor meget og hvor hurtigt de vokser, hvad og hvor meget, der i dag bliver fældet, hvor gamle træerne er, når det sker, hvad høsten af træ bliver brugt til, hvordan man erstatter de træer, som fældes med nye træer, og hvilket plantemateriale der bruges.

Alle disse parametre kendes med varierende grad af nøjagtighed fra det nationale skovovervågningsprogram, hvor man hvert år indsamler data til belystning af disse forhold.

Det er derfor muligt at opstille *modeller* for skovens træproduktion som funktion af disse parametre eller virkemidler, som de også benævnes, fordi det er de forhold, vi kan variere gennem skovdyrkningsmæssige tiltag.

Rapporten præsenterer nogle resultater af en række simulerede scenarier, der kombinerer forskellige skovdyrkningsmæssige virkemidler, som påvirker udbyttet af træ fra de danske skove over de næste knap 100 år. Fokus er entydigt på betydningen af de forskellige virkemidler for mængden af råtræ, der produceres og afhændes som henholdsvis gavnt træ og biomasse/energitræ, samt mængden af træ og biomasse, der opføres i de danske skove.

Rapporten belyser kun en beskedent del af de velfærdsøkonomiske effekter som en implementering af de forskellige virkemidler og scenarier måtte have, fordi den ikke opgør de forskellige virkemidler og scenariers effekter på værdier knyttet til f.eks. rekreative anvendelser, grundvandsbeskyttelse, biodiversitetsbeskyttelse og landskabsmæssige kvaliteter, men her blot giver en kvalitativ vurdering af virkemidlernes relative effekt.

### Skovens potentielle bidrag til produktion af træ og binding af CO<sub>2</sub>

Forbrug af træ i Danmark er omkring 18 millioner m<sup>3</sup> per år, fordelt med 8,5 millioner m<sup>3</sup> til energi, 4-5 millioner m<sup>3</sup> til gavnt træ og resten til papir. Heraf kommer ca. 3,5 millioner m<sup>3</sup> fra de danske skove, ca. 3

millioner m<sup>3</sup> fra andre hjemlige kilder og resten på 11-12 millioner m<sup>3</sup> fra import. Rundt regnet altså en selvforsyningsgrad på under 1/3 og med et bidrag fra skovene på knap 20 %.

Samtidig lagrer skovene kulstof. Alene i den stående overjordiske vedmasse er der aktuelt 40 millioner tons kulstof med en svagt stigende tendens, fordi den årlige tilvækst i skovene er større end den årlige hugst.

Disse tal for høst og lagring kan forbedres meget betydeligt. Høsten af træ vil frem mod 2050 kunne øges med mere end 30 % samtidig med, at lagret af kulstof i skovene øges tilsvarende. Specielt vil andelen af træ til energi fra de danske skove kunne øges fra at udgøre omkring 2 % af vort energiforbrug til at stå for op imod 5 % allerede i 2020, mere end 7 % i 2050 og i nærheden af 13 % i 2100. En parallel stigning i skovens kulstoflager indebærer, at den samlede årlige fortrængning af fossilt kulstof og kulstofophobning i skov og skovprodukter kan øges fra et niveau på mindre end 5 millioner tons CO<sub>2</sub> om året til 6 millioner tons i 2020, 7-9 millioner tons i 2050 og 10-13 millioner tons i 2100, svarende til en stigning fra mindre end 10 % til over 20 % af vort aktuelle årlige CO<sub>2</sub> udslip (niveau 2011). Hvis de planlagte reduktionsmål på 80-95 % for CO<sub>2</sub> udledninger nås, vil det i 2050 svare til over halvdelen af det årlige CO<sub>2</sub> udslip og i 2100 være på niveau hermed.

## **Virkemidlerne**

Gennemgangen af virkemidler viser således, at det er muligt at øge produktionen i de danske skove ganske betydeligt, og at det vil være muligt at bidrage signifikant til danske energimålsætninger om en omstilling til 100 % vedvarende energi i 2050 og til en markant reduktion af Danmarks CO<sub>2</sub>-udslip.

Et meget væsentligt virkemiddel i Danmark er en udvidelse af skovarealet. Dette er i tråd med den allerede eksisterende skovpolitiske målsætning fra 1989 om at fordoble skovarealet indenfor en trægeneration.

Modelberegningerne peger imidlertid også på, at *andre* skovdyrkningsmæssige tiltag i kombination kan være af ligeså stor betydning. Med henblik på at optimere arealanvendelsen er det nødvendigt i betydeligt omfang at satse på relativt højproducerende skove. Det vil kræve investeringer i både skovdyrkning og skovtræforædling med fokus på tilpasning og produktion.

## **Anbefalinger til praksis**

Med henblik på konkret implementering understøtter rapportens resultater en række af de anbefalinger, som er givet af Skovpolitisk Udvalg (2011) og i ' +10 millioner tons planen' (2012). Et tæt samspil mellem forskning, udvikling og implementering, samt mellem offentlige og private aktører er afgørende for at disse anbefalinger kan blive til virkelighed.

I rapporten peges på en række områder knyttet til nævnte anbefalinger og de skovdyrkningsmæssige virkemidler, hvor der skønnes at være behov for at udvikle bedre beslutningsgrundlag og redskaber til praksis. Det drejer sig f.eks. om modeller for skovrejsning, der fremmer produktion, stabilitet og diversitet, valg af fremtidens træarter og kulturmodeller med henblik på at sikre tilpasningsdygtige dyrkningssystemer, brug af optimalt plantemateriale og sammenhæng mellem mere produktorienteret og produktoptimerende drift på den ene side og miljøhensyn på den anden.

En særlig udfordring bliver at sikre skovtræernes stabilitet og diversitet, som det bærende element i skovens struktur og ramme for det øvrige dyre og planteliv, i en fremtid med ændret klima, risiko for nye svampesygdomme og insekter, eller skift i konkurrenceforholdet mellem allerede eksisterende skadevoldere og skovtræerne.

# 1 Introduktion

## 1.1 Skovenes udvikling i Danmark mod en biobaseret dagsorden

Formålene med driften af de danske skove, herunder statens skove, har i de sidste ca. 300 år for det meste været sammenfaldende, overvejende med fokus på produktive funktioner.

Ovenpå skovenes næsten totale ødelæggelse i løbet af det 17. og 18. århundrede fulgte en lang periode med genopbygning (restaurering), hvor formålene var at sikre en vedvarende produktion af gavntræ og brænde, at dæmpe sandflugt og beskytte landbrugslandskabet mod yderligere ødelæggelse, og at bevare en bestand af vildt som grundlag for jagt. Danmark var fra det 20. århundredes begyndelse præget af velordnede skove med produktion for øje (jf. f.eks. Fritzbøger, 1994, Kulturskoven).

I løbet af de sidste ca. 20 år er dette tætte interessefællesskab mellem stat og erhverv i nogen grad blevet udvisket. Den økonomiske værdi af gavntræ og brænde faldt samtidig med, at der blev lagt øget vægt på miljøgoder, rekreation og biologisk mangfoldighed, hvilket bl.a. ses i Skovloven fra 2004, hvor der ved driften af de offentlige skove, herunder statsskovene, skal lægges særlig vægt på biologisk mangfoldighed og andre miljøgoder. I statsskovene blev disse områder prioriteret og der blev lagt mindre vægt på træproduktionen. Desuden fastslår loven, at man i statsskovene skal fremme udviklings- og forsøgsvirksomhed.

Med henblik på at tilgodese skovenes flersidige funktioner blev en omlægning af statsskovene til mere naturnær skovdrift sat i værk med begyndelsen af det 21. århundrede. De naturnære principper er mange og kan spænde fra den mere ekstensive til den mere intensive driftsform<sup>1</sup>.

Parallelt hermed begynder et nyt syn på skovproduktion at erkendes, især internationalt. Globalisering, klimaforandringer og forventninger om ressourceknaphed danner grundlag for visioner om en grøn omstilling til samfund, der ikke er afhængige af fossile energikilder. Planteproduktion bliver ikke længere blot set som et spørgsmål om lokal og global forsyning med føde, foder og træ/fibre, men i ligeså høj grad som et spørgsmål om fremtidens klima, energi baseret på fornybare ressourcer, substituering af energikrævende produkter og biologisk baserede produkter og materialer via bioraffinering. Da træer har en bemærkelsesværdig evne til at producere biomasse *uden* brug af energikrævende hjælpestoffer bliver øget træproduktion potentielt et miljøgode i sig selv. Det er samtidig erkendt, at vi på sigt ikke kan løse vort forbrug alene ved at investere i produktion andre steder i verden. Der er således tale om en fælles international dagsorden (jf. f.eks. Graudal & Kjær 1997, Evans 2009, Meyfroidt & Lambin 2011).

Indenfor de sidste få år er biomassens potentiale behandlet i flere sammenhænge. Klimakommissionen (2010) peger på, at biomasse i 2050 potentielt vil kunne udgøre 30 % af energiforbruget (mod 7% i 2008, om end af et større samlet energiforbrug end det ventes at være i 2050).

Skovpolitisk Udvalg (2011) anbefaler da også, at forskning i produktion og anvendelse af biomasse fra skove bør styrkes, at der bør arbejdes for internationale kriterier for bæredygtighed i produktion af biomasse, at

---

<sup>1</sup> Opfattelsen af den naturnære skovdrift varierer fra en bæredygtig økonomisk optimal og intensiv driftsform til en ekstensiv og vedmassefattig drift med billige kulturer. Den naturnære skovdrift er genstand for selvstændig evaluering i projektet 'Evaluering af den naturnære skovdrift i statsskovene (Madsen *et al.* 2013).



incitament for øget brug af bæredygtigt producerede træprodukter fremmes, og at der udarbejdes en national handlingsplan for biomasse.

Regeringens langsigtede mål er en omstilling af det danske samfund til vedvarende energi i 2050. Af regeringsudspillet "Vores energi" fra november 2011 fremgår at anvendelse af biomasse forventes at spille en væsentlig rolle i denne omstilling.

Erhvervspanelet for grøn omstilling (2012) ser brugen af bioressourcer som en bæredygtig vækstmulighed og rejser i den sammenhæng flere centrale spørgsmål. Hvordan anvendes biomassen mest intelligently? Hvor stort er potentialet med hensyn til forsyningsikkerhed, CO<sub>2</sub> reduktion, jobskabelse og teknologiekspert? Og har vi den nødvendige forskningskapacitet?

Også det af regeringen nedsatte Vækstteam for vand, bio- og miljøløsninger (2012) fokuserer på biomasse som et afgørende udviklingsområde for dansk jordbrug og industri med henblik på at blive et vækstcenter med viden, teknologi og produktion i en bæredygtig europæisk bioøkonomi. Teamet anbefaler bl.a., at planteforædling fremmes, og at energipolitikken i højere grad tager hensyn til de langsigtede innovationsmuligheder, som findes inden for det biobaserede samfund, ligesom der peges på nødvendigheden af at handle i en international kontekst.

Der er taget en række internationale initiativer på området. For nylig, et Nordisk bioøkonomi initiativ, som bl.a. omfatter bæredygtig produktion og anvendelse af biomasse (Nidaros erklæringen 2012, NKJ 2013). I europæisk regi har EU ført an med målsætninger for øget brug af biomasse i en biobaseret økonomi i en år-række (EC 2012) og FAO/ECE arbejder specifikt med en handlingsplan for bæredygtig skovdrift i en grøn økonomi (ECE/FAO 2011). FN fokuserer bl.a. på betydningen af biomasse energi i en udviklingsammenhæng (Poor People's Energy Outlook 2012). Det Internationale Energiagentur skønner, at biomasse har potentiale til at dække 25 % af verdens energibehov i 2035 mod 10% dækning i dag (jf. Kopetz, 2013).

På den baggrund er der et behov for at vurdere *potentialet for fremtidig biomasse produktion i eksisterende og ny skov i Danmark*. Endvidere kan man diskutere hvilken rolle statsskovene, og dermed Naturstyrelsen, har for potentialet af den fremtidige biomasse i danske og internationale skovbrugssammenhænge.

## 1.2 Formål

Hvor meget ekstra biomasse vi kan producere til bioraffinaderier i Danmark er allerede blevet vurderet i "+10 mio. tons planen". Fokus i denne plan er på hvor stor en mængde biomasse, der potentielt kan opnås allerede i 2020. For træproduktionens vedkommende peges også frem mod 2100, men der ses alene på den andel som, vil være til rådighed for energi og materialer og den langsigtede fremskrivning er baseret på en "simpel" fremskrivning af status i 2009 (Gylling et al. 2012).

Nærværende udredning behandler den samlede træproduktion og søger at give nogle mere uddybende spørgsmål og svar på, hvilke skovbrugsvirkemidler der skal til for at skovene bedre kan bidrage til den grønne omstilling mod en biobaseret økonomi. Udredningen skal bidrage til at afdække spørgsmål som:

- Er det en god ide at sætte på øget træproduktion?
- Hvor meget og hvordan kan en sådan produktion udvides på et bæredygtigt grundlag og med hvilke virkemidler?

Udredningen er endvidere tænkt som et fagligt input til en efterfølgende diskussion af:

- Hvad kan der f.eks. gøres for skovbrugserhvervet i Danmark?
- Hvad kan der gøres i statens skove?
- Hvad kan man bidrage med internationalt fra dansk side?
- Hvordan kan disse muligheder understøttes i et nationalt skovprogram?

Grundlæggende spørgsmål er således, hvordan produktionen af skovprodukter kan øges kvantitativt og kvalitativt i hele skovbrugserhvervet og hvordan skovens produkter kan anvendes i et biobaseret samfund.

Produkter kan være både materielle og immaterielle: træproduktion, miljøgoder og oplevelser. Træproduktionen omfatter både den primære produktion, ressourceudnyttelsen og produktudvikling. Miljøgoder som f.eks. læ, grundvandsbeskyttelse og biodiversitet er produkter i sig selv, men de påvirkes tillige af produktionen af træ og omvendt<sup>2</sup>. Noget tilsvarende gælder for oplevelser (rekreation/sundhed).

*Udredningens formål er således at vurdere mulighederne for at forbedre (øge) og optimere udnyttelsen af træressourcen under passende hensyn til skovens øvrige funktioner. Der sigtes tillige mod at bidrage til en afklaring af på hvilke områder, der er behov for at udvikle nye eller bedre retningslinier for skovbrugsmæssig praksis.*

Rationalet for øget bæredygtig produktion og forbrug af træ, knytter sig til dets økonomiske værdi, den miljøvenlige produktion af råstof (uden brug af energikrævende og miljøbelastende hjælpestoffer) og den mitigerende effekt af kulstofophobning på klimaforandringer<sup>3</sup>. Afgørende er naturligvis at potentialet for en sådan bæredygtig produktion er til stede og kan tilvejebringes. Rationalet og potentialet uddybes i et globalt perspektiv i *kapitel 2*.

### 1.3 Metode og afgrænsning

I ”+10 mio. tons planen” er foretaget en aktuel vurdering af mulighederne for at øge den danske produktion af biomasse til bioraffinaderier allerede i 2020, herunder andelen af biomasse fra skov (Gylling et al. 2012).

Der tages i nærværende arbejde udgangspunkt i de modeller, der er opstillet i forbindelse med udarbejdelsen af ”+10 mio. tons planen”. I denne plan er opstillet tre scenarier for udvikling af skov- og landbrug frem til 2020 baseret på anvendelse af forskellige virkemidler (Gylling et al. 2012).

De tre scenarier i ”+10 mio. tons planen” er: ”business as usual” (BAU), hvor der blot sker en øget udnyttelse af det land- og skovbrug vi har i dag (herunder den aktuelle udvikling i arealanvendelsen), et bio-masseoptimeret scenarie (BIO) der fokuserer på øget biomasse produktion, og et miljøoptimeret scenarie

<sup>2</sup> Blandt miljøgoderne indgår den biologiske mangfoldighed, som i de forløbne 20 år har været genstand for en række særlige tiltag. Disse behandles i en særskilt evaluering heraf, ’Evaluering af indsatsen for biodiversitet i de danske skove 1992 – 2012 (Johannsen et al. 2013).

<sup>3</sup> Vi måler derfor produktionen i kr., m<sup>3</sup>, tons tørstof, tons kulstof og PJ (petajoule) afhængigt af sammenhængen.

(ENV) med udstrakt hensyn til biodiversiteten eksemplificeret gennem udlægning af urørt skov<sup>4</sup>, baseret på De Økonomiske Råds anbefaling heraf i deres økonomi og miljø rapport i 2012 (DØRS 2012). Johannsen *et al.* (2013) behandler effekten af forskellige driftsformer og tiltag, da bevaring og fremme af specifik biodiversitet ofte vil kræve aktive valg i forhold til drift, pleje og fravær af drift.

Udgangspunkt for modellerne er resultater fra det nationale skovovervågningsprogram(kaldet NFI efter "National Forest Inventory"), status år 2009. Den faktuelle aldersklassefordeling, diameterfordeling og vedmasse fra NFI danner udgangspunkt for fremskrivningerne. Som udgangspunkt for estimering af hugsten er anvendt tilvækstmodeller (jf. Bentsen *et al.* 2012, Johannsen *et al.* 2013b).

For træproduktionen er scenarierne i "+10 mio. tons planen" sammensat af forskellige kombinationer af følgende virkemidler:

- Skovrejsning
- Artsvalg ved skovrejsning
- Omdriftsalder/kulturareal
- Artsvalg i foryngelser
- Kulturmetode
- Urørt skov
- Hugstgrad
- Hugst sortiment
- Forædling

Med hensyn til produktion af vedmasse er de anvendte virkemidler og de tre scenarier i +10 mio. tons planen præsenteret i *tabel 1* nedenfor.

Den foreliggende udredning behandler de samme virkemidler som i +10 mio. tons planen, men i nærværende rapport fokuseres der på effekten af de enkelte virkemidler som grundlag for at kunne opstille fleksible scenarier baseret på en vurdering af de enkelte virkemidler og deres samspil.

---

<sup>4</sup> Der tages i nærværende rapport ikke stilling til den urørte skovs effekt på biodiversiteten (se Johannsen *et al.* 2013).

**Tabel 1** Oversigt over scenarier med relevans for produktion af vedmasse i "10 mio. tons planen" (baseret på Bentsen et al. 2012; samt Kristensen og Jørgensen 2012, Johannsen *et al.* 2013b).

Virkemiddel/ scenarieelement <sup>5</sup>	Scenarier i "10 mio. tons planen"		
	BAU	Biomasse (BIO)	Miljø (ENV)
Skovrejsningsareal (SK 1)	1900 ha/år	1900 ha/år	4560 ha/år
Artsvalg ved skovrejsning (SK 2)	Som nu	Nål	Løv
Kulturareal/omdriftsalder (SK3)	Som nu	Større end nu/kortere omdrift	Mindre end nu/højere omdrift
Artsvalg ved nykultur (SK 4)	Nål konverteres til nål Løv konverteres til løv	Nål konverteres til nål Løv konverteres til 50 % løv og 50 % nål	Nål konverteres til 50 % nål og 50 % løv Løv konverteres til løv
Kulturmetode/ skovrejsningsmetode (SK 5)	Som nu Ex. 3500-6500 pl/ha	Planterige kulturer + øget brug af forkultur, ammer og indblanding af hurtigtvoksende arter Ex. 7000-11000 pl/ha	Som nu Ex. 3500-6500 pl/ha
Urørt skov (SK 6)	Som nu	Som nu	Yderligere 46.100 ha
Mobilisering af vedmasse (SK 7)	Som nu (Hugst < tilvækst)	Hugst ~ tilvækst	Hugst << tilvækst
Aflægning (SK 8)	Som nu	Større andel af hugsten anvendes til energi og materialer	Større andel af nåletræ anvendes til energi og materialer. Lavere andel af løvtræ anvendes til energi og materialer
Forædling (SK 9)	Nuværende forædlingsindsats	Øget forædlingsindsats	Øget forædlingsindsats
Vedmasse uden for skovene <sup>6</sup>	12,4 PJ ~ 0,7 Mton	12,4 PJ ~ 0,7 Mton	12,4 PJ ~ 0,7 Mton
Energiskov (pil og poppel) <sup>7</sup>	11 661 ha	11 661 ha	11 661 ha
Andre biomasse afgrøder <sup>7</sup>		> 200 000 ha	> 200 000 ha

For hvert virkemiddel laves følsomhedsanalyser<sup>8</sup> (kapitel 3), der omfatter en kvantitativ og en kvalitativ analyse og diskussion af hvad forskellige virkemidler betyder for produktionen af træbiomasse. Helt konkret tilstræbes at vise effekt og værdi (i form af produktion, påvirkning af andre relevante faktorer og økonomisk værdi), omkostninger forbundet med tiltaget (prisen), den forventede udvikling over tid, samt ideelt set også en beskrivelse af hvilke konkrete dyrkningsmæssige tiltag, det enkelte virkemiddel indebærer. I denne sammenhæng gives imidlertid alene nogle generelle overvejelser om på hvilke områder der skønnes at være behov for udvikling af vejledning til praksis.

<sup>5</sup> SK 1-9 refererer til de scenarieelementer som indgår i +10 mio. tons planens analyser for skovenes bidrag til biomasse produktionen (Bentsen et al. 2012). Scenarieelementer omtales i nærværende rapport som virkemidler

<sup>6</sup> Muligheden for at kvalificere denne ressource er ikke søgt vurderet i denne sammenhæng.

<sup>7</sup> Alternative vedproducerende arter til pil og poppel og nye biomasseafgrøder på eksisterende raps- og kornarealer (jf. Kristensen og Jørgensen, 2012, tabel 10) er en mulighed, som ikke er analyseret her.

<sup>8</sup> Omfanget heraf varierer fra virkemiddel til virkemiddel afhængigt af det tilgængelige datagrundlag.

Der opstilles forskellige scenarier (*kapitel 4*) for potentielt udbud af dansk produceret træbiomasse, dels biomasse til afbrænding eller raffinering, og dels gavntræ til savværker og modelberegninger for udviklingen på kort og langt sigt (en trægeneration – her ca. 100 år). De forskellige scenarier vil afspejle varierende samfunds- og driftsøkonomiske prioriteringer. Der laves tværsnits vurderinger ved årene 2020, 2050 og 2100.

For hvert virkemiddel og scenarie vil mulige effekter (positive og negative) af ændrede vækstvilkår som følge af klimaforandringer kunne variere (jf. f.eks. Hansen og Kjær 2012 samt baggrundsnotat om klima (Hansen *et al.* 2013b)). Her er foretaget en samlet vurdering i afsnit 4.2.

I *kapitel 5* rundes af med at se på, hvordan rapportens resultater afspejler mulighederne for at udvide produktionen og kan danne grundlag for anvisninger til praksis.

## 2 Rationale og potentialet for udvidelse af træproduktionen

### 2.1 Rationalet: produktion og forbrug af træ, globalt og nationalt

#### 2.1.1 Det globale perspektiv

Rationalet for øget bæredygtig produktion og forbrug af træ knytter sig som nævnt ovenfor til tre forhold: dets økonomiske værdi (og lette tilgængelighed), den miljøvenlige produktion af råstof (uden brug af energikrævende og miljøbelastende hjælpestoffer) og den mitigerende effekt af kulstofophobning på klimaforandringer.

Det første af disse forhold har gjort træ populært til alle tider. I et globalt perspektiv har stigende befolkning og øget behov for landbrugsjord og skovprodukter ført til faldende skovareal og stigende forbrug af træ (jf. f.eks. Graudal og Kjær, 1997). Frem til midten af 1980'erne var det almindelig antaget, at denne situation på et tidspunkt ville føre til global mangel på alle former for træ (jf. f.eks. Mather 1990). En række udbudsstudier i 1990'erne fandt imidlertid, at det næppe ville ske bl.a. som følge af et øget udbud af industritræ fra plantageskovbrug og fordi man antog, at brugen af brænde i de fleste udviklingslande ville aftage, men også fordi man regnede med at andre råvarer (heriblandt de fossile) fortsat ville substituere brugen af træ med faldende *per capita* forbrug til følge; et yderligere resultat heraf var, at man heller ikke forventede prisstigninger på industritræ eller træfibre (Nilsson og Bull, 2005).

*Den almindelige antagelse blev fra midt 90'erne, at der var rigeligt med træ, måske lige med undtagelse af de mest værdifulde tømmerarter. Dette billede af fremtiden var medvirkende til, at man i mange lande, heriblandt Danmark, nedprioriterede de produktive aspekter af skove og skovbrug (jf. afsnit 1.1).*

Situationen har på mange felter vist sig at blive markant anderledes (Nilsson og Bull, 2005). En række forhold har stimuleret forbruget og reduceret udbuddet: stærkt øget forbrug i de nye vækstøkonomier, stigende illegal hugst og forhugning af skove i mange udbudslande, indførelse af hugtsforbud i andre, overdreven tiltro til plantager uden passende investering i nødvendige dyrkningstiltag med fejlslag som resultat, ændrede efterspørgselsmønstre i forhold til skovnes værdier, heriblandt et nødvendigt fokus på miljø- og naturværdier, stigende forbrug af brænde, øget konkurrence om træfibre mellem den traditionelle træindustri og energisektoren, flere naturkatastrofer med tab af skov til følge. Andre forhold har trukket i den forventede retning: en hastig teknologisk og bioteknologisk udvikling, mere effektive industrielle processer, genbrug og substitution, bedre forvaltningsværktøjer.

Selvom der allerede i 1980'erne blev gjort opmærksom på skovenes særlige betydning for klimaforandringerne både med hensyn til mitigering og tilpasning (jf. f.eks. Graudal 1991, Linddal 1995), var det først omkring COP 15 i København i 2009, at denne erkendelse blev mere alment accepteret og prioriteret, omend der allerede før den globale økonomiske krise tog fat i 2008 i stigende grad bredte sig en formodning om, *at man i det 21. århundrede ganske enkelt var nødt til at producere og forbruge så mange træfibre som muligt* som et led i en nødvendig klimatilpasning. En ganske diamentral modsætning til midt 90er indstillingen om, at man roligt kunne forlade sig på en eksisterende trærigelighed.

De seneste prognoser om den fremtidige efterspørgsel peger da også i retning af en ganske markant stigning. Wintzell (2012) konstaterer, at den globale efterspørgsel på træ stiger langsomt, for industritræ fra omkring 1,5 mia m<sup>3</sup> i 2009 til ca 2,2 mia m<sup>3</sup> i 2030. For brænde og energitræ var efterspørgslen i 2009 på 1,8 mia m<sup>3</sup> og Wintzell afholder sig fra at spå om udviklingen i dette forbrug.

WWF (2012) har i samarbejde med Det Internationale Institut for Anvendt System Analyse i Østrig (The International Institute for Applied Systems Analysis – IIASA) lavet en mere ambitiøs prognose, se *tabel 2.1*. Fremskrivningen er dog konservativ i den forstand, at den er baseret på kendte forbrugsmønstres sammenhæng med vækst i befolkningstal og økonomi. WWF/IIASA benævner den anvendte model "Living Forest Model" (jf. WWF 2011).

**Tabel 2.1.** Global hugst af træ (mio. m<sup>3</sup> rundtræ ækvivalenter) i 2010 og forventet hugst af træ i 2030 og 2050 fordelt på kategorier af industri- og energitræ under to scenarier, et baseret på aktuelle forbrugsmønstre (kaldet "do nothing") og et med stigende forbrug af energitræ (efter WWF 2012, baseret på FAO statistikker (FAO 2010 og 2011) og fremskrivning ifølge IIASA's "Living Forest Model")

Mio m <sup>3</sup>	FAO	IIASA ("Living Forests Model")			
	2010	2030		2050	
		Ved aktuelle forbrugsmønstre ("Do Nothing")	Bioenergi Plus	Ved aktuelle forbrugsmønstre ("Do Nothing")	Bioenergi Plus
Tømmer og finer kævler	853	1.444	1.444	1.763	1.773
Cellulosetræ	527	754	754	905	893
Andet industritræ	145	153	153	153	153
Energitræ	1.868	2.753	3.138	6.317	8.209
Husholdningsbrænde		2.064	2.064	2.218	2.054
<b>Total hugst</b>	<b>3.401</b>	<b>7.168</b>	<b>7.553</b>	<b>11.356</b>	<b>13.082</b>

Man ser i tabel 2.1 at forbruget af træ i 2050 forventes øget 3-4 gange. Et relevant spørgsmål i den sammenhæng er naturligvis hvorfra denne vedmasse skal komme.

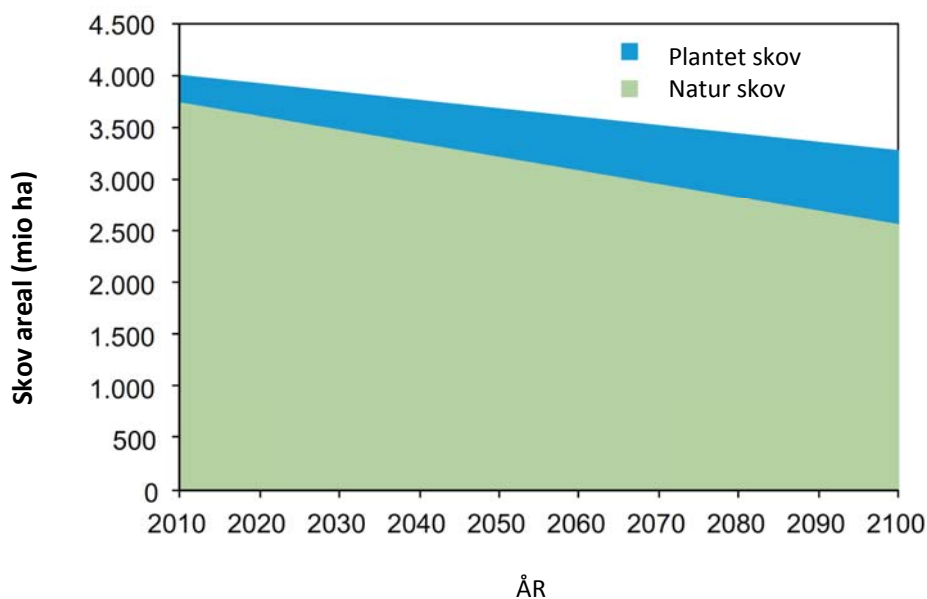
De fleste prognoser peger på såvel en bedre udnyttelse af eksisterende skove som på ny skovrejsning som eneste reelle mulighed (Wintzell 2012, WWF 2012, Carle og Holmgren 2009). FAO har siden omkring 2000 systematisk indsamlet og dokumenteret information om plantet skov; og udarbejdet retningslinier for ansvarlig forvaltning af skov (FAO Planted Forests, 2013), bl.a. sammenfattet i Evans (2009). Heri peges på, at verdens plantager allerede i 2005 på ca 260 mio ha eller 7 % af det globale skovareal producerede 1, 2 mia m<sup>3</sup> træ per år eller 2/3 af verdens industritræ og at denne produktion i 2030 kan have rundet 2 mia m<sup>3</sup> træ per år fra et areal på ca 350 mio ha.

Også WWF/IIASA har et bud på hvorfra behovet for træ skal dækkes (WWF 2012), idet der er foretaget en global analyse af tilgængeligheden af land til dedikerede træproduktionsformål som sandsynliggør, at det er muligt på bæredygtig vis at producere vedmasse i store mængder baseret på en markant udvidelse af det plantede skovareal, se *tabel 2.2*. Men det vil kræve investeringer i skovdyrkningsmæssig kunnen og forædling; og det vil kræve markante bidrag fra alle regioner af verden

Den langsigtede udvikling i verdens skovareal og dets fordeling på plantet og naturskov er vist i figur 2.1. Den grundlæggende antagelse er således en større efterspørgsel vil kunne imødekommes fra et mindre samlet skov areal, fordi plantet skov producerer langt mere end naturskov.

**Tabel 2.2.** Oversigt over verdens skovareal fordelt på regioner i 1990 og 2010, samt andelen af plantet skov i disse år (efter FAO 2011) samt et skøn for udviklingen i arealet med plantet skov frem til 2050 (efter IIASA/WWF 2012)

Mio ha	FAO (status 2011)				Prognose (IIASA, WWF 2012)	
	1990		2010		Plantet skov 2050	
	Skovareal	Plantet skov	Skovareal	Plantet skov	Etablering i perioden 2010-2050	I alt 2050
Afrika og Mellemøsten	877	23	796	30,5	32,3	63
Asien	733	74	740	120	70,7	191
Europa	180	46,4	196	52,3	11	63
Rusland	809	12,7	809	17,0	66,5	84
Nord Amerika	677	19,6	680	37,5	44,8	83
Latin Amerika	978	9,1	891	15	26,6	42
<b>Verden i alt</b>	<b>4168</b>	<b>178</b>	<b>4033</b>	<b>264</b>	<b>251,8</b>	<b>516</b>



**Figur 2.1.** Skøn for reduktion af naturskov (ca. 30 % reduktion i 2100) og udvidelse af arealet med plantet skov (ca 20% af skovarealet i 2100) (kilde: figur gengivet efter Brockerhoff et al. 2012).

### 2.1.2 Produktion og forbrug af træ i Danmark

Vender vi blikket mod Danmark, er vores aktuelle hugst af træ og dets fordeling på sortimenter (gavntræ og energitræ) i perioden 2001-2010 vist i tabel 2.3 baseret på opgørelse på udbudssiden (Danmarks Statistik, jf. Nord-Larsen et al. 2012).



I tabel 2.4 er vist hvor stor en andel af Danmarks energiforbrug der dækkes af vedvarende energi og hvor meget heraf der udgøres af hhv. al biomasse og træ specifikt opgjort på forbrugssiden (Energistyrelsen, 2011).

**Tabel 2.3.** Hugsten i skove og plantager i m<sup>3</sup> fastmasse (Danmarks Statistik, Statistikbanken, her efter tabel 2.23 i Thomas Nord-Larsen, Vivian Kvist Johannsen, Torben Riis-Nielsen og Bruno Bilde Jørgensen (2012): Skove og plantager 2010, Skov & Landskab, Frederiksberg, 2012. 46 s. ill.).

	1.000 m <sup>3</sup>									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Hugst i alt	1.793	1.607	1.808	1.867	2.962	2.349	2.550	2.371	2.405	2.643
Gavntræ	1.108	877	900	917	1.682	1.194	1.455	1.315	1.014	1.287
Energi i alt	685	730	907	950	1.281	1.156	1.095	1.056	1.390	1.356
- Brænde	425	405	438	428	472	409	377	309	352	374
- Skovflis	260	325								
- Energitræ som flis			326	372	420	468	501	564	784	776
- Energitræ som rundtræ			143	150	389	279	217	183	254	206

**Tabel 2.4.** Andel af total vedvarende energi, total biomasse og træ i energiforsyningen i Danmark i PJ og % (efter Energistyrelsen, 2011 – afrundingsfejl kan indebære mindre afvigelser).

	1980		1990		2000		2010	
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Totalt energiforbrug	813	100	819	100	839	100	814	100
- heraf vedvarende energi (PJ)	23	2,8	46	5,6	79	9,4	170	20,9
- hereaf biomasseenergi	22	2,7	40	4,9	57	6,7	127	15,6
- hereaf træenergi	11	1,4	18	2,2	28	3,3	81	9,9

Træ udgjorde i 2010 ca. 47 % af den fornybare energi, og samlet set næsten 10% af Danmarks totale energibehov (Energistyrelsen 2011). Træ yder den samlede energimængde som vindmøller og halm tilsammen, men en ikke uvæsentlig del af træet, der anvendes, er i form af importerede træpiller.

I tabel 2.5 er vist Danmarks forbrug (Forbrug) og den hjemlige produktion (Produktion) af træbaseret energi i energienheder opgjort på forbrugssiden, 1980-2010. Forskellen mellem den hjemlige produktion og forbruget dækkes af import. Den væsentligste import sker i form af træpiller. Man ser at mere end halvdelen af den træbaserede energi aktuelt (2010) skønnes at hidrøre fra indenlandske kilder.

**Tabel 2.5.** Dansk produktion og forbrug af træbiomasse i PJ til energi og i % af det samlede energiforbrug (TE) (efter Energistyrelsen, 2011 – afrundingsfejl kan indebære mindre afvigelser)

	1980		1990		2000		2010	
	Produktion	Forbrug	Produktion	Forbrug	Produktion	Forbrug	Produktion	Forbrug
Træflis	0,0	0,0	1,72	1,72	2,74	3,05	11,32	16,17
Brænde	7,6	7,6	8,76	8,76	12,43	12,43	23,78	26,72
Træpiller	0,0	0,0	1,58	1,58	2,98	5,15	2,39	29,93
Træaffald	3,7	3,7	6,19	6,19	6,90	6,90	7,74	7,74
Træ ialt	11,3	11,3	18,25	18,25	25,06	27,52	45,23	80,55
% af TE	1,4	1,4	2,2	2,2	3,0	3,3	5,6	9,9

I tabel 2.6 er produktion og forbrug af træbaseret energi fra tabel 2.5 omsat fra energienheder til den mængde træ ( $m^3$  råtræækvivalenter), som skal høstes for at yde den forbrugte mængde energi.

**Tabel 2.6.** Produktion og forbrug af træbiomasse i PJ til energi (efter Energistyrelsen, 2011) omsat til  $m^3$  fastmasse ækvivalenter (baseret på  $9GJ/m^3$ )

	1980		1990		2000		2010	
	Produktion	Forbrug	Produktion	Forbrug	Produktion	Forbrug	Produktion	Forbrug
Træflis	0	0	192	192	305	339	1258	1797
Brænde	847	847	973	973	1381	1381	2642	2969
Træpiller	0	0	175	175	332	572	266	3325
Træaffald	412	412	688	688	766	766	860	860
i alt	1259	1259	2027	2027	2784	3058	5026	8951

Da træpiller og træaffald som oftest er træindustriprodukter, vil disse kategorier i større eller mindre grad hidrøre fra høstede gavntræsorkimenter. Træaffald er både fraskær og spåner fra træindustri, men også emballage og nedbrydningstømmer, som ikke behøver at være dansk produceret biomasse. Træflis og brænde på forbrugssiden vil derimod typisk svare til de tilsvarende produkter på udbudssiden.

I tabel 2.7 er søgt vist hvorfra det træbaserede energiforbrug hidrører i form af hjemlig produktion og import. Den hjemlige produktion er tillige fordelt på hugst i skov og anden hjemlig produktion. Tabel 2.7 er sammensat af statistiske oplysninger fra hhv. udbudssiden (Danmarks Statistik) og forbrugssiden (Energistyrelsen). Forskellig opgørelses metode indebærer at disse strengt taget ikke kan sammenlignes, så fordelingen på hugst i skov og høst udenfor skov (anden hjemlig produktion) er meget usikker.

**Tabel 2.7.** Forbrug og produktion af træbaseret energi i 2000 og 2010 opgivet i  $m^3$  råtræækvivalenter. Baseret på opgørelser fra Danmarks Statistik (Statistikbanken) og Energistyrelsen. Forbruget er sammensat af hjemlig produktion (Prod) og import. Den hjemlige produktion er fordelt på hugst i skovene (Hugst) og anden produktion (Anden hj). For industrienergitræet er der i tabellen antaget, at ca. 40 % af gavntre-hugsten bliver omsat til energi<sup>9</sup>.

1000 $m^3$	2000					2010				
	Forbrug	Prod	Hugst	Anden hj	Import	Forbrug	Prod	Hugst	Anden hj	Import
Flis	339	305	279	26	34	1797	1258	374	884	539
Brænde	1381	1381	421	960	0	2969	2642	982	1660	327
Skovenergitræ	1720	1686	685	1001	34	4765	3900	1356	2544	866
Industr-træenergi	1338	1098	1089	0	240	4185	1126	478	648	3159
Energitræ i alt	3058	2784	1774	1001	274	8950	5026	1834	3192	4025

De viste statistikker i tabellerne 2.3-2.7 er forbundet med en del usikkerhed. Det virker måske i særlig grad overraskende, at så stor en del af den træbaserede energi i Danmark skulle stamme fra kilder udenfor skovene. Der kan være tale om, at den reelle hugst måske er undervurderet. F.eks. skønner Nord-Larsen og Suadicani (2010), at den registrerede hugst udgør mindre end 70 % af den potentielle hugstressource. Evald

<sup>9</sup> Der er tale om et groft skøn. Hugsten i 2000 var usædvanlig stor (pga. stormfald i 1999), så det er formentlig en rimelig antagelse at al træindustriaffaldet i 2000 kan hidrøre herfra. Det forholder sig muligvis anderledes i 2010. Opgørelsen af den samlede hjemlige produktion er baseret på Energistyrelsens statistik. Det er muligt, at en del af den hjemlige produktion af træindustriaffald kan hidrøre fra import.

(2011) peger på, at der i leddene fra opgørelse i skoven, via skoventreprenører til industri, forhandler og forbruger vil være en del usikkerheder, og at der måske specielt i det primære led er en mulighed for at mængderne undervurderes. Samtidig er det formentlig rigtigt, at der høstes en ganske stor mængde træ udenfor skovene, i parker, hegn og haver m.v.

I den seneste opgørelse fra Danmarks Skovstatistik (Johannsen *et al.* 2013c) er den konstaterede hugst opgjort for første gang og estimeres til 3,4 mio. m<sup>3</sup>. Det svarer bedre til Energistyrelsens opgørelser af forbruget, omend fortsat lavere. Danmarks Statistik har i 2013 opdateret sit skovregister og har rapporteret højere hugst mængder fra skovene. Samlet vurderes det at fordelingen i tabel 2.7 ikke helt afspejler den aktuelle hugst. Det er derfor vanskeligt at præsentere en sikker 'baseline', som sammenligningsgrundlag for det fremtidige udbud af træ.

På grund af den store usikkerhed om såvel den faktiske produktion som det reelle forbrug, og det store gab man kan konstatere mellem de to opgørelsesmetoder, har man i "10 mio. tons planen" og ligeledes i de prognoser som præsenteres i nærværende rapport (se kapitel 3 og baggrundsnotat om modellering, Johannsen *et al.* 2013b) valgt at tage udgangspunkt i den eksisterende skovressources sammensætning og vækst og de potentielle hugstmuligheder, som dette udgør. En sådan modellering resulterer i et udtag af træ, som niveaumæssigt svarer væsentligt bedre til statistikkerne opgjort på forbrugssiden end på udbudssiden.

Valget at arbejde med en model for det potentielle udbud er gjort af tre grunde. For det første fordi det ser ud til at svare bedst til det faktiske forbrug af energitræ. For det andet fordi det er dette forbrug som indgår i de samlede opgørelser af vort energiforbrug, og muliggør sammenligning med andre energikilder. For det tredje fordi de måltal man har sat sig for det fremtidige energiforbrug knytter sig hertil.

Sammenligningen med forbrugssiden er ovenfor kun foretaget for energitræets vedkommende. Også for gavntræet er der benyttet en model for det potentielle udbud, som resulterer i et større udtag end der er registreret af Danmarks Statistik. Det er ikke i nærværende rapport særskilt forsøgt at vurdere gyldigheden heraf<sup>10</sup>.

Et skøn for det samlede forbrug af træ kan findes i FAO's årlige landestatistikker for produktion, eksport og import af træbaserede produkter (Forest products statistics 2013, FAOSTAT-Forestry database 2013)<sup>11</sup>. I tabel 2.8 er uddraget en sådan statistik for 2011. Det ses, at det samlede træforbrug er ganske stort, omkring 15 mio. m<sup>3</sup>, nogenlunde ligeligt fordelt på de tre kategorier gavntræ, energitræ og papir. Det samlede danske forbrug opgives ofte at være i nærheden af 8 mio m<sup>3</sup>, men dette tal stammer fra en opgørelse publiceret af Skov- og Naturstyrelsen i 1998. Siden da er især anvendelsen af energitræ steget markant.

I tabel 2.8 ses endvidere, at kun ca. en fjerdedel af vort forbrug dækkes af egen produktion. Tallet for egen produktion her stemmer godt overens med Nord-Larsen & Suadicanis (2010) vurdering af den potentielle årlige hugst for perioden fra 2010 og frem.

Med de lidt højere realiserede forbrug som Energistyrelsen har rapporteret og som Danmarks Skovstatistik finder, kan man formentlig med rimelighed benytte en samlet hugst på 4 mio m<sup>3</sup> fordelt med 1,5 mio m<sup>3</sup> til energi (svarende til ca 0,75 tons tørstof) og 2,5 mio m<sup>3</sup> til gavntræ (ca 1,25 tons tørstof) som et rimeligt

---

<sup>10</sup> En mere komplet vurdering opnås ved at relatere til det samlede forbrug af træ.

<sup>11</sup> FAO's opgørelser benyttes herfor fordi de er umiddelbart lettere tilgængelige end de tilsvarende oplysninger fra Statistikbanken (Danmarks Statistik).

skøn for den aktuelle situation med henblik på at vurdere hvor effektive de virkemidler, der foreslås til udvidelse af produktionen, vil være. Udfordringen består ikke blot i at øge mængden af energitræ, men potentielt også i at øge selvforsyningsgraden med træ i det hele taget.

I *tabel 2.9* er skønnet, hvad regeringens mål om fuld overgang til vedvarende energi kan indebære for produktionen af træbaseret energi, og i *tabel 2.10* er vist et muligt scenarie for, hvordan dette krav kan imødekommes gennem øget produktion i skov, idet der samtidig er indregnet en beskedent stigning i forbruget af gavntræ. Forbruget af papirprodukter (jf. *tabel 2.8*) er ikke medtaget i oversigten i *tabel 2.10*.

**Tabel 2.8.** Forbrug af træ og træprodukter i Danmark i 2011 ifølge FAO (Kilder: FAO Forest products statistics 2013, FAOSTAT-Forestry database 2013, Omsætning til m<sup>3</sup>: UNECE 2010).

Emne	Enhed X1000	Produktion	Export	Import	Omsætning til m <sup>3</sup>	Produktion 1000 m <sup>3</sup> mest baseret på dansk råvare	Produktion 1000 m <sup>3</sup> formentlig mest baseret på import	Netto import 1000 m <sup>3</sup>	Forbrug 1000 m <sup>3</sup>
Industri/gavntræ	m <sup>3</sup>	1468	677	519	1	1468	.	-158	1310
Brænde	m <sup>3</sup>	1115	115	310	1	1115	.	195	1310
Træflis/partikler	m <sup>3</sup>	168	175	809	1	168	.	634	802
Træaffald/piller	m <sup>3</sup>	0	146	3662	1	0	.	3516	3516
Trækul	tons	0	1	9	6	0	.	48	48
Tømmer (skåret)	m <sup>3</sup>	372	567	2008	1	372	.	1441	1813
Plader	m <sup>3</sup>	456	177	1316	1,2	547	.	1367	1914
Træ – cellulose	tons	5	16	69	4	.	20	212	232
Anden fiber - cellulose	tons	0	0	2	4	.	0	8	8
Genbrugspapir	tons	619	751	134	4	.	2476	-2468	8
Papir og pap	tons	423	255	994	4	.	1692	2956	4648
<b>Gavntræ</b>						<b>2387</b>	.	<b>2650</b>	<b>5037</b>
<b>Brænde/energi</b>						<b>1283</b>	.	<b>4393</b>	<b>5676</b>
<b>Papir mv.</b>						<b>0</b>	<b>4188</b>	<b>708</b>	<b>4896</b>
<b>I alt</b>						<b>3670</b>	<b>4188</b>	<b>7751</b>	<b>15609</b>

**Tabel 2.9** Skønnet andel af total vedvarende energi, total biomasse og træ i energiforsyningen i Danmark i PJ og % og for den træbaserede del tillige i m<sup>3</sup> råtræækvivalenter i henhold til regeringens mål om fuld overgang til vedvarende energi i 2050 (baseret på "Vores Energi", 2011, figur 3.8).

	2010		2020		2035		2050	
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Totalt energiforbrug	814	100	750	100	650	100	550	100
- heraf vedvarende energi	170	20,9	280	37	420	65	550	100
- heraf biomasseenergi	127	15,6	200	27	250	38	250	45
- heraf træenergi i PJ hhv %	81	9,9	90	12	100	15	100	18
- i 1000 m <sup>3</sup> råtræækvivalenter	9000		10000		11000		11000	

Kan der mobiliseres yderligere ressourcer fra skovene, er det naturligvis muligt at øge selvforsyningsgraden og andelen af træbiomasse i den vedvarende energi eller bruge mere træ til substitution af andre mere energikrævende materialer, der anvendes til andre formål.

**Tabel 2.10** Skøn for krav om øget træproduktion i skov under hensyn til 2050-målsætningen i Danmark og det aktuelle forbrug af træ (ekskl. papirprodukter, jf. tabel 2.8) og under forudsætning af uændret forsyning fra andre kilder, herunder import.

Mio m <sup>3</sup>	2010				2020				2050			
	Skov	Anden hjemlig kilde	Import	Forbrug i alt	Skov	Anden hjemlig kilde	Import	Forbrug i alt	Skov	Anden hjemlig kilde	Import	Forbrug i alt
Gavntræ	2,0		2,5	4,5	2,5		2,5	5,0	2,5		2,5	5,0
Energitræ	1,5	3,0	4,0	9,0	3,0	3,0	4,0	10,0	4,0	3,0	4,0	11,0
I alt	3,5	3,0	6,5	13,5	5,0	3,0	7,0	15,0	6,5	3,0	6,5	16,0
Øget hugst i skov (%)	0				43				86			

Med henblik på at kunne sammenligne med de produktionsscenarioer som præsenteres i kapitel 4, er tallene for produktion i skov og det samlede forbrug af træ og træprodukter fra tabel 2.10 omsat til tons tørstof ækvivalenter i tabel 2.11, præsenteret som en forventet mindste produktionskapacitet i de danske skove og et forventet samlet forbrug af træ og træprodukter. Her er tillige medtaget forbruget af papirprodukter baseret på tabel 2.8. Af tabel 2.11 fremgår tydeligt den store afstand mellem vor egen produktion og vort forbrug af træ. En udvidelse af den hjemlige produktion vil selvsagt kunne bidrage til at reducere dette gab.

**Tabel 2.11** En skønnet 'baseline' for forventet mindste produktion af produkter fra skov og skønnet behov/forbrug af tilsvarende produkter 2010-2100 (mio tons tørstof). Baseret på foregående tabeller.

Mio tons tørstof	2010		2020		2050		2100	
	Forventet mindste produktion i skov	Forventet forbrug i alt	Forventet mindste produktion i skov	Forventet forbrug i alt	Forventet mindste produktion i skov	Forventet forbrug i alt	Forventet mindste produktion i skov	Forventet forbrug i alt
Gavntræ	1,0	2,25	1,25	2,5	1,25	2,5	1,25	2,5
Energitræ	0,75	4,25	1,5	5,0	2,0	5,5	2,0	5,5
Papirprodukter	0	2,5	0	2,5	0	2,5	0	2,5
I alt	1,75	9,0	2,75	10,0	3,25	10,5	3,25	10,5

### 2.1.3 Sammenfatning vedrørende forbrug og produktion af træ

Det globale træforbrug er stigende og behovet for træ skal i fremtiden imødekommes fra et faldende samlet skovareal. Det vil kræve mere produktionseffektive skove.

Også det danske forbrug af træ har været stigende og har nået et højt niveau hvor det aktuelle gennemsnitlige forbrug per indbygger i Danmark er mere end 5 gange større end det globale gennemsnit.

Forbruget af træ i Danmark er stort. Ifølge FAO udgjorde det i 2011 ca. 15,5 millioner m<sup>3</sup>, hvoraf 5,5 millioner m<sup>3</sup> bruges til energiformål. Hertil skal formentlig lægges yderligere 3 millioner m<sup>3</sup> til energi, som ikke er registreret i statistikken på udbudssiden (der opgøres af Danmarks Statistik), men som Energistyrelsen har opgjort på forbrugssiden. Det samlede forbrug af træ var altså af størrelsesordenen 18 millioner m<sup>3</sup>, fordelt med 8,5 millioner m<sup>3</sup> til energi, 4-5 millioner m<sup>3</sup> til gavntre og resten til papir. Heraf kom 3,5 millioner m<sup>3</sup> fra de danske skove, 3 millioner m<sup>3</sup> fra andre hjemlige kilder og resten på 11-12 millioner m<sup>3</sup> fra import. Rundt regnet altså en selvforsyningsgrad på under 1/3 og med et bidrag fra skovene på knap 20 %. Tallene er forbundet med en del usikkerhed, bl.a. fordi forskellige produktkategorier statistisk opgøres i forskellige enheder og nogle i pengeværdi.

Det danske forbrug af træ vil fortsat i stort omfang skulle dækkes ved import.

En forventet stigning i den globale efterspørgsel på træ med 3-4 gange inden 2050 rummer en række problemer for verdens skove. Meyfroidt & Lambin (2011) peger på at den stigende konkurrence om produktivt land mellem forskellige arealanvendelser stiller krav om betydelig teknologisk og politisk nytænkning for at sikre forsyningen med både træ og landbrugsprodukter.

Det er således næppe urimeligt at antage at en stigende andel af det danske forbrug af træ må imødekommes ved hjemlig produktion; ikke mindst hvis der stilles krav om bæredygtighed i produktionen.

Globaliseringen indebærer f.eks., at nationale strategier for bevaring af skov eller anden natur kan have utilsigtet effekt i form ændret arealanvendelse på tværs af landegrænser. Det er således nødvendigt at sammentænke en eventuel udvidelse af den hjemlige produktion, både med bæredygtigheden af den alternative import og med konsekvenserne for naturen, såvel nationalt som internationalt.

## 2.2 Potentialet<sup>12</sup>

Der findes relativt grove skøn for den stående vedmasse og tilvæksten i verdens skove (f.eks. FAO 2006 og 2011), herunder de plantede (Evans 2009). *Tabel 2.1* viser et eksempel på forventet udvikling i efterspørgsel af træprodukter; og *tabel 2.2* og *figur 2.1* en mulig areal udvikling for naturskov og plantet skov. Men hvor meget træproduktionen egentlig kan udvides i global sammenhæng, og med hvilke midler, er så vidt vides aldrig søgt opgjort systematisk.

Produktionen i naturskov er ofte overraskende lav (omkring 1-5 tons/ha/år). Plantager er i reglen mere produktionseffektive (2-20 tons/ha/år). Variationen er enorm og især afhængig af klima og jordbund. Maksimalt realiserede produktionstal i tempererede områder ligger omkring 20-25 tons/ha/år og under mest favorable tropiske forhold er realiseret helt op til 50 tons/ha/år, i sidsnævnte tilfælde under brug af gødsk-

---

<sup>12</sup> Dette afsnit er baseret på en mere detaljeret gennemgang af emnet i et baggrundsnotat (Nielsen *et al.* 2013).

ning (jf. f.eks. Evans 2009). Gennem forædling kan produktionen øges løbende med omkring 30 % i første generation og efterfølgende generationer typisk noget mindre; foreløbig er der eksempler på realiserede gevinster over 3-4 generationer, der samlet bidrager til en fordobling af produktionen (se baggrundsnotat om forædling, Hansen et al. 2013). Afhængigt af omdriftsalder kan det altså ske på mellem 15 og 150 år, hvor den korte periode findes under de mest favorable betingelser i troperne og den lange på tempererede breddegrader for relativt langsomt voksende arter. Interessant er tillige, at produktiviteten af plantede skove i mange lande ser ud til at stige med tiden (Evans 1999, 2009).

Skovtræerne har en meget bemærkelsesværdig evne til at producere biomasse med ret store udbytter<sup>13</sup>, lav udvaskning, og stort set uden ekstra tilførsel af næringsstoffer – især hvis man holder sig til udnyttelse af stammemasse, eller begrænset heltræsudnyttelse. Indtil bioressourcen udnyttes bidrager skoven tillige med en effektiv opsparing af kulstof (CO<sub>2</sub>), og leverer produkter, der har en stor positiv substitutionseffekt over for f.eks. jern og beton i byggeri, og som sådan kan indlejres og lagres lang tid i bygninger mm. Skov giver desuden en lang række andre ydelser – f.eks. rekreative muligheder, stor biodiversitet med levesteder for flora og fauna tilknyttet skov (se *tabel 3.2*, senere i teksten).

### 2.2.1 Produktion i danske skove

Foreløbige resultater fra danske sammenlignende træartsforsøg viser, at nåletræerne kan præstere en gennemsnitlig årlig produktion på op til 10-18 tons tørstof pr. ha – samlet stamme- og grenmasse. Bedst er de nordvestamerikanske arter grandis og sitkagran, men også douglasgran har et stort potentiale. Løvtræerne har i de tilsvarende forsøg en gennemsnitlig årlig produktion på 4-8 tons tørstof. Forsøgene er opgjort efter ca. 40 år, og derfor på et vidt forskelligt tidspunkt af den optimale omdriftstid, der er specifik for hver træart og lokalitet (bonitet). Dette gør en reel sammenligning vanskeligere, og favoriserer træarterne med kort omdriftstid som poppel, lærk, contorta og el i forhold til især de 'ædle' træarter (så som eg, bøg, ask, ær), der dyrkes i længere omdrifter. Rødgran har i de samme forsøg vist en produktion på op til 14 tons tørstof, medens estimer ud fra tilvækstoversigter angiver et produktionspotentiale på op til 10 tons årligt. De angivne produktionsniveauer er foreløbige estimer, og der skal tages forbehold for usikkerheder omkring tørstofniveauer (rumvægt) og såkaldte ekspansionsfaktorer, der omregner fra stammemasse til samlet produktion af tons tørstof.

Det er kendetegnende for produktion i skov, at denne foregår uden nævneværdig brug af hjælpestoffer i form af pesticider og gødning. Produktionsniveauerne er angivet i tons tørstof pr. ha af grene og stammemasse. Traditionelt har man kun udnyttet stammemasse og i løvtræ også en del af grenmassen: Et bemærkelsesværdigt kendetegn for træ er, at der i stammeveddet er indlejret en begrænset mængde af næringsstoffer. Næringsstoffer findes især indlejret i bark, grene, samt nåle og blade. Med overgang til flisning af toppe og grene i større omfang, samt egentlig heltræsudnyttelse, hvor hele træet flishugges, er der sket en væsentlig ændring, som påvirker udtaget af næringsstoffer i større grad. Den etablerede praksis med at lade nåletræer tørre og tage nålene inden flishugning er en rutine, der lader en væsentlig del af næringspuljen tilbage i skoven. Ved heltræsudnyttelse er der større behov for fokus på næringsstofpuljen, og evt. muligheder for recirkulering af flisaske.

---

<sup>13</sup> Dette er intuitivt ikke overraskende i og med at træer etablerer et stort produktionsapparat, som bliver større med alderen. Det er tillige bemærkelsesværdigt, at den alt overvejende erfaring viser, at produktionen i successive generationer stiger, og at der er tale om generelt stigende udbytter (Evans 2001 og 2009).

Skovloven og fredskovsplikten fastsætter i Danmark arealanvendelsen indenfor skovgærdet, men i forbindelse med udnyttelse af landbrugsjord til biomasseproduktion er der tale om en større valgmulighed mellem afgrøder i bred forstand, og herunder også skov.

### 2.2.2 Forskellige typer af energiafgrøder

Det er ikke muligt at give en sammenligning af produktionen i skov med landbrugsafgrøder og såkaldte energiafgrøder ud fra sammenlignende forsøg. Produktionspotentialet i landbrugsafgrøder som hvede (både kerne og halm), majs og roer ligger på landsplan i spændet fra 10-14 tons tørstof pr. ha. I forsøg med elitesorter af roer er der målt årlige udbytter på 22-26 tons pr. ha. Disse årlige udbytter opnås i modsætning til skov kun ved brug af hjælpepestoffer, hvor der i gennemsnit er tilført 168 kg kvælstof, 20 kg fosfor og 83 kg kalium (Danmarks Statistik, statistikbanken 2008), hvilket afspejler de tilladte kvælstofnormer i spændet 136-179 kg N årligt. Desuden udbringes pesticider med en årlig mængde på 1.83 kg virksomt stof i gennemsnit pr. ha (Danmarks Statistik, statistikbanken 2008).

I energiafgrøder som pil og miscanthus er der ved 1-3 årlige høstintervaller målt udbytter i forsøg og prøveflader i spændet 3-15 tons tørstof for pil, med et forventet gennemsnit omkring 8-12 tons tørstof og 7-19 tons tørstof for miscanthus, og disse har en årlig kvælstofnorm på hhv. 120 kg N og 75 kg N.

Poppel dyrket uden brug af gødning i traditionel skovdrift har i to forsøg på sandet jord vist, at de bedste kloner kan producere ca. 9 tons tørstof pr. ha i 13-årig omdrift. Udnyttes det fulde potentiale i en omdrift på op mod 25-30 år, estimeres det gennemsnitlige årlige udbytte til ca. 13 tons tørstof pr. ha.

En sammenligning af produktionsniveauer er ikke ligetil, og indeholder en række uligheder. For roer medregnes naturligt rodudbyttet, men også top. For træerne er der kun opgjort produktion over jord – selvom det teknisk også er muligt at udnytte dele af rodmassen. Der er indenfor alle kategorier af afgrøder højt ydende alternativer – *men en faktor er helt afgørende forskellig* – skovtræerne producerer den tilsvarende biomasse uden hjælpepestoffer. Her er den globalt stærkt begrænsede mængde af fosfor et særligt aspekt, hvor skovtræerne har en force sammenlignet med andre afgrøder. Recirkulering af næringsstoffer i dyrkningssystemerne vil dog kunne opbløde forskellene mellem afgrøder, hvilket også gælder flisaske fra træfyrede varmekærker.

Miller (2010) har set på arealbehovet og kvælstofbehov for produktion af 1000 GJ energi i forskellige afgrøder (svarende omtrent til 110 m<sup>3</sup> fastmasse råtræækvivalenter). Pil og poppel indgår i analysen og placeres blandt de mest kvælstofeffektive afgrøder, og med de ovennævnte ræsonnementer må også andet løvtræ og især nåletræerne med deres høje produktionspotentialer anses for effektive.

### 2.2.3 Tidshorisont og plantetæthed

En åbenlys forskel mellem de 1-årige afgrøder og skov, samt delvis også pil i kort omdrift, er, at arealanvendelsen ved skovplantning fastlægges for en årrække. Skovtræerne har længere omdriftstid, men dette er ikke ensbetydende med, at man skal vente 50 år eller mere for at få udbytte. Udbyttet vil afhænge af træarten, brug af ammetræer (hjælpetræer indplantet sammen med eller inden den blivende træart plantes – også kaldet forkultur) og valg af skovdyrkningssystem. Anvendes en relativ tæt plantning, også evt. ammetræer, og tyndingshugst, vil der falde tidlige udbytter – især af flis til energi- og bioraffineringsformål.

### 2.2.4 Grundvandet

Udvaskningen i de danske skove er ubetydelig mange steder og som sådan er skov en god afgrøde til at beskytte grundvandet. De steder, hvor jorden er ved at være mættet med kvælstof (ofte ved et lavt C/N



forhold i jorden) er risikoen for udvaskning større. I gammel skov kan udvaskningen ligge på op til 10-15 kg/ha/år, mens den i skovrejsningsområder på gammel landbrugsjord kan nå helt op på 30-40 kg/ha/år. Udvasningen fra korn, vinterraps og roer angives at variere fra 40 til 117 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> og vedvarende græs fra 14-22 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> pr. år.

### 2.2.5 Potentialet for øget udbytte af biomasse

De udbyttene, der er skitseret for træproduktion med ikke-hjemmehørende arter, er stort set baseret på direkte importeret frømateriale fra naturbestande, lokale bestande eller evt. første generations forædling. Vurderes de erfaringer, der er fra en række forædlingsprogrammer for skovtræer, er der helt utvivlsomt et betydeligt uudnyttet forædlingspotentiale også for dansk skovbrug. Herved kan skovtræerne bibringes et yderligere vækstpotentiale, hvilket er omtalt under virkemidler i kapitel 3, og i baggrundsnotatet om forædling (Hansen *et al.*, 2013).

Der er et særligt miljøvenligt potentiale ved at øge den samlede produktion pr. ha via forædling og kun udnytte en del af gevinsten, således at f.eks. udtaget af nåletræsbiomasse fokuseres på stammemasse med lavt næringsstofindhold fremfor heltræsudnyttelse, der i større grad udfordrer næringsstofpuljen.

Forædling af landbrugsafgrøder vil også kunne øge udbyttet. I +10 mio. tons scenarierne forventes eksempelvis halmudbyttet, at kunne øges med 33 % inklusiv bedre opsamling (fra 3 til 4 tons pr. ha). Energiskov i kort omdrift forventes at kunne øge udbyttet med 50 % (fra 8 til 12 tons ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) (Kristensen og Jørgensen 2012). Betydningen af valg af sort er velkendt for landbrugsafgrøderne, og landsforsøgene (<https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/landsforsoeg-og-resultater/sider/startside.aspx>) er her en væsentlig informationskilde, men også for både for pil, poppel og miscanthus viser forsøg, at det også her er vigtigt at vælge den rigtige klon – dvs. det rette genetiske materiale baseret på forædling og afprøvning.

Hansen (2011) har tilsvarende for sitkagran vist potentialet i anvendelse af de bedste kloner til biomasseproduktion. Han estimerer en gevinst på 30-50 % i forhold til gode og afprøvede danske frøkilder. Herved bliver produktionsniveauer i skov på op mod 20 tons pr. ha år indenfor rækkevidde baseret på allerede afprøvede kloner og på de mere produktive jorder (se også baggrundsnotatet om forædlingsmuligheder, Hansen *et al.*, 2013b). Tilsvarende gevinster kan opnås for andre træarter om end ofte på et lavere niveau. Der findes således et betydeligt uudnyttet potentiale for at øge den træbaserede biomasseproduktion.

## 2.3 Brug af træ og dyrkning af skov til afdæmpning af klimaforandringer

Interessen for øget brug af biomasse knytter sig til den grundlæggende antagelse, at produktion og brug af biomasse er – eller kan være – miljøvenlig. Brugt til energi taler man f.eks. om en vedvarende (fornybar), såkaldt CO<sub>2</sub>-neutral kilde, som kan erstatte fossilt kul og olie. Miljøvenligheden afhænger imidlertid både af, hvordan produktionen finder sted og af hvilke træprodukter, der frembringes.

### 2.3.1 CO<sub>2</sub> neutralitet og kulstofpuljer

I debatten om brugen af biomasse til energi sættes der f.eks. ofte og med tiltagende styrke spørgsmålsteget ved, om det rent faktisk er en bæredygtig, neutral energi kilde (f.eks. Schulze *et al.* 2012 og Searchinger *et al.* 2009).

Biogent materiale som træ og halm frigør naturligvis også CO<sub>2</sub>, når det omsættes til energi. Alligevel har den almindelige antagelse været, at CO<sub>2</sub>, der udledes til atmosfæren fra biogent materiale, er neutralt i forhold til atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub>, fordi den frigjorte CO<sub>2</sub> genoptages af andre planter, der vokser til – enten før, samtidig eller efter at energiproduktionen har fundet sted (jf. f.eks. Sedjo 2013).

Det forudsætter imidlertid, at den samlede kulstofpulje i det biogene materiale er konstant indenfor det betragtede system, hvilket naturligvis ikke altid er tilfældet. Brug af den biogene pulje vil ikke øge den mængde kulstof, som er i 'fri' cirkulation mellem de ikke fossile kulstofpuljer (atmosfæren, havet, planterne og jorden), i modsætning til brugen af kul og olie, som frigør kulstof fra et – i menneskehedens tidsperspektiv – 'bundet' lager (den fossile kulstof pulje).

Det er væsentligt at skelne mellem de fem nævnte kulstofpuljer. Frigørelse af kulstof fra den fossile pulje yder et *irreversibelt* bidrag af mere kulstof til de fire øvrige puljer. Mellem de fire øvrige puljer hersker en kompleks balance, som er afgørende for atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> (jf. f.eks. Archer 2010). Havet, planterne og jorden kan optage en del af det fossile kulstof, som frigøres. Men de fossile mængder er meget store og absorptionskapaciteten i havet, planterne og jorden har en grænse og er tillige afhængig af atmosfærens sammensætning og dens indflydelse på klimaet, så de langsigtede konsekvenser af at den samlede mængde frie kulstof øges er potentielt katastrofale (Archer 2010).

Den samlede biomasse kan naturligvis variere, og sikrer man ikke at brug af biomasse – og i særdeleshed afbrænding – modsvares af en tilsvarende opbygning/lagring, sker der naturligvis en nettotilførsel af CO<sub>2</sub> til atmosfæren, som det f.eks. er velkendt fra skovrydning i tropenerne – og i et historisk perspektiv fra skovrydning generelt, som har været en af de store kilder til CO<sub>2</sub> emission. Den omfattende ødelæggelse af skov i historisk tid indebærer samtidig, at der gennem restaurering og etablering af ny skov er et stort uudnyttet potentiale for kulstofbinding (f.eks. McKinley *et al.* 2011).

### 2.3.2 Tidsperspektivet; en- og flerårige afgrøder

For enårige afgrøder eller afgrøder i meget kort omdrift dyrket kontinuert på landbrugsjord med stabile eller stigende udbytter uden væsentlig blivende kulstofpulje på arealet, anser man almindeligvis CO<sub>2</sub> neutraliteten for umiddelbart opfyldt, fordi der er et simpelt tidsmæssigt sammenfald mellem opbygning og udslip af CO<sub>2</sub>. I det omfang anvendelsen af den type biomasse erstatter kul og olie, akkumuleres der over tid et mindre udslip af CO<sub>2</sub> fra det faste lager af fossile ressourcer til atmosfæren og til jordens øvrige kulstofpuljer (havet, planterne og jorden). Set i forhold til det fossile udslip indtræder fortrængningen dog med en vis forsinkelse, fordi biomasse typisk er mindre energieffektivt end f.eks. olie, men der vil dog ret hurtigt opstå det, man kalder fossil- kulstof-bindings-paritet, hvor anvendelsen af biomasse har ført til en sparet mængde fossilt kulstof svarende til biomassens energiindhold. Herefter kan man tale om netto CO<sub>2</sub> emissions reduktioner. Det skal dog hele tiden erindres, at biomassen er fornybar og derfor potentielt neutral i forhold til atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub>, hvad fossile kilder *aldrig* er.

For flerårige afgrøder – træer – er situationen knap så enkel. Dels høster man mange års opsparet kulstof med vedmassen, dels kan der frigøres betydelige mængder organisk bundet kulstof fra jorden i forbindelse med, at et areal ryddes for vegetation.

Det har ført til en erkendelse af, at især træ-biomasse til energi ikke altid er CO<sub>2</sub> neutral. Det interessante spørgsmål er naturligvis under hvilke betingelser, træ til energi kan betragtes som CO<sub>2</sub> neutral – om overhovedet.

Forholdet mellem høstens omfang (mængde og sortiment), tilvæksten i den blivende bestand (træart, plantemateriale, jordbund, dyrkningsindgreb) og eventuelle udslip forbundet med ændret arealanvendelse (frigørelse af kulstof bundet i jorden) spiller en rolle, der f.eks. er afgørende, hvis man konverterer vedmasserig skov eller arealer med stort indhold af kulstof i jorden til andre formål.

### 2.3.3 Fortrængningseffektivitet

Effektiviteten af den fossile kulstof fortrængning har også stor betydning. Den mindre energieffektivitet af kulstof i biomasse, end i de fleste fossile kilder, skyldes primært et større vandindhold i biomasse. Frigørelsen af dette vandindhold bruger en del af energien i biomassen. Biomasse frigør derfor typisk mere kulstof per energienhed end (nogle) fossile energikilder og substitution er derfor typisk ikke én til én. Fortrængningseffekten vil normalt variere mellem 0,5 og 1, afhængigt af typen af fossilt brændsel, der erstattes (gas, skifergas, olie, tjære sand eller kul). Sammenlignet med kul er forskellen dog lille (omkring 5 %), for olie noget større (omkring 30 %), (f. eks. Searchinger *et al.* 2009).

Der bruges naturligvis også energi under høst, transport og eventuel konvertering af biomasse (f.eks. til træpiller eller flydende brændsel). Noget tilsvarende gør sig selvfølgelig også gældende for fossile brændsler. Ved sammenligning af netto emissioner skal man huske at tage hensyn hertil.

Erstattes andre produkter, som det er energikrævende at fremstille (f.eks. cement og stål), kan fortrængningseffektiviteten til gengæld være langt større, jf. Sathre & O'Connor (2010), der i et meta-studie finder en gennemsnitlig fortrængningseffekt på 2.1, når man sammenligner brug af træprodukter med ikke-træprodukter. Ender træprodukterne deres liv som brændsel skal denne yderligere fortrængningseffekt i øvrigt lægges til. Ender de i deponi, bliver situationen mere kompleks, fordi det på den ene side kan indebære meget lang nedbrydningstid, men også vil kunne betyde samspil med frigørelse af den mere potente drivhusgas metan (Sathre & O'Connor 2010).

Vurderingen af fortrængningseffekten vil således også afhænge af, om der kun produceres biomasse til energi, eller om man kombinerer produktion af biomasse til flere formål, hvilket i traditionelt skovbrug er det normale.

### 2.3.4 Livscyklusvurderinger – ‘gæld’, ‘tilbagebetalingstid’ og ‘lækage’

Den nyere litteratur, herunder forskellige typer af livscyklus vurderinger, vidner om forskellige opfattelser af spørgsmålet om CO<sub>2</sub> neutralitet, som dog i nogen grad kan tilskrives forskellige forudsætninger at vurdere spørgsmålet ud fra (jf. f.eks. Cherubini *et al.* 2013, Lamers & Junginger 2013, Sedjo 2011 & 2013, Hasenauer 2013, Mitchel *et al.* 2012, Schulze *et al.* 2012, Lippke *et al.* 2011, O'Laughlin 2010, Manomet 2010, Jarvis & Linder 2007).

Spørgsmålet er således ikke helt simpelt. Vurderingen kan f.eks. foretages på forskellige niveauer; for et træ, for en bevoksning, for en skov eller flere, for et landskab eller et land. Dette vil bl.a. influere på det centrale punkt om, hvor lang tid der går fra biomassen bruges, til den er genopbygget (kaldet ‘gæld’ eller ‘tilbagebetalingstid’), eller til den når et niveau svarende til, at man overhovedet ikke havde høstet – kaldet ‘paritet’ (Lamers & Junginger 2013, Mitchel *et al.* 2012), ikke at forveksle med ovennævnte ‘fossil energi paritet’ (Agostini *et al.* 2013), der bruges om det punkt hvor udledning fra bioenergi og en fossil reference er ens. Afhængigt af hvordan biomassen er blevet til, kan en biomasse ressource også udgøre en allerede opsparet mængde energi. I sådanne tilfælde kan spørgsmålet om ‘gæld’ og ‘tilbagebetaling’ være irrelevant (Helin *et al.* 2012, Sedjo 2011, Strauss 2011, O'Laughlin 2010).

Nogle livscyklusvurderinger har begrænset udsagnskraft, fordi de grundlæggende antagelser er for simple. I en vurdering af om brug af træbiomasse til energi er klimaneutralt antager eksempelvis Chrintz (2013) om produktion af træbiomasse i en nylig analyse udarbejdet for CONCITO, at der ikke finder en produktionsstigning sted og baserer i øvrigt analysen på en isoleret betragtning af den enkelte bevoksning med udgangspunkt i dens afvikling. Konklusionen på analysen, at den producerede træbiomasse ikke er CO<sub>2</sub> neutral indenfor det betragtede tidsperspektiv, kræver her i virkeligheden ikke nogen beregning, da den allerede er indbygget i modelleringsantagelserne.

Baseret på en gennemgang af litteraturen om kulstofhusholdningen forbundet med produktion af bioenergi fra skov konkluderer Agostini *et al.* (2013) i en videnskabelig rapport fra 'the Joint research Centre of the European Commission', at en antagelse om biogent materiales kulstofneutralitet ikke gælder (og i særdeleshed for høst af hele træer udelukkende brugt til bioenergi), hvis der *ikke* tages hensyn til ændringer i skovens lagre af kulstof. Det er ikke overraskende, men bekræfter hvor væsentligt det er, at de ganske komplekse forudsætninger for livscyklusvurderinger er klart formuleret (Helin *et al.* 2012).

Næsten alle livscyklusvurderinger vedrørende træ begynder med dets anvendelse og indebærer derfor per definition, at der som udgangspunkt er en CO<sub>2</sub>-gæld at betale tilbage. Det virker intuitivt rigtigt, hvis man f.eks. fælder en naturskov (eller endnu værre, blot brænder den af) for at plante arealet til med f.eks. en energiafgrøde. Her er det oplagt, at den frigivne kapital af kulstof bør belaste den ændrede arealanvendelse, da man ganske enkelt ødelægger den bestående kulstofpulje (Fargione *et al.* 2008).

Situationen er en anden, når man står overfor en dyrket skov, som er etableret med det bevidste formål at producere, hvad enten der er tale om en produktion af gavntre eller brænde, hvis det sker under passende hensyn til den samlede kulstofpulje (Sedjo 2011). Her foretager man en bæredygtig forvaltning af den bestående kulstofpulje indenfor rammerne af et samlet skovsystem eller med andre ord en samlet kulstofkapital.

Det er klart at kulstofkapitalen kan forvaltes på forskellig vis. Holtsmark (2012) har f.eks. modelleret udviklingen for boreal skov i Norge under to forskellige hugstscenarier, et med lav hugst og et med høj hugst til bioenergi. Resultaterne er vist i tabel 2.12.

**Tabel 2.12.** Kulstoflager, emissionsreduktion og 'gæld' (forskul i effekt) opgjort i mio. t C forbundet med to forskellige hugstscenarier i boreal skov i Norge (75 000 km<sup>2</sup>). Benyttede omsætningsfaktorer: 1 m<sup>3</sup> træ indeholder 0.211 t C, omsat til træpiller 0.14 t C og omsat til flydende brændsel 0.08 t C. Hugsten i de to scenarier er ikke vist. Kilde: gengivet efter Holtsmark, 2012, inklusive supplerende online materiale.

	2005	2100	2200	2300
Kulstof ophobning i skovens biomasse i reference scenarie med svag hugst	417	857	915	918
Kulstof ophobning i skovens biomasse i scenarie med stærk hugst til bioenergi	417	775	820	822
Fald i skovens kulstoflager forårsaget af øget hugst	-	82	95	96
Akkumuleret substitution af fossilt kulstof ved øget hugst (træ erstatter kul)	-	46	95	144
Resterende gæld ved øget hugst i forhold til reference scenariet hvis træ erstatter kul	-	36	0	-48
Akkumuleret substitution af fossilt kulstof ved øget hugst (træ erstatter olie)	-	26	54	81
Resterende gæld ved øget hugst i forhold til reference scenariet hvis træ erstatter olie	-	56	42	15

Begge scenarier har tydeligvis en positiv effekt på kulstoflagring, idet der sker en meget betydelig stigning over tid. For at vurdere den samlede effekt på klimaet mangler man oplysning om den nominelle hugst og en eventuel fortrængningseffekt forbundet med brug af gavnt træ. Det er oplyst, at hugsten er 30 % større i hugst-til-bioenergi scenariet. Den øgede hugst i dette scenarie indebærer, at skovens lager af kulstof ikke vokser så hurtigt. Den reducerede tilvækst i lagret opvejes ikke til fulde eller kun langsomt af den fortrængning af fossilt brændsel, som den øgede hugst af biomasse giver anledning til. Holtsmark (2012) konkluderer på basis heraf, at bioenergi-scenariet ikke er CO<sub>2</sub>-neutralt. Det synes at være en noget snæver fortolkning af CO<sub>2</sub>-neutralitets begrebet, som ikke forholder sig til den nominelle effekt af det samlede skovsystem på atmosfæren, men viser en forskel i lageropbygning mellem to driftsmodeller, der begge ser ud til at have en positiv klimaeffekt. Den ene mere positiv end den anden. Igen må det erindres, at emissionen fra den fossile reference er irreversibel og derfor med tiden uundgåeligt vil miste den fordel, som er forbundet med dets højere energieffektivitet.

Man ser altså, at sammenligningsgrundlaget bliver afgørende for resultatet. Det er derfor væsentligt, at man forholder sig til hvad sammenligningsgrundlaget er (jf. f.eks. Helin *et al.* 2012, Johnson & Tschudi 2012, og Newell & Vos 2012).

Neutraliteten skal indtræde i forhold til atmosfæren. Atmosfæren dækker imidlertid hele kloden og kan derfor ikke umiddelbart bruges som reference for et specifikt produktionssystem. Det er imidlertid muligt, at se på den konkrete kulstofbalance for et givet produktionssystem, f.eks. en større skovejendom. Her kan man følge udviklingen i den stående masse (kulstoflagret) og hugsten af gavnt træ og brænde over tid. Konstant eller stigende stående masse indikerer, at skoven i sig selv er kulstof-cyklus-neutral eller optager yderligere kulstof fra atmosfæren.

Det er ligeledes muligt at se på produktet (høsten af træ). I livscyklus vurderinger ser man typisk på fortrængningseffekten i forhold til et tilsvarende (alternativt) produkt over tid, vurderer hvornår de er ens (paritet) og får så et tab eller en gevinst fordelt over tid (relativt større eller mindre CO<sub>2</sub> udslip). Afgørende er ofte, hvad det tilsvarende produkt er, eller hvordan det defineres. Den type vurderinger kan blive komplekse og vanskeligt gennemskuelige, bl.a. fordi der kan indgå alternativer (fossile), som bidrager med irreversibelt kulstof, hvilket der ikke (kan) tages højde for.

I effektvurderinger søges der nogle gange taget hensyn til såkaldt 'lækage' (på engelsk 'leakage'), som betyder, at en bevist forandring et sted, typisk indenfor rammerne af det system man betragter, kan give anledning til en ikke nødvendigvis tilsigtet forandring et andet sted, der set i forhold til kulstofhusholdningen kan være både negativ og positiv (jf. f.eks. Sathre & O'Connor 2010b, Mohren *et al.* 2011).

Etablering af skov på landbrugsjord et sted kan f.eks. give anledning til, at man udvider landbrugsproduktionen et andet (på engelsk kaldet 'induced land use change'(iLUC), jf. f.eks. Tonini *et al.* 2012, Upton *et al.* 2008 (i Sathre & O'Connor 2010b). En udvidelse af bioenergi produktionen behøver ikke lede til substitution af fossil energi, men kan f.eks. blot føre til et øget energiforbrug (Sathre & O'Connor 2010, York 2012). Øget efterspørgsel og hugst af biomasse til energi kan lede til etablering af mere skov og hævelse af produktiviteten (Sedjo & Tian 2012). Intensiveret skovdrift kan føre til øget brug af varige træprodukter som følge af det større udbud (Perez-Garcia *et al.* 2005 (i Sathre & O'Connor 2010b)).

'Lækage' finder naturligvis sted, men er vanskelig at måle på grund af sin grænseoverskridende natur og fordi det er vanskeligt at identificere årsag og virkning.

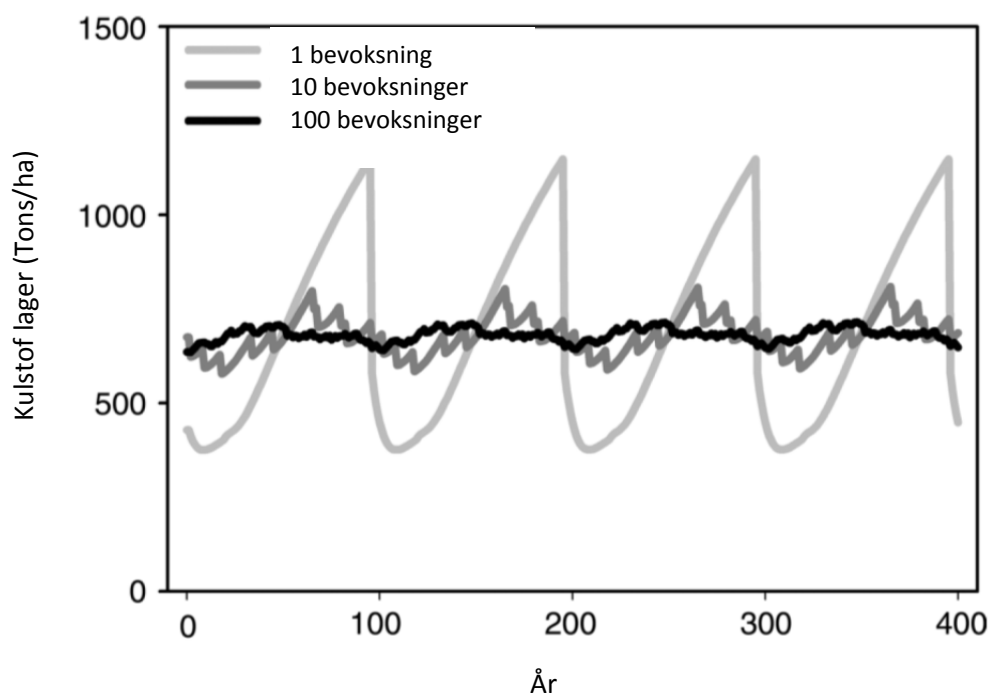
Det er under alle omstændigheder vigtigt at forstå kulstoffordynamikken i de skove man betragter, både de naturgivne og eventuelt dyrknings- og markedsbetingede (f.eks. Newell & Vos 2012, Sedjo & Tian, 2012; Körner 2006, Birdsey *et al.* 2006), men også dynamikken set i forhold til frigørelse af den fossile kulstofpulje.

### **2.3.5 Kulstoffets dynamik og skovdyrkning**

Selvom øget produktivitet og effektiv substitution teoretisk vil kunne kompensere for en nedgang i lager, er den grundlæggende antagelse, for at brug af træ fra skov til energi kan anses for at være CO<sub>2</sub> neutral, normalt, at den blivende vedmasse i skoven er uforandret eller stigende. Der hersker ikke fuld enighed om, hvorvidt det også er en tilstrækkelig antagelse, hvilket kan afhænge af sammenligningsgrundlaget. En supplerende - eller præciserende antagelse er derfor, at skovens kapacitet til at fungere som dræn ikke må forringes. I forstlig terminologi betyder det, at den løbende tilvækst ikke må svækkes. Det, for skovbrugeren, velkendte forhold, at skoven er både lager, produktionsapparat og produkt på én og samme gang betyder, at man er nødt til at se på skoven som en større samlet enhed bestående af mange træer og bevoksninger (som f.eks. gjort af Holtsmark 2012 i eksemplet nævnt ovenfor).

Der kan være tilfælde, hvor skov ikke vokser til igen efter høst, hvilket selvsagt indebærer en nettotilførsel af CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Selvom en bæredygtigt drevet skov er CO<sub>2</sub>-neutral over tid, kan der være perioder, hvor den stående masse falder efterfulgt af perioder, hvor den stiger. Her er den langsigtede nettotilførsel nul, men på det korte sigt opholder der sig mere CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Denne 'emissions puls' skal der også tages hensyn til, når man vurderer effekten af brug af biomasse (jf. f.eks. Cherubini *et al.* 2013).

Et grundlæggende princip i moderne skovdyrkning gennem mere end 200 år er, at man gennem dyrkningen sikrer sig en vedvarende ydelse (jf. f.eks. Morgenstern 2007, Wiersum 1995, Assmann 1961). Idealet er en såkaldt 'normal' skov, hvor den mængde træ, der høstes årligt, er lig med den tilvækst, der finder sted i skoven i samme periode. Herved sikrer man sig at den vedmasse, som står i skoven - og dermed at den mængde kulstof som er bundet - er konstant, selv hvis hele høsten bliver brugt til brændsel. For skoven som helhed er der ikke nogen emissions puls (jf. ovenfor) og CO<sub>2</sub>-neutraliteten gælder både på kort og på lang sigt (se figur 2.2).



**Figur 2.2** Effekten af skovdyrkning skal vurderes for større sammenhængende driftsenheder over længere perioder. Figuren her viser en model for hvordan kulstoflagret per arealenhed udvikler sig afhængigt af hvor mange bevoksninger, der indgår i analysen under et traditionelt skovdyrkningsregime med successive generationer af plantning-vækst-hugst. Det gennemsnitlige kulstoflager afhænger bl.a. af generationstiden. (Gengivet efter McKinley et al. 2011, fig. 3).

Dette 'gamle' princip er genopfundet i en moderne energipolitisk version, som udtrykker at kun additional biomasse – biomasse fra øget plante tilvækst eller hurtigt omsætteligt plantemateriale, der alligevel forsvinder – kan bidrage til en reduktion af kulstofemission (Haberl et al. 2012).

For den uddannede skovdyrker er dette en selvfølgelighed, men mange steder i verden 'dyrker' man ikke skoven og denne selvfølgelighed er derfor langt fra altid virkelighed. Men i lande med ordnet skovbrug, f.eks. det meste af Europa (Köhl et al. 2011), dele af Nordamerika (Smith 2007) og dele af Kina (e.g. Wang et al. 2007), har der i en årrække været en stigende vedmasse i skovene (jf. også FAO 2011). Uanset det enkelte træes eller den enkelte bevoksningens skæbne i sådanne områder, kan man konstatere, at de samlede skovsystemer ud fra en ren kulstofhusholdningsbetragtning - alt andet lige – i den betragtede periode har været mere end bæredygtige, da mængden af kulstof bundet i disse skove er stigende (Sedjo 2013, Hasenauer 2013).

Interessant er naturligvis den fremtidige udvikling, hvor skovene ældes, klimapåvirkningen forandres og høsten af træ forventes at stige. I den sammenhæng vil f.eks. studier som det ovennævnte af Holtmark (2012) for Norge være relevante. Der arbejdes aktuelt hermed både på europæisk (Verkerk et al. 2011, Böttcher et al. 2012, Kinderman et al. 2013, Narbuurs et al. 2013) og på globalt plan (e.g. Kraxner et al. 2013).

### 2.3.6 Naturskov og kulturskov

I den klassiske skovøkologiske teori arbejder man med, at naturskov formodes at udvikle sig i faser til den (måske) når en ligevægt (klimaks). Ligevægtsbegrebet er omdiskuteret, men anvendes som en konstruktiv hypotese og er nyttigt med henblik på at forstå en vegetations udvikling og status (f.eks. Hasenauer 2013).

Der finder en netto primærproduktion sted i de levende træer, som er forskellen mellem fotosyntesens bruttoproduktion og den respiration, som finder sted fra den levende biomasse. Hele skovens nettoproduktion er forskellen mellem denne netto primærproduktion og den respiration som sker ved nedbrydning og mineralisering af det organiske materiale i jorden (Jarvis & Linder 2007, Assmann 1961/1970, Boysen-Jensen 1932). For en naturskov, der har nået ligevægt, har den almindelige antagelse været, at dens nettoproduktion er nul ('Clementsian forest climax' – jf. f.eks. Pennington *et al.* 2004). I et sådant naturligt system har man derfor regnet med, at mængden af bundet kulstof vil stabiliseres og nettoemissionen af CO<sub>2</sub> blive nul, således at skoven i ligevægt udgør et lager af kulstof, men er ophørt med at øge mængden af kulstof i systemet (Kira & Sihdei 1967, Odum 1969, jf. Luysaert *et al.* 2008).

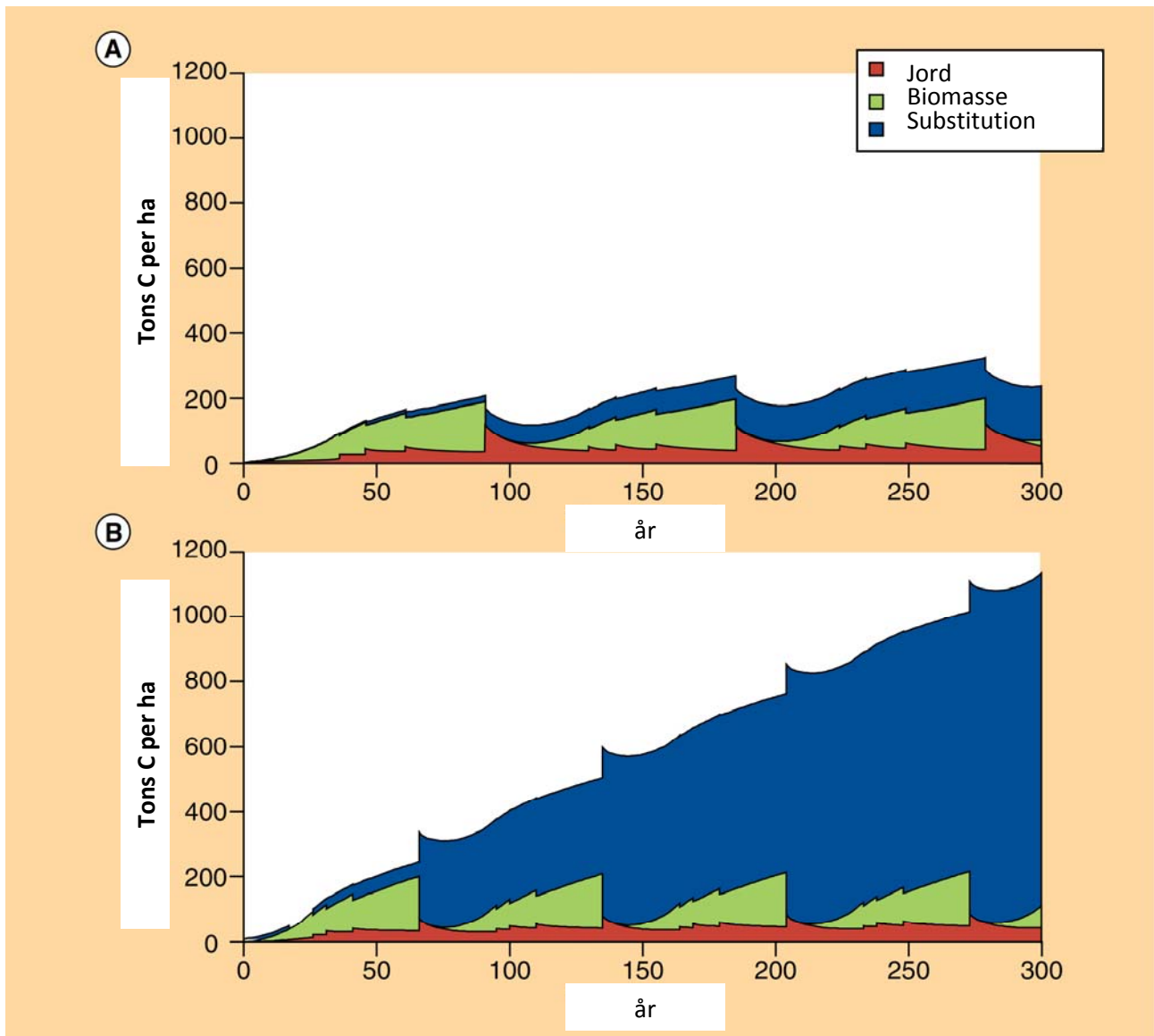
Luysaert *et al.* 2008 finder i et metastudie, at megen gammel skov i tempererede og boreale områder i modsætning til den konventionelle opfattelse om etablering af en ligevægt, bliver ved med at akkumulere kulstof meget længe og derfor ikke blot udgør et kulstoflager, men også fungerer som 'dræn'.

Urørt naturskov vil normalt indeholde en større mængde kulstof end dyrket kulturskov (Luysaert *et al.* 2008, Körner 2006, Odum 1969). Selvom den klassiske opfattelse af en ligevægtstilstands indtræden i naturskov måske ikke holder, er det også klart at biomasse naturligvis ikke kan akkumuleres i uendelighed (Luysaert *et al.* 2008, Narbuurs *et al.* 2013), så naturskovens effektivitet som et 'dræn' for CO<sub>2</sub> fra atmosfæren vil uvægerligt falde.

Det er velkendt, at den dyrkede skov kan opnå tilvækst, der langt overstiger naturskovens (Evans 2009), jf. i øvrigt kapitel 2.2 i nærværende rapport. Kulturskoven kan opretholdes i en permanent tilstand af vækst, hvilket indebærer mulighed for at akkumulere en mulig substitutions effekt og dermed i teorien levere en samlet større effekt på kulstofbalancen, selvom det stående lager i skoven er mindre (Körner 2006, Holtmark 2012) og selvom nettoakkumuleringen i ung skov i de tidlige år kan være mindre (Luysaert *et al.* 2008).

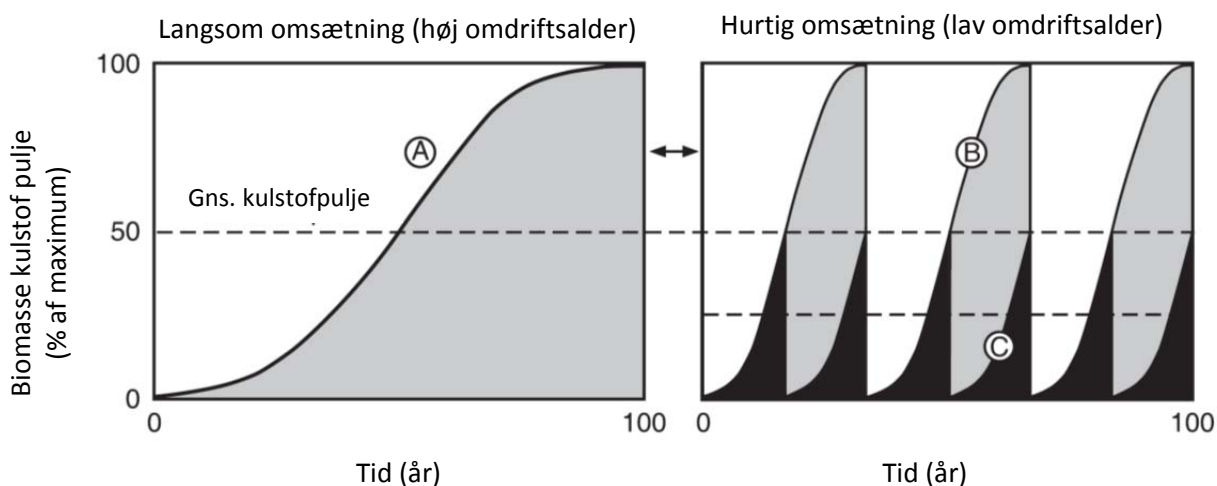
I figur 2.3 er vist et eksempel på en bevoksningsudvikling for en kulturskov i form af rødgran i Sverige (Eriksen *et al.* 2007, jf. også Lippke *et al.* 2011).





**Figur 2.3.** Tidsmæssig udvikling af kulstof lager i jord og levende vedmasse og akkumuleret substitutions-effekt ved fortrængning af fossilt baserede produkter. Modellering baseret på data fra en gennemsnitlig bevoksning af rødgrøn (*Picea abies*) i midt Sverige. A: kombination af parametre som giver mindst effekt (traditionel skovdrift, al høst anvendes til bioenergi som alternativ til naturgas). B: kombination af parametre som giver størst effekt (heltræudnyttelse inklusiv stødrydning; grene og stød anvendes til energi som alternativ til kul, stammemasse til konstruktionstræ; der gødes som erstatning for udtag af næringsstoffer). Kilde: Fig. 3 hos Eriksson et al. 2007, er her gengivet efter fig. 15 hos Lippke et al. 2011.

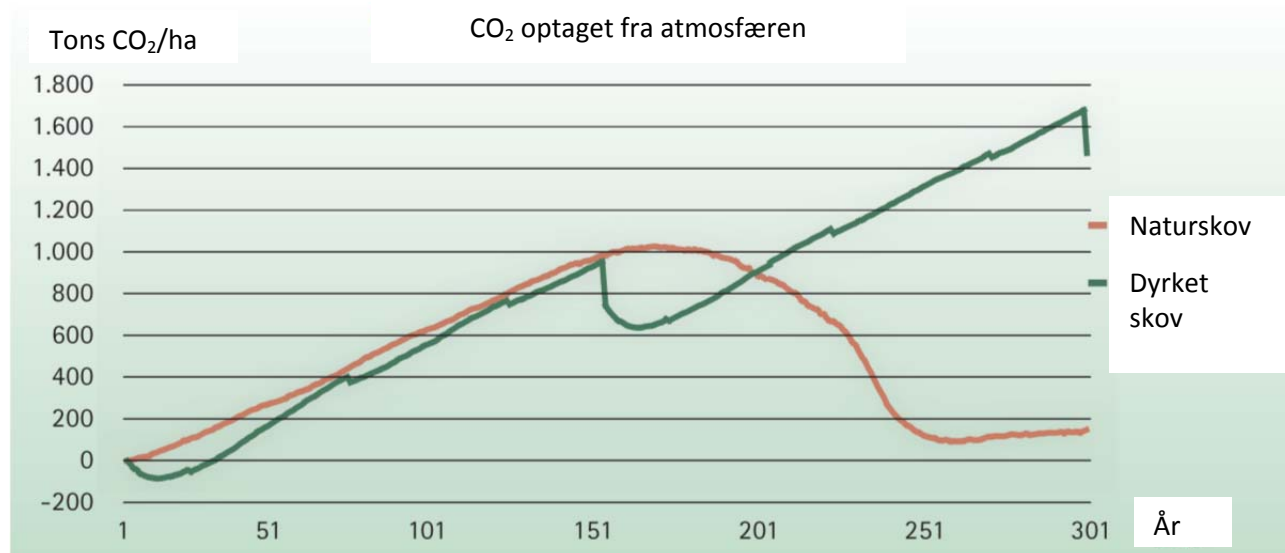
I den dyrkede skov kan man tillige drage nytte af at kunne hæve produktiviteten gennem valg af det mest ydende plantemateriale og optimering af høsten i forhold til tidspunktet for den største produktion. Körner (2006) og Kula & Gunalay (2012) peger på, at optimering af skovens kulstoflager afviger fra en traditionel skovøkonomisk optimering af hugsten og typiske vil pege i retning af en øget omdriftsalder, se fig. 2.4.



**Figur 2.4** Idealiserede vækstkurver for langsomt voksende træer (A) og hurtigt voksende træer (B og C). I A og B vokser træerne til samme masse. Her stabiliseres den gennemsnitlige stående masse på samme høje niveau. Hugstuddyttet vil være større i B end i A (ses ikke af figuren). I C høstes træerne hyppigere hvilket giver et større samlet udbytte (ses ikke af figuren), men en lavere stående masse. (Gengivet efter figur 5 hos Körner 2006).

Holtzmark (2013) viser tilsvarende, at et kommercielt (stærkt) hugstregime fører til en permanent øget mængde kulstof i atmosfæren i sammenligning med en svag hugst.

En sammenligning af naturskov og kulturskov er foretaget af Hasenauer (2013) baseret på empiriske data fra Østrig og Slovakiet, se figur 2.5. Der er her tale om et konkret eksempel under tempererede forhold.



**Figur 2.5.** Kulstofoptag i dyrket skov versus naturskov. Baseret på observationer i naturskov i Rothwald i Østrig og Babia Hora i Slovakiet og to cykler af dyrket bøgeskov. Der er regnet med en simpel én til én substitution af fossilt kulstof fra træ høstet i kulturskoven. Naturskoven er urørt. I virkeligheden vil substitutionseffekten være betydeligt større, da hovedproduktionen fra den dyrkede bøgeskov er gavntræ og ikke energitræ. (Gengivet efter Hasenauer 2013).

Et problem forbundet med sammenligninger af denne karakter er, at de ofte finder sted på et generaliseret grundlag. F.eks. findes den klassiske teori om ligevægts natur skove som nævnt ovenfor tilsyneladende ikke i virkeligheden. I alle målte skove, sker der aktuelt et nettooptag af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren (Jarvis & Linder 2007, Luysart *et al.* 2008), selvom der nyligt er konstateret en vis afmatning i masseophobningen i de europæiske skove (Narbuurs *et al.* 2013). Selv i troperne, hvor man i hvert fald nogle steder ville forvente naturskovens formodede ligevægts tilstand, finder man den ikke i praksis (Lewis *et al.* 2009a, Philips *et al.* 2009, Pan *et al.* 2011). Det kan der være forskellige årsager til, som kort berørt i næste afsnit.

### 2.3.7 Den stigende produktion

Den fremherskende hypotese har været, at den forsat stigende nettoproduktion i naturskov kunne skyldes den øgede tilgængelighed af CO<sub>2</sub> i atmosfæren (Lewis *et al.* 2009b, jf. også Körner 2006). Samtidig er der peget på, at disse skove kunne udgøre 'the missing sink' (f.eks. Le Quéré *et al.* 2012, jf. også Archer 2010) i det globale kulstofregnskab, hvor man løbende har peget på, at ophobningen i atmosfæren er mindre end man ville forvente baseret på den udledning, som finder sted, og den løbende kendte binding, der sker i have, planter og jord (Pan *et al.* 2011). Mængden af kulstof, der optages i plantepuljen, skulle altså være større end tidligere antaget (Graven *et al.* 2013), om end det også er erkendt at den nøjagtighed, hvormed biomassens omfang er bestemt, er ringe (Clark & Kelner 2012). Øget koncentration af CO<sub>2</sub> eller næringsstoffer og stigende temperatur kan være mulige grunde til den observerede stigning i nettoproduktionen, men mere nærliggende er det måske, at der slet *ikke* findes skov, som ikke har været udsat for menneskelig indgriben eller anden forstyrrelse i historisk tid (Wright 2012). I givet fald er disse skove reelt sekundære og i teorien på vej mod deres primære ligevægtstilstand – og den konstaterede tilvækst kan derfor godt være i overensstemmelse med de grundlæggende klassiske teorier.

Uanset årsag til den stigende produktion, gør skovenes betydning for plantepuljens indhold af kulstof selvagt beskyttelse og opretholdelse af disse skoves produktivitet afgørende for at imødegå klimaforandringer.

*Endnu mere interessant er måske potentialet for at øge skovenes produktivitet, ikke mindst når man anskuer det i sammenhæng med behovet for jord til andre anvendelser og især til anden landbrugsanvendelse (Meyfroidt & Lambin, 2011).*

### 2.3.8 Andre klimafaktorer end kulstof

Ovenfor er set på betydningen af skov og brugen af skov for atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> som den væsentligste af atmosfærens drivhusgasser.

Der er imidlertid også andre forhold med relation til skov, som har betydning for klimaet. Udstrålingen af varme fra jordoverfladen til rummet (albedo) afhænger af dens sammensætning og farve. Ændringer i strømme (flux) af varme og fugtighed mellem jordoverflade og atmosfære kan derfor også have en afkølede eller en opvarmende effekt, som enten kan dæmpe eller styrke virkningen af drivhusgasser i atmosfæren (jf. e.g. Schwaiger & Bird 2010). Samspillet mellem skoven og albedoens betydning for klimaet er dog mindre undersøgt. Bala *et al.* (2007) finder baseret på et modelstudie, at en reduktion af skovdækket i boreale områder vil føre til afkøling (reduceret udstråling), hvorimod en reduktion af skovdækket i troperne vil lede til opvarming (øget udstråling). Schwaiger & Bird (2010) finder ligeledes, at skovrejsning under specifikke boreale omstændigheder ikke automatisk har en positiv klimaeffekt, fordi kølingseffekten af øget kulstofbinding bliver neutraliseret af opvarmning som følge af forandringer i albedo. Her peges endvidere på en betydning af evapotranspiration og øget skydannelse; og naturligvis på behovet for at forbedre grundlaget for at kunne inddrage disse forhold i klimamodellering. Effekt af albedo og evapotranspiration anses normalt for at være mindre end forandringer i kulstofbalancen, men vil kunne være dyr at overse

(Jackson *et al.* 2008). Den samlede virkning er ikke velkendt, og især ikke for tempereret skov (McKinley *et al.* 2011).

Skovens generelle sundhedstilstand har naturligvis også betydning. Stormfald, skovbrand og sygdoms-angreb er alle forhold, som kan svække kulstofophobning i skov og risikoen herfor bør indgå i overvejelser om hvilken skovdrift, der er bedst ikke mindst under risikoen for klimaforandringer (jf. også baggrundspapir om klimaforandringer).

Plantevækst kan også være forbundet med emission af metan (Kepler *et al.* 2006), der dog selvom det er en særdeles potent drivhusgas, normalt produceres i så små mængder, at det ikke har nogen væsentlig betydning for den samlede positive effekt af kulstofopbygning i skov (Polgate *et al.* 2008).

### **2.3.9 Konklusion vedrørende CO<sub>2</sub> neutralitet**

Der hersker ikke enighed om hvad der skal forstås ved CO<sub>2</sub> neutralitet.

Betragter man en skov- eller anden arealforvaltende enhed, hvor der opretholdes et konstant lager af kulstof og et konstant udtag af skovprodukter eller anden biomasse, vil dette system være neutralt i forhold til atmosfæren. Øger man produktiviteten af systemet, vil et øget udtag af produkter naturligvis skulle følges af en tidsmæssigt tilsvarende opbygning i det stående lager, for at neutraliteten i forhold til atmosfæren opretholdes. Produkter høstet i overensstemmelse hermed kan karakteriseres som CO<sub>2</sub> neutrale i forhold til atmosfæren.

Globalt set er der naturligvis høstet megen biomasse, som ikke har kunnet eller kan leve op til disse krav, men alligevel har fået prædikatet CO<sub>2</sub> neutralt og dermed i nogen grad miskrediteret også brugen af klimavenlig biomasse.

Balancen mellem lugeopbygning og hugst kan over tid styres i forskellig retning. Et system med kort omdrift, relativt lav stående masse og relativt højt udtag kan f.eks. godt være i kulstofbalance med atmosfæren, men vil sammenlignet med et system i lang omdrift, relativt høj stående masse og mindre udtag kunne resultere i en balance med et højere niveau af CO<sub>2</sub> i atmosfæren og derfor opfattes som ikke-CO<sub>2</sub> neutralt. Her er den direkte reference imidlertid ikke atmosfæren og dens indhold af CO<sub>2</sub>, men en anden dyrkningsmodel. Hvorvidt den ene model er bedre end den anden vil afhænge af formålet eller formålene med skoven og dens eventuelle dyrkning.

Brug af skovprodukter kan bidrage til at fortrænge fossilt baserede produkter, hvis de erstatter kul og olie eller produkter baseret herpå, hvilket er positivt fordi det bidrager til reduktion af en irreversibel emission fra de fossile puljer. Hvor effektiv denne fortrængning er, afhænger af substitutionseffekten. For træ til bioenergi ligger den i dag typisk mellem 0,5 og 1, for gavntræ til byggeri som oftest over 2. I nogle sammenhænge opereres der med at CO<sub>2</sub> neutralitet indtræder ved fossil energi paritet, dvs. når den kumulative effekt af brugen af træ er lig med den kumulative effekt af brugen af fossilt materiale. Er substitutions-effekten mindre end 1 betyder det, at skovens lager af kulstof skal stige tilsvarende for at opnå neutralitet i forhold til den fossile reference frem til tidspunktet for paritet. Her er den direkte reference heller ikke atmosfæren og dens indhold af CO<sub>2</sub>, men en alternativ produktions effekt på atmosfæren. Man kan diskutere om det er en hensigtsmæssig målestok, når den alternative produktions effekt på atmosfæren er irreversibel i det omfang, den ikke kan absorberes i havet, jorden eller en øget plantemasse.

Såkaldte 'lækage' effekter, hvor ændret skovdrift og forbrug af skovprodukter et sted inducerer forandringer i jordbrugsproduktion eller forbrugsmønstre andre steder, vil yderligere komplicere billedet. Når der søges taget hensyn til sådanne grænseoverskridende effekter, bør det klart fremgå, da årsagssammenhængende ofte er usikre.

Brugen af forskellige referencer med henblik på at klassificere CO<sub>2</sub> neutralitet gør begrebet upræcist og kan derfor give anledning misforståelser. Fokus kunne derfor mere hensigtsmæssigt være på, om den konkrete skovproduktionen forvaltes, så den er klimavenlig, fremfor en lidt frugtesløs diskussion af om det enkelte produkt er CO<sub>2</sub> neutralt.

Der hersker bred enighed om, at bæredygtig skovforvaltning er godt for klimaet. Kan man dokumentere, at der med en bæredygtig skovforvaltning både sker en stigning i den stående masse og er mulighed får en øget høst af forskellige produkter til såvel energi som andre skovprodukter med en endnu større substitutionseffekt, er der ikke nogen tvivl om at klimaeffekten vurderet på basis af kulstofbalancen er positiv.

Formålet med nærværende udrednings gennemgang af de forskellige skovdyrkningsmæssige virkemidler, der præsenteres i følgende kapitel 3, er at bidrage til dokumentation af, hvorledes bæredygtig skovforvaltning kan praktiseres under danske forhold, så det har en effekt på kulstofbalancen der reducerer atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub>.

### 3 De enkelte virkemidler

I dette kapitel beskrives de valgte virkemidler nærmere, se tabel 3.1. Effekten af de enkelte virkemidler og deres niveauer kvantificeres, kommenteres og udviklingen over tid vises grafisk med hovedvægten lagt på samlet årlig hugst og kulstoflagring i stående masse. Virkemidlernes indflydelse på den rekreative værdi af skove, biodiversitet samt grundvandsdannelse og kvalitet beskrives kort og oversigtligt, men kvantificeres ikke, se tabel 3.2. Virkemidlernes relative formåen beskrives afslutningsvist i tabel 3.3 for udvalgte årstal.

**Tabel 3.1.** Oversigt over de ni virkemidler og en beskrivelse af indsatsniveauer indenfor disse. Niveau "0" er nuværende praksis og "1", "2" og "3" er ændrede aktiviteter eller niveauer. Nuværende driftspraksis benævnes også "BAU" (business as usual)

Virkemiddel		Indsatsniveauer			
		0	1	2	3
SK1	Skovrejsningsareal (ha/år)	1900 - som nu	2280	4560	0
SK2	Artsvalg ved skovrejsning	Som nu	Løv	Nål	
SK3	Omdriftsalder	Som nu	Kortere (større kulturareal, 10 år kortere omdrift)	Højere (mindre kulturareal, 20 år længere omdrift for løv, 5 år for nål)	
SK4	Artsvalg i foryngelser (nykultur i eksisterende skov)	Som nu - nål konverteres til nål og løv konverteres til løv	Mere nål - Nål konverteres til nål og løv konverteres til 50 % løv og 50 % nål	Mere løv - Nål konverteres til 50 % nål og 50 % løv; løv konverteres til løv	
SK5	Kulturmetode/ skovrejsningsmetode	Som nu 3500-6500 planter/ha hhv selvforyngelse	Planterige kulturer + øget brug af for-kultur, <b>ammer</b> og indblanding af hurtigtvoksende arter; 7000-11000 planter/ha		
SK6	Urørt skov	Som nu	Yderligere 46.100 ha	Ca. 50 % af løvskovareal ved start af simuleringerne, i alt 127.150 ha	100 % løvskovareal ved start af simuleringerne, i alt 275.755 ha
SK7	Hugstgrad (Mobilisering af vedmasse)	Som nu (Hugst < tilvækst; hugstgrad 1)	Hugst ~ tilvækst (hugstgrad 1,2)	Hugst << tilvækst (hugstgrad 0,8)	
SK8	Hugstsortiment (aflægning)	Som nu	Større andel af hugsten anvendes til energi og materialer	Større andel af nåletræ anvendes til energi og materialer. Lavere andel af løvtræ anvendes til energi og materialer (dvs. mere savværkstræ)	
SK9	Forædling	Lav (Nuværende forædlingsindsats)	Mellem (Øget forædlingsindsats)	Høj (+Øget forædlingsindsats)	

For alle virkemidler er udgangspunktet en uændret drift i forhold til det der praktiseres i dag, dvs. samme skovrejsningstempo, samme hugststyrke og udnyttelsesgrad, aflægning af produkter osv. Denne uændrede praksis kaldes for BAU, uændret drift og indgår som niveau "0" i alle virkemidler. Udgangspunktet for beregningerne er ligeledes status fra det nationale skovovervågningsprogram (NFI) med den skovsammensætning og aldersklassefordeling, der findes nu, og som systematisk fremskrives efter de enkelte virkemidlers niveauer.

For hvert enkelt virkemiddel kan der være op til 4 niveauer, som f.eks. for skovrejsning, hvor uændret niveau "0", også benævnt BAU, svarer til den nuværende drift, hvilket vil sige skovrejsning med 1900 ha om året. Yderligere tre niveauer er kvantificeret "1" skovrejsning med 2280 ha/år, "2" 4560 ha/år og endelig "3", hvor det antages, at der sker et totalt stop for yderligere skovrejsning.

En oversigt over virkemidlerne og de indsatsniveauer som vurderes for hvert af virkemidlerne er givet i tabel 3.1 ovenfor.

De enkelte virkemidler, de anvendte niveauer og effekten over tid er kort beskrevet i de følgende afsnit (3.1-3.7). Der er foretaget modelberegninger for perioden 2012 og frem til 2100. I modelberegningerne er den samlede årlige produktion estimeret, og ligeledes fordelt dels på biomasse til afbrænding og raffinering, og dels på gavntre til savværker. Endvidere er der beregnet tilvækst, udnyttelsesgrad (hvor meget af tilvæksten der faktisk udnyttes), samt en opgørelse af den mængde kulstof, der bindes i skovens træer – den stående masse. Resultaterne for produktion er angivet som årlig produktion i mio. tons tørstof pr. ha/år, og i mio. tons. for lagring af rent kulstof for det samlede skovareal.

### **3.0 Vurdering af miljøeffekter**

Der fokuseres som nævnt i de efterfølgende afsnit 3.1-3.7 på en kvantitativ opgørelse af samlet produktion og lagring af kulstof i den stående masse. Begge disse handler om produktion, men udtrykker samtidig en kvantitativ miljøeffekt i form af henholdsvis substitution af fossil energi og lagring af CO<sub>2</sub>. For hvert virkemiddel er der ligeledes søgt givet en mere kvalitativ vurdering af indflydelsen på tre andre miljø faktorer: Rekreation, biodiversitet, samt grundvandskvalitet og -mængde. Denne beskrivelse er samlet i tabelform, se tabel 3.2.

De miljømæssige effekter forbundet med etablering af skov er som oftest positive, men afhænger af mange faktorer og er derfor meget komplekse at udrede. En relativt ny gennemgang af emnet er givet af Evans (2009) og er også behandlet oversigtligt af Meyfroidt & Labin (2011) i et overordnet review af de globale skovforandringer som finder sted.

Den skematiske behandling af emnet givet i tabel 3.2 er derfor udtryk for nogle enkle generaliseringer, hvor det er muligt, men som man skal være ganske påpasselig med. Og som man er nødt til at vurdere i den arealspecifikke sammenhæng. Emnet diskuteres yderligere i kapitel 5.

**Tabel 3.2.** Vurdering af deelementers relative indflydelse på den rekreative oplevelse af skoven, biodiversiteten, samt grundvandsdannelse og vandmængde (udvaskning). Se teksten. De mange spørgsmålstegn er udtryk for at der savnes faktisk viden.

Virke- midde l	Beskrivelse	Rekreation <sup>1)</sup>	Biodiversitet <sup>2)</sup>	Grundvandsdannelse <sup>3)</sup>	Udvaskning <sup>3)</sup>
SK1	Skovrejsning på landbrugsjord	Skov > landbrug	Skov > landbrug	?	Skov ≤ landbrug
SK2	Skovrejsning løv eller nål	Løv > nål	Løv > nål	Løv>nål	?
SK3	Omdrift kortere Omdrift længere	?	gamle træer > unge træer	?	?
SK4	Foryngelse mere løv Foryngelse mere nål	Løv > nål	Løv > nål Selvforyngelse > plantning	Løv > nål	?
SK5	Ammetræer/ forkultur	? (øger oplevelse)	?	Mindre - Større tæthed, mere produktion giver mindre gennemstrømning?	Mindre -Større plantedække og vækst giver mindre udvaskning
SK6	Urørt/biodiversitets skov versus dyrket skov	Urørt/biodiver- sitets skov ≤ dyrket skov	Urørt/biodiver- sitets skov > udnyttet skov	?	Urørt/biodiversitets >dyrket (jf. Suserup erfaringer)
SK7	Stærk hugst vs. svag hugst	Stærk >> svag	brug for både lys og mørke	Indenfor det frie hugstinterval – næppe forskel	Indenfor det frie hugstinterval – næppe forskel
SK8	Stor udnyttelse med flisning  Oprydning i hugstaffald med flisning	?  Orden foretrækkes	Mere dødt ved foretrækkes	Næppe forskel – måske effekt af manglende tilbageholdelse af regnvand i hugstaffald	Mindre -Væsentlig flere næringsstoffer fjernes – derfor forventes mindre udvaskning af næringsstoffer = bedre kvalitet, men også C/N forholdet påvirkes
SK9	Forædling	? næppe nogen effekt i sig selv, men kan være ensformigt	”eksotisk” materiale, mere ensformigt, men også ”sunderne”	Mindre pga. større produktion = mere vandforbrug, tidligere slutning og fuldt kronedække	Mindre - Mere vandforbrug og større biomasse – kan give mindre udvaskning af næringsstoffer

<sup>1)</sup> Frank Søndergaard Jensen pers. medd., samt Koch og Jensen 1988, Jensen og Koch 1997.

<sup>2)</sup> Baseres på biodiversitetsrapport (Johannsen *et al.* 2013).

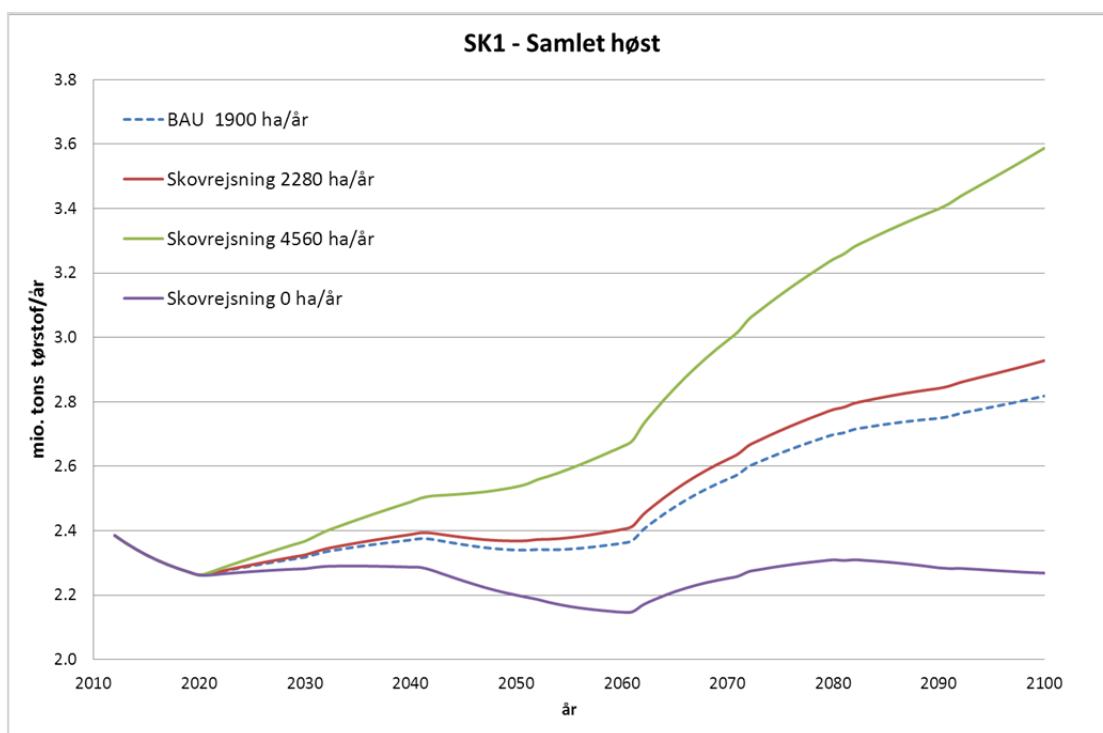
<sup>3)</sup> Baseret på baggrundsnotat vedrørende produktionspotentiale (Nielsen *et al.* 2013).



### 3.1 Skovrejsning

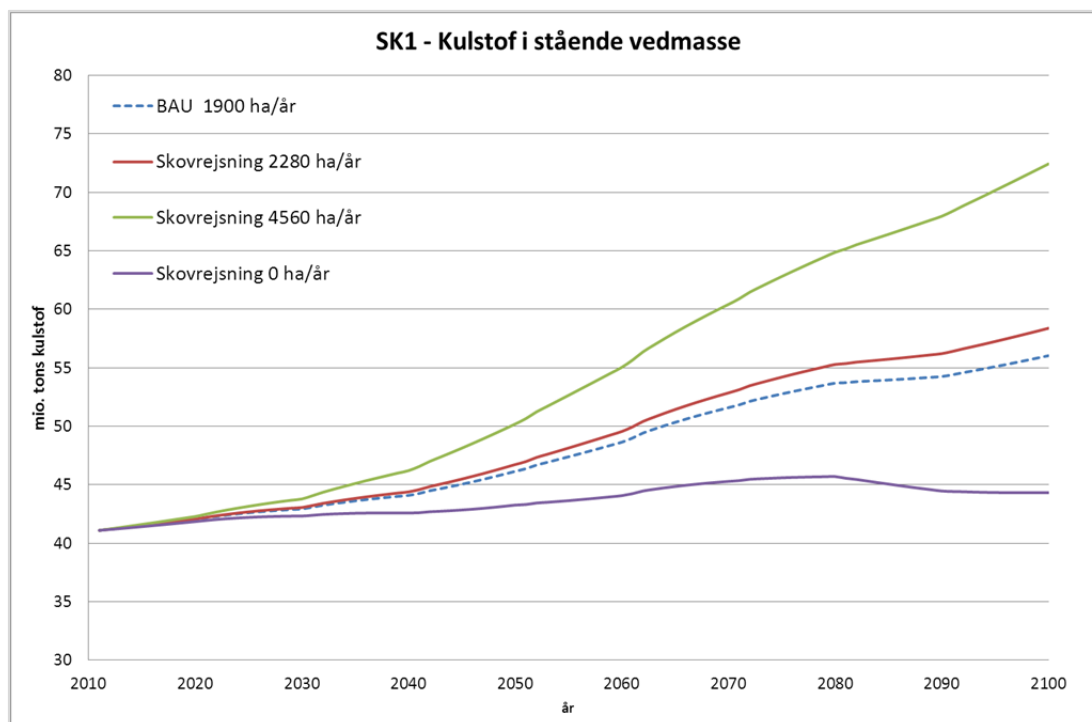
Omfanget af skovrejsning er et af de vigtigste virkemidler. Baseret på de senere års statistik over tilskud til skovrejsning, er udgangspunktet en årlig skovrejsning på 1900 ha/år<sup>14</sup>. Der er anvendt 4 niveauer af skovrejsning: uændret praksis, to niveauer med stigende tilplantning og et, hvor det antages, at der ikke rejses yderligere skov.

Niveau	Værdi	Beregning	Areal
0 (=BAU)	Lav	BAU	1900 ha/år
1	mellem	BAU*1.2	2280 ha/år
2	høj	BAU*2.4	4560 ha/år
3	Ingen	BAU – 1900 ha/år	0 ha/år



Figur 3.1. (fortsættes næste side)

<sup>14</sup> Skovrejsning har siden 1989 varieret mellem 800 og 4500 ha per år. Gennemsnittet har været ca. 1900 ha/år. Aktuelt ligger den lidt lavere. Skal folketingsbeslutningen fra 1989 om at fordoble skovarealet i løbet af en trægeneration nås, vil det kræve at skovrejsningstakten sættes op (Skovpolitisk Udvalg 2011).



**Figur 3.1.** Skovrejsning (SK1). Effekt på samlet høst (forrige side) og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof.

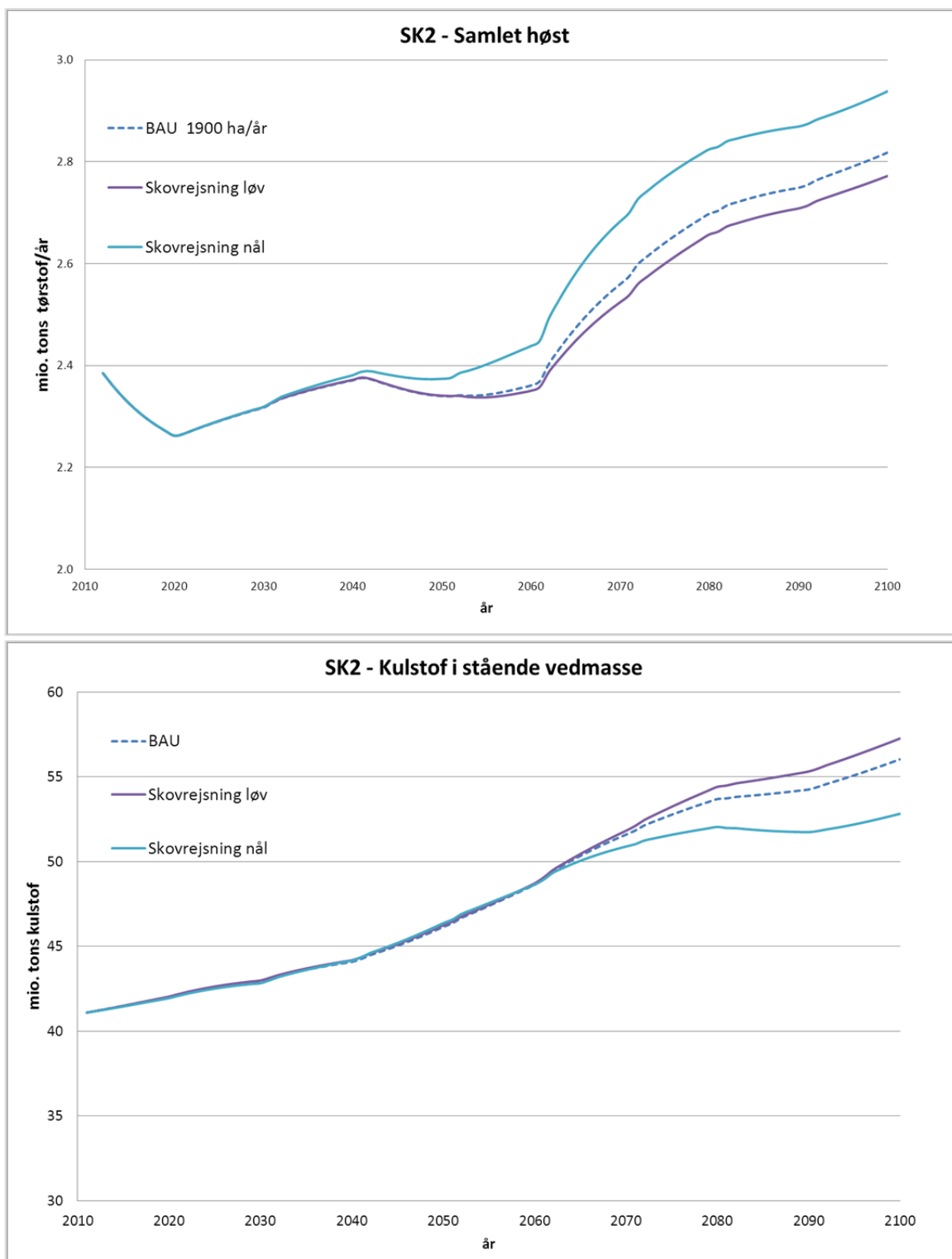
Effekten af skovrejsning med et areal på 4560 ha, dvs. 2.4 gange det nuværende niveau, kan for alvor registreres omkring 2030. Det høje niveau af skovrejsning er dét enkelte virkemiddel, der har den største positive effekt på alle produktionsparametre ved år 2100 hhv. en øgning på 27 % og 29 % for årlig høstbar mængde og kulstof lagring, eller 0,8 mio. tons ekstra i årlig høst og 16 mio. tons ekstra lagret. De tilsvarende tal for en øgning af tilplantningen med en faktor 1,2 er en stigning på 0,1 mio. tons høst årligt og 2 mio. tons lagret svarende til 4 % for begge. Stoppes tilplantningen (niveau 3) lagres knap 30 mio. tons tørstof mindre end ved den højeste tilplantningstakt og ca. 10 mio. tons mindre end ved forstsat skovrejsning med den nuværende plantningstakt.

### 3.2 Artsvalg ved skovrejsning

Træartsvalg i skovrejsningen vil påvirke den fremtidige udvikling i det nye skovareal. Det er valgt at lave tre forskellige niveauer. Udgangspunktet er den træartsfordeling, der er registreret i den nationale skovovervågning med status 2009 (NFI, se forklaring i afsnit 1.3):

<b>0 (= BAU)</b>	Træartsfordeling som konstateret i NFI (blandet løv/nål)
<b>1</b>	Kun løvtræ – fordeling af arter efter løvtræareal konstateret i NFI
<b>2</b>	Kun nåletræ – fordeling af arter efter nåletræareal konstateret i NFI

Træartsvalget er også et indirekte valg af omdriftstid, idet nåletræ normalt dyrkes i kortere omdrift end løvtræ som eg og bøg – dog spiller lokaliteten også en væsentlig rolle.



**Figur 3.2.** Artsvalg ved skovrejsning (SK2). Effekt på samlet høst og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof.

Omkring 2050 ses en øget hugst af nåletræ ved satsning på nål i skovrejsningen og denne øges frem til 2100, hvor der høstes godt 0,1 mio. tons mere, 4 %, mens løvtræsstrategien giver 0,05 mio. tons mindre udbytte end BAU, svarende til -2 % i forhold til uændret drift. Modsat ses der en større opbygning af kulstof

i den blivende bestand for løvtræerne, ca. 1 mio. tons og et fald på 3 mio. tons for nåletræsstrategien ved år 2100.

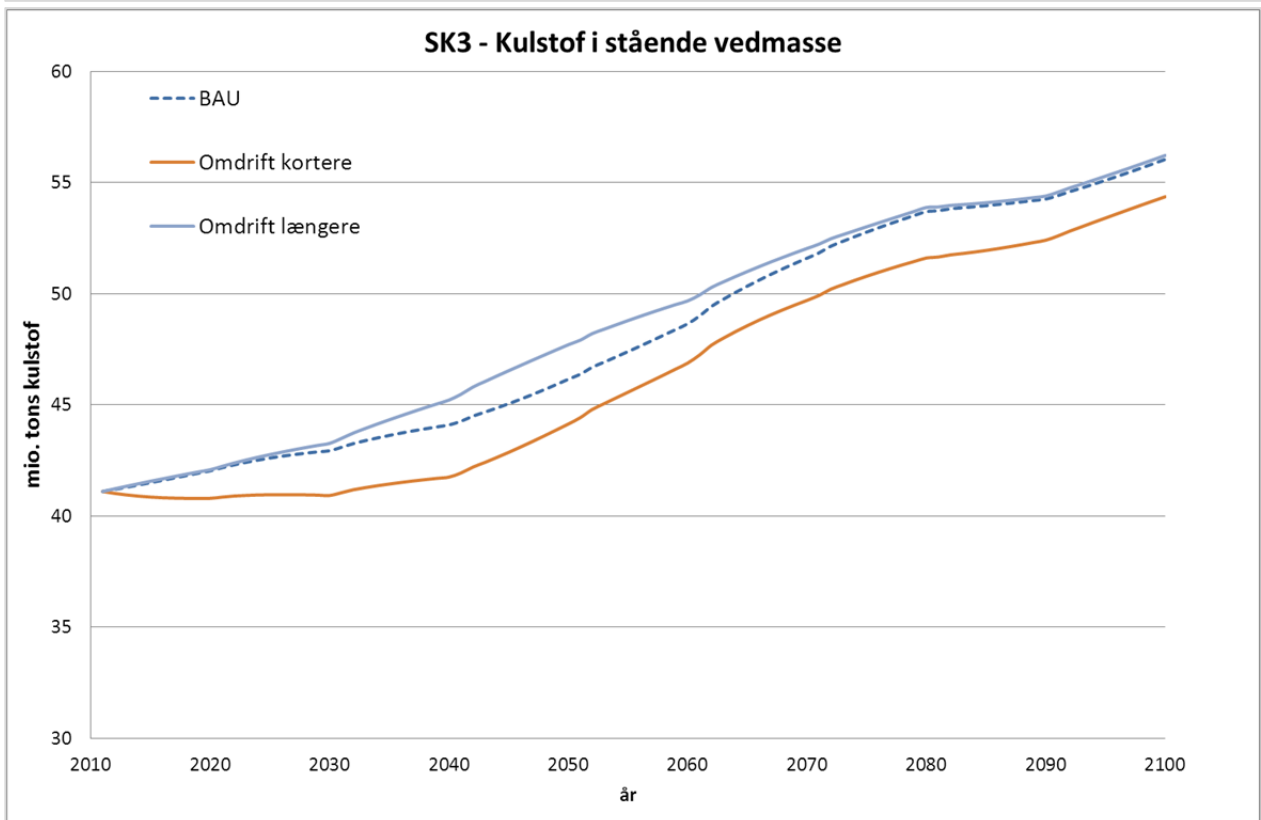
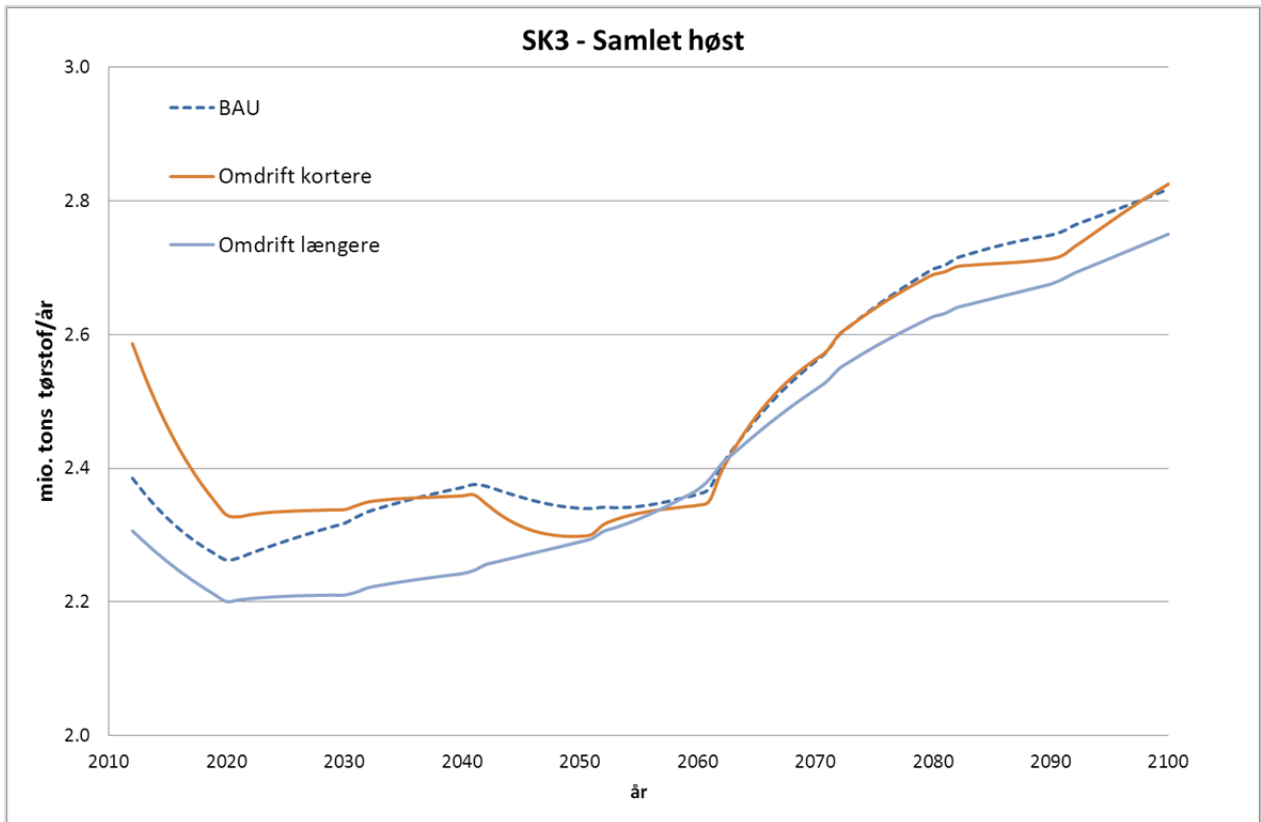
### 3.3 Omdriftsalder

Omdriftsalder er det tidspunkt, hvor man vælger af fælde træerne, foretage en afdrift, og gøre klar til en ny plantning. Ved brug af naturlig foryngelse i stedet for plantning er dette tidspunkt mindre veldefineret. Der er mange faktorer, der spiller ind på, hvornår en given bevoksning afdrives. Først og fremmest er der forskelle mellem træarterne og lokalitetens bonitet spiller en stor rolle, men omdriftsalderen påvirkes også af f.eks. priser og afsætningsmuligheder, stormfald, samt hensyn til de omkringliggende bevoksninger (hugstfølge). Når det skal vurderes, hvornår en given bevoksning skal afdrives i fremtiden, er det derfor mere rimeligt at tale om en omdriftssandsynlighed – fremfor at anvende et specifikt antal år fra plantning. På basis af resultater fra tidligere skovstatistikker fra 1990 og 2000 har Nord-Larsen & Heding (2002) beregnet en række afdriftssandsynligheder (se yderligere i baggrundsnotat, Johannsen *et al.* 2013b). Der er simuleret tre forskellige niveauer af afdriftssandsynligheder.

**0** BAU – sandsynligheder som beregnet i Nord-Larsen & Heding (2002)

**1** Kortere omdrift. Afdriftssandsynlighed øges ved at reducere alder med 10 år ved beregning af andel afdriftsareal

**2** Længere omdrift. Afdriftssandsynlighed mindskes ved at øge alder med 20 år for løv og 5 år for nål ved beregning af andel afdriftsareal



**Figur 3.3.** Omdriftsalder (SK3). Effekt på samlet høst og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof.

Simuleringerne viser, at valg af omdriftsalder indledningsvist giver et større udbytte ved kortere omdrift, og et lavere udbytte ved at udsætte afdrift. Merhugsten som følge af den kortere afdrift er aftaget omkring år 2035 og herefter er hugsten mindre end eller lig med den uændrede drift. Vurderes den stående masse, forårsager en kortere omdrift et hurtigt fald i stående masse, og øges omdriftstiden sker der en moderat øgning af den samlede mængde kulstof i stående masse. Der udjævnes til et niveau svarende til BAU, fordi man når samme maksimale omdriftsalder, der er defineret i programmet.

### 3.4 Foryngelse af eksisterende skov

Foryngelse af eksisterende skov kan ske ved naturligt frøfald eller ved brug af plantet kultur.

Sker der indgreb i den stående bevoksning i form af hugst og/eller jordbearbejdning for at fremme det naturlige frøfald og fremspiring af kulturen taler man om natur- eller selvforyngelse. Undlader man helt indgreb er der tale om urørt skov. Kontrolleret selvforyngelse vil normalt resultere i en artssammensætning svarende til moderbevoksningen. Efterlader man renafdrevene områder til naturlig foryngelse vil der typisk indfinde sig en blanding af pionerarter fra omgivelserne, hvis ikke området springer i græs, og kun langsomt overtages af trævegetation igen.

En plantet kultur åbner mulighed for træarskifte, brug af varierende plantetal afhængigt af formålet med kulturen, indførelse af såkaldte hurtigvoksende ammetræer og brug af forædlet materiale.

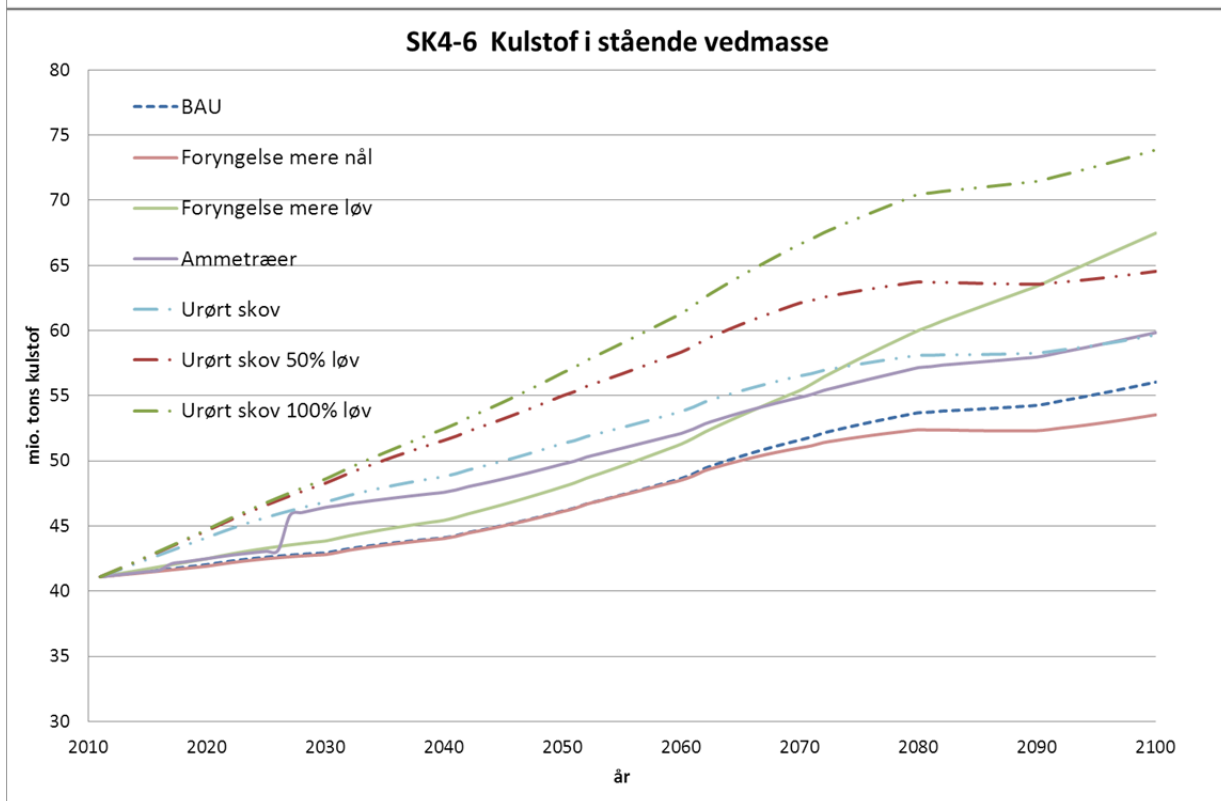
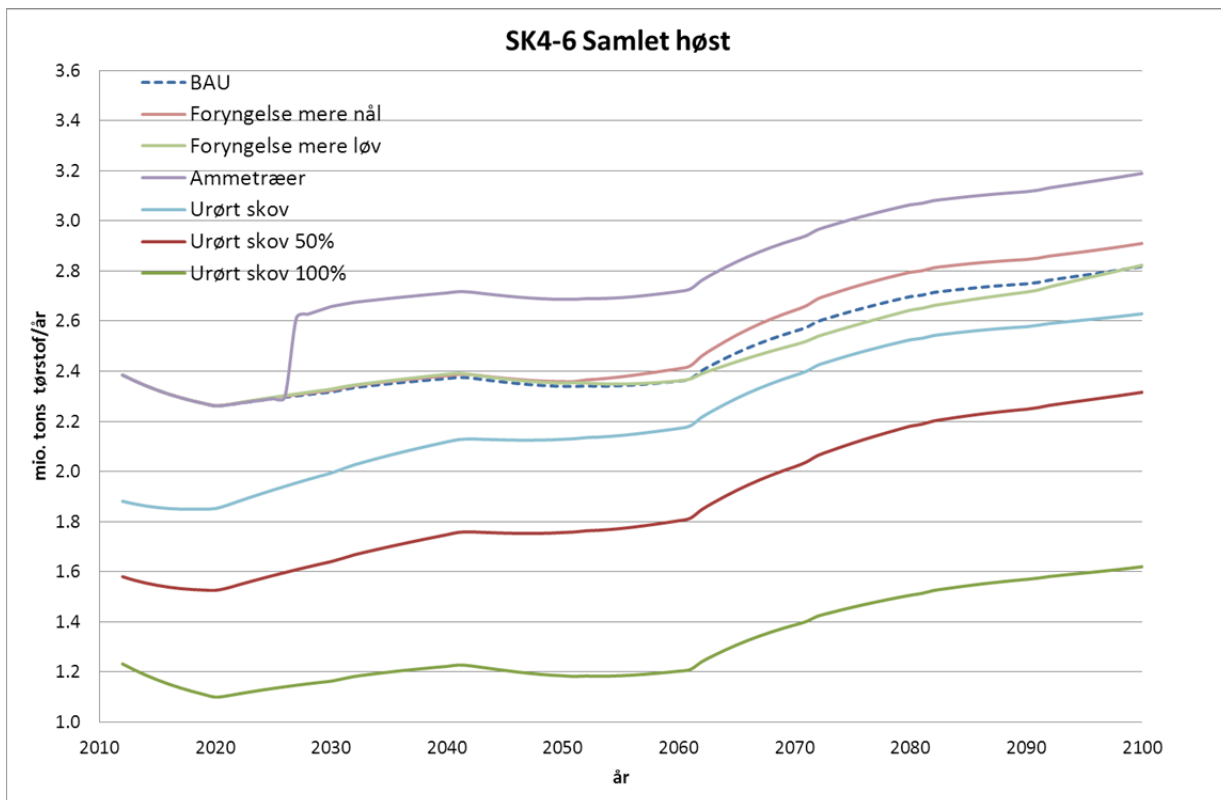
I denne rapport vurderes effekten af artsvalget, brug af planterige kulturer og ammetræer, samt udlægning af urørt skov. Effekten af de tre virkemidler er vist i figur 3.4 Ved foryngelse med samme art regnes med lave kulturomkostninger. Ved artsskifte, brug af ammetræer og forædlet materiale regnes med høje kulturomkostninger (jf. afsnit om økonomi og baggrundsnotat).

#### 3.4.1 Artsvalg i foryngelser

Når modne bevoksninger i skovene forynges kan det ske enten med den samme art eller med et træarts-skifte. Igennem de senere år er der blevet givet støtte til at omlægge nåletræ til løvtræ. Det er interessant at belyse effekten af valg af træart ved foryngelse og i simuleringerne er der derfor indbygget 3 forskellige valg af foryngelsens sammensætning.

<b>0 (= BAU)</b>	Arealer forynges med samme træart som der var på arealet før. Dette bevirker at træartsfordelingen fastholdes.
<b>1</b>	Mere nål - Løvtræ forynges med 50 pct. af samme træart som der var på arealet før, mens 50 pct. forynges med rødgran
<b>2</b>	Mere løv - Nåletræ forynges med 50 pct. af samme træart som der var på arealet før, mens 50 pct. forynges med bøg

Artsvalget og skift i retning mod hhv. mere løv- og mere nåleskov viser sig først fra 2050 og fremefter. Fremmes nåletræet på løvtræets bekostning fås en stigning i produktionen på 0,1 mio. tons årligt og der ses en moderat negativ effekt på udbyttet ved skift til løvtræ i stedet for nåletræ, der synes udvisket sidst i simuleringsperioden.



**Figur 3.4.** Artsvalg ved foryngelse(SK4), effekt af ammetræer (SK5) og urørt skov (SK6). Effekt på samlet høst og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof.

### 3.4.2 Kulturmetode/skovrejsningsmetode: Ammetræer

Valg af kulturmetode afspejler som sagt hvorledes nye bevoksninger etableres – både ved foryngelse af gammel skov og ved skovrejsning. Det er muligt at fremme produktionen i den nye bevoksning i et vist omfang ved at øge plantetallet og i større omfang ved at indplante 'ammetræer'. Ammetræer er hurtigt voksende træarter (som poppel, lærk og el) der både giver en hurtig produktion af biomasse og skaber et skovklima til gavn for den nye bevoksning. Dette vil resultere i en større produktion på arealet i de unge aldersklasser både af stående masse og af hugst. Der haves ikke præcise vækstmodeller for dette – men der er i simuleringerne indbygget en simpel alders- og jordtypegraderet vækstmodel for poppel.

<b>0 (= BAU)</b>	Der er ingen justering af kulturmetode
<b>1</b>	Øget stamtal/ammetræer. Tiltaget implementeres på nye bevoksninger der etableres med en alders- og jordtypegraderet vækstmodel for poppel.

En udpræget brug af ammetræer er et af de virkemidler, der i 2050 har den største positive effekt på både høst, tilvækst og kulstoflagring, figur 3.4. Den høstede mængde er større, og både tilvækst og kulstoflagring er på niveau med den høje skovrejsning, se tabel 3.3. Brugen af ammetræer simuleres til at give en merhøst i forhold til uændret drift på 0,4 mio. tons årligt og en balance mellem høst og tilvækst på knap 4 mio. tons ekstra kulstof i stående vedmasse fra 2030 og frem.

### 3.5 Urørt skov/biodiversitetsskov

Udlæg af urørt skov er af flere analyser blevet nævnt som et af flere virkemidler til at fremme og sikre biodiversitet. Således pegede DØRS (2012) på, at udlæg af større arealer til urørt skov kunne være en løsning til sikring af biodiversitet. Vi vælger her at følge Johannsen *et al.* (2013) og udvide begrebet til biodiversitetsskov, jf. afsnit 1.3<sup>15</sup>. Derfor er der i simuleringerne indarbejdet mulighed for at udtage 46.100 ha løvskov til urørt skov. For at gøre det operationelt er det valgt at udvælge op til 31.000 ha på øerne og op til 18.000 ha i Jylland af arterne bøg, eg, andet løv og ask. Udvalget er sket fra de ældste aldersklasser. Efterfølgende er alderen på disse arealer fremskrevet og den gradvise opbygning af vedmasse er derigennem indarbejdet i scenarierne – svarende til vedmassen i de ældste aldersklasser registreret i NFI'en.

For at vurdere effekten af mere omfattende udlæg af biodiversitets skov, omfatter virkemidlet to yderligere niveauer hvor henholdsvis halvdelen af det nuværende løvskovsareal henholdsvis hele det nuværende løvskovsareal udlægges til biodiversitetsskov, der tages ud af beregningerne af tilgængelig hugst. Der er ikke i simuleringerne taget højde for evt. pleje af disse arealer hverken i biomasse sammenhæng eller i økonomisk sammenhæng.

<b>0</b>	Ikke udlæg af urørt skov
<b>1</b>	Udlæg af urørt skov/biodiversitetsskov – jf. beskrivelsen ovenfor, 46.100 ha
<b>2</b>	Udlæg af urørt skov på ca. 50 pct. af løvskovareal ved start af simuleringerne, i alt 127.150 ha,
<b>3</b>	Udlæg af urørt skov på al løvskov ved start af simuleringerne, i alt 275.755 ha

<sup>15</sup> Dette er i øvrigt også i tråd med Naturskovsstrategien fra 1992, som taler om naturskov, urørt skov og gamle driftsformer.



Som en naturlig konsekvens af den urørte skov (niveau 1) falder hugsten umiddelbart med 0,4 mio. tons årligt, men stabiliseres på et niveau 0,1 mio. tons under niveauet af uændret drift (figur 3.4). Mængden af kulstof i den stående vedmasse øges gradvist frem til 2030, og ligger derefter ca. 4-5 mio. tons over uændret drift (BAU). Der sker en stigning i vedmasse på op til 10 % over 100 år i forhold til BAU. Ved de højere niveauer (niveau 2 og 3) for udlæg af urørt skov, falder hugsten med hhv. ca. 30 % og 50 % af BAU scenariet, mens den stående masse øges med hhv. ca. 15% og ca. 30%.

I den modne urørte skov vil der typisk ikke ske yderligere ophobning af vedmasse, men muligvis fortsat en opbygning af kulstof i jorden. Her er regnet med at denne ligevægt opstår på arealer med bevokningsalder over 150 år (jf. Johannsen *et al.* 2013b).

### 3.6 Valg af hugstgrad og aflægning af sortimenter

To forhold påvirker direkte og med øjeblikkelig virkning det udbytte man får fra skoven. Det er dels, hvor meget man fælder i skoven, dvs. hugstgraden, og hvad man fælder og hvordan man fordeler træet til forskellige formål, dvs. sortimentet.

Ved normal praksis og bæredygtig skovdyrkning påvirker disse to forhold ikke skovens tilvækst, idet hugsten aldrig er større end tilvæksten. Sortimentet er i høj grad en opdeling af det skovede træ til forskellige produkter – typisk biomasse til brænde, flisfyring og raffinering, samt træ til savværksindustrien. Ofte kan det samme træ have flere anvendelsesmuligheder, og det er derfor et konkret valg, hvilke produkter man ønsker at fremme mængden af. Ved stigende udnyttelsesgrad, hvor ikke blot stammen men også mindre grene og toppe udnyttes, eller hele træer flishugges, er der dog en risiko for at næringsstofpuljen påvirkes i uheldig retning og at dette på sigt kan påvirke den langsigtede produktion. Det eneste danske forsøg til belysning af denne risiko viser ikke nogen langsigtet effekt af større udnyttelse – når der ikke høstes grønne blade og nåle (Nord-Larsen, pers. medd.).

#### 3.6.1 Hugstgrad

Hugstgrad angiver hvor stor en andel af tilvæksten der maksimalt kan udnyttes ved hugst. Samtidig forventes hugstgrad at påvirke den stående vedmasse i skovene. Der er derfor i simuleringerne indbygget mulighed for at variere denne.

**0** Hugstgrad er 1 – dvs. potentiel hugst sættes lig tilvækst – jf. tilvækst og hugst beregningerne beskrevet indledningsvist

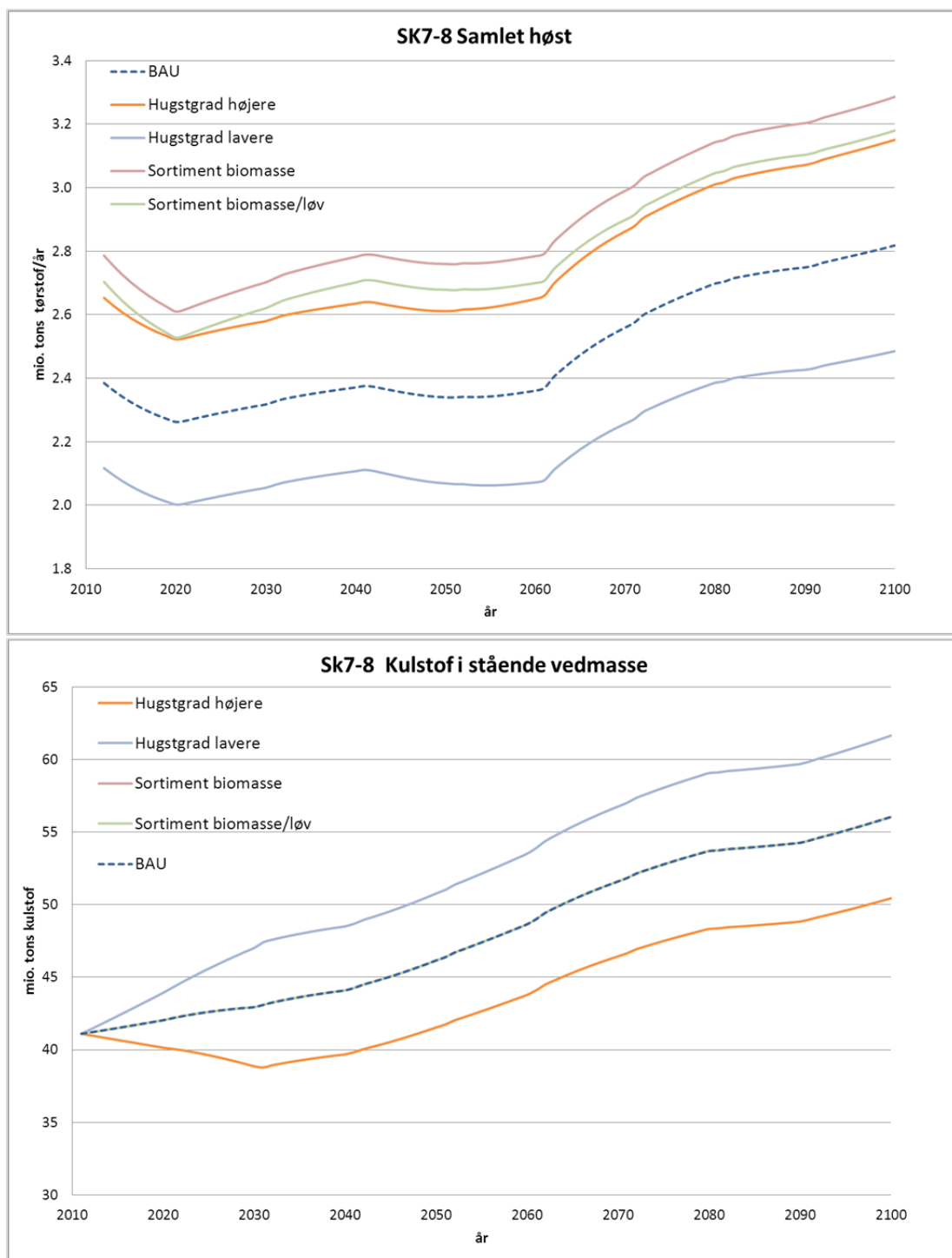
**1** Hugstgrad er 20 pct. øget – dvs. 1,2. Dette gør at den potentielle hugst øges. Samtidig implementeres en gradvist faldende volumen i bevoksninger til 90 pct. efter 20 års simulering.

**2** Hugstgrad er 20 pct. mindsket – dvs. 0,8. Dette gør, at den potentielle hugst mindskes. Samtidig implementeres en gradvist stigende volumen i bevoksninger til 110 pct. efter 20 års simulering

I BAU scenariet er hugstgraden sat til 1,0 for en standard beregning af hugst og volumen som observeret i NFI'en.

En øget hugst er det mest hurtigtvirkende virkemiddel og kan allerede fra første år øge udbyttet med 11-12 %, eller svarende til godt 0,3 mio. tons tørstof ekstra. Tilvæksten påvirkes ikke, men den stående masse

reduceres til ca. 5 mio. tons, 10 % under niveauet for uændret drift. En tilsvarende lavere hugst giver som forventet et tilsvarende fald i udbytte og øgning af stående masse, figur 3.5.



**Figur 3.5.** Valg af hugstgrad (SK7) og udnyttelse af træmassen - sortimentsforhold (Sk8). Effekt på samlet høst og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof. For stående masse er niveauerne for BAU, sortiment biomasse og sortiment biomasse/ løv sammenfaldende.

### 3.6.2 Hugstsortiment

Hugstsortiment beskriver hvorledes den potentielle hugst udnyttes. Der kan varieres på, hvor stor en del af hugsten der udnyttes (hvor meget af stamme, grene og toppe, der udnyttes). Samtidig kan det varieres, hvor meget der aflægges til gavntræ hhv. til energitræ og biomasse. I simuleringerne er der indbygget 3 forskellige scenarier for udnyttelse af biomassen – udformet som nogle principielle eksempler på forskellige valg. I hvert scenarie er der for hhv. Jylland og Øerne opstillet procentvise andele af gavntræ og biomasse samt hugst tab (vedmasse som ikke udnyttes og derfor efterlades i skoven). Sortimentforholdene er angivet for en række diameterklasser og implementeres ud fra bevoksningernes middeldiameter ( $D_g$ ) som er beregnet ved hjælp af tilvækstmodeller (se baggrundsnotat om simuleringerne, Johannsen *et al.* 2013b). Det valgte BAU sortimentsforhold er baseret på tidligere aflægningsanalyser, men det afviger muligvis fra den faktiske aktuelle hugst, der forventes at have en forskydning på ca. 20 % mod energitræ (se yderligere i Johannsen *et al.* 2013b).

Forklaring til sortimentsforhold:

<b>0</b>	Uændret drift
<b>1</b>	Øget fokus på biomasse: højere udnyttelsesgrad og mindre aflægning af savværkstræ
<b>2</b>	Øget fokus på biomasse, hvor der forventes en høj udnyttelse af nåletræ til biomasse, men en lidt mindre udnyttelse af løvtræ til biomasse end i ovennævnte niveau 1.

Uanset hvilket hugstsortiment der vælges, er det kendetegnende, at hverken tilvækst eller tons kulstof i den stående vedmasse påvirkes, se figur 3.5. Det er kun et spørgsmål om, hvilke produkter man vælger at undnytte og dermed, er der også en klar effekt på udnyttelsesgraden, der for begge scenarier er noget højere end uændret driftssystem, og faktisk også højere end de "rene" scenarier for ændret hugstgrad, jf. ovenstående afsnit, se også tabel 3.3, hvor den estimerede udnyttelsesgrad er angivet for alle virkemidler og niveauer.

Ændret sortimentsforhold er det mest effektive virkemiddel til en hurtig opnåelse af øget udbytte af total mængde tørstof, og i særdeleshed af biomasse til raffinering og energiformål. Allerede fra første år kan der høstes 0,4 mio. tons ekstra tørstof. Den mulige stigning i øget biomasse på godt 80 %, foretages på bekostning af et fald af savværkstræ på næsten en tredjedel. Fokuseres der på biomassen kan høsten øges med hele 0,9 mio. tons årligt. På samme tid falder mængden af savværkstræ med 0,5 mio. tons – men der er stadig en realiseret netto gevinst via den øgede udnyttelse. Da skovenes produktion stiger i hele simuleringsperioden vil den faktiske mængde savværkstræ stige løbende og til slut i simuleringsperioden udgøre ca. 85 % af den nuværende mængde, der er til rådighed for savværksindustrien.

### 3.7 Forædling

I baggrundsnotatet "Udvidelse af produktionen gennem artsvalg og forædling" (Hansen *et al.* 2013) er der beskrevet en række muligheder for implementering af bedre genetisk plantemateriale – således at produktiviteten øges i forhold til det materiale, der anvendes i dag. Forædling er en fortløbende proces og gevinsterne vil øges hen gennem simuleringsforløbet, efterhånden som nyt og bedre materiale kan bringes på markedet.

Forædlingseffekten er implementeret i simuleringerne, således at det kun er efter de bevoksninger, der afdrives (og ikke selvfor ynges), der påvirkes af forædlingsgevinsten, idet udnyttelse af forædlingsgevinsterne forudsætter plantning med nyt materiale. I sagens natur vil der gå nogle år før den øgede vækst spores i simuleringerne, og effekten øges med bedre forædlingsgevinster og jo større areal, der plantes med forbedret materiale.

Forklaring til niveauer af forædling:

**0** Forædlingseffekten er ikke implementeret i BAU scenariet (valg = 0), idet der i dette scenarie forudsættes, at kun de eksisterende frøkilder vedligeholdes og evt. fornyes, og at der ikke foretages yderligere forædling

**1** Forædling foretages med henblik på fremavl via frøformering

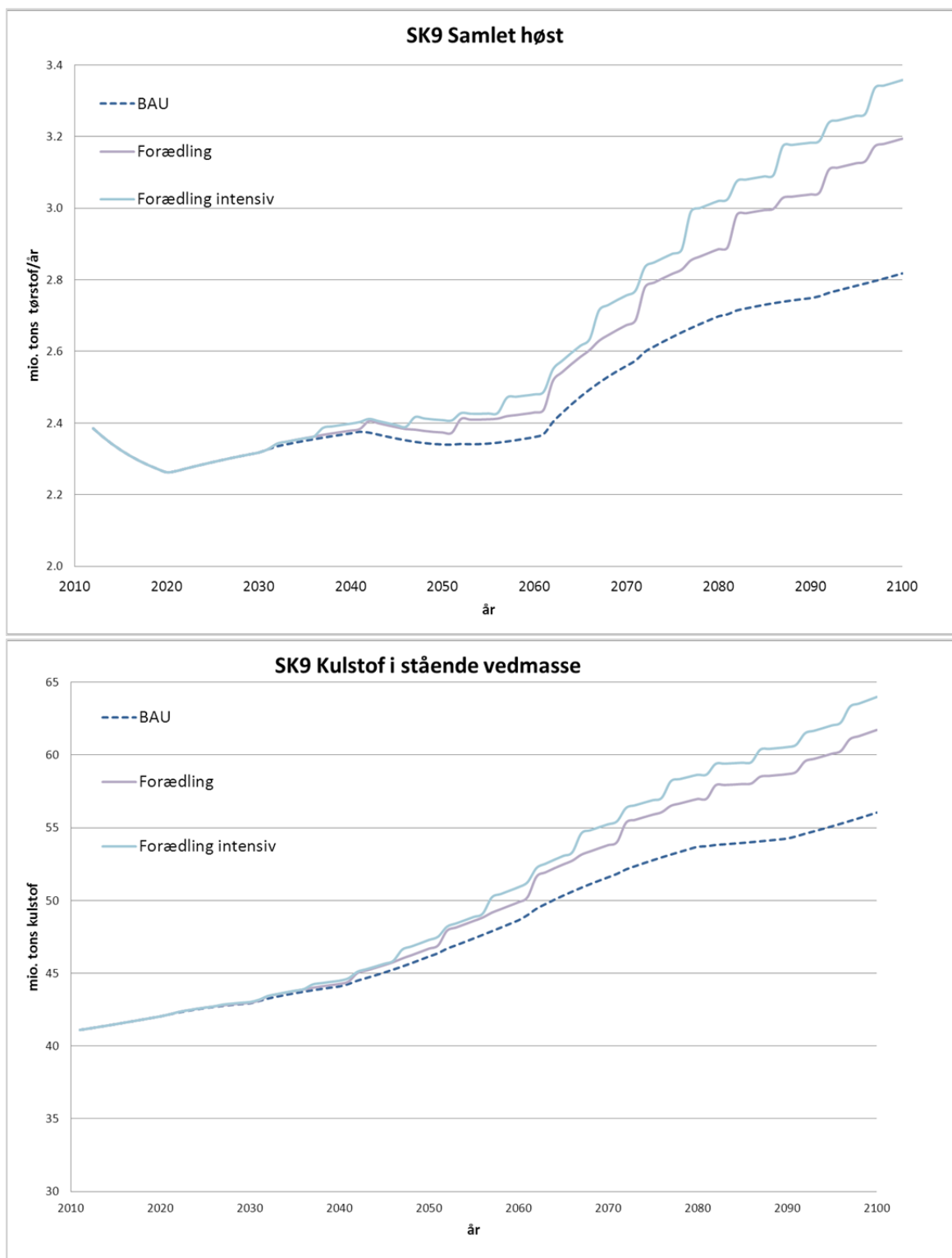
**2** Intensiv forædling med brug af såvel frøplantager som kloningsteknikker til fremavl

To kombinationsniveauer er simuleret:

**3** Skovrejsning – 4560 ha kombineret med anvendelse af løbende forædlet materiale

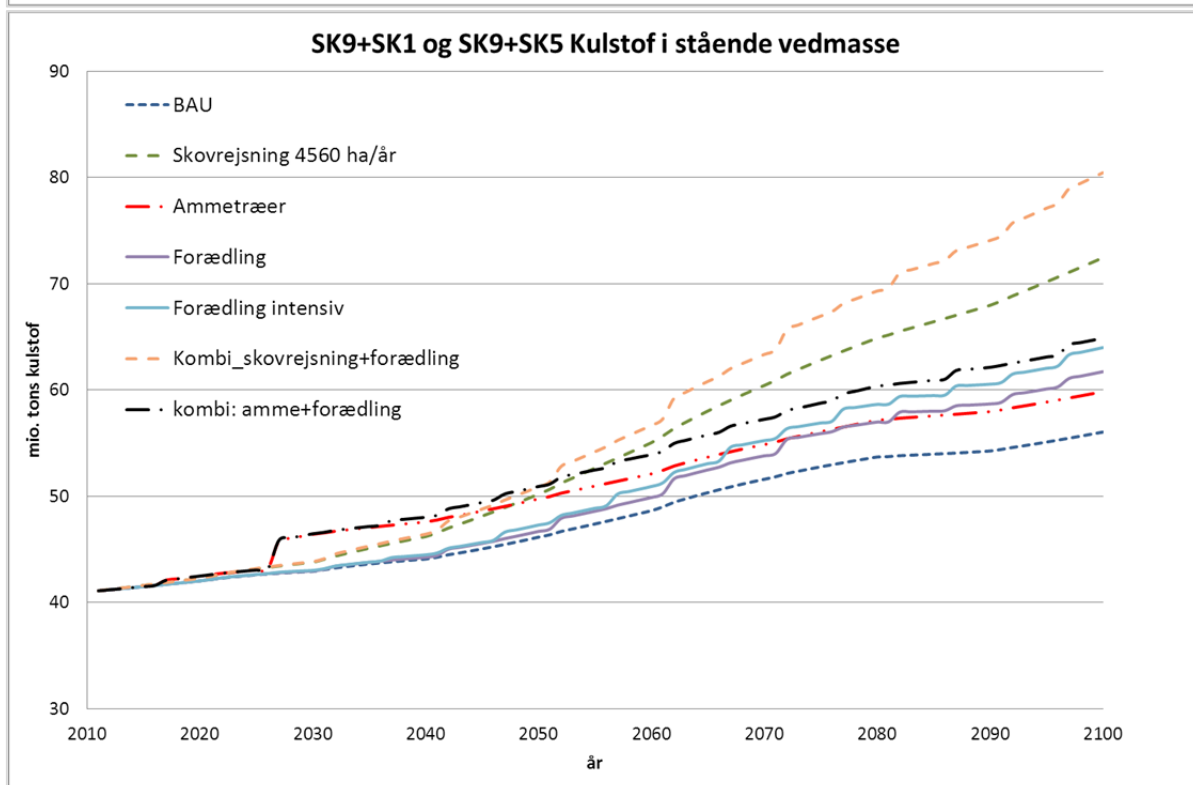
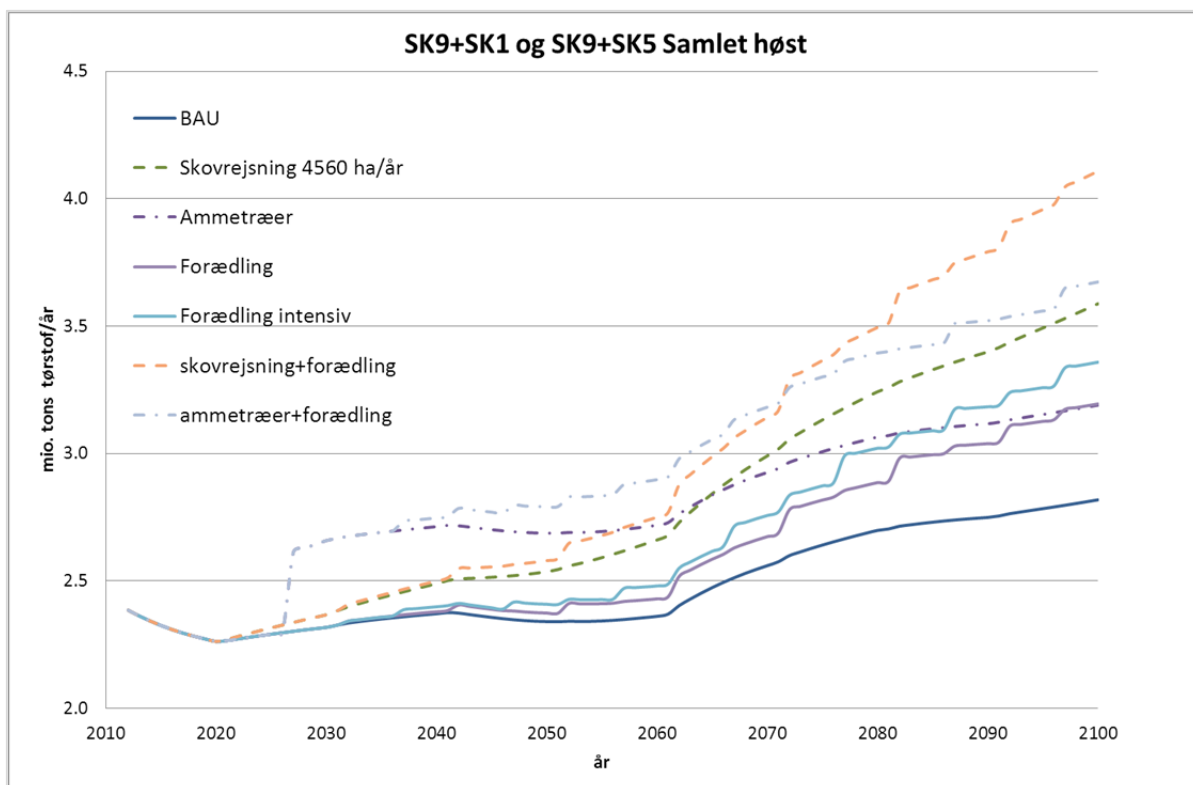
**4** Brug af ammetræer kombineret med anvendelse løbende forædlet materiale

Da forædlingsgevinsten implementeres via plantning er det en proces, der først viser sit potentiale fra 2040 og fremefter mod år 2100 – bevirke et stigende udbytte op mod 0,4-0,6 mio. tons tørstof årligt. Det større vækstpotentiale giver sig også udslag i en forøgelse af mængden af kulstof i den stående masse på 10-14 %, svarende til 6-8 mio. tons, se figur 3.6.



**Figur 3.6.** Forædling (SK9). Effekt på samlet høst og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof.

I to af de tidligere nævnte virkemidler, nemlig skovrejsning og brug af ammetræer, er der en meget høj anvendelse af nyplantet materiale, hvor anvendelse af forædlet materiale er en oplagt mulighed. Derfor er der simuleret to kombinerede virkemidler af hhv. skovrejsning og brug af ammetræer med løbende forædlet materiale, se figur 3.7.



**Figur 3.7.** Kombinationer mellem forædling (SK9) og hhv. høj skovrejsning (SK1) og udpræget brug af ammetræer (SK5), hvor såvel BAU, som høj skovrejsning og ammetræer er vist som referencer. Effekt på samlet høst og stående masse – opgjort i samlet tons tørstof.

På kort sigt er en høj skovrejsningstakt og udpræget brug af ammetræer isoleret set de to mest effektive virkemidler for at skabe øget produktion, tilvækst og kulstoflagring. På lang sigt er disse virkemidler tæt fulgt af de to niveauer af forædling. Skovrejsning baseret på forædlet materiale øger udbyttet fra +8 % merudbytte til +10 % i år 2050, men opnår på sigt sin største effekt i 2100 med en stigning på +27 % alene for skovrejsning til +46 % kombineret med forædling svarende til 0,5 mio. tons. Også kulstoflagringen bedres med ca. 7 mio. tons.

Ammetræer anvendes i relativ kort omdrift, hvilket også giver en høj genplantningstakt, og igen tilsvarende mulighed for at implementere forædlet materiale. Brug af forædlede ammetræer er det virkemiddel, der giver den største effekt på samlet høstudbytte og giver mere biomasse til energi og raffinering – uden at det går ud over udbyttet af savværkstræ. Samtidig opnås en samlet tilvækst og kulstoflagring på niveau med den høje skovrejsningstakt – men alene implementeret på det nuværende skovareal og med en skovrejsningstakt på 1900 ha årligt. I 2050 er der en ekstragevinst på +4 %-point ved at kombinere forædling og ammetræer, og ved år 2100 er der estimeret en stigning fra +13 % for ammetræer alene til +30 % i kombination med forædling.

De opnåede gevinster forudsætter, at der etableres et forædlingsprogram, der varetager forskning og afprøvninger, samt sikrer fremavl i samarbejde med erhvervet. De øgede omkostninger er medregnet som øgede kulturomkostninger mellem hhv. selvforryngelse og plantning, jf. økonomi baggrundsnotatet (Schou & Jellesmark Thorsen, 2013).

### 3.8 Øvrige virkemidler

En række virkemidler er ikke kvantificeret i rapporten herunder brugen af gødning og pesticidanvendelse. Recirkulering af næringsstoffer fra flis fyrede varmeværker er en mulighed især ved større udnyttelsesgrad af hugstaffald og specielt ved heltræsudnyttelse. Dræning og grundforbedring er heller ikke medtaget.

Til fremme af biodiversiteten er urørt skov/biodiversitetsskov anvendt og kvantificeret i produktions-sammenhæng. En række andre parametre kan anvendes herunder fremme af dødt ved i bevoksningerne i form af ikke udnyttede stammer og toppe, fredning af gamle træer, kunstigt skabte vragræer, udvalg af særlige habitat-typer og etablering af enge og våde områder mv.

En række tekniske tiltag herunder hegning i forbindelse med udnyttelse af selvsåning kan fremme etableringssuccesen og dermed forkorte omdriftstid og øge tyndingsmængde.

Træartsvalg indenfor grupperne løv og nåletræ indgår ikke i analysen. Med et mere specifikt kendskab til de indbyrdes vækstrelationer og optimalt valg af lokalitet vil det være muligt at øge produktionen ved, f.eks. på nogle jorder at skifte fra rødgran til arter med højere produktion f.eks. grandis og sitka. Ligeledes vil forskelle i forædlingstakten og tilgængeligheden af forædlede frøkilder kunne forrykke den indbyrdes konkurrenceevne.

Naturnær skovdrift tiltrækker sig naturligvis særlig interesse, jf. indledningen til denne rapport. Naturnær skovdrift er imidlertid mere end blot et enkelt virkemiddel. Begrebet udgør snarere en serie af scenarier sammensat af flere virkemidler. Der foretages derfor en særskilt evaluering af den naturnære skovdrift (Madsen *et al.* 2013), på basis af hvilken der eventuelt vil kunne laves en vurdering af dens betydning for det fremtidige udbud af biomasse.

### 3.9 Sammenfatning alle behandlede virkemidler

En oversigt over virkemidlerne og deres effekts afhængighed af indsatsniveauet er vist i tabel 3.3 med status for årene 2020, 2050 og 2100. For de ni virkemidler behandlet ovenfor (jf. også tabel 3.1) er vist deres effekt opgjort i relativ værdi i forhold til uændret driftsmønster (= indsatsniveau 0 eller BAU), som er sat til indeks 100 (undtagen for udnyttelsesgrad, som er et udtryk for hvor stor en del af den overjordiske masse af de fældede træer, der fjernes fra skoven). Status i de tre årstal er opgjort for samlet tørstofproduktion (der også vises opdelt på biomasse/energitræ og traditionelt savværkstræ), indflydelse på tilvæksten, udnyttelsesgraden og samlet tons kulstof i den stående træmasse. Yderligere er angivet to enkle kombinations scenarier med forædling. Egentlige kombinationsscenarioer vises i kapitel 4.

Effekten af de enkelte virkemidler kan kort sammenfattes som følger:

#### **Skovrejsning (SK1):**

Skovrejsning øger alle modellerede egenskaber i form af øget udbytte, tilvækst, lagring og arealanvendelse. Størst effekt opnås – naturligvis - for det største skovrejsningsareal en effekt i størrelsesordenen 25-35 % i år 2100. Stoppes tilplantningen, vil man kun nå et niveau ca. 20 % under det, der vil opnås med det nuværende skovrejsningsniveau (BAU).

#### **Træartsvalg (SK2 og SK4)**

Både ved skovrejsning og ved træartsskifte på eksisterende skovjorde gælder: Vælges det, at anvende mere løvtræ fremfor nåletræ opnås en mindre tilvækst, mindre eller uændret totaludbytte, mindre andel af savværkstræ, og en større kulstoflagring pga. af større stående vedmasse.

Anvendes mere nåletræ, øges hugstmængde, udbytte af savværkstræ, og tilvæksten, mens der sker et svagt fald i lagret mængde kulstof.

#### **Her og nu virkemidler: hugstgrad, omdriftsalder og sortiment (SK3, SK7 og SK8)**

Tre virkemidler giver effekt med omgående virkning. Det er omdriftstid, hugststyrke og valg af sortiment, altså hvilke produkter der ønskes aflagt af de fældede træer, og hvor meget der udnyttes.

Fælles for disse virkemidler er, at de ikke eller næsten ikke påvirker tilvæksten – så længe der praktiseres god skovdyrkning. Ændret omdriftsalder påvirker i tilvæksten i mindre grad (0-3 %).

*Højere hugstgrad* øger udbyttet, udnyttelsesgraden og mindsker lagringen af kulstof. Omvendt for lavere hugstgrad.

*Ændrede omdriftsalde* påvirker i begrænset omfang den høstede mængde – bortset fra en lille gevinst til en begyndelse. Der er ingen afvigelser fra uændret drift på mere end 4 procent-point, hverken med kortere eller længere omdriftsalder. Kortere omdriftsalder giver et fald i stående vedmasse.

*Sortimentsforholdene* påvirker de produkter, der kan leveres fra skoven. I de opstillede modeller øges udbyttet samlet set, og især fremmes tilgængeligheden af biomassemed omkring 80 %, men med en nedgang i savværkstræ op til en tredjedel. Udnyttelsesgraden er høj, men lagringen af kulstof i den stående vedmasse påvirkes ikke.



**Ammetræer (SK5)**

Intensivering af plantetallet, udpræget brug af ammetræer især med anvendelse af hurtigt voksende arter er det enkelttiltag, der på mellemlang sigt har størst effekt på høstet udbytte, såvel som tilvækst og lagring af kulstof i den stående vedmasse.

**Urørt skov (SK6)**

Udlægges ved periodens start et areal på 46.100 ha vil det koste et umiddelbart tab i udbytte på 13 %, en mindre tilvækstnedgang, og en moderat øget lagring af kulstof. Effekten vil dog aftage frem mod år 2100. Ved udlæg af halvdelen eller hele den nuværende løvskovsareal vil der ske et yderligere tab i udbytte på hhv. ca. 30 % og 50 % af BAU scenariet, mens den stående masse frem mod 2100 øges med hhv. ca. 15% og ca. 30%.

**Forædling (SK9)**

Forædling er et langsigtet virkemiddel og effekten er stigende frem til år 2100. Alle vækstparametre påvirkes i opadgående retning, dvs. øget høstudbytte, tilvækst og kulstoflagring. Da forædlingsgevinsten implementeres ved planting fremmes effekten af høj plantningsrate og kort omdrift. Dette betyder, at der er positive effekter ved at kombinere forædling med brug af ammetræer og skovrejsning. Her opnås samlet set højere gevinster end estimeret for de enkelte virkemidler for sig.

**Tabel 3.3.** Oversigt over ni virkemidler og deres effekt opgjort som relativ værdi i forhold til uændret driftsmønster (BAU), der sættes til indeks 100 (undtagen for udnyttelsesgrad, se tekst). Yderligere er angivet to kombinationsscenarier med forædling. Status opgjort for år 2020, 2050 og 2100 på samlet tørstofproduktion, der også vises opdelt på biomasse/energitræ og traditionelt savværkstræ (denne side), indflydelse på tilvækst, udnyttelsesgrad og samlet tons kulstof i den stående vedmasse (næste side) samt effekt på arealdækning (følgende side). Med grønt er markeret de tiltag der er neutrale, dvs. sikrer et uændret niveau (i forhold til BAU), med rødt faldende værdi og med fremhævet sort skrift stigende værdier.

Virke- middel		Samlet høst			Biomasse			Savværkstræ		
		2020	2050	2100	2020	2050	2100	2020	2050	2100
	BAU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK1	Skovrejsning 2280 ha/år	100	<b>101</b>	<b>104</b>	100	<b>102</b>	<b>104</b>	100	<b>101</b>	<b>104</b>
	Skovrejsning 4560 ha/år	100	<b>108</b>	<b>127</b>	100	<b>113</b>	<b>131</b>	100	<b>105</b>	<b>125</b>
	Skovrejsning 0 ha/år	100	94	80	100	91	78	100	96	82
SK2	Skovrejsning løv	100	100	98	100	<b>102</b>	<b>102</b>	100	98	96
	Skovrejsning nål	100	<b>101</b>	<b>104</b>	100	98	99	100	<b>104</b>	<b>108</b>
SK3	Omdrift kortere	<b>103</b>	98	100	<b>103</b>	100	<b>101</b>	<b>103</b>	97	99
	Omdrift længere	97	98	98	98	98	100	96	98	96
SK4	Foryngelse mere nål	100	<b>101</b>	<b>103</b>	100	99	<b>101</b>	100	<b>102</b>	<b>105</b>
	Foryngelse mere løv	100	<b>101</b>	100	100	<b>108</b>	<b>107</b>	100	95	96
SK5	Ammetræer	100	<b>115</b>	<b>113</b>	100	<b>135</b>	<b>132</b>	100	100	100
SK6	Urørt skov	82	91	93	84	88	93	80	93	94
	Urørt skov - 50 pct løv	67	75	82	72	75	80	65	75	84
	Urørt skov - 100 pct løv	49	51	57	43	50	57	52	51	58
SK7	Hugstgrad højere	<b>111</b>	<b>112</b>	<b>112</b>	<b>112</b>	<b>112</b>	<b>112</b>	<b>111</b>	<b>111</b>	<b>111</b>
	Hugstgrad lavere	89	88	88	88	88	88	89	89	89
SK8	Sortiment biomasse	<b>115</b>	<b>118</b>	<b>117</b>	<b>183</b>	<b>188</b>	<b>185</b>	67	66	67
	Sortiment biomasse/løv	<b>112</b>	<b>114</b>	<b>113</b>	<b>157</b>	<b>162</b>	<b>159</b>	79	79	80
	Sortiment Træ til Energi	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>104</b>	<b>121</b>	<b>133</b>	<b>128</b>	89	86	87
SK9	Forædling	100	<b>101</b>	<b>113</b>	100	<b>102</b>	<b>115</b>	100	<b>101</b>	<b>112</b>
	Forædling intensiv	100	<b>103</b>	<b>119</b>	100	<b>104</b>	<b>121</b>	100	<b>102</b>	<b>118</b>
SK9+1	Kombi: skovrejsning+forædling	100	<b>110</b>	<b>146</b>	100	<b>116</b>	<b>151</b>	100	<b>106</b>	<b>142</b>
SK9+5	kombi: amme+forædling	100	<b>119</b>	<b>130</b>	100	<b>145</b>	<b>172</b>	100	100	100

Virke- middel		Tilvækst			Udnyttelse			Kulstof stående masse		
		2020	2050	2100	2020	2050	2100	2020	2050	2100
	BAU	100	100	100	83	76	79	100	100	100
SK1	Skovrejsning 2280 ha/år	100	102	105	82	75	78	100	101	104
	Skovrejsning 4560 ha/år	102	117	134	81	70	75	101	109	129
	Skovrejsning 0 ha/år	99	88	76	83	82	84	100	94	79
SK2	Skovrejsning løv	100	98	96	83	77	78	100	100	102
	Skovrejsning nål	101	106	112	82	74	77	100	100	94
SK3	Omdrift kortere	97	100	99	87	74	79	97	96	97
	Omdrift længere	99	100	100	82	75	77	100	103	100
SK4	Foryngelse mere nål	100	103	107	82	75	79	100	100	94
	Foryngelse mere løv	99	98	97	83	75	74	100	100	102
SK5	Ammetræer	103	116	115	80	77	79	101	108	107
SK6	Urørt skov	101	97	98	74	76	79	105	111	106
	Urørt skov - 50 pct løv	101	96	95	60	63	71	106	119	115
	Urørt skov - 100 pct løv	101	96	92	48	47	56	106	123	132
SK7	Hugstgrad højere	100	100	100	92	85	88	96	90	90
	Hugstgrad lavere	100	100	100	73	67	69	105	110	110
SK8	Sortiment biomasse	100	100	100	95	90	92	100	100	100
	Sortiment biomasse/løv	100	100	100	93	88	89	100	100	100
	Sortiment Træ til Energi	100	100	100	84	80	82	100	100	100
SK9	Forædling	100	105	120	83	74	75	100	101	110
	Forædling intensiv	100	108	129	83	73	74	100	102	114
SK9+1	Kombi: skovrejsning+forædling	102	123	163	81	68	71	101	110	144
SK9+5	kombi: amme+forædling	103	121	135	80	77	80	101	110	116

Virke- middel		Løv			Nål			Total		
		2020	Areal 2050	2100	2020	Areal 2050	2100	2020	Areal 2050	2100
	BAU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK1	Skovrejsning 2280 ha/år	<b>101</b>	<b>103</b>	<b>105</b>	100	<b>102</b>	<b>104</b>	<b>101</b>	<b>102</b>	<b>105</b>
	Skovrejsning 4560 ha/år	<b>105</b>	<b>119</b>	<b>136</b>	<b>103</b>	<b>113</b>	<b>127</b>	<b>104</b>	<b>116</b>	<b>132</b>
	Skovrejsning 0 ha/år	97	87	74	98	90	81	97	89	77
SK2	Skovrejsning løv	<b>103</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	98	90	81	100	100	100
	Skovrejsning nål	97	87	74	<b>103</b>	<b>112</b>	<b>125</b>	100	100	100
SK3	Omdrift kortere	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Omdrift længere	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK4	Foryngelse mere nål	97	88	74	<b>103</b>	<b>112</b>	<b>126</b>	100	100	100
	Foryngelse mere løv	<b>110</b>	<b>136</b>	<b>155</b>	91	66	46	100	100	100
SK5	Ammetræer	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK6	Urørt skov	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Urørt skov - 50 pct løv	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Urørt skov - 100 pct løv	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK7	Hugstgrad højere	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Hugstgrad lavere	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK8	Sortiment biomasse	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sortiment biomasse/løv	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Sortiment Træ til Energi	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK9	Forædling	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Forædling intensiv	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SK9+1	Kombi: skovrejsning+forædling	<b>105</b>	<b>119</b>	<b>136</b>	<b>103</b>	<b>113</b>	<b>127</b>	<b>104</b>	<b>116</b>	<b>132</b>
SK9+5	kombi: amme+forædling	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Den økonomiske effekt for de enkelte virkemidler er vurderet i tabel 3.4, se også baggrundsnotat om økonomi (Schou og Thorsen, 2013). Resultaterne er opgjort ud fra såvel en driftsøkonomisk (budget-økonomisk) som en velfærdsøkonomisk tilgang. Det *driftsøkonomiske* resultat beregnes ud fra en privat ejendoms forhold inkluderende netto indtægter fra skovdrift og tilskud til skovrejsning samt (offer) omkostninger i form af afståede indtægter ved skiftet fra landbrugs- til skovdrift. Hvor den driftsøkonomiske opgørelse er baseret på en sektormæssig vurdering, bunder den *velfærdsøkonomiske* opgørelse i en samfundsmæssig betragtning, hvor den økonomiske effekt for hele samfundets velfærd gøres op (se evt. Finansministeriet, 1999). Her tages således også højde for forskellen mellem observerede markedspriser, som danner udgangspunkt for den driftsøkonomiske analyse, og forbrugernes faktiske betalingsvillighed, betaling af afgifter samt velfærdstab i forbindelse med skattefinansiering (af tilskud).

**Tabel 3.4.** Resultater for økonomisk vurdering af virkemidlerne beregnet for de enkelte virkemidler og deres forskellige niveauer. Relativ sammenligning af nutidsværdi for dækningsbidrag II (DB II angiver det egentlige driftsøkonomiske resultat af skovdriften), den driftsøkonomiske effekt (hvor der er taget hensyn til skovrejsningsomkostningerne i form af tilskud og offeromkostninger) og den velfærdsøkonomiske effekt (se teksten). Med grønt er markeret de tiltag der er neutrale, dvs. sikrer et uændret niveau (i forhold til BAU), med rødt faldende værdi og med fremhævet sort skrift stigende værdier.

Virkemiddel	DB II	Driftsøkonomisk effekt	Velfærdsøkonomisk effekt
	[%]	[%]	[%]
BAU	100	100	100
Skovrejsning 0 ha/år	93	<b>106</b>	<b>110</b>
Skovrejsning 2.280 ha/år	<b>101</b>	99	98
Skovrejsning 4.560 ha/år	<b>110</b>	92	86
Skovrejsning løv	99	100	99
Skovrejsning nål	<b>104</b>	<b>103</b>	<b>104</b>
Omdrift kortere	97	96	96
Omdrift længere	96	95	95
Foryngelse mod nål	<b>104</b>	<b>104</b>	<b>104</b>
Foryngelse mod løv	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>101</b>
Ammetræer	100	100	100
Urørt skov – 47.000 ha	90	88	88
Urørt skov - 50 pct. løvareal	75	72	71
Urørt skov - 100 pct. løvareal	54	48	46
Hugstgrad højere	<b>113</b>	<b>115</b>	<b>116</b>
Hugstgrad lavere	87	85	84
Sortiment biomasse	88	86	85
Sortiment biomasse/løv	88	86	86
Forædling	99	99	99
Forædling intensiv	<b>101</b>	<b>101</b>	<b>101</b>
Kombi: skovrejs+forædling	<b>110</b>	92	86
Kombi: amme+forædling	<b>108</b>	<b>109</b>	<b>110</b>

I tabellen her er vist resultatet for *dækningsbidrag II* (DB II; indtægter for hugst fratrukket omkostninger til skovning/udkørsel samt kulturreablering) såvel som det velfærdsøkonomiske resultat af beregningerne. DB II angiver dermed det driftsøkonomiske resultat *uden* hensyntagen til indtægter og omkostninger i forbindelse med skovrejsning. Således kan forskelle mellem de to resultatgrupper vist i tabellen primært forklares med inddragelsen af skovrejsningsomkostningerne. Som det fremgår, så falder virkemidlet 'Skovrejsning m. 4560 ha/år's andel af BAU fra 110 til 86 % fra DB II opgørelsen til den velfærdsøkonomiske opgørelse. Dette skyldes hovedsagligt det anseelige tab, der pådrages jordejeren i form af de afståede indtægter ved ophør af landbrugsdrift på den udtagne jord, når det pågældende virkemiddel benyttes. Sagt på en anden måde; skovrejsning er under de i analysen givne betingelser (Schou & Jellesmark-Thorsen, 2013) en omkostning, når alle relevante opgjorte indtægter og udgifter inkluderes.

Angående den velfærdsøkonomiske analyse fremgår det af tabellen, at den relative effekt af virkemidlerne ligger inden for ca. +/- 15 % af BAU. I skovrejsningen kan det økonomisk set være mere fordelagtigt at satse på nål end på løv, men dette skal afvejes mod andre grunde til vælge løv. Lidt overraskende ses ikke nogen positiv effekt af at reducere omdriftsalderen. Det kan måske skyldes, at den kortere omdrift har en negativ effekt på tilvæksten og andelen af savværkstræ – eller simpelthen at skovens potentielle værditilvækst ikke udnyttes i samme grad som under BAU. Brugen af ammetræer (og den deraf følgende forøgelse af kultur-omkostningerne) viser alene sin økonomiske fordelagtighed i kombination med forædling - og omvendt, at forædling kun øger det økonomiske udbytte, når det især kan resultere i en forøgelse af de tidlige hugst-udbytter i omdriften. Betydningen af tidlige hugstudbytter slår først igennem økonomisk, når træerne opnår en vis størrelse grundet den relative forskel i kubikmeterpris afhængig af hugstdiameter. En øget hugstgrad er fordelagtig, da den giver en umiddelbar gevinst. Derimod ser en satsning på mere biomasse på bekostning af savværkstræ ikke ud til at være en god ide under de givne prisforhold.

De økonomiske vurderinger skal naturligvis tages med de forbehold som ligger i de grundlæggende antagelser om priser og omkostninger (disse er nærmere omtalt i et baggrundsnotat om økonomi). Ydermere er der ikke taget hensyn til risikomomenter, såsom stormfald, i analysen. Netop inddragelsen af risiko for stormfald ville formentlig påvirke analysen angående virkemidler så som foryngelses-sammensætning, omdriftsalder og hugstgrad. F.eks. ville løvtræsgruppen stilles relativt stærkere ved valg af træart - dette billede ville yderligere forstærkes, hvis en prissætning af kulstoflagringen også var inkluderet, hvilket heller ikke er tilfældet.

Mht. den velfærdsøkonomiske analyse er det vigtigt at pointere, at værdier knyttet til biodiversitet, rekreativ anvendelse samt beskyttelsesfunktioner (f.eks. grundvandbeskyttelse) ligeledes ikke er medtaget – for en diskussion af dette forhold henvises til kapitel 5.

## 4 Udvalgte scenariers effekt på produktion, opbygning af vedmasse og CO<sub>2</sub> balance

### 4.1 Høst og udbytte for fire scenarier

De beskrevne virkemidler er sammensat i fire forskellige scenarier, hvor de tre er sammenfaldende med og en udvidelse i tidshorisont af de scenarier, der er anvendt i +10 mio. tons planen (Gylling et al. 2012). Endvidere er der sammensat et nyt scenarie, der kombinerer flere hensyn:

#### Scenarier

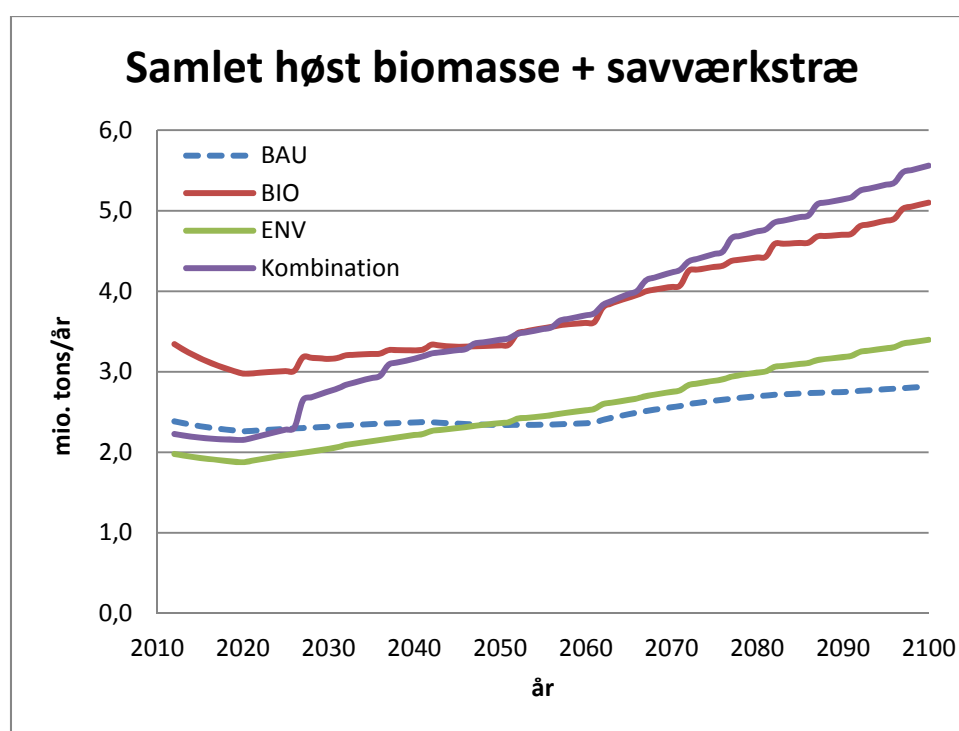
BAU	Uændret drift og træartsvalg, og med en skovrejsning på 1900 ha.
BIO	Fokuseret på produktion med nuværende niveau af skovrejsning, træartsskifte til mere nåltræ, stærkere hugst, og aflægning med fokus på biomasse til brændsel og raffinering, delvis på bekostning af gavntre, samt forædling.
ENV	Fokus på miljømæssige forhold, anvendelse af høj skovrejsningstakt, træartsskifte til mere løvtræ, længere omdriftstid og lavere hugstgrad, mindre aflægning af biomasse i løvtræ, og anvendelse af forædling.
Kombi	Et scenarie, der søger at kombinere flersidigheden. Højeste niveau af skovrejsning, brug af ammetræer, udlæg urørt skov, anvendelse af biomassesortiment og en intensiv forædlingsindsats

**Table 4.1.** Oversigt over virkemidler, der indgår i scenarierne, hvor BAU er uændret drift af skovene, BIO har fokus på biomasseproduktion, ENV- ekstra fokus på miljømæssige forhold, og Kombi beskriver et scenarie, der både øger produktion af biomasse og sikrer lagring af kulstof, og hvor der også er udlagt urørt skov.

Virkemiddel	Niveau/indsats	BAU	BIO	ENV	Kombi
SK1: Skovrejsning	0: 1900 ha/år	✓	✓		
	1: 2280 ha/år				
	2: 4560 ha/år			✓	✓
	3: 0 ha/år				
SK2: Artsvalg ved skovrejsning	0: som nu	✓			✓
	1: mere løv			✓	
	2: mere nål		✓		
SK3: Omdriftsalder	0: Som nu	✓			✓
	1: Kortere		✓		
	2: Længere			✓	
SK4: Artsvalg ved foryngelse	0: Som nu	✓			✓
	1: Mere nål		✓		
	2: Mere løv			✓	
SK5: Kulturmetode	0: som nu	✓		✓	
	1: intensiv med ammetræer		✓		✓
SK6: Urørt skov	0: som nu	✓	✓		
	1: 46100 ha			✓	✓
	2: svarende til 50 % løv				
	3: svarende til 100 % løv				
SK7: Hugstgrad	0: Som nu (hugst=tilvækst)	✓			✓
	1: Øget (hugst=tilvækst)		✓		
	2: reduceret (hugst << tilvækst)			✓	
SK8: Aflægning	0: Som nu	✓			
	1: mere energitræ/biomasse		✓		✓
	2: mere energitræ i nål, mindre i løv			✓	
SK9: Forædling	0: Som nu	✓			
	1: Øget indsats		✓	✓	
	2: Intensiv indsats				✓

Udviklingen i den samlede produktion af træ og i opbygningen af stående masse under de fire scenarier er vist i hhv. figur 4.1 og figur 4.2. Den samlede effekt af de fire scenarier er tillige vist i tabel 4.2 med status for årene 2020, 2050 og 2100. Her er effekten opgjort i relativ værdi i forhold til uændret driftsmønster (BAU), som er sat til indeks 100 (undtagen for udnyttelsesgrad, jf. ovenfor)

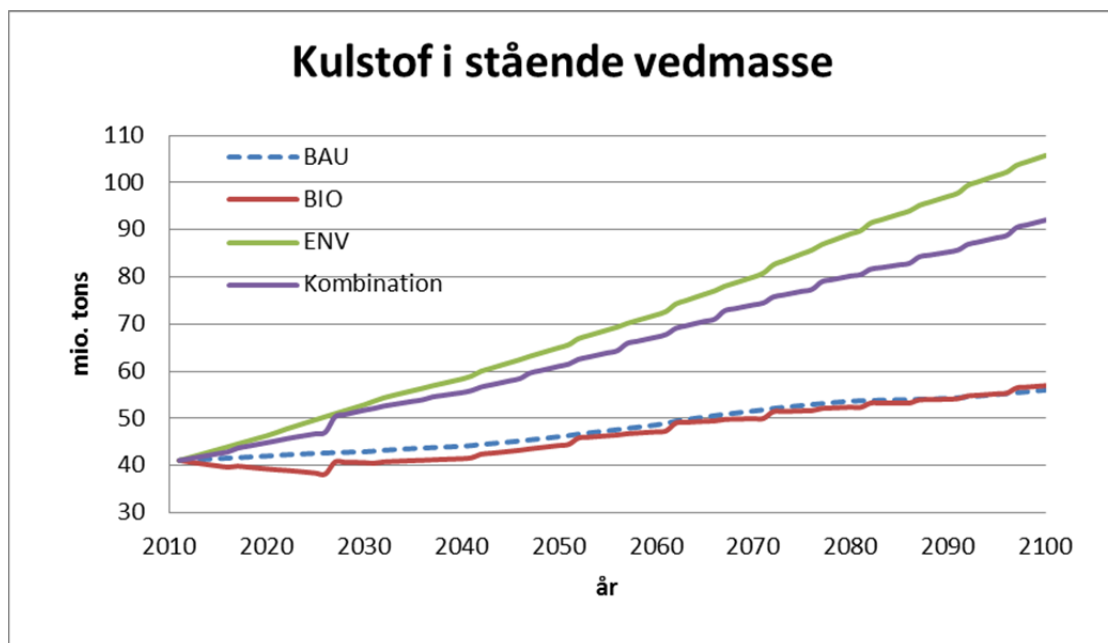
Sammenholdt med BAU-scenariet er der for BIO og Kombi en væsentlig stigning i den estimerede totale høstmængde. Stigningen i udbytte ses især for biomasse og er med de valgte aflægningsmodeller (sortiment) delvis på bekostning af savværkstræ. Tilvæksten er stigende for alle tre scenarier, mest for Kombi, der sammen med ENV har den største skovrejsnings del og tillige en intensiv dyrkningsindsats med både ammetræer og forædling. Udnyttelsesgraderne er væsentligt forskellige, idet Kombi kun afviger lidt fra BAU, medens BIO er meget højt igennem hele perioden<sup>16</sup>, og ENV har en noget lavere udnyttelsesgrad. Især den højde skovrejsningstakt, der er anvendt for Kombi og ENV giver en stor opsparring af stående masse, se figur 4.2.



**Figur 4.1.** Udviklingen i total produktion for de fire scenarier fremskrevet til år 2100. Opgjort som samlet årlig høst i mio. tons tørstof af biomasse og savværkstræ.

<sup>16</sup> At udnyttelsesgraden for BIO i 2020 overstiger 100, skyldes en aktuel ophobning af masse, som med en aflægning efter modellen for udnyttelse af biomasse ville være blevet skovet. Hugsten overstiger derfor i en periode tilvæksten og biomasse scenariet indledes derfor med et fald i den stående masse (jf. figur 4.2)





**Figur 4.2.** Samlet mængde kulstof i stående vedmasse – mio. tons. for hvert scenarie.

Del konklusion - kort summeret:

**BIO** giver et tidligt og ret højt udbytte, idet udnyttelsesgraden er høj og dermed er lagringen af kulstof ikke væsentlig forskellig fra BAU. Der sker ingen arealudvidelse i forhold til BAU.

**ENV** giver et væsentligt mindre udbytte end BIO på trods af den høje skovrejsning. Udnyttelsesgraden er forholdsvis lav, der er udlagt urørt skov, og der plantes ikke ammetræer. ENV giver den største lagring af kulstof. Arealet udvides med 32 % i forhold til BAU.

**Kombi** har et jævnt stigende høstudbytte og fra 2050 overgår BIO. Ved år 2100 er høsten fordoblet i forhold til BAU, og er baseret på høj skovrejsning. Tilvæksten er stigende gennem perioden, udnyttelsesgraden tilsvarende BAU, og lagringen af kulstof er næsten på niveau med ENV. Arealet udvides med 32 % i forhold til BAU.

**Tabel 4.2.** Relative værdier for høstudbytter, tilvækst, udnyttelsesgrad, kulstoflagring og arealanvendelse.

Scenarie	Samlet høst			Biomasse			Savværkstræ		
	2020	2050	2100	2020	2050	2100	2020	2050	2100
BAU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
BIO	132	142	181	210	237	308	75	71	90
ENV	83	101	121	132	157	171	48	59	84
Kombination	95	145	197	159	257	348	49	62	89

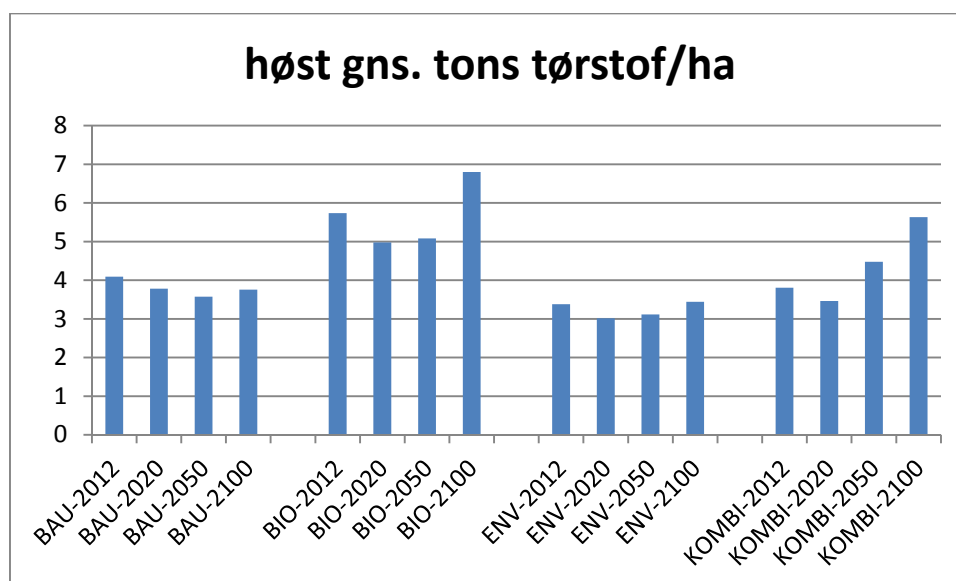
  

Scenarie	Tilvækst			Udnyttelsesgrad			Kulstof stående masse		
	2020	2050	2100	2020	2050	2100	2020	2050	2100
BAU	100	100	100	83	76	79	100	100	100
BIO	100	123	165	108	92	96	94	96	102
ENV	99	111	129	73	67	64	110	141	189
Kombination	106	145	195	77	80	84	107	132	164

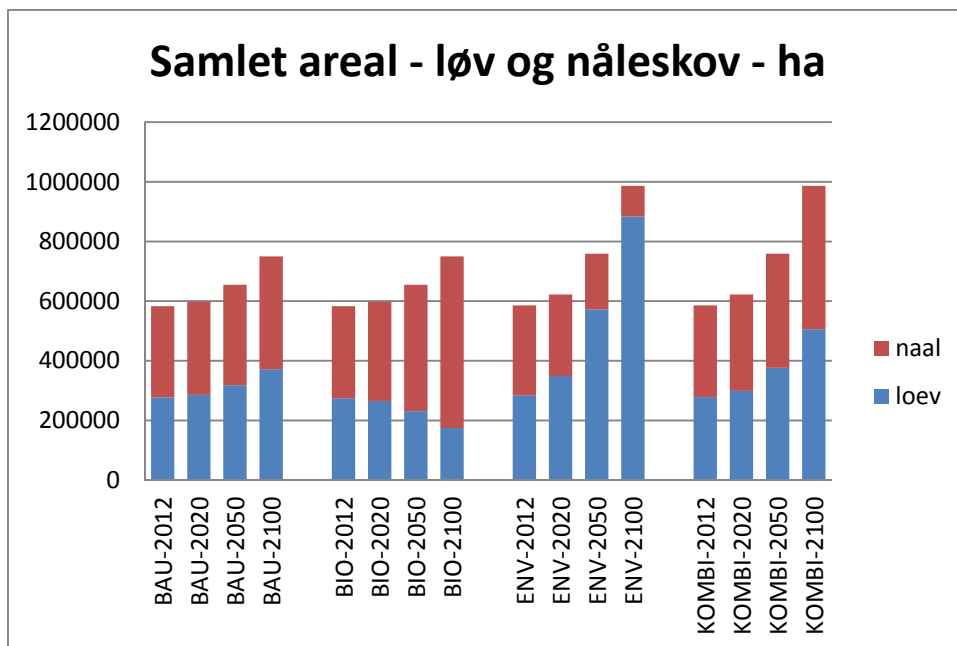
  

Scenarie	Løv			Nål			Total		
	2020	2050	2100	2020	2050	2100	2020	2050	2100
BAU	100	100	100	100	100	100	100	100	100
BIO	93	73	47	106	126	152	100	100	100
ENV	122	180	238	87	55	27	104	116	132
Kombination	105	119	136	103	113	127	104	116	132

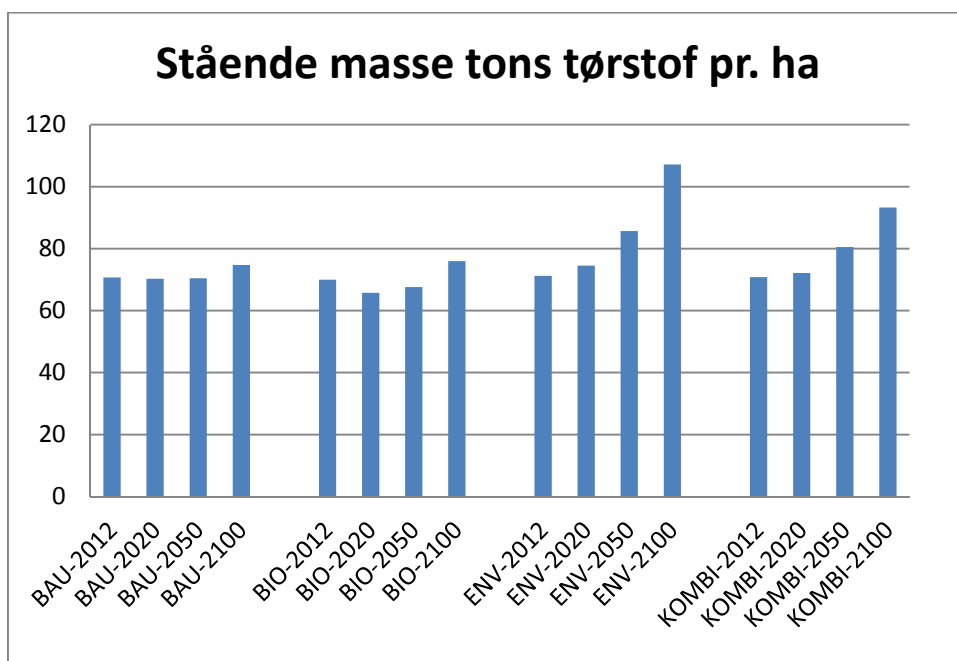
Da scenarierne ENV og Kombi begge inkluderer en høj skovrejsningstakt er høstet mængde i gns. pr. ha beregnet, se figur 4.3. BIO har klart det største udtag per ha. I alle tre scenarier (BIO, ENV og Kombi) indgår forædling som en komponent, og denne er med til at give de stigende udbytter også beregnet pr. ha. Den udprægede anvendelse af løvtræ i ENV, se figur 4.4, og en samlet lav udnyttelsesgrad bevirker en stor vedmasseopbygning og gør, at ENV har den største kulstoflagring også beregnet pr. ha., men Kombi er godt med (figur 4.5).



**Figur 4.3** Arealvægtet samlet høst i tørstof tons pr. ha pr. år.



**Figur 4.4** Arealanvendelse for scenarierne – samt fordeling til arealer med løvskov og nåleskov.



**Figur 4.5** Stående masse i tons tørstof pr. ha.

## 4.2 Klimaets betydning

Fremtiden vil med stor sandsynlighed byde på højere CO<sub>2</sub> indhold, højere middeltemperaturer, lidt mindre nedbør i vækstsæsonen, mere nedbør i vinterhalvåret og kraftigere storme (se også baggrundsnotat om klimaændringernes betydning for træartsvalg og produktion, Hansen *et al.* 2013a).

Modeller for kulstoflagring i europæiske skove peger på en øget tilvækst per år fra 0 og helt op til 70 % i skovene i Nordeuropa som følge af kombinerede effekter af øget temperatur, kuldioxid og N-deposition frem til 2070. Effekten af temperaturstigningen i form af længere vækstsæson og en sammenhæng mellem længde af vækstsæson er dog usikker. Nogle undersøgelser viser således, at respirationen i det sene efterår er større end fotosyntesen og kan reducere gevinsten fra en tidligere start af vækstsæsonen. Fordelen ved tidlig start på vækstsæsonen kan desuden blive begrænset af, at risikoen for frostskafer øges i de første årtier. En højere temperatur vil sandsynligvis også give anledning til hyppigere og kraftigere angreb af skadevoldere og eventuelt til en invasion af nye skadevoldere, som eventuelt vil opveje de positive effekter af en temperaturstigning. Den sandsynlige mindre nedbør i vækstsæsonen vil naturligvis også reducere biomasseproduktionen og kan også betyde, at mere tørkefølsomme arter bliver mere udsatte i forhold til skadevolderangreb. Denne negative effekt kan dog blive opvejet af højere CO<sub>2</sub> indhold. Øget kuldioxidindhold vil alt andet lige sandsynligvis have en positiv effekt på produktiviteten i skovene, men effekten kan udeblive pga. andre begrænsende faktorer som næringsstoffer og vand. En nylig gennemgang af en række undersøgelser tyder på, at der ikke er nogen effekt af højere CO<sub>2</sub> indhold, sandsynligvis som følge af tørke, næringsstofmangel, eller akklimatisering til et højere CO<sub>2</sub> niveau. Mht. N-depositionen er denne faldende, så der kan ikke regnes med en effekt af denne i fremtiden.

Overordnet set peger meget på, at produktionen vil forblive uændret de næste årtier og at de positive og negative effekter vil opveje hinanden. Specielt arter med forholdsvis høj biomasseproduktion som rødgran og sitkagran synes udsatte i forhold til såvel tørke og skadevoldere, og bøg vil potentielt også have det vanskeligere med kombineret højere vandstand i vinterhalvåret og risiko for mere tørke i sommerhalvåret. Kraftigere storme øger risikoen for stormfald specielt blandt nåletræerne, men kan sandsynligvis imødegås gennem forskellige skovdyrknings tiltag. Et varmere klima kan på den anden side betyde, at det i fremtiden bliver muligt at benytte arter, som i dag kun vokser på mere milde lokaliteter, eller helt nye arter. F.eks. er det måske indenfor et årti muligt at hæve produktionen i nye egeplantninger over hele landet ved indplantning af avnbøg som har en meget kraftig ungdomsvækst. På meget lang sigt vil det sandsynligvis være muligt at dyrke visse Eucalyptus arter, som afprøves i Sydengland i dag.

I et "best case" scenarie vil produktionen gradvist øges med op til 70 % frem til 2070 som følge af længere vækstsæson, højere CO<sub>2</sub> indhold, brug af nye arter. Samtidig må det nok forudsættes, at skovdyrknings tiltag kan forhindre, at risikoen for stormfald stiger.

I et "worst case" scenarie vil produktionen forblive uændret i forhold til i dag, da de eventuelle positive effekter af øget kuldioxid og højere temperatur opvejes af mere tørke i vækstsæsonen og højere frekvens af stormfald.

En måske stigende produktion under nordligt tempererede forhold bør sættes i relation til forventede negative effekter under andre forhold.

### 4.3 De faktiske effekter: ændringer i produktion, stående masse og bidrag til CO<sub>2</sub> balancen

Hvor meget vil man i praksis opnå under scenarierne skitseret i afsnit 4.1?

Tabel 4.3 viser den samlede høst for de fire scenarier (se også figur 4.1) samt hvor stor en del af vort træforbrug en sådan høst vil dække (jf. tabel 2.11). I BAU vil vi fortsat ligge på en selvforsyningsgrad i nærheden af 25 %, hvorimod vi under de øvrige scenarier vil være i stand til at hæve denne til godt 30 % i 2050, stigende til 40-50 % hen mod år 2100 primært gennem kombinationer af øget skovrejsning (ENV og Kombi), mere intensiv skovdyrkning og forædling (BIO og Kombi), øget udnyttelsesgrad (BIO), men også kombineret med øget hensyn til biodiversitet og miljø (ENV og Kombi).

**Tabel 4.3** Udvikling i årlig hugst af træ fordelt på gavntræ og energitræ (mio. tons tørstof) og i selvforsyningsgraden med træprodukter (% af forbrug) op til 2100 under de fire scenarier beskrevet i kapitel 4.

HØST (mio tons)		2012	2020	2050	2100
I alt forbrug af træ (fra tabel 2.11)		9	10	10.5	10.5
BAU	Gavntræ	1.4	1.3	1.3	1.6
	Energitræ	1.0	0.9	1.0	1.2
	i alt	<b>2.4</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.8</b>
% af forbrug (tabel 2.11)		<b>26.5</b>	<b>22.6</b>	<b>22.3</b>	<b>26.8</b>
BIO	Gavntræ	1.0	1.0	0.9	1.4
	Energitræ	2.3	2.0	2.5	3.7
	i alt	<b>3.3</b>	<b>3.0</b>	<b>3.5</b>	<b>5.0</b>
% af forbrug (tabel 2.11)		<b>37.1</b>	<b>29.8</b>	<b>32.9</b>	<b>47.9</b>
ENV	Gavntræ	0.6	0.6	0.8	1.4
	Energitræ	1.4	1.2	1.6	2.0
	i alt	<b>2.0</b>	<b>1.8</b>	<b>2.4</b>	<b>3.4</b>
% af forbrug (tabel 2.11)		<b>22.2</b>	<b>18.0</b>	<b>22.9</b>	<b>32.4</b>
Kombi	Gavntræ	0.7	0.7	0.9	1.5
	Energitræ	1.7	1.6	2.5	4.0
	i alt	<b>2.4</b>	<b>2.3</b>	<b>3.4</b>	<b>5.6</b>
% af forbrug (tabel 2.11)		<b>26.3</b>	<b>22.9</b>	<b>32.8</b>	<b>53.0</b>

*Tabel 4.4* fokuserer på forsyningen med energitræ under 2050 målsætningen om fuld dækning af vort energiforbrug med vedvarende energikilder. Tabellen viser alene den hjemlige produktion i skov, det vil sige eksklusive produktion udenfor skoven samt eksklusive import, primært af træpiller (som aktuelt udgør ca. halvdelen af vores energiforsyning med træ). Allerede under BAU ses en stigende dækning. Det skyldes især forventningen om energieffektivisering (lavere energiforbrug), men også skovrejsning. De øvrige scenarier viser, at man med den rette kombination af virkemidler formentlig vil kunne leve op til 2050 målsætningen og endda på sigt nå den med en meget stor grad af selvforsyning. Der er her rum for enten at øge træandelen til energi eller søge en større andel aflagt til gavntræ (jf. tabel 4.3), afhængigt af hvorledes det går med udviklingen af andre vedvarende energikilder, og i hvor høj grad de forskellige virkemidler kan implementeres i praksis. Ligesom det naturligvis vil være et spørgsmål om hvad markedet efterspørger og til hvilke priser.

**Tabel 4.4** Udviklingen frem til 2100 i årlig høst af energitræ i skov i Danmark (mio tons tørstof og PJ), andel af samlet energiforbrug under 2050 målsætningen og andel af det skønnede behov for træenergi under denne målsætning (jf. tabel 2.9)

<b>HØST (energitræ - fuel)</b>		2012	2020	2050	2100
Træenergimål (PJ fra tabel 2.9)		81	90	100	100
I alt energiforbrug (PJ fra tabel 2.9)		814	750	650	550
BAU	fuel (mio tons tørstof)	1.0	0.9	1.0	1.2
	fuel (PJ)	18.3	17.0	18.0	21.2
% af energi (tabel 2.9)		<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.8</b>	<b>3.9</b>
% af træenergimål (tabel 2.9)		<b>22.6</b>	<b>18.9</b>	<b>18.0</b>	<b>21.2</b>
BIO	fuel (mio tons tørstof)	2.3	2.0	2.5	3.7
	fuel (PJ)	41.5	35.8	45.7	66.0
% af energi (tabel 2.9)		<b>5.1</b>	<b>4.8</b>	<b>7.0</b>	<b>12.0</b>
% af træenergimål (tabel 2.9)		<b>51.2</b>	<b>39.7</b>	<b>45.7</b>	<b>66.0</b>
ENV	fuel (mio tons tørstof)	1.4	1.2	1.6	2.0
	fuel (PJ)	25.2	21.6	28.8	36.0
% af energi (tabel 2.9)		<b>3.1</b>	<b>2.9</b>	<b>4.4</b>	<b>6.5</b>
% af træenergimål (tabel 2.9)		<b>31.1</b>	<b>24.0</b>	<b>28.8</b>	<b>36.0</b>
Kombi	fuel (mio tons tørstof)	1.7	1.6	2.5	4.0
	fuel (PJ)	30.4	28.1	45.7	72.6
% af energi (tabel 2.9)		<b>3.7</b>	<b>3.7</b>	<b>7.0</b>	<b>13.2</b>
% af træenergimål (tabel 2.9)		<b>37.5</b>	<b>31.2</b>	<b>45.7</b>	<b>72.6</b>

Hvor *figur 4.1* samt *tabel 4.3* og *4.4* fokuserer på høst af produkter, som har en *kulstoflagringseffekt* i form af produkter (en del af gavntræet) og en *kulstofforbrændningseffekt* på fossil energi (energitræet), viser *figur 4.2* hvor meget kulstof, der bygges op i selve skoven under de fire scenarier, altså en *kulstoflagringseffekt* i form af et levende lager, hvoraf man kan beregne den årlige tilvækst efter hugst.

I *tabel 4.5* er disse tre effekter omsat til årlig produktion, henholdsvis tilvækst målt i millioner tons CO<sub>2</sub>.

**Tabel 4.5.** Årlig høst af gavn- og energitræ hhv. årlig tilvækst i overjordisk stående masse og rødder målt i CO<sub>2</sub> (millioner tons). Den samlede årlige fortrængning og opbygning i % af udslippet af CO<sub>2</sub> i Danmark i 2011 (55,8 mio. tons). Andelen af CO<sub>2</sub> bundet i rødder er ikke målt, men estimeret ud fra måling af træernes biomasse over jord (se nærmere i kap. 8 i Johannsen et al. 2013c).

	Mio tons	2012	2020	2050	2100
<b>BAU</b>	Gavntræ	2.5	2.4	2.5	3.0
	Energitræ	1.9	1.7	1.8	2.2
	Stående masse	0.3	0.4	0.9	0.7
	Rødder	0.1	0.1	0.2	0.1
	<b>Sum</b>	<b>4.7</b>	<b>4.6</b>	<b>5.4</b>	<b>6.0</b>
	% af udslip 2011	<b>8.5</b>	<b>8.3</b>	<b>9.6</b>	<b>10.8</b>
<b>BIO</b>	Gavntræ	1.9	1.8	1.7	2.5
	Energitræ	4.2	3.6	4.7	6.7
	Stående masse	-1.1	-0.6	0.9	0.8
	Rødder	-0.2	-0.1	0.2	0.2
	<b>Sum</b>	<b>4.8</b>	<b>4.7</b>	<b>7.4</b>	<b>10.2</b>
	% af udslip 2011	<b>8.6</b>	<b>8.4</b>	<b>13.3</b>	<b>18.2</b>
<b>ENV</b>	Gavntræ	1.1	1.2	1.5	2.5
	Energitræ	2.5	2.3	2.9	3.7
	Stående masse	2.1	2.1	2.2	2.6
	Rødder	0.4	0.4	0.4	0.5
	<b>Sum</b>	<b>6.1</b>	<b>6.0</b>	<b>7.0</b>	<b>9.3</b>
	% af udslip 2011	<b>11.0</b>	<b>10.8</b>	<b>12.6</b>	<b>16.7</b>
<b>Kombi</b>	Gavntræ	1.2	1.3	1.7	2.8
	Energitræ	3.1	2.9	4.7	7.4
	Stående masse	1.3	1.4	1.8	1.9
	Rødder	0.3	0.3	0.4	0.4
	<b>Sum</b>	<b>5.9</b>	<b>5.9</b>	<b>8.5</b>	<b>12.5</b>
	% af udslip 2011	<b>10.5</b>	<b>10.5</b>	<b>15.2</b>	<b>22.4</b>

For den stående masse opgjorde Anthon *et al.* (2003) reduktionspotentiallet i de danske skove til mellem 0,8 og 2,7 mio tons CO<sub>2</sub> per år, hvilket stemmer overens med niveauet her.

Samlet ser man, at den totale årlige fortrængning og opbygning af kulstof er ganske betragtelig, og gennem de store skovrejsningsscenarier kan bringes op på omkring 15 % i 2050 mere end 20 % i 2100 af det p.t. aktuelle årlige udslip, der i øvrigt skal falde i perioden, hvilket vil gøre skovenes relative bidrag til reduktion endnu større. Hvis de planlagte reduktionsmål på 80-95 % for CO<sub>2</sub> nås, vil det i 2050 svare til mere end halvdelen af det årlige CO<sub>2</sub> udslip og i 2100 være på niveau med det samlede udslip (jf. Regeringens klimaplan, august 2013).

Beregningerne i tabel 4.5 udgør et simpelt overslag over effekten på kulstofbalancen.

Når man skal vurdere nytten af et tiltag, der påvirker kulstof balancen, søger man ofte at opgøre hvor stor en andel, der er 'additionel', det vil sige hvad der ligger udover det, som er aktuel praksis. En enkel måde at opfatte dette på er at sammenligne de mulige nye scenarier med BAU som værende udtryk for aktuel praksis. Allerede BAU er imidlertid et positivt skridt mod en 'grøn omstilling' målt på kulstof balancen, og vi har i præsentationen her valgt for samtlige scenarier at lægge vægt på den samlede effekt.

Effekten er beregnet som en simpel sum af kulstofindholdet i lageropbygning i skoven og kulstofindholdet i høsten af træprodukter, som i varierende grad bidrager til en fortrængning af produkter, der er baseret på en irreversibel tilførsel af fossilt kulstof til biosfæren. Det er naturligvis udtryk for en forsimpning af effekten på kulstofkredsløbet, jf. afsnit 2.3.

Lageropbygningen i skoven har en direkte virkning og indebærer en effekt på atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> i forholdet 1:1. Foruden den stående overjordiske masse, der er beregnet som en del af modelleringen på basis af eksisterende afprøvede tilvækstmodeller (jf. baggrundsnotat om scenarieberegningerne, Johannsen *et al.* 2013b), er også en del af den underjordiske masse medtaget i form af rødder baseret på en kendt sammenhæng mellem den overjordiske masse og rodmassen (Johannsen *et al.* 2013c).

Høsten af træ og dens indirekte effekt i form af fortrængning af et potentielt fossilt kulstof forbrug er mere kompliceret at vurdere (jf. afsnit 2.3).

I sig selv er høsten neutral, hvis den stammer fra skove, som er i en blivende ligevægt med atmosfæren (jf. figur 2.2). Det er dog væsentligt at bemærke, at hvis man øger skovsystemets samlede produktivitet, skal skovens lager øges svarende til en stigende hugst, for at denne neutralitet i forhold til systemet i sig selv opretholdes (jf. figur 4.2). Tillige skal der tages højde for det energiforbrug, som er forbundet med høsten samt efterfølgende bearbejdning og brug heraf, for at få et samlet billede af produktionens effekt på kulstofbalancen.

Fortrængnings effekten er fundamentalt anderledes, og man kan derfor diskutere, om det er rigtigt blot at lægge en sådan effekt og lageropbygning i skoven sammen. Hvis vi levede i en verden, som udelukkende var baseret på biomasse, der blev høstet fra en planteproduktion i blivende ligevægt med atmosfæren, som netop beskrevet, ville fortrængningsproblematikken være irrelevant.

Fortrængningseffekten er imidlertid særdeles relevant, så længe en irreversibel tilførsel af kulstof fra de permanente fossile lagre til de reversible kulstofpuljer i biosfæren finder sted. Hvis fortrængningseffektiviteten var 1:1 (jf. afsnit 2.3.3), og biomassen kom fra et system i ligevægt, ville situationen igen være enkel med forbehold for et ensartet energiforbrug forbundet med høst og udvinding mv. Beregningerne her er et udtryk for en sådan simpel tilgang.

Da fortrængningseffekten for nogle træprodukter (specielt til energi) er mindre end 1, vil den umiddelbare virkning på atmosfæren for sådanne produkters vedkommende være en relativt større tilførsel af kulstof og omvendt hvis den er større end 1 (jf. afsnit 2.3.4), forhold som vil kunne influere på det endelige valg af mitigerings strategi.

Formålet med nærværende udredning har primært være at vurdere størrelsesordenen af det samlede potentiale af de forskellige tiltag og mere komplicerede beregninger er derfor undladt. I det videre arbejde med valg af virkemidler og scenarier kan man nuancere beregningerne under hensyn til de varierende fortrængningseffekter og tillige forsøge at inddrage andre usikkerhedsmomenter, som f.eks. såkaldt lækage (jf. afsnit 2.3.4).



## 5 Diskussion og konklusioner

Formålet med udredningen er at vurdere mulighederne for at forbedre (øge) og optimere udnyttelsen af træressourcen under passende hensyn til skovens øvrige funktioner. Hensigten har tillige været at bidrage til en vurdering af på hvilke områder, der er behov for at udvikle nye eller bedre retningslinier for skovbrugs­mæssig praksis.

### 5.1 Rapportens begrænsninger

Rapporten præsenterer nogle resultater af en række simulerede scenarier, der kombinerer forskellige skov­dyrknings­mæssige virkemidler, som påvirker udbyttet af træ fra de danske skove over de næste knap 100 år. Fokus er entydigt på betydningen af de forskellige virkemidler for mængden af råtræ, der produceres og afhændes som henholdsvis gavntræ og biomasse/energitræ, samt mængden af træ og biomasse, der ophobes i de danske skove.

Der er dertil foretaget en vurdering af de direkte økonomiske effekter af de forskellige virkemidler relativt til en defineret baseline (BAU), og i den vurdering er der alene medtaget ændringer i produktionsværdier i skovene over tid samt tab af produktionsværdier i landbruget for så vidt angår skovrejsningen. For de velfærdsøkonomiske beregninger er der derudover inddraget yderligere økonomiske effekter knyttet til tilskudsfinansieret skovrejsning (skat- og administrationsomkostninger, jf. baggrundsnotat om økonomi, Schou & Thorsen 2013).

Rapporten belyser kun en beskedent del af de velfærdsøkonomiske effekter som en implementering af de forskellige virkemidler og scenarier måtte have, fordi den ikke opgør de forskellige virkemidler og scenariers effekter på værdier knyttet til f.eks. rekreative anvendelser, grundvandsbeskyttelse, biodiversitetsbeskyttelse og landskabs­mæssige kvaliteter, men blot giver en kvalitativ vurdering af virkemidlernes relative effekt.

På basis af rapportens kvantitative analyser og de kvalitative vurderinger diskuteres her tre forhold:

- Mulighederne for at øge produktionen og dermed forbedre forsyningen med råtræ
- De åbne spørgsmål, der udstår i forhold til de velfærdsøkonomiske aspekter for såvel tiltag indenfor eksisterende skove som for skovrejsningen, og
- Hvilke områder som i relation til øget produktion synes at tiltrække sig behov for vejledning til praksis.

### 5.2 Muligheder for at øge produktionen: forsyningen med råtræ

Gennemgangen af virkemidler viser, at det er muligt at øge produktionen i de danske skove ganske betydeligt, og at det vil være muligt at bidrage signifikant til danske energimålsætninger om en omstilling til 100 % vedvarende energi i 2050 og til en markant reduktion af Danmarks CO<sub>2</sub>-udslip.

Et helt overordnet spørgsmål er naturligvis, om man skal satse på hjemlig produktion af træ, eller om man som hidtil skal basere det meste af forbruget på import. Ønsket om fortsat selvforsyning med energi og målsætning om klimaneutral produktion taler for en øget hjemlig produktion. Området udgør tillige et udviklingsområde for dansk jordbrug og industri, jf. også Vækstteamet for vand, bio- og miljøløsninger (2012).

Mere vedmasserige og mere produktive skove vil også være godt for klimaet. I vores del af verden ser klimaforandringerne ud til at kunne medføre øget produktivitet. En forudsætning er, at de nye skove er tilpasningsdygtige. Også dette vil kræve investeringer i forskning, udvikling og overvågning.

I andre dele af verden vil man se klimaforandringerne resultere i nedsat produktion. Det understreger nødvendigheden af at se forsyningen med træ i et internationalt perspektiv. Danmark vil fortsat skulle dække en del af forbruget gennem import. Skal det have samme positive effekter som den hjemlige produktion, skal også importen være bæredygtig. Det taler for, at den betydelige danske erfaring med hjemligt og internationalt skovbrug i højere grad mobiliseres også til internationalt samarbejde, hvilket også vil være i tråd med anbefalingerne fra Vækstteamet for Vand, bio- og miljøløsninger (2012). Det kunne f.eks. ske som et led i bestræbelserne på en effektiv implementering af dansk støtte til REDD+ (Reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries including measures of conservation, sustainable management and enhancement of forest carbon stocks), vedtaget i forbindelse med COP 15.

En forventet stigning i den globale efterspørgsel på træ med 3-4 gange inden 2050 rummer en række problemer for verdens skove. Meyfroidt & Lambin (2011) peger på at den stigende konkurrence om produktivt land mellem forskellige arealanvendelser stiller krav om betydelig teknologisk og politisk nytænkning for at sikre forsyningen med både træ og landbrugsprodukter. Globaliseringen indebærer f.eks., at nationale strategier for bevaring af skov eller anden natur kan have utilsigtet effekt i form ændret arealanvendelse på tværs af landegrænser. Det er således nødvendigt at samtænke en udvidelse af den hjemlige produktion, både med bæredygtigheden af den alternative import og med konsekvenserne for naturen, såvel nationalt som internationalt.

Et meget væsentligst virkemiddel i Danmark er en udvidelse af skovarealet. Dette er i tråd med den allerede eksisterende skovpolitiske målsætning fra 1989 om at fordoble skovarealet indenfor en trægeneration.

Schou & Veie (2012) diskuterer rationale i denne målsætning og peger på at målet har karakter af et arbitrært valg, fordi det ikke er tilstrækkelig konkret rettet mod de natur- og miljøgoder som ønskes forøget. Der er brug for, at der sættes navn og omfang herpå, og at der udarbejdes et nuanceret grundlag for at sammenligne tiltagene (jf. de velfærdsøkonomiske spørgsmål nedenfor).

Modelberegningerne peger også på, at skovdyrkningsmæssige tiltag – eksemplifieret ved intensiv foryngelse og indplantning af hurtigtvoksende træarter, kan have en væsentlig positiv indflydelse på produktion og hugstmuligheder. Sammenkædes tiltaget yderligere med forædling, som kan fremme produktivitet og sundhed, er resultaterne på 2050-sigt på højde med niveauet for resultaterne i medfør af skovrejsning med de aktuelle virkemidler.

Nærværende rapport peger alene på skovrejsningens og skovdyrkningens effektivitet i forhold til danske energi og klima målsætninger.

Med henblik på at optimere arealanvendelsen er det nødvendigt i betydeligt omfang at satse på relativt højproducerende skove. Det vil kræve investeringer i både skovdyrkning og skovtræforædling med fokus på tilpasning og produktion.

Analyserne er foretaget på et overordnet niveau og ud fra en samlet national betragtning. Resultaterne vil næppe kunne implementeres 100 %, idet de bl.a. vil afhænge af f.eks. ejendomsstørrelse, driftsformål og adgang til den nødvendige skovbrugsfaglige viden. Der vil således være brug for at vurdere sådanne behov mere konkret. Hvordan ser det ud på statens arealer og hvordan ser det ud i de forskellige egne af landet

for forskellige typer af private ejendomme? Hvilken implementeringsgrad kan forventes, og med hvilke virkemidler kan den øges?

### **5.3 Samspillet mellem biomasseproduktionen og skovenes andre værdier, velfærdsøkonomiske aspekter**

Som nævnt belyser rapporten kun en beskeden del af de velfærdsøkonomiske effekter som en implementering af de forskellige virkemidler og scenarier måtte have, fordi den ikke opgør de forskellige virkemidler og scenariers effekter på værdier knyttet til fx rekreative anvendelser, grundvandsbeskyttelse, biodiversitetsbeskyttelse og landskabsmæssige kvaliteter.

Vi ved at danskernes eksisterende rekreative udnyttelse af de danske skove sandsynligvis udgør en værdi i størrelsesordenen 1-2 milliarder kr. årligt (Jacobsen et al 2012; Zandersen et al 2007). Betalingsviljen for yderligere mængder rent grundvand er til stede og værdien kan være betydelig – særligt i egne, hvor grundvandet er under pres i både mængde og kvalitet (Campbell *et al.* 2013; Hasler *et al.* 2007). Endelig er beskyttelse af biodiversiteten under kraftigt internationalt fokus, og her udgør skovene en central del af løsningerne på denne udfordring. Vi ved også, at de værdier befolkningen knytter til at nå hele eller dele af dette mål kan være ganske betydelige (Jacobsen *et al.* 2008; Campbell *et al.* 2013; DØRS 2012).

Vi diskuterer her ganske kort de åbne spørgsmål, der udestår i relation til disse aspekter for såvel tiltag indenfor eksisterende skove som for skovrejsningen.

#### **5.3.1 Tiltag i eksisterende skove**

Blandt de tiltag i eksisterende skove, som denne rapport trækker frem er der enkelte som under en *ceteris paribus* antagelse vurderes næppe at påvirke værdien af andre miljøgoder væsentligt. Det drejer sig om anvendelsen af et øget plantetal, ammetræer og andre tiltag, der fremmer en større tidlig biomasseproduktion på kulturarealer, der i øvrigt forynges som hidtil, dvs. med samme langsigtede produktions og driftsformål. Disse tiltag vil næppe påvirke hverken rekreative eller biodiversitetsmål synderligt – i hverken positiv eller negativ retning. Der kan være tale om en let reduceret grundvandsproduktion i kulturfasen, mens til gengæld kvaliteten måske kan påvirkes svagt positivt (mindre næringsstoffab). Tilsvarende bør forædlingstiltag ikke have direkte negative eller positive effekter på disse miljøgoder for så vidt som der blot er tale om genetiske variationer, der forbedrer sundhed og produktivitet af arter, der i forvejen anvendes og forsat anvendes i samme omfang som i BAU.

Heller ikke ændrede aflægningsprocedurer bør påvirke miljøværdierne i skovene, men her skal det understreges, at det tiltag for det første kan have afledte, måske negative, miljøeffekter i forhold til anvendelsen af træ bredt i samfundet og derudover for det andet forudsætter en slags ophævelse af de frie markeds kræfter og anvendelse af fx kvoter eller andre mængdestyringer. Den slags vil være forbundet med andre velfærdsøkonomiske tab, der heller ikke er taget højde for i denne rapport. I praksis bør afvejningen mellem træ anvendt til energiformål eller andre formål reguleres gennem markedet og ikke gennem fx aflægningsrestriktioner eller påbud.

Ændrede omdriftsaldre kan have effekter på samtlige de ovennævnte miljøgoder, fordi de næsten alle er tilknyttet og positivt korrelerede med skovenes alder. Dette gælder i øvrigt også et markedsomt produkt som skovenes jagt (Lundhede et al 2010). Igen skal det indskydes, at valget af omdriftsaldre som udgangs-

punkt bør være en fri driftsparameter for skovforvalteren og i hvert fald ikke sænkes under det driftsøkonomiske optimum givet priserne på råtræet og andre produkter. Hvis der er velfærdsøkonomiske gevinster ved ændringer i omdriftsalderen vil det typisk være i relation til højere omdriftsaldre, der bør fremmes på anden måde end ved generelle påbud. Tilsvarende vil en stærkere hugst kunne påvirke miljøværdierne (men effekten kan være begge veje for flere af dem), men igen bør hugstens styrke i udgangspunktet være bestemt af ejernes driftsmålsætning samt driftsøkonomiske og skovdyrkningsmæssige hensyn. Hvis samfundet ser velfærdsøkonomiske fordele ved afvigende hugststyrker i konkrete områder bør de forfølges med andre instrumenter end generelle anbefalinger, påbud eller kvoter. En endelig, rumlig vurdering af hvor disse konflikter mellem værdierne vil være størst, og hvor de er mindre betydende, udestår forsat.

Et ændret træartsvalg på kulturarealerne i de danske skove vil have en effekt på mange af de centrale miljøgoder skovene i øvrigt producerer. Befolkningens præferencer for løvskove er dokumenteret (Zandersen *et al.* 2007) når det gælder den rekreative værdi. Løvskovene har samlet set også en mere fordelagtig vandhusholdning når det gælder mængde såvel som kvalitet af det grundvand, der dannes under skovene. Dette kan have betydelig værdi i områder, hvor grundvandet ikke er rigelig i mængde. Endelig vil der være langsigtede ændringer på biodiversiteten, herunder nok især de steder hvor bøgesevlforyngelser eller plantninger af løv efter løv ellers praktiseres. Også her gælder at en endelig, rumlig vurdering af hvor disse konflikter mellem værdierne vil være størst, og hvor de er mindre betydende, forsat udestår.

Endelig er der scenariet kombinationer i denne rapport, der indebærer at der ikke udlægges urørt skov eller gennemføres tilsvarende biodiversitetsorienterede tiltag, der beslaglægger dele af det danske skovareal. Dette virkemiddel har helt overvejende til hensigt at sikre de værdier, der måtte ligge i en forbedret biodiversitetsbeskyttelse, mens effekterne på rekreation og grundvand er mindre, ligesom kulstofbindings-effekten i hvert fald på sigt vil reduceres. De tab som det måtte indebære at reducere hensynene til biodiversiteten i de danske skove yderligere, er ikke medtaget her. Det skal understreges at danske skovejere allerede i dag foretager driftsdispositioner, der fokuserer på beskyttelse af konkrete arealer, så et helt fravær af den slags hensyn kræver igen yderligere tiltag, og vil også indebære privatøkonomiske tab. Igen gælder at en endelig, rumlig vurdering af hvor disse konflikter mellem værdierne vil være størst, og hvor de er mindre betydende, forsat udestår.

### **5.3.2 Tiltag knyttet til skovrejsning**

Skovrejsning på landbrugsjord har – i sær på den lange bane – klare positive effekter for produktionen af råtræ, for binding af kulstof i den levende biomasse, samt betydning for en række miljøværdier. Som rapportens resultater antyder, er den dog også belastet af store omkostninger, herunder til tabte produktionsværdier i landbruget.

I denne rapport har vi lagt til grund, at det hidtidige skovrejsningsmønster forsættes, når det gælder fordelingen af skovrejsning til jordtyper. Megen af den hidtidige skovrejsning har været bynær, af hensyn til politiske målsætninger knyttet til den rekreative værdi. Det kan give god mening i forhold til denne målsætning, og der kan være betydelige velfærdsøkonomiske gevinster koblet til bynære skovrejsningsprojekter i områder, hvor alternative rekreative mål er få (Anthon *et al.* 2005; Panduro & Thorsen 2013). Da det

imidlertid også er sådan, at de bynære jorder oftere er lerjorde af høj dyrkningsværdi, så er de opgivne jordrester på disse jorder betydelige og fordyrende for dette tiltag – velfærdsøkonomisk som driftsøkonomisk. Samtidig er de vandbeskyttende gevinster ved at konvertere landbrug til skovbrug betydeligt mindre på lerjordene end på fx sandjordene. Hvis man i en fremtidig skovrejsningsindsats differentiere sine målsætninger med skovrejsningen over landskabet, så kan der måske med fordel plantes mere skov på de ringere, og dermed billigere, sandjorde. Analyser af dette er ikke en del af denne rapport forudsætninger eller grundlag.

Skovrejsningens betydning for miljøgoderne knytter sig især til at skovrejsningen fortrænger landbruget og dermed åbner arealerne op for rekreative formål, samt reducerer trykket på omgivelserne fra pesticider, næringsstoffer, tilhørende lugtgener og driften på arealerne. Dette har positive effekter på grundvandskvaliteten – om end på sigt negative effekter for grundvandsmængden. Effekterne på biodiversiteten er isoleret og helt lokalt set positive (i skiftet fra hvedemark til skovkultur på de konkrete hektar). Men i en større kontekst bidrager skovrejsningen ikke til beskyttelse af de truede arter der findes i dag som er afhængige af gammel skov – hverken i den nærmeste fremtid eller den lidt fjernere. Det er først meget senere i skovens liv, at bidraget for disse arters vedkommende kan blive betydeligt.

De samlet set positive effekter på miljøgoderne af skovrejsningen er ikke medtaget i rapportens beregninger, og samtidig er den gennemsnitlige jordrente sandsynligvis i den høje ende i forhold til en bredere målsætning omkring skovrejsningen. Begge dele stiller skovrejsningen mindre favorabel. Det er ikke nogen triviell opgave at korrigere for dette fordi det vil kræve en eksplicit stillingtagen til hvilke arealer vi fremover vil rejse skov på. En sådan analyse er ikke foretaget eller forudsat i denne rapport kommissorium.

For så vidt de øvrige tiltag omkring kulturmodeller, forædling, træartsvalg, hugstgrad, omdriftsalder mv. , så gælder de samme betragtninger her i skovrejsningens tilfælde, omend typisk med en større forsinkelse på faktisk effekt.

## **5.4 Områder med behov for vejledning til praksis**

Hvor analyserne klart viser mulighederne for at øge produktionen, er de mere abstrakte med hensyn til ambitionen om at danne grundlag for anvisninger til praksis.

Med henblik på konkret implementering understøtter rapportens resultater en række af de anbefalinger, som er givet af Skovpolitisk Udvalg (2011) og i ”+10 millioner tons planen” (2012). Et tæt samspil mellem forskning, udvikling og implementering, samt mellem offentlige og private aktører er afgørende for at disse anbefalinger kan blive til virkelighed.

Sammenhængen mellem denne rapport virkemidler og emnernes behandling i Skovpolitisk Udvalg (2011) og i ”+10 millioner tons planen” (2012) er søgt sammenfattet i tabel 5.1.

Der peges her på en række områder knyttet til nævnte anbefalinger og de skovdyrkningsmæssige virkemidler, hvor der skønnes at være behov for at udvikle bedre beslutningsgrundlag og redskaber til praksis. Det drejer sig f.eks. om modeller for skovrejsning, der fremmer produktion, stabilitet og diversitet, valg af fremtidens træarter og kulturmodeller med henblik på at sikre tilpasningsdygtige dyrkningssystemer, brug af optimalt plantemateriale og sammenhæng mellem mere produktorienteret og produktoptimerende drift på den ene side og miljøhensyn på den anden.

En særlig udfordring bliver at sikre skovtræernes stabilitet og diversitet, som det bærende element i skovens struktur og ramme for det øvrige dyre og planteliv, i en fremtid med ændret klima, risiko for nye svampesygdomme og insekter, eller skift i konkurrenceforholdet mellem allerede eksisterende skadevoldere og skovtræerne.

**Table 5.1** Oversigt over relationen mellem de skovdyrkningsmæssige virkemidler behandlet i denne rapport, Skovpolitisk Udvalg (2011) og + 10 mio tons planen (2012), samt nogle af de udviklingsområder der skønnes af betydning for praksis såfremt arbejdet med øget produktion skal lykkes.

Virkemiddel		Skovpolitisk Udvalg 2011 nævner	+10 mio. tons planen 2012 nævner	Grundlag/Behov for anvisninger til praksis
SK1	Variierende grader af skovrejsning på landbrugsjord	Yderligere skovrejsning til opfyldelse af danske klimaforpligtigesler Energiskov på landbrugsjord	(Opgørelse af vedmasseressourcer uden for skove og analyse af produktions- og anvendelsespotentialer)	Modeller for skovrejsning der fremmer produktion, stabilitet og diversitet Økonomisk vurdering heraf
SK2	Artsvalg ved skovrejsning, mere løv eller mere nål	Skovens tilpasning til klimaforandringer ('robusthed, artsvalg, genetisk bredde) Mulighed for at bruge hurtigvoksende træarter Langsigtet CO <sub>2</sub> binding	Trade-offs mellem oplagring af C og fortrængning af fossilt C, herunder LCA Analyse af bæredygtighed og langsigtet produktivitet ved øget biomasseproduktion	Fremtidens træer: tilpasningsdygtige dyrkningssystemer Plantevalg.dk
SK3	Omdriftsalder kortere eller længere			
SK4	Artsvalg i foryngelser (nykultur i eksisterende skov) Foryngelse mere løv Foryngelse mere nål			
SK5	Kulturmetode/ Skovrejsningsmetode/ naturforyngelse Ammetræer/forkultur Mere eller mindre planterige kulturer	Ændrede kulturmodeller Indblanding af hurtigvoksende ammetræer		Bedre og billigere kulturer; hvordan?
SK6	Urørt/biodiversitets skov vs. dyrket skov	Bevaring af biodiversitet i skov Tilpasning til klimaforandringer	Analyse og dokumentation af miljøeffekter ved øget biomasseproduktion	Dokumentation for effekten af 'biodiversitets' skove
SK7	Hugstgrad Stærk hugst vs. svag hugst (mobilisering af vedmasse)	Udnyttelse til 'lagerfaste' produkter og bioenergi Bedre udnyttelse af træ og substitution af mere miljøbelastende materialer med træ	Analyse af potentialet for øget mobilisering Nye management systemer til optimering Optimering af management systemer Organisering af interessenter i bio-værdikæden	Mere produktorienteret drift, organisation, hvem og hvordan?
SK8	Hugstsortiment (aflægning) Større andel til energi og materialer i både nål og løv Større andel til energi og materialer alene i nål			
SK9	Forædling Lav, øget eller intensiv	Forædling og opformering Samspil mellem forædling, dyrkning, høst og miljø	Forædling mht produktivitet og kvalitet i forhold til nye efterspørgselsmønstre	Ny generation af fremavl med fokus på produktion, stabilitet og diversitet

## 6 Referencer

- Agostini, A., J. Giuntoli, A. Boulamanti, 2013: Carbon accounting of forest bioenergy. Conclusions and recommendations from a critical literature review. 87 pp. Edited by Luisa Marelli. JRC Technical Reports. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport.
- Anthon, S., B.J. Thorsen and F. Helles, 2005: Urban-fringe afforestation projects and taxable hedonic values, *Urban Forestry and Urban Greening*, 3, 79-91
- Anthon, Signe, Jette Bredahl Jacobsen & Bo Jellesmark Thorsen (2003): Skovenes mulige rolle i klimapolitikken: En scenarioanalyse af CO<sub>2</sub>-reduktionspotentiale og marginale økonomiske omkostninger. Arbejdsrapport nr.50, (FSL), Hørsholm, 2003. 59s. ill.
- Archer, D. 2010: The Global Carbon Cycle. Princeton University Press. 205 pp.
- Assmann E, 1961: *Waldertragskunde: organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen*. München: BLV Verl.-Ges./Assmann, E. 1970. The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, New York. 506p.
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T.J., Lobell, D.B., Delire, C., Mirin, A., 2007. Combined climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS 104, 6550–6555.
- Bentsen, Niclas Scott, Vivian Kvist Johannsen, Thomas Nord-Larsen, Torben Riis-Nielsen, Kjell Suadicani 2012: Oversigt over nuværende skov- og affaldsbiomasse, samt potentialer i 2020. Baggrundsnotat til + 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier.
- Biodiversitetsrapport (Johannsen, Vivian Kvist; Trine Marie Dippel, Peter Friis Møller, Jacob Heilmann-Clausen, Rasmus Ejrnæs, Bo Larsen, Karsten Raulund-Rasmussen, Sebastian Kepfer Rojas, Bruno Bilde Jørgensen, Torben Riis-Nielsen, Hans Henrik Kehlet Brun, Philip Francis Thomsen, Anne Eskildsen, Jesper Fredshavn, Erik Dahl Kjær, Thomas Nord-Larsen, Ole Hjort Caspersen, Gro Kampp Hansen 2013: Evaluering af indsatsen for biodiversiteten i de danske skove 1992 – 2012. IGN KU.
- Birdsey, Richard; Pregitzer, Kurt; and Lucier, Alan, 2006: Forest Carbon Management in the United States: 1600–2100. J. Environ. Qual., Vol. 35, July–August 2006, p 1461-1469.
- Boysen-Jensen, P. 1932. *Die Stoffproduktion der Pflanzen*. Jena, Germany: Gustav Fischer.
- Brockerhoff, E.G., et al. 2012 (in press) Role of eucalypt and other planted forests in biodiversity conservation and the provision of biodiversity-related ecosystem services. *Forest Ecol. Manage.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.018>
- Böttcher H, Verkerk PJ, Gusti M, Havlík P, Grassi G, 2012: Projection of the future EU forest CO<sub>2</sub> sink as affected by recent bioenergy policies using two advanced forest management models. *Global Change Biology Bioenergy*, 4, 773-783. doi: 10.1111/j.1757-1707.2011.01152.x.
- Campbell, D., S.E. Vedel, B.J. Thorsen and J.B. Jacobsen, 2013: Heterogeneity in the demand for recreational access – distributional aspects. Revised for *Journal of Environmental Planning and Management*, 40 pp.
- Carle, J & Holmgren, P 2009: Wood from planted forests: global outlook to 2030. Chapter 5 in Evans (ed.) 2009: *Planted Forest*. FAO/CABI.
- Cherubini F, Peters GP, Berntsen T, Strømman AH, Hertwich E, 2011: CO<sub>2</sub> emissions from biomass combustion for bioenergy: atmospheric decay and contribution to global warming. *Global Change Biology Bioenergy*, 3, 413–426.
- Cherubini, F, RM Bright and AH Strømman, 2013: Global climate impacts of forest bioenergy: what, when and how to measure? *Environ. Res. Lett.* 8 (2013) 014049 (12pp). doi:10.1088/1748-9326/8/1/014049
- Cherubini, Francesco; Anders H. Strømman, Edgar Hertwich, 2011: Effects of boreal forest management practices on the climate impact of CO<sub>2</sub> emissions from bioenergy. *Ecological Modelling* 223, 59–66. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.06.021.
- Chrintz, T. 2013: Klimapåvirkningen fra biomasse og andre energikilder. Hovedrapport 62 pp + *Bilagsrapport af Jannick H. Schmidt og Miguel Brandão fra 2.-0 LCA consultants (LCA screening of*

- biofuels - iLUC, biomass manipulation and soil carbon, 102 pp. CONCITO.
- Clark, David B. & Kellner, James R., 2012: Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *Journal of Vegetation Science* 23 (2012) 1191–1196. Doi: 10.1111/j.1654-1103.2012.01471.x
- Danmarks statistik - [www.statistikbanken.dk](http://www.statistikbanken.dk)
- DØRS 2012: Dansk miljøpolitik 2000-2010, Biodiversitet og Ægte opsparring. De Økonomiske Råd, Økonomi og Miljø 2012, <http://www.dors.dk/sw9038.asp>. København K, Danmark, 457 pp
- EC 2012: Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe, 9pp COM (2011) 615, Annex IV European Commission Brussels, 13.2.2012 COM(2012) 60 final communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- ECE/FAO 2011: Action Plan for the Forest Sector in a Green Economy. Note by the secretariat. United Nations, Economic and Social Council, Food and Agriculture Organization; Economic Commission for Europe, Timber Committee European Forestry Commission Sixty-ninth session; UNECE/FAO Action Plan for the Forest Sector in a Green Economy Thirty-sixth session Antalya, 10-14 October 2011. ECE/TIM/2011/3– FO:EFC/2011/3, 14 pp.
- Energistyrelsen 2012: Energistatistik 2011. Udgivet i september 2012 af Energistyrelsen, Amaliegade 44, 1256 København K. E-mail: [ens@ens.dk](mailto:ens@ens.dk), Internet <http://www.ens.dk>. Design og produktion: Energistyrelsen (Danuta Kestenbaum). ISBN 978-87-7844-942-9 www ISSN 0906-4699.
- Energistyrelsen, 2012: Danmarks Energifremskrivning, 2012, 64 pp. Udgivet i september 2012, Amaliegade 44, 1256 København K. Version af 11. oktober 2012. E-mail: [ens@ens.dk](mailto:ens@ens.dk), Internet <http://www.ens.dk>. ISBN: 978-87-7844-941-2
- Erhvervspanelet for Grøn Omstilling, 2012: Bæredygtig Vækst Med færre Ressourcer. Anbefalinger fra Erhvervspanelet for Grøn Omstilling, oktober 2012 ISBN: 978-87-92903-56-3. Kontakt: Miljøministeriets Informationscenter [info@mim.dk](mailto:info@mim.dk), 7012 0211
- Eriksson E, Gillespie A, Gustavsson L, Langvall O, Olsson M, Sathre R, & Stendahl J, 2007: Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Canadian J. Forest Res.* 37(3), 671–681(2007).
- Evald, A. 2011: Biomass Statistics: Firewood. Update: 5th edition, October 2011. Prepared for the Danish Energy Agency by Senior Project Manager, B.Sc. Eng. Anders Evald, FORCE Technology.
- Evald, A. 2011: Biomass Statistics: Wood chips. Update: 5th edition, October 2011. Prepared for the Danish Energy Agency by Senior Project Manager, B.Sc. Eng. Anders Evald, FORCE Technology.
- Evald, A. 2011: Biomass Statistics: Wood pellets. Update: 5th edition, October 2011. Prepared for the Danish Energy Agency by Senior Project Manager, B.Sc. Eng. Anders Evald, FORCE Technology.
- Evald, A. 2011: Biomass Statistics: Wood waste. Update: 5th edition, October 2011. Prepared for the Danish Energy Agency by Senior Project Manager, B.Sc. Eng. Anders Evald, FORCE Technology.
- Evald, A. 2012: Brændeforbrug i Danmark 2011. En undersøgelse af antallet af og brændeforbruget i brændeovne, pejse, masseovne og brændekedler i danske boliger og sommerhuse. Afdeling for Biomasse & Affald Energistyrelsen Udgivet: 01-09-2012. Udarbejdet af Senior Project Manager, B.Sc. Eng. Anders Evald, FORCE Technology.
- Evans, J. 1999: Sustainability of forest plantations – the evidence. Issues paper. UK Dept. for Int. Dev., London (see also Encyclopedia of Forest Science)
- Evans, J. 2001: Biological Sustainability of Productivity in Successive Rotations. Forest Plantations Thematic Working Papers FP/2, edited by DJ Mead, Forest Dept. FAO Rome.
- Evans, J. 2009 (ed.): Planted Forests. Uses, Impacts and Sustainability. FAO/CABI
- Evans, J. 2009: Sustainable Silviculture and Management. Chapter 8, p 113-140 in Evans 2009 (ed.): Planted Forests.
- FAO 2006: Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147.
- FAO 2011: State of the Worlds Forest 2011. FAO Rome. ISBN 978-92-5-106750-5
- FAO 2011: Global Forest Resources Assessment 2010. Main report. FAO Forestry Paper 163. Food and



- Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAOSTAT-Forestry database, 2013: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=630&lang=en>, accessed March 2013.
- FAO, Forest products statistics 2013: <http://www.fao.org/forestry/statistics/en/>, accessed March 2013.
- Produktion: <http://www.fao.org/forestry/country/57025/en/dnk/>
  - Export : <http://www.fao.org/forestry/country/57026/en/dnk/>
  - Import : <http://www.fao.org/forestry/country/67047/en/dnk/>
- FAO, Planted Forest Programme, 2013: <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/en/>, accessed March 2013.
- Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P, 2008: Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*, 319, 1235–1238.
- Finansministeriet, 1999. Vejledning i udarbejdelsen af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger, [online], Finansministeriet, [tilgået 16/1-2013] <http://www.fm.dk/publikationer/1999/vejledning-i-udarbejdelse-af-samfundsøkonomiske-konsekvensvurderinger/>
- Frank Søndergaard Jensen, pers. Meddelelse
- Fritzboøger, B. 1994: Kulturskoven. Dansk skovbrug fra oldtid til nutid. Gyldendal
- Graudal, L. & Kjær, E. 1997: [A global alliance of sustainable forestry] En global alliance om bæredygtig skov anvendelse - på jagt efter ligevægt mellem forbrug og produktion af fornyelige ressourcer p 8-24 . Festskrift i anledning af Dansk Forstkandidatforenings 100 års jubilæum, 159 pp. Dansk Skovbrugs Tidsskrift 2/97.
- Graudal, L. 1991:[The greenhouse effect and storage of carbon in forests and forest products] Drivhuseffekten og binding af kulstof i skov og skovprodukter. Dansk Skovbrugs Tidsskrift 2/91, 42-62.
- Graven, H. D., R. F. Keeling, S. C. Piper, P. K. Patra, B. B. Stephens, S. C. Wofsy, L. R. Welp, C. Sweeney, P. P. Tans, J. J. Kelley, B. C. Daube, E. A. Kort, G. W. Santoni, J. D. Bent, 2013: Enhanced Seasonal Exchange of CO<sub>2</sub> by Northern Ecosystems Since 1960. *Science express ahead of print*. Published online 8 August 2013 [DOI:10.1126/science.1239207].
- Gylling, Morten, Uffe Jørgensen og Niclas Scott Bentsen (2012): + 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier, Frederiksberg, 2012. 32 s. ill.
- Haberl H, Sprinz D, Bonazountas M Cocco P, Desaubies Y, Henze M, Hertel O, Johnson RK, Kastrup U, Laconte P, Lange E, Novak P, Paavolam J, Reenberg A, van den Hoven S, Vermeire T, Wadhams P, Searchinger T, 2012: Correcting a fundamental error in greenhouse gas accounting related to bioenergy. *Energy Policy*, 45, 18–23.
- Hansen, J.K. og E.D. Kjær 2012: Proveniensvalg i forhold til nuværende og forventede klima. *Skoven* 10, 454-455.
- Hansen, Jon Kehlet, Lars Graudal, Hans Peter Ravn, Erik D. Kjær, 2013a: Klimaændringernes betydning for træartsvalg og produktion. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110
- Hansen, Jon Kehlet, Ulrik Braüner Nielsen og Lars Graudal, 2013b: Analyse af muligheder for at øge biomasseproduktionen fra de danske skove gennem forædling. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.
- Hasenauer, H, 2013: The importance of forestry to the carbon balance. 8 pp. Univ.-Prof. Dr. Hubert Hasenauer *Forestry Institute, Department of Forest and Soil Sciences, Vienna University of Natural Resources and Applied Life Sciences*, [hubert.hasenauer@boku.ac.at](mailto:hubert.hasenauer@boku.ac.at)
- Hasler, B., T. Lundhede & L. Martinsen 2007: Protection versus purification – assessing the benefits of drinking water quality. – *Nordic Hydrology* 38: 373-386.
- Helin 2012 Helin T., Sokka L., Soimakallio S., Pingoud K. and Pajula T., 2012: Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment – a review. *GCB Bioenergy*. doi: 10.1111/gcbb.12016.
- Holtmark, B., 2012. Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Climatic Change* **112**(2): 415-428.

- Holtmark, B., 2013. The outcome is in the assumptions: analyzing the effects on atmospheric CO<sub>2</sub> levels of increased use of bioenergy from forest biomass. *GCB Bioenergy*, 5, 467-473. doi: 10.1111/gcbb.12015. IIASA/WWF 2012 se WWF 2012
- Jackson R.B., Randerson J.T., Canadell J.G., Anderson R. G., Avissar R., Baldocchi D.D., Bonan G.B., Caldeira k., Diffenbaugh N.S., Field Ch.B., Hungate B.A., Jobbágy E.G., Kueppers L.M., Nosetto M.D., Pataki D.E. 2008, Protecting climate with forests, *Environmental Research Letters* 3 (2008) 044006 (5pp). doi:10.1088/1748-9326/3/4/044006.
- Jacobsen J.B., J.H. Boiesen, B.J. Thorsen and N. Strange, 2008: What's in a Name? The use of Quantitative Measures vs. 'Iconised' Species when Valuing Biodiversity, *Environmental and Resource Economics* 39, 247-263
- Jacobsen, J.B., T.H. Lundhede and B.J. Thorsen, 2012: Valuation of wildlife populations above survival. *Biodiversity and Conservation*, 21: 543-563
- Jarvis PG, Linder S, 2007: Forests remove Carbon dioxide from the atmosphere: spruce forest tales! In: Freer-Smith PH, Broadmeadow MSJ, Lynch JM (eds) *Forestry and climate change*. CAB International, Wallingford, pp. 60–72.
- Jensen, F.S. & Koch, N.E., 1997: Friluftsliv i skovene 1976/77 - 1993/94. – Forskningsserien nr. 20-1997, Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 215 pp.
- Johannsen, Vivian Kvist; Trine Marie Dippel, Peter Friis Møller, Jacob Heilmann-Clausen, Rasmus Ejrnæs, Bo Larsen, Karsten Raulund-Rasmussen, Sebastian Kepfer Rojas, Bruno Bilde Jørgensen, Torben Riis-Nielsen, Hans Henrik Kehlet Brun, Philip Francis Thomsen, Anne Eskildsen, Jesper Fredshavn, Erik Dahl Kjær, Thomas Nord-Larsen, Ole Hjort Caspersen, Gro Kampp Hansen 2013a: Evaluering af indsatsen for biodiversiteten i de danske skove 1992 – 2012. IGN, Københavns Universitet, 89 pp.
- Johannsen, Vivian Kvist, Thomas Nord-Larsen, Niclas Scott Bentsen, Kjell Suadicani, Jon Kehlet Hansen, Ulrik Braüner Nielsen & Lars Graudal, 2013b: Scenarieberegning for biomasseproduktion i skov – virkemidler og forudsætninger. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.
- Johannsen, Vivian Kvist, Thomas Nord-Larsen, Torben Riis-Nielsen, Kjell Suadicani og Bruno Bilde Jørgensen, 2013c: Skove og plantager 2012, Skov & Landskab, Frederiksberg, 2013. 189 s. ill.
- Johnson, Eric & Tschudi, Daniel, 2012 Baseline effects on carbon footprints of biofuels: The case of wood. *Environmental Impact Assessment Review* 37 (2012) 12–17. doi:10.1016/j.eiar.2012.06.005
- Keppler, Frank, John T. G. Hamilton, Marc Braß & Thomas Röckmann, 2006: Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature* 439, 187-191 (12 January 2006). doi:10.1038/nature04420
- Kindermann, GE, S Schörghuber, T Linkosalo, A Sanchez, W Rammer, R Seidl and MJ Lexer, 2013: Potential stocks and increments of woody biomass in the European Union under different management and climate scenarios. *Carbon Balance and Management* 2013, 8:2. doi:10.1186/1750-0680-8-2.
- Kira, T. & Sihdei, T. 1967: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. *Jpn. J. Ecol.* 17, 70–87 (1967).
- Klimakommissionen, 2010: Dokumentationsdelen til Klimakommissionens samlede rapport GRØNENERGI - vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler 28. september 2010 ISBN: www 978-87-7844-882-8.
- Klimakommissionen, 2010: Grøn energi – vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler Sammenfatning af Klimakommissionens overvejelser, resultater og anbefalinger 28. september 2010 ISBN: www 978-87-7844-878-1 Trykt version ISBN: 978-87-7844-879-8.
- Koch, N.E. & Jensen, F.S., 1988: Skovenes friluftsfunktion i Danmark. IV.del. Befolkningens ønsker til skovenes og det åbne lands udformning. (Forest Recreation in Denmark. Part IV: The Preferences of the Population.) – *Forstl. Forsøgsv. Danm.*, København, 41 (1988): 243-516 + secondary appendix, 400 pp.
- Kopetz, Heinz 2013: Renewable resources: Build a biomass energy market *Nature* Volume: 494, 29 - 31, (07 February 2013), DOI: doi:10.1038/494029a Published online 06 February 2013.
- Kraxner, Florian, Eva-Maria Nordström, Petr Havlík, Mykola Gusti, Aline Mosnier, Stefan Frank, Hugo Valin,

- Steffen Fritz, Sabine Fuss, Georg Kindermann, Ian McCallum, Nikolay Khabarov, Hannes Böttcher, Linda See, Kentaro Aoki, Erwin Schmid, Lázló Máthé, & Michael Obersteiner, 2013: Global bioenergy scenarios e Future forest development, land-use implications, and trade-offs, *Biomass and Bioenergy* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.003>
- Kristensen, Inge T. og Uffe Jørgensen 2012: Forudsætninger for og beregning af biomassescenarier for landbruget. Baggrundsnotat til + 10 mio. tons planen – muligheder for en øget dansk produktion af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier.
- Kula, Erhun & Gunalay, Yavuz, 2012: Carbon sequestration, optimum forest rotation and their environmental impact. *Environmental Impact Assessment Review* 37 (2012) 18–22. doi:10.1016/j.eiar.2011.08.007
- Köhl, Michael, Annemarie Bastup-Birk, Marco Marchetti, Dora Cimini Piermaria Corona, Bo Jellesmark Thorsen, Bruno Lasserre, Davide Pettenella, Olli Saastamoinen, Frank Søndergaard Jensen & Andreas Zingg, 2011: Criterion 3: maintenance and encouragement of productive functions of forests (wood and non-wood). In: *State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe* (eds FOREST EUROPE, UNECE and FAO), pp. 51–64, Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Oslo.
- Körner, C., 2006: Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist*, 172, 393–411.
- Lamers, P & Junginger, M 2013: The 'debt' is in the detail: A synthesis of recent temporal forest carbon analyses on woody biomass for energy. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd | *Biofuels, Bioprod. Bioref.* (2013); DOI: 10.1002/bbb.
- Le Quéré, C., Andres, R. J., Boden, T., Conway, T., Houghton, R. A., House, J. I., Marland, G., Peters, G. P., van der Werf, G., Ahlström, A., Andrew, R. M., Bopp, L., Canadell, J. G., Ciais, P., Doney, S. C., Enright, C., Friedlingstein, P., Huntingford, C., Jain, A. K., Jourdain, C., Kato, E., Keeling, R. F., Klein Goldewijk, K., Levis, S., Levy, P., Lomas, M., Poulter, B., Raupach, M. R., Schwinger, J., Sitch, S., Stocker, B. D., Viovy, N., Zaehle, S., and Zeng, N.: The global carbon budget 1959–2011, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.*, 5, 1107–1157, doi:10.5194/essdd-5-1107-2012, 2012.
- Lewis SL, Lloyd J, Sitch S, Mitchard ETA, Laurance WF, 2009b: Changing ecology of tropical forests: evidence and drivers. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 40, 529–549.
- Lewis, Simon L., Gabriela Lopez-Gonzalez, Bonaventure Sonké, Kofi Affum-Baffoe, Timothy R. Baker, Lucas O. Ojo, Oliver L. Phillips, Jan M. Reitsma, Lee White, James A. Comiskey, Marie-Noël Djuikouo K., Corneille E. N. Ewango, Ted R. Feldpausch, Alan C. Hamilton, Manuel Gloor, Terese Hart, Annette Hladik, Jon Lloyd, Jon C. Lovett, Jean-Remy Makana, Yadvinder Malhi, Frank M. Mbago, Henry J. Ndangalasi, Julie Peacock, Kelvin S.-H. Peh, Douglas Sheil, Terry Sunderland, Michael D. Swaine, James Taplin, David Taylor, Sean C. Thomas, Raymond Votere & Hannsjörg Wöll, 2009a: Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 457, 1003–1006.
- Linddal, M. 1995: CO<sub>2</sub> kredit ved skovrejsning. *Jord & Viden* 140 (2), 3-5.
- Lippke, B. Oneil, E. Harrison, R., Skog, K., Gustavsson, L., Sathre, R. (2011) Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns, *Carbon Management* 2(3), 303-333.
- Lundhede, T.H., J.B. Jacobsen and B.J. Thorsen, 2010: Jagtlejens niveau [The price of hunting leases]. *Skoven*, 42, 82-85
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P. & Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Madsen et al 2013: Evaluering af naturnær skovdrift . IGN. Københavns Universitet
- Manomet Center for Conservation Sciences. 2010. Massachusetts Biomass Sustainability and Carbon Policy Study: Report to the Commonwealth of Massachusetts Department of Energy Resources. Walker, T. (Ed.). Contributors: Cardellichio, P., Colnes, A., Gunn, J., Kittler, B., Perschel, R., Recchia, C., Saah, D., and Walker, T. Natural Capital Initiative Report NCI-2010-03. Brunswick, Maine. 182 pp. [http://www.manomet.org/sites/manomet.org/files/Manomet\\_Biomass\\_Report\\_Full\\_LoRez.pdf](http://www.manomet.org/sites/manomet.org/files/Manomet_Biomass_Report_Full_LoRez.pdf)

- Mather, A.S. 1990: Global Forest Resources. Belhaven Press, London. 341 pp
- Mckinley, Duncan C., Michael G. Ryan, Richard A. Birdsey, Christian P. Giardina, Mark E. Harmon, Linda S. Heath, Richard A. Houghton, Robert B. Jackson, James F. Morrison, Brian C. Murray, Diane E. Pataki, and Kenneth E. Skog, 2011: A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States. *Issues in Ecology, Technical Report. Ecological Applications*, 21(6), 2011, pp. 1902–1924.
- Meyfroidt, Patrick & Eric F. Lambin: Global Forest Transition: Prospects for an End to Deforestation *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2011. 36:343–71.
- Meyfroidt, Patrick & Eric F. Lambin: Global Forest Transition: Prospects for an End to Deforestation *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2011. 36:343–71.
- Miller, S.A. 2010. Minimizing Land Use and Nitrogen Intensity of Bioenergy. *Environ. Sci. Technol.* 2010, 44, 3932–3939
- Mitchell SR, Harmon ME and O'Connell KEB, 2012: Carbon debt and carbon sequestration parity in forest bioenergy production. *GCB Bioenergy* 4(6):818–827 (2012).
- Mohren, GMJ, H Hasenauer, M Köhl & G-J Nabuurs, 2011: Forest inventories for carbon change assessments. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2012, 4:686–695.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.002>.
- Morgenstern, EK, 2007: The origin and early application of the principle of sustainable forest management. *The Forestry Chronicle*, 2007, 83(4): 485-489, 10.5558/tfc83485-4.
- Nabuurs, Gert-Jan, Marcus Lindner, Pieter J. Verkerk, Katja Gunia, Paola Deda, Roman Michalak & Giacomo Grassi 2013: First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change*. Advance Online Publication. [www.nature.com/natureclimatechange](http://www.nature.com/natureclimatechange). Perspective, Published Online: 18 August 2013. DOI: 10.1038/NCLIMATE1853.
- Newell, Joshua P & Vos, Robert O., 2012 Accounting for forest carbon pool dynamics in product carbon footprints: Challenges and opportunities. *Environmental Impact Assessment Review* 37 (2012) 23–36. doi:10.1016/j.eiar.2012.03.005
- Nidarosdeklarasjonen 2012: "Primærnæringenes og matsektorens ansvar for grønn vekst", vedtatt på møtet i Nordisk ministerrådet for fiskeri och havsbruk, jordbruk, livsmedel (næringsmidler) og skogbruk (MR-FJLS) 28. juni 2012.
- Nielsen, Ulrik Bräuner, Inge Stupak Møller og Morten Ingerslev, 2013: Afgrøders produktionspotentiale og miljøvenlighed. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.
- Nilsson, Sten and Bull, Gary, 2005: Global Wood Supply Analysis. IIASA, Laxenburg, Austria, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada. Paper presented at 46th Session of the FAO Advisory Committee, Vancouver, Canada, May 2005, 20 pp
- NKJ 2013: "The Nordic Bio-economy Initiative". Initiativet tar for seg utvikling av et biobasert samfunn i Norden. Skissen "Det nordiska initiativ till biobaserat samhälle", som er utarbeidet av komiteen, ble lagt fram for MR-FJLS den 28. juni i Trondheim.: Nordisk komité for jordbruks- og matforskning (NKJ)
- Nord-Larsen, Thomas og Niels Heding, 2002: Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ hektar – opgørelse og prognose. Forskningscentret for Skov & Landskab. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift*, 87 (1), 1-72, April 1983. *Dansk Skovforening* ISSN 0905-295X.
- Nord-Larsen, Thomas, Vivian Kvist Johannsen, Torben Riis-Nielsen og Bruno Bilde Jørgensen (2012): *Skove og plantager 2010*, Skov & Landskab, Frederiksberg, 2012. 46 s. ill.
- Nord-Larsen, Thomas og Kjell Suadicani (2010): Træbrændselsressourcer fra danske skove over ½ ha – opgørelse og prognose 2010. Arbejdsrapport nr. 113, Skov & Landskab, Københavns Universitet, Frederiksberg, 53 s.
- O'Laughlin, J. 2010: Accounting for Greenhouse Gas Emissions from Wood Bioenergy. Response to the U.S. Environmental Protection Agency's Call for Information, including Partial Review of the Manomet Center for Conservation Sciences' Biomass Sustainability and Carbon Policy Study. College of Natural Resources, University of Idaho. Policy Analysis Group Report No. 31, September 13, 2010, 58pp.
- Odum, E. P. 1969: The strategy of ecosystem development. *Science* 164, 262–270.

- Pan, Yude, Richard A. Birdsey, Jingyun Fang, Richard Houghton, Pekka E. Kauppi, Werner A. Kurz, Oliver L. Phillips, Anatoly Shvidenko, Simon L. Lewis, Josep G. Canadell, Philippe Ciais, Robert B. Jackson, Stephen W. Pacala, A. David McGuire, Shilong Piao, Aapo Rautiainen, Stephen Sitch, Daniel Hayes, 2011: A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333, 988–993.
- Panduro, T.E. and B.J. Thorsen, 2013: Balancing omitted variable bias, multicollinearity and spatial autocorrelation in large scale hedonic models. Workingpaper, 10 pp. + app.
- Pennington, R.T., Cronk, Q.C.B. & Richardson, J.A. 2004: Introduction and synthesis: plant phylogeny and the origin of major biomes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 1455-1464.
- Perez-Garcia, John, Bruce Lippke, Jeffrey Comnick & Carolina Manriquez, 2005: An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results. *Wood and Fiber Science*, 37 Corrim Special Issue, 2005, pp. 140 – 148. The Society of Wood Science and Technology.
- Phillips, Oliver L. , Luiz E. O. C. Aragão, Simon L. Lewis, Joshua B. Fisher, Jon Lloyd, Gabriela López-González, Yadvinder Malhi, Abel Monteagudo, Julie Peacock, Carlos A. Quesada, Geertje van der Heijden, Samuel Almeida, Iêda Amaral, Luzmila Arroyo, Gerardo Aymard, Tim R. Baker, Olaf Bánki, Lilian Blanc, Damien Bonal, Paulo Brando, Jerome Chave, Átila Cristina Alves de Oliveira, Nallaret Dávila Cardozo, Claudia I. Czimczik, Ted R. Feldpausch, Maria Aparecida Freitas, Emanuel Gloor, Niro Higuchi, Eliana Jiménez, Gareth Lloyd, Patrick Meir, Casimiro Mendoza, Alexandra Morel, David A. Neill, Daniel Nepstad, Sandra Patiño, Maria Cristina Peñuela, Adriana Prieto, Fredy Ramírez, Michael Schwarz, Javier Silva, Marcos Silveira, Anne Sota Thomas, Hans ter Steege, Juliana Stropp, Rodolfo Vásquez, Przemyslaw Zelazowski, Esteban Alvarez Dávila, Sandy Andelman, Ana Andrade, Kuo-Jung Chao, Terry Erwin, Anthony Di Fiore, Eurídice Honorio C., Helen Keeling, Tim J. Killeen, William F. Laurance, Antonio Peña Cruz, Nigel C. A. Pitman, Percy Núñez Vargas, Hirma Ramírez-Angulo, Agustín Rudas, Rafael Salamão, Natalino Silva, John Terborgh, Armando Torres-Lezama, 2009: Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 323, 1344–1347.
- Polglase, Phil, Keryn Paul and Trevor Booth, 2008: Tree plantations still valid as carbon sinks. *Ensis*. The joint forces of CSIRO & SCION. 5 pp.
- Poor People's Energy Outlook 2012: Energy for earning a living, Practical Action Publishing, Rugby, UK. 110 pp. <http://www.biomass-energy.org/2012/02/united-nations-optimistic-about-renewable-energys-potential-in-the-developing-world/>
- Regeringens klimaplan, august 2013. På vej mod et samfund uden drivhusgasser. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. ISBN 978-87-93071-21-6. [www.kebmin.dk](http://www.kebmin.dk).
- Sathre R & O'Connor J, 2010b: A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts, 2<sup>nd</sup> edition. Technical Report No. TR 19 R, FPInnovations, Vancouver BC.
- Sathre R & O'Connor J, 2010: Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy*, 13, 104–114.
- Schou, Erik og Bo Jellesmark Thorsen, 2013: Økonomisk baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.
- Schou, Jesper S. og Kathrine Lausted Veie, 2012: Miljøgevinster eller snoreklipping? Målet om at fordoble skovarealet er et generelt mål, som ikke tager højde for, at natur- og miljøgoderne fra skov er forskelligartede. *NYE TIDER FOR SKOV* moMentum NR. 2 2012, 14-16
- Schwaiger, Hannes P., & David Neil Bird, 2010: Integration of albedo effects caused by land use change into the climate balance: Should we still account in greenhouse gas units? *Forest Ecology and Management* 260, 278–286. doi:10.1016/j.foreco.2009.12.002.
- Searchinger, Timothy D., Steven P. Hamburg, Jerry Melillo, William Chameides, Petr Havlik, Daniel M. Kammen, Gene E. Likens, Ruben N. Lubowski, Michael Obersteiner, Michael Oppenheimer, G. Philip Robertson, William H. Schlesinger, G. David Tilman, 2009: Fixing a critical climate accounting error. *Science* 326:527–528.
- Sedjo, RA, 2011 Carbon Neutrality and Bioenergy. A Zero-Sum Game ? RFF DP 11-15. Resources for the Future, Washington DC.

- Sedjo, Roger & Tian, Xiaohui, 2012: Does Wood Bioenergy Increase Carbon Stocks in Forests? *Journal of Forestry*. 110(6):304–311 <http://dx.doi.org/10.5849/jof.11-073>
- Sedjo, Roger A., 2013 Comparative Life Cycle Assessments: Carbon Neutrality and Wood Biomass Energy. Resources for the Future. Discussion Paper 13-11. 1616 P St. NW Washington, DC 20036 202-328-5000 [www.rff.org](http://www.rff.org).
- Skovpolitisk Udvalg, 2011: Fremtidens skov – anbefalinger fra Skovpolitisk Udvalg 2011. Skovpolitisk Udvalg blev nedsat af Miljøministeren i juni 2010. Formålet var at komme med anbefalinger til hvordan samfundets interesser i private og offentlige skove, ud fra en helhedsvurdering, kan imødekommes. Udvalget afsluttede arbejdet i juni 2011. ISBN: 978-87-7279-215-6
- Strauss W, 2011: How Manomet got it Backwards: Challenging the “Debt-Then-Dividend’ Axiom. Futuremetrics. Available at: <http://www.futuremetrics.net/papers/Manomet%20Got%20it%20Backwards.pdf>.
- Tonini, Davide, Lorie Hamelin, Henrik Wenzel, & Thomas Astrup, 2012: Bioenergy Production from Perennial Energy Crops: A Consequential LCA of 12 Bioenergy Scenarios including Land Use Changes. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 13521–13530. [dx.doi.org/10.1021/es3024435](http://dx.doi.org/10.1021/es3024435).
- UNECE 2010: Forest product conversion factors for the UNECE region. Geneva Timber and Forest Discussion Paper 49. United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the United Nations. Timber Section, Geneva, Switzerland. Pp i-vii, 1-38. ECE/TIM/DP/49.
- Upton, Brad, Reid Miner, Mike Spinney, Linda S. Heath, 2008: The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. *Biomass and Bioenergy* 32, 1 – 10. doi:10.1016/j.biombioe.2007.07.001
- Verkerk, Pieter Johannes, Perttu Anttila, Jeannette Eggers, Marcus Lindner, Antti Asikainen, 2011: The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. *Forest Ecology and Management* 261, 207-215. doi:10.1016/j.foreco.2011.02.027.
- Vores energi, Udgivet af regeringen. November 2011, 43 pp. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. ISBN 978-87-7844-914-6. Elektronisk publikation ISBN 978-87-7844-916-0.
- Vækstteam for vand, bio & miljøløsninger 2012: Anbefalinger November 2012, pp 43 Vækstteamet vand, bio & miljøløsninger blev nedsat i april 2012 som led i regeringens arbejde med en ny erhvervs- og vækstpolitik.
- Wang, S., J.M. Chen, W.M. Ju, X. Feng, M. Chen, P. Chen, G. Yu, 2007: Carbon sinks and sources in China’s forests during 1901–2001. *Journal of Environmental Management* 85 (2007) 524–537. doi:10.1016/j.jenvman.2006.09.019.
- Wiersum, K.F., 1995: 200 years of sustainability in forestry: lessons from history. *Environ. Manage.* 19:321–329.
- Wintzell, J. 2012 Global demand for wood and fibre in the next 20 years, *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 4 2012, 28-30
- Wintzell, J. 2012 – artikel i *Skoven* Global efterspørgsel på træ stiger langsomt. *Skoven* 9, 386-388. Dansk Skovforening. ISSN 0106-8539.
- Wright, SJ 2012: The carbon sink in intact tropical forests. *Global Change Biology* (2013) 19, 337–339, doi: 10.1111/gcb.12052
- WWF 2011: WWF Living Forests Report: Chapter 1 Forests for A living planet. Published in April 2011 by WWF – World Wide Fund for Nature (Formerly World Wildlife Fund), Gland, Switzerland. WWF International [www.panda.org](http://www.panda.org). ISBN 978-2-940443-32-1
- WWF 2012: WWF Living Forests Report: Chapter 4 Forests and Wood Products. Published in December 2012 by WWF – World Wide Fund for Nature (Formerly World Wildlife Fund), Gland, Switzerland. WWF International [www.panda.org](http://www.panda.org). ISBN 978-2-940443-32-1
- York, R., 2012: Do alternative energy sources displace fossil fuels? *Nature Climate Change* 2, 441-443. Doi:10.1038/NCLIMATE1451.

## 7 Baggrundsnotater

Som et led i udarbejdelsen af nærværende rapport er der lavet 5 baggrundsnotater:

- Klimaændringernes betydning for træartsvalg og produktion
- Udvidelse af produktionen gennem artsvalg og forædling
- Afgrøders produktionspotentiale, miljøvenlighed og energieffektivitet
- Økonomi
- Scenarie modellering ift. vedmasse produktion og kulstofpuljer med forskellige virkemidler

De fulde referencer til de fem papirer, som er samlet i et særskilt bilag, er:

Hansen, Jon Kehlet, Lars Graudal, Hans Peter Ravn, Erik D. Kjær, 2013a: Klimaændringernes betydning for træartsvalg og produktion. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.

Hansen, Jon Kehlet, Ulrik Bräuner Nielsen og Lars Graudal, 2013b: Analyse af muligheder for at øge biomasseproduktionen fra de danske skove gennem forædling. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.

Nielsen, Ulrik Bräuner, Inge Stupak Møller og Morten Ingerslev, 2013: Afgrøders produktionspotentiale og miljøvenlighed. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.

Schou, Erik og Bo Jellesmark Thorsen, 2013: Økonomisk baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.

Johannsen, Vivian Kvist, Thomas Nord-Larsen, Niclas Scott Bentsen, Kjell Suadicani, Jon Kehlet Hansen, Ulrik Bräuner Nielsen & Lars Graudal, 2013b: Scenarieberegning for biomasseproduktion i skov – virkemidler og forudsætninger. Baggrundsnotat til Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi. Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2110.

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB  
OG NATURFORVALTNING  
KØBENHAVNS UNIVERSITET

ROLIGHEDSVEJ 23  
1958 FREDERIKSBERG C

TLF. 3533 1500  
[WWW.IGN.KU.DK](http://WWW.IGN.KU.DK)