

Livscyklusvurdering af danskproducerede juletræer

LCA-screening leveret til Danske Juletræer

Projekt af

Claus Nordstrøm Scheel^a, Projektleder

^a cns@forcetechnology.com, +45 42627027, Force Technology, 2605 Brøndby, Denmark



Internt kvalitetssikret af:

Mirko Miseljic^b, Specialist

^b mimi@forcetechnology.com, +45 42627319, Force Technology, 2605 Brøndby, Denmark

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion	3
1.1. <i>LCA screeningstudiets formål.....</i>	3
2. Metode	3
2.1. <i>LCA-metode.....</i>	3
2.2. <i>Definition af funktionel enhed</i>	4
2.3. <i>Scenarier: Variation af juletræsproduktion inkluderet i studiet</i>	5
2.4. <i>Systemafgrænsning.....</i>	6
2.5. <i>Livscyklusfaser og -data</i>	7
2.5.1. <i>Transport</i>	7
2.5.2. <i>Energi.....</i>	8
2.5.3. <i>Materialer, emballage og bortskaffelse</i>	8
2.5.4. <i>Biogent kulstof.....</i>	8
2.5.5. <i>Maskineri</i>	9
2.5.6. <i>Pesticider og øvrig agrokemi</i>	9
2.5.7. <i>Gødning</i>	9
2.5.8. <i>Port-til-Grav.....</i>	9
2.5.8.1. <i>Genanvendelse: Træflisproduktion og undgået produktion</i>	10
2.5.8.2. <i>Forbrænding med energiudnyttelse og undgået produktion</i>	10
2.6. <i>Begrænsninger.....</i>	10
2.7. <i>Inklusion af sensitivitetsscenario: Uden privat kørsel</i>	11
3. Resultater.....	11
3.1. <i>Karakteriserede resultater</i>	12
3.2. <i>Normaliserede resultater</i>	17
3.3. <i>Bidrag til påvirkninger</i>	18
4. Diskussion.....	19
5. Konklusion.....	20
6. Referencer	21
7. Appendikser	22
7.1. <i>Appendiks 1: LCI og modellering</i>	22
7.2. <i>Appendiks 2: Resultater på tabelform</i>	22

1. Introduktion

1.1. LCA-studiets formål

LCA-screeningstudiet er udført af FORCE Technology og bestilt af Danske Juletræer, der er en landsdækkende brancheforening, som henvender sig til 2500 virksomheder, der arbejder med juletræer og klippegrønt (Danske Juletræer, n.d.). I Danmark produceres årligt 11,5 millioner juletræer, hvoraf 10 millioner eksporteres til udlandet¹. Det overordnede formål med studiet er at kvantificere potentielle miljøpåvirkninger ved dansk juletræsproduktion (af arten Nordmannsgran), derunder to alternative produktionsmetoder. Derved kvantificeres påvirkninger indenfor 19 miljøkategorier, via en vugge-til-grav LCA-screening. Resultaterne vil blive kommunikeret B2B og til forbrugere.

2. Metode

2.1. LCA-metode

Formålet med studiet er at kvantificere og dokumentere en bred vifte af miljøpåvirkninger for produktionen af juletræer i Danmark (vugge-til-grav), herunder hele dens værdikæde. Den overordnede metode er Attributional LCA (ALCA). Studiet følger ISO 14040 og 14044 samt Product Environmental Footprint-standarden (PEF, EC, 2019), omend ikke udtømmende, da det er på screeningsniveau. Der anvendes således en holistisk tilgang, for at medtage hele livscyklussen startende fra udvinding af ressourcer, transport, selve produktionen (med et forløb på op til 15 år på flere forskellige landbrugslokationer) samt brug af en række agrokemikalier og vanding til End-of-life (EoL)-behandling² af træet efter brug, emballage og andre brugte materialer.

Modelleringen er foretaget i GaBi LCA-software. Den anvendte Life Cycle Impact Assessment (LCIA) metode er den nyeste udgave af Environmental Footprint (EF 3.0) udgivet af EC (2019), men herfra blot refereret til som PEF. Herved opgøres 19 miljøpåvirkningskategorier for en komplet forståelse af det observerede systems miljøpåvirkninger. De 19 kategorier vises i Tabel 1. Overordnet set kan LCIA resultater præsenteres som karakteriserede (f.eks. global opvarmning bidrag omregnet i CO₂-ækvivalenter, CO₂e), normaliserede (f.eks. global opvarmning bidrag i gennemsnit per person per år i verden – udtrykt i person ækvivalenter (PE)) og vægtede (f.eks. global opvarmning bidrag per person per år i verden ganget med en værdifaktor der udtrykker vigtigheden af påvirkningen – udtrykt i personækvivalenter targeted (PET)). I dette studie præsenteres de karakteriserede og normaliserede resultater, idet der ofte er uenighed omkring vægtningsfaktorerne. Denne LCA er på screeningsniveau, hvilket blandt andet betyder, at den ikke er tredjeparts-reviewet, samt at visse aspekter ikke er underlagt en grundigere undersøgelse (f.eks. datakvalitetsevaluering samt sensitivitet- og usikkerhedsanalyse).

¹ Information modtaget per korrespondance med Danske Juletræer

² Affaldsbehandling

Tabel 1: Oversigt over de opgjorte miljøpåvirkningskategorier (EF 3.0 - midpoint)

Miljøkategori	Enhed for miljøindikator	Kort forklaring
Acidification	Mole H ⁺ eq	Forsuring af jord- og vandmiljø
Climate Change	kg CO ₂ e	Klimaændringer, total. Målt i drivhusgasudledninger
Climate Change, biogenic	kg CO ₂ e	Klimaændringer, biogen (fra biomasse)
Climate Change, fossil	kg CO ₂ e	Klimaændringer, fossil
Climate Change, land use and land use change	kg CO ₂ e	Klimaændringer fra ændringer i brug af areal, f.eks. afskovning
Ecotoxicity, freshwater - total	CTUe	Toksisk skadelig påvirkning på dyreliv i ferskvandsmiljø
Eutrophication, freshwater	kg P eq	Næringsstofudvaskning i ferskvandsmiljø med bl.a. algetilvækst som resultat
Eutrophication, marine	kg N eq	Næringsstofudvaskning i havmiljø med bl.a. algetilvækst som resultat
Eutrophication, terrestrial	Mole N eq	Næringsstofudvaskning i jord og naturmiljøer
Human toxicity, cancer - total	CTUh	Kritisk menneskelig helbredsskadende påvirkning (cancer)
Human toxicity, non-cancer - total	CTUh	Kritisk menneskelig helbredsskadende påvirkning (ikke cancer)
Ionising radiation, human health	kBq U235 eq	Menneskelig helbredsskadende påvirkning fra radioaktiv stråling
Land Use	Pt	Globalt brug af og ændringer i landareal
Ozone depletion	Kg CFC-11 eq	Nedbrydning af det atmosfæriske ozon-lag
Particulate matter	Disease incidences	Menneskelig helbredsskadende påvirkning fra partikler i luften
Photochemical ozone formation, human health	kg NMVOC eq	Menneskelig helbredsskade gennem ozon-dannelse fra luftforurening
Resource use, fossils	MJ	Fossilt ressourceforbrug
Resource use, mineral and metals	kg Sb eq	Ressourceforbrug fra mineraler og metaller
Water use	m ³ world eq	Vandforbrug

Miljøpåvirkningerne vises i form af et positivt tal, f.eks. 5 kg CO₂e, hvilket betyder en udledning af drivhusgasser (kan også være f.eks. metan og lattergas) til atmosfæren svarende til 5 kg CO₂. I nogle livscyklusvurderinger medtages dog som en del af et system, at en bestemt aktivitet fortrænges et andet sted som resultat af det observerede system. Dermed medtages i livscyklusvurderingen de undgåede miljøpåvirkninger af den fortrængte aktivitet, men med *negativt fortegn*, altså f.eks. -2 kg CO₂. Dermed opstår muligheden for negative resultater, der ofte er et udtryk for enten i) fortrængt produktion eller ii) for miljøkategorien klimaændringer kan det også være et CO₂-optag f.eks. fra et træ (gennem fotosyntese).

2.2. Definition af funktionel enhed

Studiets funktionelle enhed er produktionen af ét dansk juletræ (nordmannsgran) til brug som pynt i et hjem i julehøjtid i Europa. Desuden skal juletræet have visse kvalitetsrelaterede karakteristika (se Tabel 2). Dette varierer dog en smule mellem de inkluderede scenarier (der er beskrevet i følgende afsnit 2.3), hvilket kan have en indflydelse på markedssegmentet, de appellerer til samt nogle af de underliggende parametre relateret til opfyldelsen af den funktionelle enhed. Således kan det være at en gruppe forbrugere har visse krav til deres juletræ (f.eks. mørkegrøn farve), mens en anden gruppe har andre (f.eks. økologisk certificering). I den sammenhæng lægges der vægt på at indeværende studie ikke er en komparativ LCA af de tre varianter af juletræer, idet træerne opfylder forskellige køberkrav. De potentielle forskelle for variationer af opfyldelse af den ønskede funktion er forsøgt illustreret i Tabel 2.

Juletræet har ydermere tre sekundære funktioner, som er genanvendelse ved produktion af træflis samt brændstof til produktion af elektricitet og varme ved en afbrænding på et kraftvarmeværk eller forbrændingsanlæg med energiudnyttelse.

Tabel 2: Forskelle i karakteristika relateret til opfyldelse af funktion.

	Hovedscenarie	Økologisk produktion	Potteproduktion
Højde [m]	2	2	1,2
Vægt [kg]	18	15	12
Grentæthed	Høj	Lav	Høj
Potte	Nej	Nej	Ja
Økologisk certificeret	Nej	Ja	Nej
Nålefarve	Mørk grøn	Grøn	Mørk grøn

2.3. Scenarier: Variation af juletræsproduktion inkluderet i studiet

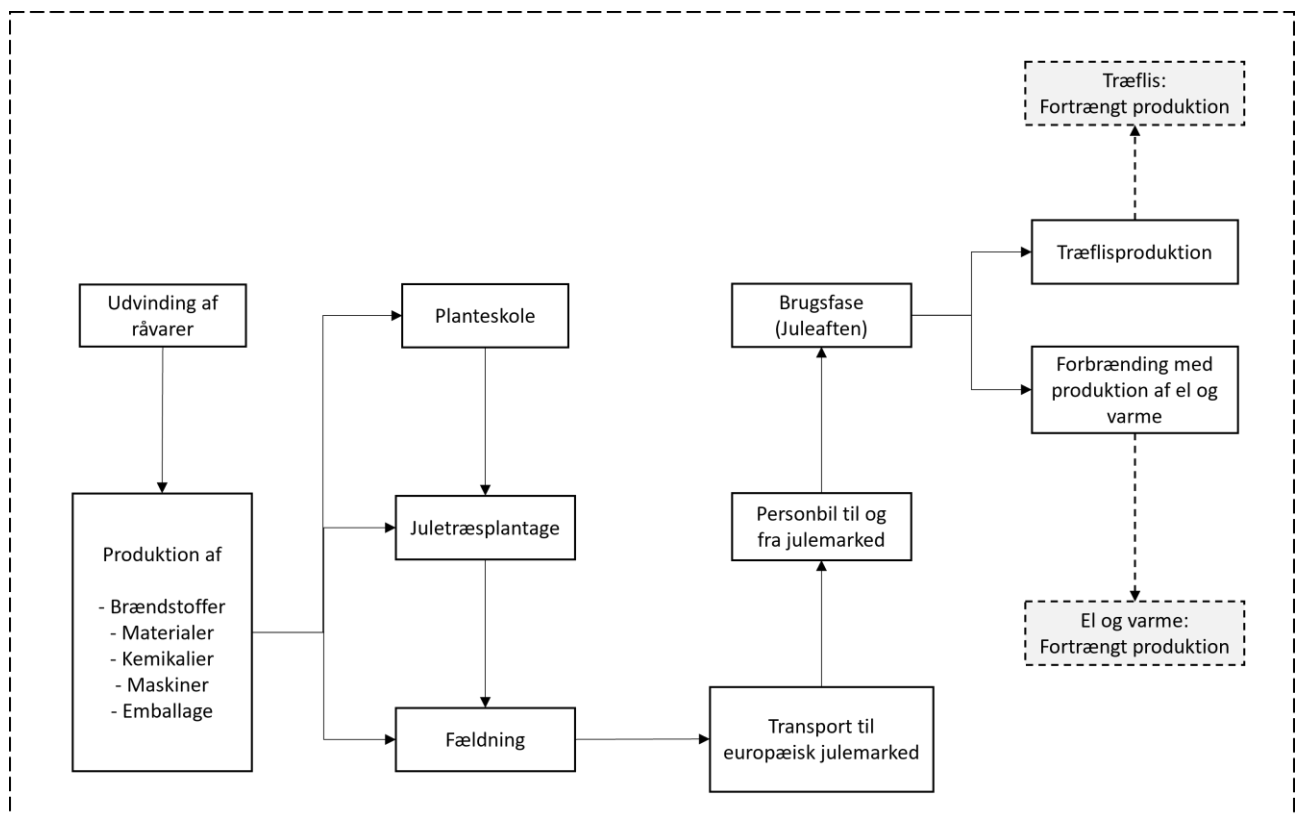
Studiets hovedscenarie dækker over konventionel juletræsproduktion i en dansk kontekst, og derudover inkluderes to øvrige scenarier: Økologisk produktion og potteproduktion. Forskellene mellem scenarierne er omfattende og kan ses i Appendiks 1. Tabel 3 kortfatter de overordnede forskelle mellem scenarierne.

Tabel 3: Oversigt over de overordnede forskelle mellem de tre bestilte scenarier.

	Hovedscenarie: Konventionel produktion	Økologisk produktion	Potteproduktion
Planteskole			
Renholdelse for ukrudt	Kemisk/mekanisk	Mekanisk	Kemisk/mekanisk
Gødning	Kunstgødning	Organisk gødning	Kunstgødning
Skadedyrsbekæmpelse	Ja	Nej	Ja
Hovedproduktion			
Plantetal (stk/ha)	6000	5000	12500
Salgbare træer (stk/ha)	4500	4000	12000
Ukrudtsbekæmpelse	Kemisk	Mekanisk	Kemisk
Gødning	Kunstgødning	Organisk gødning	Kunstgødning
Skadedyrsbekæmpelse	Kemisk	Kemisk - basisstoffer	Kemisk
Topskudregulering	Kemisk	Mekanisk	Kemisk
Vanding	Nej	Nej	Ja
Vægt af træ (kg)	18	15	12
CO ₂ -optag pr. træ (kg)	19,3	15	9,5

2.4. Systemafgrænsning

Systemet, der i dette studie granskes, spænder fra vugge til grav (inkl. opstrøms udvinding af råmaterialer). Således indbefatter det udvinding af råstoffer, materialeproduktion til input i juletræsproduktionen (både planteskole og juletræsplantage), transport af råstoffer, materialer, emballage og juletræ til både produktion, juleaften og til sidst affaldsforbrænding og træflisproduktion. Derudover er inkluderet brugen af pesticider, gødning og andre inputs til selve dyrkningen. Ligeledes er for alle brugte materialer samt selve juletræet inkluderet det mest sandsynlige end-of-life scenarie. For juletræet indebærer det delvis forbrænding med energiudnyttelse og delvis træflisproduktion, herunder systemudvidelse med fortrængt produktion af førnævnte (mere om dette scenarie i Afsnit 2.5.8. samt underafsnit). Systemafgrænsningen er visualiseret i Figur 1.



Figur 1. Systemafgrænsning for LCA-screening af dansk juletræsproduktion (Nordmannsgran). Pile mellem processer kan også indikere transport.

2.5. Livscyklusfaser og -data

I henhold til studiets livscyklusfaser og modelleringsvalg er de væsentligste aspekter beskrevet i det følgende. Studiet er bygget på primære data leveret af brancheforeningen, Danske Juletræer, som har indsamlet data fra producenter og planteskoler³. Derudover er benyttet sekundære data fra LCA-databaserne Sphera (fortrinsvist) og EcoInvent 7.1. Studiet er desuden bygget på data fra litteraturen og en række antagelser, hvor data ikke rakte. Det drejer sig især om modelleringen af port-til-grav delen, altså efter selve juletræsproduktionen. Hovedparten af livscyklusen og de mest centrale elementer er inkluderet i modellen. Ikke desto mindre, er et fåtal modellerings-elementer med særlig høj kompleksitet ekskluderet på grund af studiets afgræsning, på trods af at de ville øge modellens robusthed. Disse elementer er beskrevet i følgende afsnit om livscyklusfaser og sammenfattet i Afsnit 2.6.

Data er indhentet pr. hektar juletræsproduktion, og LCA-modellen er ligeledes opbygget pr. hektar, hvorefter resultaterne nedskaleres til den funktionelle enhed på ét træ til marked. Al inventory data findes i Appendiks 1. Data er leveret opdelt i en række kronologiske livscyklusfaser som ligeledes er benyttet i selve modellen. De pågældende faser er Planteskole (frøbed og eventuelt prikled), Dyrkning (arealforberedelse, plantning, ukrudtsbekæmpelse, skadevolderbekæmpelse, gødning), Høst og til sidst Port-til-grav. I resultat-afsnittet benyttes en tematisk opdeling efter aktivitetstype fremfor den kronologiske i ovenstående. Således er følgende gennemgang af modellering af livscyklusfaser udgjort af en blanding af de to for det mest komplette overblik.

2.5.1. Transport

Transport dækker både over fragt af produkter, materialer og råvarer til brug i produktionen enten i planteskole eller i juletræsplantagen. I data modtaget fra Danske Juletræer (i Appendiks 1) er for mange materialer og inputs angivet et oprindelsesland eller sågar -by. Derfra er antaget en sandsynlig eller gennemsnitlig lokation i det land og en gennemsnitlig landevejstransportroute er beregnet (se nedenstående Tabel 4 for oversigt). En Diesel Euro 5 34-40 tons lastbil er antaget (herunder standard udnyttelsesgrad), og således er transport opgjort i km-ton for det pågældende produkt. Det samme gør sig gældende for transport af juletræer til det europæiske marked. Der produceres på den gode side af 11,5 millioner juletræer i Danmark årligt, hvoraf fordelingen til de europæiske markeder er vist i Tabel 5. For privat transport af juletræ til og fra julemarked er antaget 2x 10 km i en Euro 6 mindre benzinbil (1,4 L-motor).

Tabel 4: Transportantagelser på tværs af modellen

Afsendelseslokation	Rute antaget	Afstand (km)
Frankrig	Lyon-Odense	1490
Tyskland	Ludwigshafen-Odense	934
Østrig	Linz-Odense	1190
Finland	Uusikaupunki-Odense	1190
Rusland	Moksva-Odense	2407
Spanien	Madrid-Odense	2472
Lokalt i Danmark (eller EU)	-	100
Nærliggende europæisk land	Odense-Rotterdam	798

³ Løbende kommunikation med Claus Jerram Christensen (mailkorrespondance, april-september, 2022)

Tabel 5: Markedsandele for salg af danske juletræer

Marked	Andel
Tyskland	45%
Danmark	15%
Frankrig	10%
Holland	9%
Storbritannien	7%
Sverige	6%
Øvrige europæiske lande	8%

2.5.2. *Energi*

For energi følges standard ALCA praksis med benyttelse af gennemsnitsprocesser og -datasæt for så vidt muligt. Dette er gjort på landeniveau, så materialer og inputs fra eksempelvis Tyskland er modelleret med tyske datasæt, herunder gennemsnitlig tyskproduceret energi forbrugt i produktionen. For varme er gennemsnitsdatasæt dog ikke tilgængelige. Således er for dansk varmeforbrug (og fortrængt produktion) benyttet varmeproduktion baseret på biomasse, som udgør den største kilde. Se Afsnit 2.5.8.2 for fortrængt varme i en europæisk kontekst.

2.5.3. *Materialer, emballage og bortskaffelse*

Både for hegn (galvaniseret jern), diverse plastikemballage og øvrige materialer er hele livscyklussen inkluderet i modellen (vugge-til-grav). Til genanvendelse af materialer er benyttet PEF's Circular Footprint Formula (CFF), hvilket betyder, at en vis fraktion ($I - A$) af både emissioner og gevinst fra fortrængt primær produktion af samme materiale allokeres til næste livscyklus (hvor det givne materiale benyttes). Værdier for A blevet slået op i PEF's Annex C som PEF foreskriver. Dette gælder kun for genudvinding af materialer og altså ikke energi. For alle plastmaterialer på tværs af geografiske forhold blev det antaget at EoL efter brugsfasen bestod i transport til et lokalt forbrændingsværk med energiudnyttelse, da det er den mest udbredte skæbne for plastaffald i Europa (EP, 2021). For anvendelsen af bioplast i scenariet Potteproduktion er det, baseret på dokumentation fra Danske Juletræer, vurderet til at være LDPE produceret af majsstivelse. Selvom det i teorien er bioplast (bionedbrydeligt ved bestemte forhold), er det antaget at lide samme EoL-skæbne som øvrigt plast: Forbrænding med energiudnyttelse.

2.5.4. *Biogent kulstof*

Det biogene kulstofkredsløb i løbet af juletræets levetid er inkluderet i modellen på et elementært niveau. Brancheforeningen Danske Juletræer har leveret data for eksterne målinger af kulstofoptag i løbet af et (konventionelt dyrket) juletræs vækstperiode svarende til et optag af 19,255 kg CO₂ fra atmosfæren (svarende til 5,25 kg C). Dette frigives igen delvist ifm. i) kompostering af usalgbare træer, ii) forbrænding i EoL og iii) som træflis, der forlader systemet og har en forholdsvist kort levetid. Sidstnævnte er et dummy-flow, idet reelt først udledes efter at træflisen har gennemlevet sin livscyklus. Således er det biogene kulstofkredsløb modelleret til at gå i nul hen over livscyklussen. Det er i modellen antaget, at hele træet sendes til marked. Der er således ikke taget højde for kulstof- og næringsstof-flows mellem jord, træ og den tilbageværende rod efter fældning. Se også Afsnit 2.6.

2.5.5. *Maskineri*

I en stor del af arbejdet med jord og træer er benyttet maskineri. Data leveret til projektet er i liter dieselforbrug. Det drejer sig i høj grad om traktorer og portaltraktorer med dieselforbrug. Til modellering af maskineri, som proxy⁴, er der benyttet dieseltraktor-datasæt (fra Sphera). Dette er vurderet til at være en repræsentativ tilgang, da det dækker gennemsnitlig brug af maskine med forbrændingsmotor samt produktion af diesel i en EU-sammenhæng.

2.5.6. *Pesticider og øvrig agrokemi*

Pesticider og øvrige agrokemikalier er modelleret som produktion af kemikaliet og et antaget 100% flow til miljørummet⁵ landbrugsjord, som i LCA-termer hedder *agricultural soil*. Et ældre LCA-studie af juletræer benytter samme antagelse (Ellipsos, 2009). Ifølge Gentil et al. (2020) er dette en forsimplet antagelse, der tidligere har været normal praksis i LCA, som beskrevet af Nmecek og Schnetzer (2011). I virkeligheden optages pesticidet både i plante, jord, fordamper til luft og udvaskes til øvrigt miljø (f.eks. ferskvand eller grundvand) afhængigt af afgrøde, pesticid, vejr, jordtype og øvrige forhold. Denne modellering kunne have været præciseret eksempelvis med brug af en model såsom PestLCI 2.0 (Dijkman et al., 2012). Men givet indeværende studies begrænsede omfang, er dette udeladt. Da pesticider er komplekse kemikalier, og da der er en betydelig mængde kemikalier i brug på det europæiske marked, er der en del kemikalier, hvortil der ikke eksisterer datasæt for hverken produktion eller anvendelse på mark og afgrøde. I de tilfælde er anvendt en proxy i form af uspecificeret pesticidproduktion, mens anvendelse på mark er negligeret. Se *list of proxies* i Appendix 1, for at se hvilke agrokemikalier, der er modelleret ved brug af proxies.

2.5.7. *Gødning*

Modelleringen af produktion og anvendelse af gødning i indeværende studie er begrænset til gødningsproduktion, da anvendelse af gødning på mark er kompliceret og ikke inkluderet i denne LCA-screening (Ellipsos, 2009). Brugen af gødning i dansk juletræsproduktion varierer mellem konventionel NPK-gødning, magnesium-gødning, mangan-gødning (proxy benyttet) samt organisk gødning til økologisk produktion. For den organiske gødning er anvendt en proxy i form af organisk N-, P-, og K-gødning (i den specificerede ratio) for det faktiske brug af et gødningsprodukt baseret på døde organismer. Se Appendix 1 med en *list of proxies*.

2.5.8. *Port-til-Grav*

Den sidste del af træets livscyklus er port-til-grav-delen startende med transport til et europæisk marked som beskrevet i afsnit 2.4.1. Dernæst kommer brugsfasen (julehøjtiden) og til sidst bortskaffelsesscenariet (EoL). En EU-rapport af BioReg (2018) viser at træaffald gennemsnitligt i europæiske lande behandles på to måder: Omtrent halvdelen sendes til forbrænding med energiudnyttelse, mens den anden halvdel genanvendes primært i form af træflisproduktion, der vurderes at blive brugt i spånplader. Det samme gør sig i øvrigt gældende for dansk træaffald, hvor omtrent halvdelen bliver forbrændt med energiudnyttelse, mens 38% genanvendes i spånpladeproduktion (Miljøstyrelsen, 2018). For Tyskland, som udgør den største individuelle markedsandel for dansk juletræseksport, er tendensen sammenlignelig, men med en 2:1 overvægt til forbrænding med energiudnyttelse (BioReg, 2018). I indeværende studie er juletræets EoL derfor modelleret halv-halv mellem forbrænding med energiudnyttelse i en europæisk kontekst og genanvendelse i form af træflisproduktion. Mere om dette i afsnit 2.5.8.1 og 2.5.8.2.

I forbindelse med træets kulstofindhold (5,25 kg/18kg) på 29% antages det, at det udgør halvdelen af tørstofindholdet som dermed i alt ligger på 58% af de 18 kg ved fældning. Dermed har juletræet ved fældning et vandindhold på 42%.

⁴ Se *List of proxies* i Appendix 1. for forklaring.

⁵ I LCA-terminologi skelnes mellem forskellige *environmental compartments* (her kaldet miljørum). Miljøpåvirkningen af en proces afhænger af hvilke emissioner, der havner i hvilke miljørum (atmosfære, grundvand, jord osv.).

Derfra kan der gå mellem en uge og tre måneder fra fældning til EoL. På et år kan et ny-fældet træ vandindhold falde til 10-15%, og på den baggrund antages at træet på gennemsnitligt 1-2 måneder taber 12%-point af den samlede vægt (knap en tredjedel) vandindhold og ender på 30% ved EoL. Jævnfør Skov-info (1996) om korrelation mellem træ vandindhold og nedre brændværdi, svarer det til en værdi på 12,7 GJ/ton (eller MJ/kg). Træet, der har et uændret tørstofindhold på to gange kulstofindholdet ($5,25 \text{ kg} \times 2 = 10,5 \text{ kg}$), har derved en samlet vægt på 15,84 kg (og derved ikke længere 18 kg, fordi 12 %-point vandindhold er fordampet,). Dette er således den vægt som transporteres til EoL og som hhv. forbrændes og genanvendes.

2.5.8.1. Genanvendelse: Træflisproduktion og undgået produktion

Som beskrevet i ovenstående (Afsnit 2.5.8.) er det kortlagt at halvdelen af træaffald (i Europa såvel som Danmark og Tyskland) genanvendes, idet det bliver opskåret til træflis og derfra hovedsageligt til spånplader. I indeværende studie er det med henvisning til DS/EN 16485 vurderet at *End-of-waste state* opnås i dét øjeblik⁶, juletræerne er blevet til træflis, der i sig selv 1) i almen forstand kan benyttes til diverse formål og 2) deraf har økonomisk værdi.

Det betyder, at det studerede system nu har flere produkter: Hovedproduktet er et juletræ, mens træflis er et såkaldt ko-produkt. Derfra udføres i henhold til ISO 14044 en systemudvidelse, hvor den ekstra produktion af træflis i det observerede system *fortrænger* en tilsvarende mængde træflis, der *ellers* ville være blevet produceret. Det betyder i dagligdagstermer, at hvis produktionen af ét juletræ fører til x kg træflis, inkluderer vi nu ligeledes miljøpåvirkningerne fra $-x$ kg træflis produceret et andetsteds. Til dette formål er valgt et datasæt for sekundær træflisproduktion, altså resttræ, fra et savværk. Her er i henhold til PEF-metoden anvendt The Circular Footprint Formula, som er beskrevet i afsnit 2.5.3.

2.5.8.2. Forbrænding med energiudnyttelse og undgået produktion

Den anden halvdel af juletræet sendes til forbrænding med energiudnyttelse i en europæisk kontekst. På samme vis som i ovenstående produceres for hvert afbrændte juletræ en mængde el og varme (ko-produkter), hvilket håndteres med en systemudvidelse, der inkluderer fortrængt produktion. Siden port-til-grav er i en europæisk skala fortrænges her en mængde gennemsnitlig europæisk el (her bruges et Sphera-datasæt⁷). Varmen, der fortrænges i systemet, er modelleret baseret på en Eurostat-oversigt⁸ over gennemsnitlig europæisk varmeproduktion i 2020, fordi præcisionen af dette datasæt viste sig at være vigtig for resultaterne.

2.6. Begrænsninger

Da LCA-studiet gennemføres på screeningniveau, er der en række elementer, som ikke er medtaget i modelleringen af studiet på trods af en potentiel relevans for resultater samt en forøgelse af robusthed og kompletthed af studiet. Det drejer sig i særdeleshed om fem områder:

- Anvendelse af gødning på mark. Næringsstof-flows i en jordlagsmodellering. Dette kunne potentielt øge påvirkning især i *eutrophication*-kategorierne.
- Mere detaljeret modellering af pesticider på mark. Som nævnt i Afsnit 2.5.6. kunne dette aspekt have været præciseret eksempelvis med brug af en model såsom PestLCI 2.0 (Dijkman et al., 2012)

⁶ Standarden specificerer endda, at "When secondary wood is recycled, e.g. into particle board, the point of functional equivalence is reached at the point of equivalent dimensions and moisture content of the two types of chips."

⁷ Electricity grid mix, EU-28

⁸ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics#Derived_heat_production

- Land Use and Land Use Change (LULUC)-modellering. Dette er ligeledes et særdeles komplekst aspekt af LCA-metodik, men denne tilføjelse ville potentielt kunne bidrage betragteligt til miljøkategorierne *Climate change*, *LULUC* (og dermed *Climate change, total*) og *Land use*.
- Generel modellering af jordbundsforhold, herunder kulstof- og næringsstof-flows. Dette gælder også en temporal⁹ modellering af biogene kulstof-flows, således at der differentieres mellem hvornår en juletræsplante har optaget CO₂, og hvornår det er frigivet. Således ville det biogene kredsløb ikke nødvendigvis gå i nul hen over livscyklussen.
- Komplet liste af datasæt for inputs til system. Der er anvendt en række *proxies* i studiet, når der ikke har været tilgængelige datasæt for f.eks. produktion af kemikalier. En proxy betyder et datasæt, der er valgt til at dække for en aktivitet, der ikke er tilgængelige data for. Den såkaldte *List of proxies* er en del af Appendix 1.

2.7. Inklusion af sensitivitetsscenario: Uden privat kørsel

Resultaterne, der vises i Afsnit 3, vil inkludere de tre scenarier per aftale med Danske Juletræer samt et sensitivitetsscenario. Sidstnævnte er tilføjet for at illustrere vigtigheden af en bestemt del af livscyklus samt for at diskutere LCA-modellens og resultaternes følsomhed overfor ændringer i et parameter. Det inkluderede sensitivitetsscenario er en kopi af hovedscenariet med den eneste ændring at privat kørsel er fjernet fra modellen (sat til nul). Scenariet vil fremover blive omtalt som *Uden privat kørsel* eller *sensitivitetsscenario*.

3. Resultater

LCA-resultaterne, i form af en bred vifte af miljøpåvirkninger (i kategorierne vist i Tabel 1), er i det følgende præsenteret for de fire scenarier (Hovedscenarie, to ekstrascenarier og et sensitivitetsscenario som beskrevet i Afsnit 2.7.). Disse er i første omgang vist i karakteriseret form (Afsnit 3.1.), f.eks. drivhusgasemissioner i kg CO₂-ækvivalenter grupperet for de fire scenarier. Derudover er resultaterne opdelt efter, hvor påvirkningerne kommer fra samt en total for alle områderne. *Alle* resultater i de følgende figurer er for livscyklussen af ét juletræ. Inddelingen af resultater er foretaget som følger:

- *Total* dækker over de samlede resultater inden for en miljøkategori
- *Biogene flows og genanvendelse af træ* dækker over CO₂-optaget i løbet af træets vækstperiode, samt emissionerne i) når de usalgbare træer komposteres og ii) ved fremstillingen af ko-produktet træflis samt, når det forlader systemet.
- *Gødning* dækker over produktionen af de forskellige gødningsprodukter.
- *Maskineri* dækker over brugen af maskineri på mark, herunder den tilhørende forbrænding af fossile brændsler og øvrig vedligeholdelse.
- *Pesticider* dækker over produktion og brug af agrokemi, herunder pesticider.
- *Emballage* dækker over emballering af produkter som inputs til systemet samt emballering af juletræerne under transport.
- *Transport* dækker over fragt af inputs til produktionen samt af juletræerne til marked.
- *Privat kørsel* dækker over en forbrugers kørsel til og fra julemarked for køb af træ.
- *Forbrænding af træ* dækker over både forbrændingsprocessen og gevinsten ved den fortrængte produktion af el og varme.
- *Andet* indeholder alle øvrige processer, der ikke passer i ovenstående kategorier. Det gælder bl.a. vandforbrug, elektricitet og livscyklussen af heget uden om juletræsplantagen.

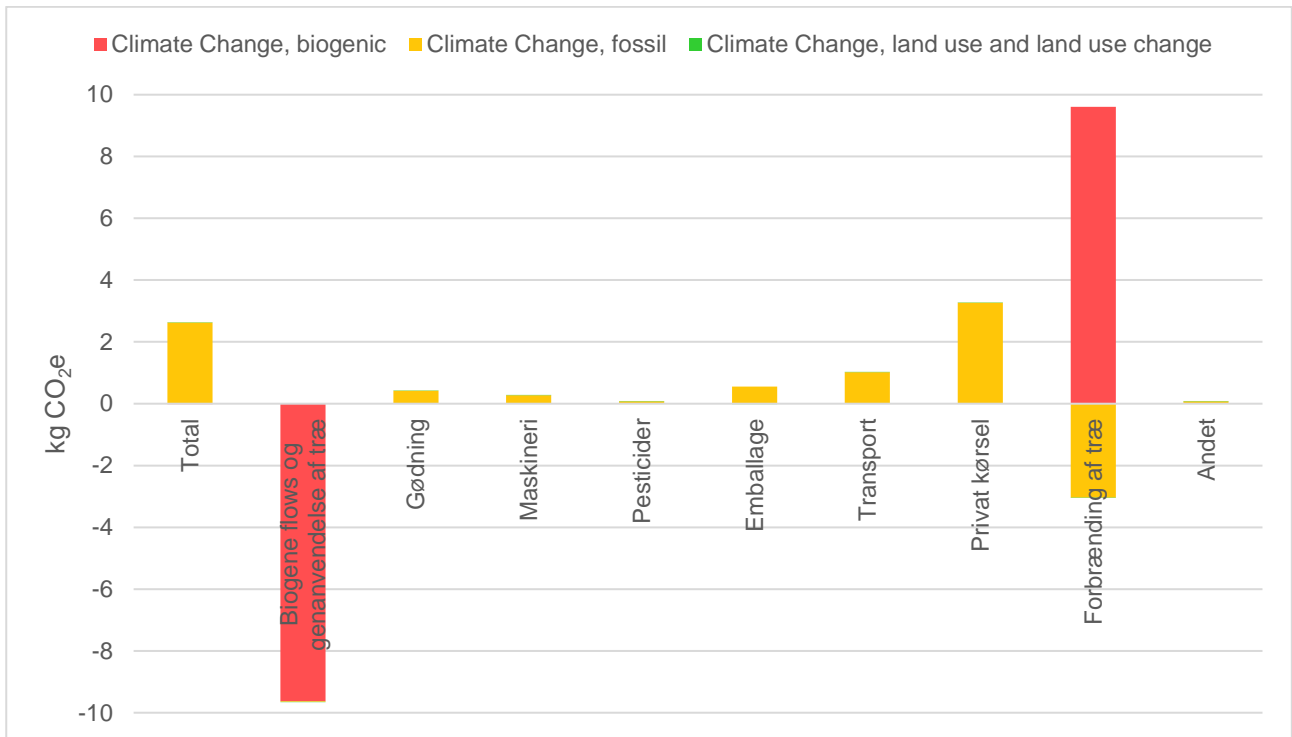
Derefter i normaliseret form (Afsnit 3.2), dvs. i person-ækvivalenter (PE), der udtrykker miljøpåvirkninger, svarende til gennemsnitligt personbidrag pr. år. Således vil et resultat på 0,01 PE indenfor en miljøkategori betyde at systemet

⁹ I henhold til tid

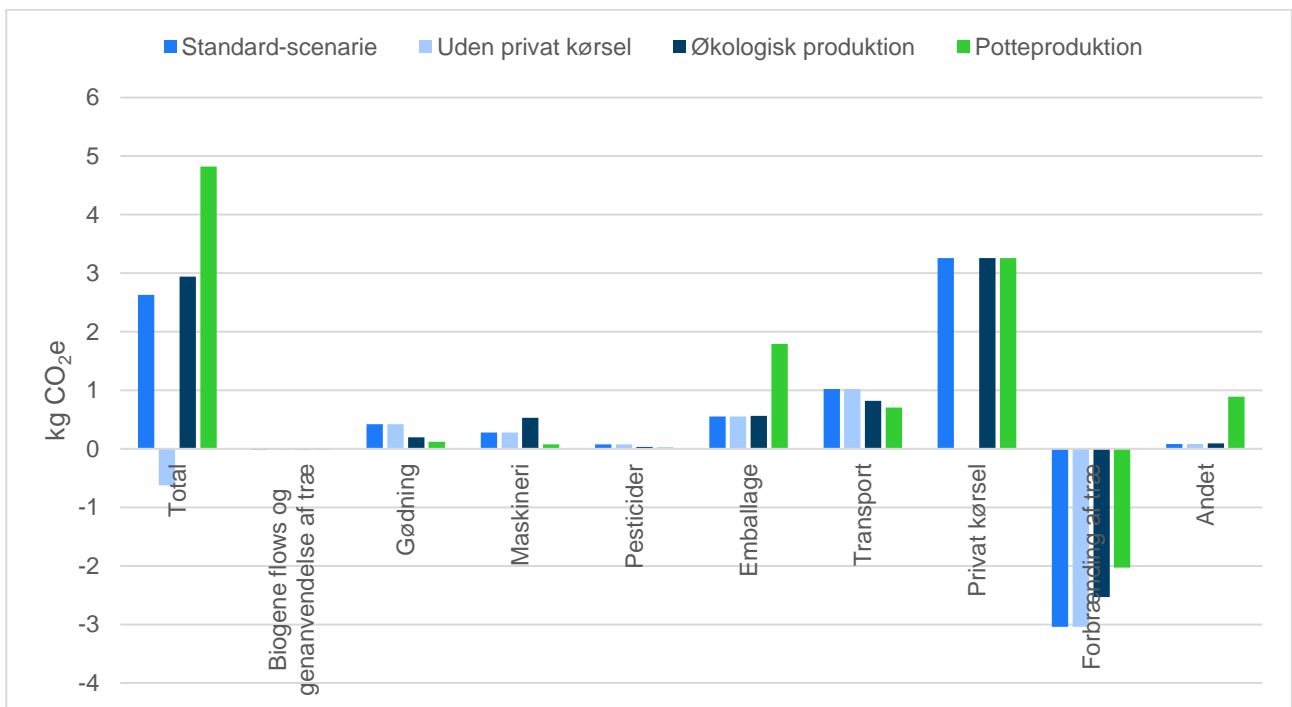
påvirker miljøet (indenfor den kategori) med 1% af en gennemsnitlig person belastning på ét år iht. population i f.eks. en region eller verden, afhængig af miljøpåvirkningens geografiske dækning. De normaliserede resultater er også grupperet over de fire scenarier. Således kan scenarierne sammenlignes med det forbehold som er beskrevet i Afsnit 2.2. om at det ikke er en komparativ LCA. Bemærk i øvrigt at de normaliserede resultater ikke kan sammenlignes på tværs af miljøkategorierne, selvom enheden PE ser ens ud. Det ville kræve en vægtning af resultaterne, hvilket generelt er forbundet med nogen usikkerhed og ikke inkluderet i indeværende studie. Se i øvrigt Tabel 1 for en kort forklaring af miljøkategorierne.

3.1. Karakteriserede resultater

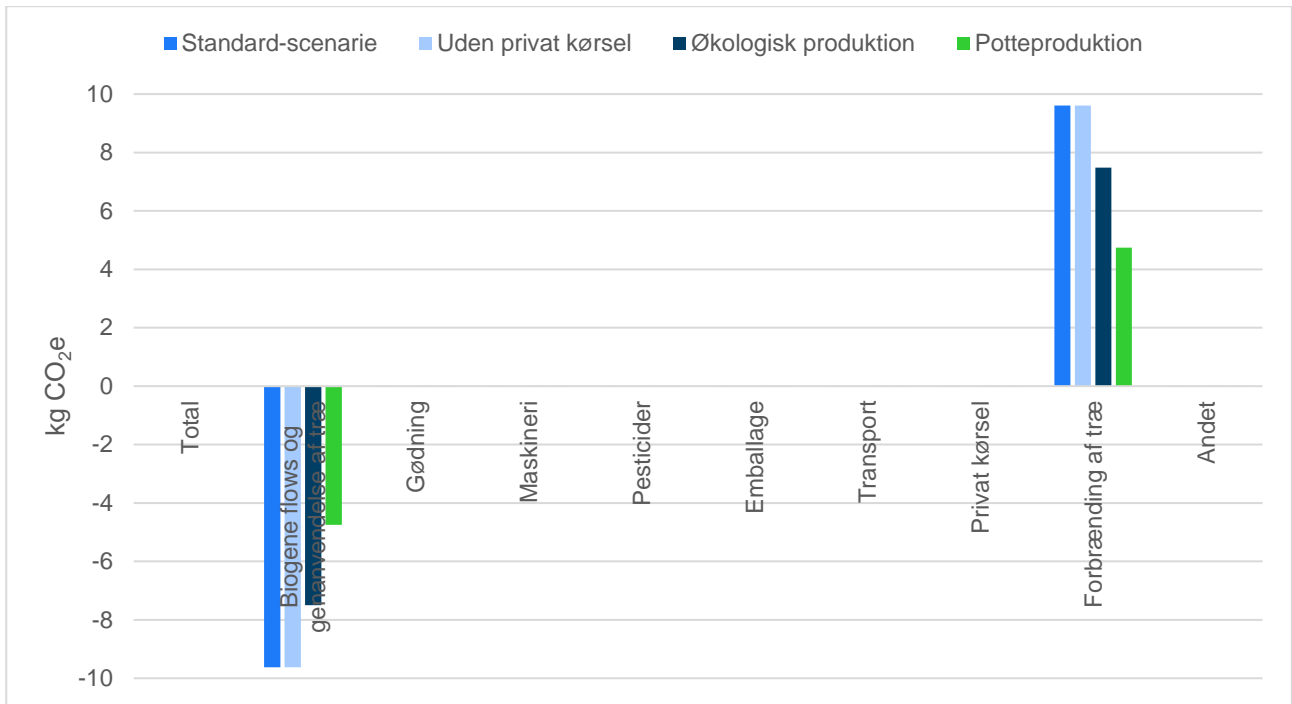
De karakteriserede resultater i det følgende vises for en række udvalgte miljøkategorier. Først vises i Figur 2 påvirkningerne fra alle climate change kategorier, men udelukkende for hovedscenariet . I de efterfølgende Figur 3-9 vises resultaterne for et udsnit af miljøkategorierne: Climate change, fossil og biogenic, Ecotoxicity – freshwater, Eutrophication – terrestrial, Human toxicity – non-cancer, Particulate matter og Water use for alle fire scenarier. For de øvrige resultater henvises til tabellerne i Appendix 7.2.



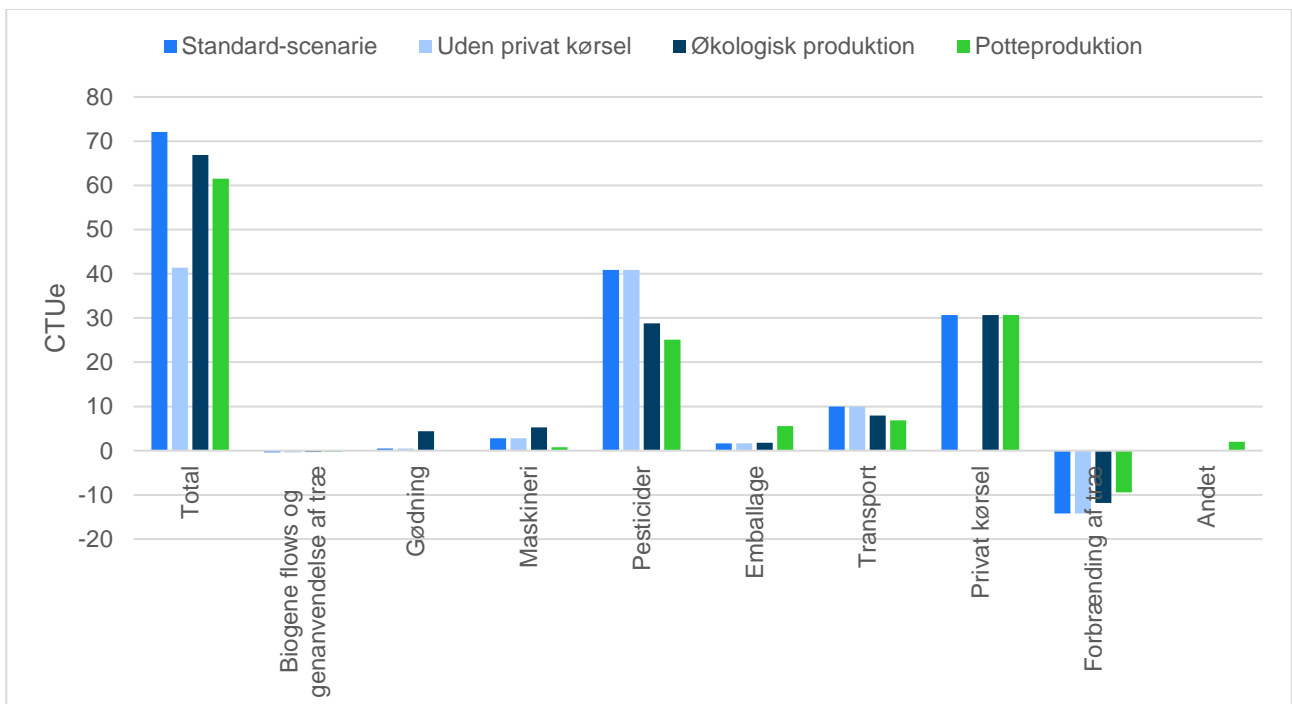
Figur 2. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i hovedscenariet indenfor: Climate change – fossil, biogenic og land use and land use change.



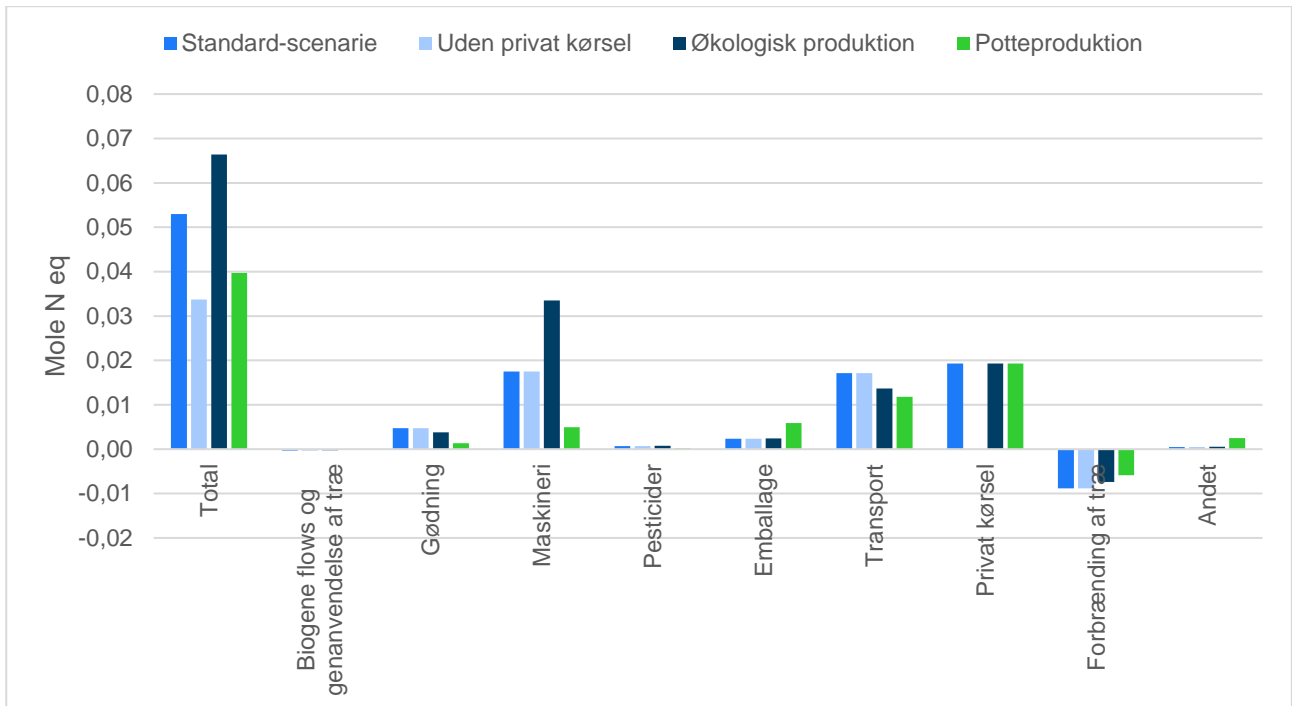
Figur 3. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Climate change, fossil.



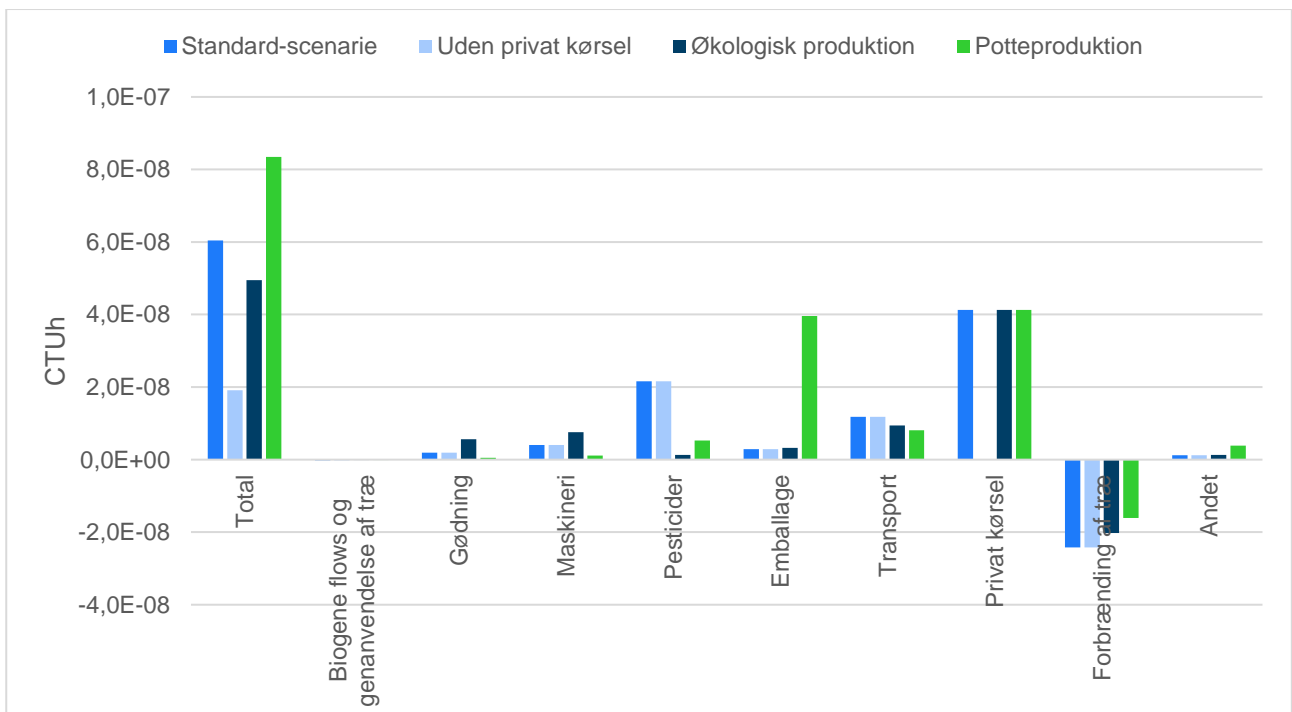
Figur 4. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Climate change, biogenic.



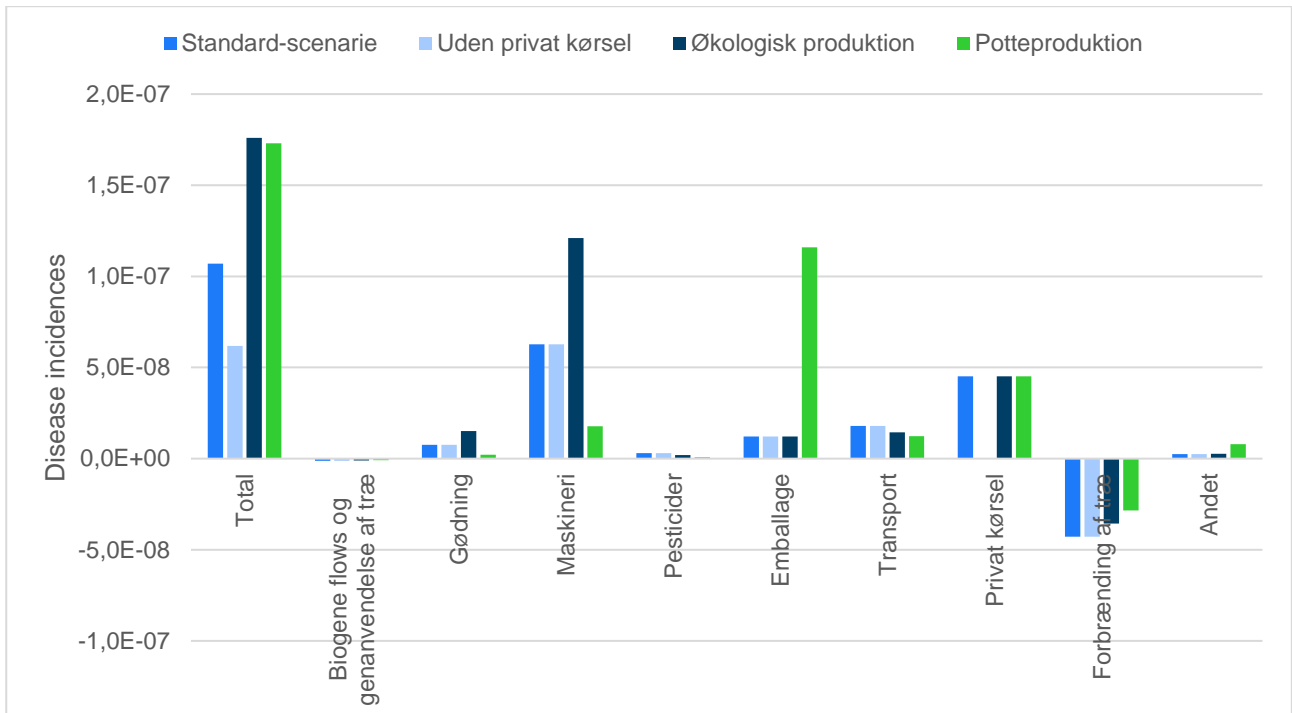
Figur 5. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Ecotoxicity, freshwater.



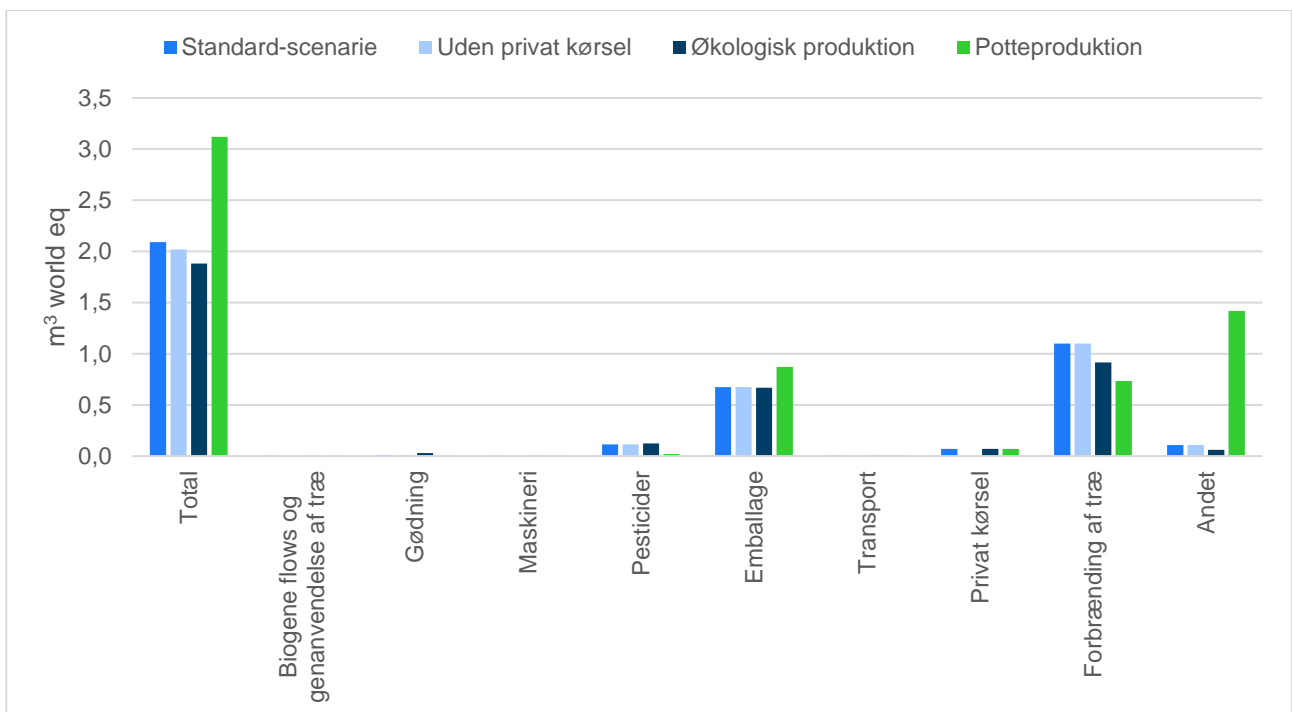
Figur 6. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Eutrophication, terrestrial.



Figur 7. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Human toxicity, non-cancer - total.

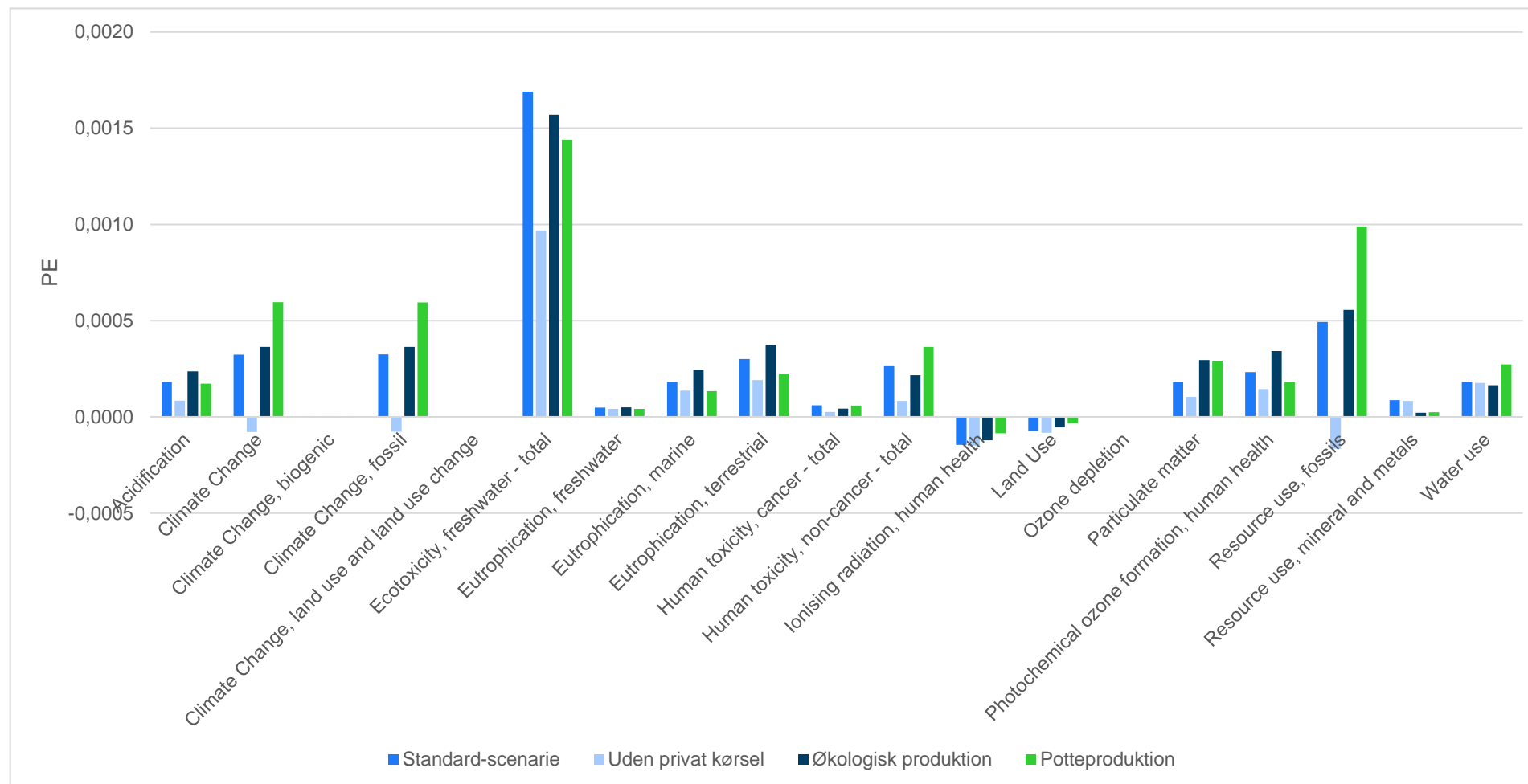


Figur 8. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Particulate matter.



Figur 9. Miljøpåvirkninger for dansk produktion af ét juletræ til marked i de 4 scenarier indenfor: Water use.

3.2. Normaliserede resultater



Figur 10. Normaliserede resultater (vist i personækvivalenter (PE)) for de fire scenarier af dansk juletræsproduktion (ét træ) for de 19 inkluderede PEF-miljøkategorier.

3.3. Bidrag til påvirkninger

På Figurerne 2-9 ses miljøpåvirkningerne inden for et udsnit af miljøkategorierne. Alle resultaterne er i øvrigt tilgængelige i Appendiks 2. For klimapåvirkningerne i hovedscenariet (Figur 2) ses det først og fremmest, at der er en total på 2,6 kg CO₂e i løbet af livscyklussen, og at den stammer udelukkende fra fossil påvirkning. Den biogene påvirkning går nemlig i nul hen over livscyklussen: Først et optag af CO₂ i træet og til sidst en udledning henholdsvis ved kompostering, forbrænding og træflisproduktion. Der findes i begge kategorier både optag og udledninger, hvorfor størrelsen på begge søjler er +/- 10 kg CO₂, selvom træet (i hovedscenariet) optager 19,3 kg CO₂. Klimapåvirkningen fra LULUC er ligeledes minimal (se Tabeller A-D i Appendiks 2), men dette skyldes, at det var uden for studiets scope at lave en analyse af LULUC-forhold. Klimapåvirkningerne i hovedscenariet stammer altså bredt fra alle aktiviteterne med mindre men signifikante påvirkninger fra både gødning, maskineri, emballage og transport. De to definitivt mest signifikante klimapåvirkende livscykluselementer stammer dog fra et stort positivt bidrag fra privat kørsel til og fra julemarked samt et næsten lige så stort negativt fossilt bidrag fra forbrænding af træ. Sidstnævnte stammer fra gevinsten ved fortrængning af gennemsnitlig produceret el og varme andetsteds, der altså overstiger de fossile udledninger forbundet med forbrænding af træet; deraf den negative værdi.

Det indeværende studie viser livscyklus-klimapåvirkningen fra ét juletræ i scenarierne konventionel produktion (2,6 kg CO₂e), uden privat kørsel (-0,6 kg CO₂e), økologisk produktion (2,9 kg CO₂e) og potteproduktion (4,8 kg CO₂e). På Figurerne 3 og 4 fremgår den fossile og biogene klimapåvirkning. Her går mønsteret fra Figur 2 igen blot tilføjet elementet af scenarievariationerne. Den biogene påvirkning er nul hen over livscyklussen, og den eneste forskel mellem scenarierne på Figur 4 er forskellen i biogent kulstof pr. træ, der varierer mellem de tre produktionstyper. Ved den fossile klimapåvirkning (Figur 3) er et par elementer værd at bemærke. For det første er total-påvirkningen negativ i sensitivitetsscenarioet uden privat kørsel – dette skyldes som nævnt den fortrængte el og varme. For det andet er scenarierne sammenlignelige, på nær visse variationer, der skiller sig ud: Økologisk produktion har et højere forbrug af maskineri, hvilket fører til, at det har en marginalt højere påvirkning end hovedscenariet. Potteproduktionsscenarioet har en signifikant højere totalpåvirkning, hvilket primært skyldes at gevinsten fra fortrængt el og varme andetsteds er tilsvarende mindre, fordi træerne kun vejer 12 kg mod hovedscenariets 19 kg.

I Figur 5 ses som forventet, at den primære bidragsyder til miljøpåvirkning på ferskvandsmiljøer er produktion og anvendelse af pesticider, mens privat kørsel (forbrænding af benzin) ligeledes har et signifikant bidrag.

Hovedpåvirkningen fra næringsudvaskning til jordmiljøet (Figur 6) stammer primært fra forbrændingen af fossile brændsler pga. den SO₂-udledning, der også er forbundet med forbrænding af fossile brændsler. Anvendelse af gødning på mark, der ikke er inkluderet i studiet, kunne have haft et signifikant bidrag til *Eutrophication*-kategorierne.

For påvirkning på menneskeligt helbred (non-cancer toksicitet og partikelforurening) i Figur 7 og 8 bemærkes det, at livscyklussen for potterne (under emballage) har et højt bidrag. Derudover er igen privat kørsel signifikant, mens brugen af maskineri er betydelig for partikelforurening.

For påvirkningen på den globale vandressource (Figur 9) udgør forbrændingsprocesserne i emballage-livscyklussen samt af juletræet (og potter). Her har potteproduktionsscenarioet det højeste bidrag på grund af i) pottelivscyklussen og ii) at der vandes markant mere i dette scenarie.

På tværs af alle miljøkategorierne (pånær vandforbrug og mineralt ressourceforbrug) har resultaterne det til fælles at sensitivitetsscenarioet uden privat kørsel har signifikant lavest påvirkning. Dette fremgår også tydeligt af Figur 10, hvor de normaliserede resultater vises for alle 19 miljøkategorier. På den baggrund kan det udledes, at privat kørsel i en gennemsnitlig, relativt ny, benzindreven personbil er den enkeltstående aktivitet, der bidrager mest til livscyklussen af juletræsproduktion på tværs af de fire scenarier. Det næstmest bidragende element (men negativt) er gevinsten ved fortrængt el og varme i forbindelse med forbrænding af juletræet med energiudnyttelse.

4. Diskussion

I det følgende afsnit diskuteres anvendeligheden og robustheden af studiet og dets konklusioner. Desuden kommenteres på, hvordan resultaterne kan forstås og fortolkes i en bredere sammenhæng.

LCA-resultaterne er repræsentative for et danskproduceret juletræ (hhv. konventionel, økologisk og potteproduceret), der sælges på det europæiske marked. Resultaterne vurderes herunder at være repræsentative i en fuldkommen dansk kontekst, da træaffald håndteres på en sammenlignelig måde i en europæisk og dansk kontekst (som beskrevet i Afsnit 2.5.8.). I henhold til de hovedbidragende processer (beskrevet i Afsnit 3.3.) understreges det, at resultaterne for det enkelte træ ville se markant anderledes ud hhv. hvis i) privattransport til og fra julemarked ændres eller undgås, eller 2) hvis juletræet ikke forbrændes med energiudnyttelse. Der er altså mulighed for stor variation fra træ til træ; resultaterne af det indeværende studie er for et gennemsnitstræ i den givne kontekst for studiet.

Resultaternes robusthed mod ændringer i parametre er generelt vurderet til at være udmærket, men med følgende begrænsninger. For at lave en komplet vurdering af dette, skulle studiet have inkluderet en grundig sensitivitetssanalyse, hvilket var uden for formålet i denne LCA-screening. Dette ville kunne bruges til at vurdere, hvorvidt f.eks. en 10% stigning i mængden af gødning, transport eller udbytteprocenten ville ændre signifikant på resultater og konklusioner. På trods af dette manglende LCA-element, kan det vurderes med rimelig sikkerhed, at robustheden af resultaterne ved ændringer i parametre relateret til vugge-til-port-delen af livscyklus er høj. Dette er tilfældet, fordi henholdsvis privat kørsel og forbrænding med energiudnyttelse er de primært udslagsgivende elementer i LCA'en for resultater og konklusioner over en bred vifte af miljøkategorier. Det var i øvrigt også tilfældet i et ældre LCA-studie af juletræer (Ellipsos, 2009). Dette kan relateres til to vigtige pointer:

Den første pointe er at resultaterne vil ændre sig markant ved en ændring i distancen til og fra julemarkedet. Sensitivitetsscenarioet uden privat kørsel viser at ved at fjerne det enkelte element i modellen reduceres f.eks. klimapåvirkningen sammenlignet med hovedscenariet med 124% og bliver dermed negativ. Omvendt vil en fordobling af distancen kørt til og fra julemarked (til 2x 20 km) pr. træ føre til en 124%-stigning i total klimapåvirkning sammenlignet med det nuværende hovedscenarie.

Dette modelleringsaspekt er valgt til at bidrage mindst muligt til det studerede system (2x 10 km i stedet for 20 og lille, brændstoføkonomisk benzinbil i stedet for stor diesebil), da i) statistisk gennemsnitsdata ikke er tilgængelig og ii) dette modelleringsaspekt er uden for kontrol af juletræproducenter. På trods heraf ses at dette livscyklusaspekt er dominerende for studiets miljøpåvirkninger. I det ældre, canadiske studie af Ellipsos (2009), er afstanden valgt til 2x 5 km. I indeværende studie er dog ligeledes inkluderet et scenarie *uden privat kørsel*, der udover at være et sensitivitetsscenario, fungerer som et mål for europæiske forbrugere, der ikke benytter et personkøretøj til og fra julemarkedet.

Dette fører videre til næste, centrale pointe. Dét faktum at en køretur på 20 km i en (moderne, brændstoføkonomisk) personbil er så udslagsgivende for studiets konklusioner er faktisk det bedste argument for, at miljøpåvirkningerne fra livscyklussen af et dansk juletræ er relativt lave. Med det forbehold at der er en række begrænsninger til omfanget af studiet som beskrevet i Afsnit 2.6. naturligvis. Et andet argument med samme fortegn er vurderingen af de normaliserede resultater: Der er ikke nogen af miljøkategorierne, der skiller sig ud med betydelige bidrag i form af person-ækvivalenter.

For at relatere resultaterne til en anden juledagligvare, er utilberedt flæskesteg vurderet til at ligge i spændet 3,6 - 4,6 kg CO₂e pr. kg fra vugge-til-port i total klimapåvirkning, dvs. uden at tage højde for hverken privat transport til og fra supermarked eller tilberedning af produktet (CONCITO, 2021; Samvirke, 2020). I den sammenligning er et juletræ en af de mindre belastende produkter (ud fra et klimaperspektiv), der bliver gjort brug af i juletiden.

På et mere generelt plan om fortolkningen af resultaterne og størrelsesordenen af miljøpåvirkningen af et dansk juletræ, er det på trods af indeværende studies relativt lave miljøpåvirkninger værd at overveje arealanvendelsen af de omtrent 22.000 ha¹⁰ dansk landbrugsjord, hvorpå der dyrkes juletræer. Arealanvendelsens miljøpåvirkninger er ikke kvantificeret ved brug af en LULUC-model i indeværende studie. Ikke desto mindre er det relevant i den komplekse, nuancerede debat af, hvorvidt et dyrket produkt er bæredygtigt eller ej.

5. Konklusion

Det indeværende studie af livscyklusmiljøpåvirkningerne af et danskproduceret juletræ fra vugge-til-grav er for hovedparten af de 19 inkluderede PEF-miljøkategorier domineret af afhentning af juletræ i personbil til og fra julemarked samt gevinsten ved fortrængt el og varme andetsteds forårsaget af forbrændingen af juletræet med energiudnyttelse. Med henblik på at studiet er foretaget på screeningsniveau, er modellens robusthed acceptabel og LCA-resultaterne troværdige. En komplet fastlæggelse af juletræers miljøpåvirkning ville kræve forbedret LCA-modellering af bl.a. anvendelse af gødning på mark, jord- og næringsstofforhold og LULUC-forhold samt en grundig sensitivitsanalyse.

Det indeværende studie viser f.eks. livscyklusklimapåvirkningen fra ét juletræ i scenarierne konventionel produktion (2,6 kg CO₂e), uden privat kørsel (-0,6 kg CO₂e), økologisk produktion (2,9 kg CO₂e) og potteproduktion (4,8 kg CO₂e). Her understreges dog, at der ikke er tale om en komparativ LCA, da de fire scenarier ikke opfylder nøjagtigt denne samme funktionelle enhed.

I en bredere diskussion af størrelsesordenen af miljøpåvirkningen af et dansk juletræ kan dette studie alene ikke give et endegyldigt, utvetydigt svar. Det bedste argument for at miljøpåvirkningerne er på et lavt niveau, er at 20 km kørsel i en brændstoføkonomisk bil udgør langt størstedelen af påvirkningen over en bred vifte af miljøkategorier.

¹⁰ Oplyst af Danske Juletræer

6. Referencer

BioReg (2018). D1.1 EUROPEAN WOOD WASTE STATISTICS REPORT FOR RECIPIENT AND MODEL REGIONS.

CONCITO (2021). Den Store Klimadatabase website, version 1. Opdateret: 2021. Tilgået: 21/9-2022. <<https://denstoreklimadatabase.dk/vare/grisekoed-nakkekam-med-svaer-raa/ra00238>>

Danske Juletræer (n.d.). *Danske Juletræer website*. Tilgået: 16/9-2022. <<https://www.christmastree.dk/>>

DS/EN 16485. Rundtræ og savet træ – Miljøvaredeklaration – Produktkategoriregler for træ og træbaserede produkter til konstruktions brug – Dansk standard.

EC (2019). Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. European Commission. Published by Joint Research Centre.

Ellipos (2009). Comparative life cycle assessment (LCA) of artificial vs. natural Christmas tree. Authors: Couillard S., Bage G., Trudel J.-S.

EP (2021). *Det Europæiske Parlaments nyheds-website*. Opdateret: 30/6.2021. Tilgået: 13/10-2022. <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20181212STO21610/plastic-waste-and-recycling-in-the-eu-facts-and-figures>>

Dijkman, T.J., Birkved, M., Hauschild, M.Z. (2012). PestLCI 2.0: A second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment* 17(8): 973-986.

Gentil C., Basset-Mens C., Manteaux S., Mottes C., Maillard E., Biard Y., Fantke P. (2020). Coupling pesticide emission and toxicity characterization models for LCA: Application to open-field tomato production in Martinique. *Journal of Cleaner Production* 277 (2020) 124099.

ISO (2006). 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland

Miljøstyrelsen (2018). Kortlægning af genanvendeligt træaffald i Danmark. ISBN: 978-87-93614-89-5

Nemecek T., Schnetzer J. (2011). Methods of Assessment of Direct Field Emissions for LCIs of Agricultural Production Systems. Data v3.0. Swiss Center for Life Cycle Inventories

Skov-Info (1996). Træ til energi – Flis og brænde.

Samvirke (2020). *Samvirke nyhedswebsite*. Opdateret: 9/1-2020. Tilgået: 21/9-2022. <<https://samvirke.dk/artikler/se-hvor-meget-co2-dine-madvarer-udleder>>

7. Appendikser

7.1. Appendiks 1: LCI og modellering

Excel-ark med komplet liste af produktionsinputs for de tre bestilte scenarier, samt modelleringskommentarer, transportantagelser og *List of proxies*.

7.2. Appendiks 2: Resultater på tabelform

I nedenstående ses resultaterne som beskrevet i Afsnit 3.

Tabel A: Hovedscenariet, karakteriserede resultater inddelt tematisk.

	Total	Biogene flows og genanvendelse af træ	Gødning	Maskiner i	Pesticider	Emballage	Transport	Privat kørsel	Forbrænding af træ	Andet
Acidification [Mole of H+ eq.]	1,01E-02	-8,55E-05	1,07E-03	3,14E-03	4,20E-04	1,01E-03	3,32E-03	5,45E-03	-4,44E-03	2,08E-04
Climate Change - total [kg CO2e]	2,63E+00	-9,64E+00	4,23E-01	2,80E-01	7,44E-02	5,54E-01	1,03E+00	3,26E+00	6,56E+00	8,07E-02
Climate Change, biogenic [kg CO2e]	-1,18E-02	-9,63E+00	8,82E-04	8,39E-04	2,72E-04	9,95E-04	3,00E-03	4,64E-03	9,61E+00	4,45E-05
Climate Change, fossil [kg CO2e]	2,63E+00	-1,54E-02	4,22E-01	2,77E-01	7,40E-02	5,53E-01	1,02E+00	3,26E+00	-3,04E+00	8,06E-02
Climate Change, land use and land use change [kg CO2e]	6,90E-03	-1,35E-04	9,58E-05	2,27E-03	1,24E-04	-5,82E-05	8,46E-03	7,96E-04	-4,67E-03	1,97E-05
Ecotoxicity, freshwater - total [CTUe]	7,21E+01	-3,96E-01	4,81E-01	2,79E+00	4,09E+01	1,66E+00	9,94E+00	3,07E+01	-1,42E+01	1,34E-01
Eutrophication, freshwater [kg P eq.]	7,81E-05	1,88E-06	1,03E-05	1,22E-06	5,47E-05	9,23E-06	3,07E-06	1,07E-05	-1,30E-05	4,88E-08
Eutrophication, marine [kg N eq.]	3,56E-03	-2,75E-05	3,73E-04	1,59E-03	9,00E-05	1,77E-04	1,53E-03	8,98E-04	-1,12E-03	4,73E-05
Eutrophication, terrestrial [Mole of N eq.]	5,30E-02	-3,06E-04	4,72E-03	1,75E-02	6,62E-04	2,36E-03	1,71E-02	1,93E-02	-8,85E-03	5,01E-04
Human toxicity, cancer - total [CTUh]	1,03E-09	-9,31E-12	3,34E-11	5,80E-11	1,18E-10	4,60E-10	2,01E-10	6,06E-10	-4,77E-10	3,66E-11
Human toxicity, non-cancer - total [CTUh]	6,04E-08	-1,81E-10	1,90E-09	4,01E-09	2,16E-08	2,89E-09	1,18E-08	4,13E-08	-2,42E-08	1,24E-09
Ionising radiation, human health [kBq U235 eq.]	-6,14E-01	4,70E-03	2,24E-02	6,93E-04	7,98E-03	8,44E-03	2,38E-03	1,54E-02	-6,78E-01	1,44E-03
Land Use [Pt]	-6,01E+01	-2,71E+01	3,03E-01	1,43E+00	2,59E-01	-2,76E+00	4,72E+00	8,13E+00	-4,51E+01	4,19E-02
Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	4,55E-08	-1,21E-09	1,24E-15	3,84E-17	4,61E-08	6,10E-10	1,32E-16	8,39E-16	-3,73E-14	8,21E-16
Particulate matter [Disease incidences]	1,07E-07	-1,26E-09	7,55E-09	6,28E-08	3,04E-09	1,21E-08	1,80E-08	4,52E-08	-4,28E-08	2,42E-09
Photochemical ozone formation, human health [kg NMVOC eq.]	9,40E-03	-9,87E-05	3,95E-04	4,45E-03	2,16E-04	6,67E-04	2,99E-03	3,55E-03	-2,93E-03	1,61E-04
Resource use, fossils [MJ]	3,20E+01	-1,14E-01	6,20E+00	3,86E+00	1,63E+00	7,63E+00	1,37E+01	4,28E+01	-4,46E+01	8,24E-01
Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]	5,48E-06	-1,57E-08	1,73E-07	2,29E-08	5,14E-06	1,68E-08	7,90E-08	1,86E-07	-5,62E-07	4,44E-07
Water use [m³ world equiv.]	2,09E+00	3,30E-03	1,05E-02	2,73E-03	1,14E-01	6,75E-01	8,97E-03	7,13E-02	1,10E+00	1,07E-01

Tabel B: Sensitivitetsscenario *uden privat kørsel*, karakteriserede resultater inddelt tematisk.

	Total	Biogene flows og genanvendelse af træ	Gødning	Maskiner i	Pesticider	Emballage	Transport	Privat kørsel	Forbrænding af træ	Andet
Acidification [Mole of H+ eq.]	4,65E-03	-8,55E-05	1,07E-03	3,14E-03	4,20E-04	1,01E-03	3,32E-03	0,00E+00	-4,44E-03	2,08E-04
Climate Change - total [kg CO2e]	-6,35E-01	-9,64E+00	4,23E-01	2,80E-01	7,44E-02	5,54E-01	1,03E+00	0,00E+00	6,56E+00	8,07E-02
Climate Change, biogenic [kg CO2e]	-1,64E-02	-9,63E+00	8,82E-04	8,39E-04	2,72E-04	9,95E-04	3,00E-03	0,00E+00	9,61E+00	4,45E-05
Climate Change, fossil [kg CO2e]	-6,24E-01	-1,54E-02	4,22E-01	2,77E-01	7,40E-02	5,53E-01	1,02E+00	0,00E+00	-3,04E+00	8,06E-02
Climate Change, land use and land use change [kg CO2e]	6,11E-03	-1,35E-04	9,58E-05	2,27E-03	1,24E-04	-5,82E-05	8,46E-03	0,00E+00	-4,67E-03	1,97E-05
Ecotoxicity, freshwater - total [CTUe]	4,14E+01	-3,96E-01	4,81E-01	2,79E+00	4,09E+01	1,66E+00	9,94E+00	0,00E+00	-1,42E+01	1,34E-01
Eutrophication, freshwater [kg P eq.]	6,74E-05	1,88E-06	1,03E-05	1,22E-06	5,47E-05	9,23E-06	3,07E-06	0,00E+00	-1,30E-05	4,88E-08
Eutrophication, marine [kg N eq.]	2,66E-03	-2,75E-05	3,73E-04	1,59E-03	9,00E-05	1,77E-04	1,53E-03	0,00E+00	-1,12E-03	4,73E-05
Eutrophication, terrestrial [Mole of N eq.]	3,37E-02	-3,06E-04	4,72E-03	1,75E-02	6,62E-04	2,36E-03	1,71E-02	0,00E+00	-8,85E-03	5,01E-04
Human toxicity, cancer - total [CTUh]	4,20E-10	-9,31E-12	3,34E-11	5,80E-11	1,18E-10	4,60E-10	2,01E-10	0,00E+00	-4,77E-10	3,66E-11
Human toxicity, non-cancer - total [CTUh]	1,91E-08	-1,81E-10	1,90E-09	4,01E-09	2,16E-08	2,89E-09	1,18E-08	0,00E+00	-2,42E-08	1,24E-09
Ionising radiation, human health [kBq U235 eq.]	-6,30E-01	4,70E-03	2,24E-02	6,93E-04	7,98E-03	8,44E-03	2,38E-03	0,00E+00	-6,78E-01	1,44E-03
Land Use [Pt]	-6,82E+01	-2,71E+01	3,03E-01	1,43E+00	2,59E-01	2,76E+00	4,72E+00	0,00E+00	-4,51E+01	4,19E-02
Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	4,55E-08	-1,21E-09	1,24E-15	3,84E-17	4,61E-08	6,10E-10	1,32E-16	0,00E+00	-3,73E-14	8,21E-16
Particulate matter [Disease incidences]	6,18E-08	-1,26E-09	7,55E-09	6,28E-08	3,04E-09	1,21E-08	1,80E-08	0,00E+00	-4,28E-08	2,42E-09
Photochemical ozone formation, human health [kg NMVOC eq.]	5,86E-03	-9,87E-05	3,95E-04	4,45E-03	2,16E-04	6,67E-04	2,99E-03	0,00E+00	-2,93E-03	1,61E-04
Resource use, fossils [MJ]	-1,08E+01	-1,14E-01	6,20E+00	3,86E+00	1,63E+00	7,63E+00	1,37E+01	0,00E+00	-4,46E+01	8,24E-01
Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]	5,30E-06	-1,57E-08	1,73E-07	2,29E-08	5,14E-06	1,68E-08	7,90E-08	0,00E+00	-5,62E-07	4,44E-07
Water use [m³ world equiv.]	2,02E+00	3,30E-03	1,05E-02	2,73E-03	1,14E-01	6,75E-01	8,97E-03	0,00E+00	1,10E+00	1,07E-01

Tabel C: Økologisk produktion, karakteriserede resultater inddelt tematisk.

	Total	Biogene flows og genanvendelse af træ	Gødning	Maskiner i	Pesticider	Emballage	Transport	Privat kørsel	Forbrænding af træ	Andet
Acidification [Mole of H+ eq.]	1,31E-02	-7,13E-05	1,31E-03	6,02E-03	2,04E-04	1,03E-03	2,67E-03	5,45E-03	-3,70E-03	2,33E-04
Climate Change - total [kg CO2e]	2,94E+00	-7,51E+00	1,95E-01	5,36E-01	3,22E-02	5,62E-01	8,29E-01	3,26E+00	4,95E+00	9,06E-02
Climate Change, biogenic [kg CO2e]	-8,30E-03	-7,50E+00	2,98E-04	1,57E-03	3,62E-04	1,07E-03	2,41E-03	4,64E-03	7,48E+00	4,51E-05
Climate Change, fossil [kg CO2e]	2,94E+00	-1,28E-02	1,95E-01	5,30E-01	3,18E-02	5,61E-01	8,20E-01	3,26E+00	-2,53E+00	9,05E-02
Climate Change, land use and land use change [kg CO2e]	8,15E-03	-1,12E-04	1,83E-04	4,37E-03	4,92E-05	-5,23E-05	6,78E-03	7,96E-04	-3,89E-03	2,20E-05
Ecotoxicity, freshwater - total [CTUe]	6,69E+01	-3,30E-01	4,36E+00	5,23E+00	2,88E+01	1,76E+00	7,97E+00	3,07E+01	-1,18E+01	1,47E-01
Eutrophication, freshwater [kg P eq.]	7,99E-05	1,57E-06	5,52E-05	1,84E-06	9,69E-06	9,18E-06	2,46E-06	1,07E-05	-1,08E-05	3,91E-08
Eutrophication, marine [kg N eq.]	4,78E-03	-2,29E-05	2,64E-04	3,05E-03	5,53E-05	1,84E-04	1,23E-03	8,98E-04	-9,36E-04	5,31E-05
Eutrophication, terrestrial [Mole of N eq.]	6,64E-02	-2,55E-04	3,81E-03	3,35E-02	7,48E-04	2,40E-03	1,37E-02	1,93E-02	-7,38E-03	5,63E-04
Human toxicity, cancer - total [CTUh]	7,15E-10	-7,76E-12	9,58E-11	1,09E-10	1,97E-11	8,81E-11	1,61E-10	6,06E-10	-3,98E-10	4,07E-11
Human toxicity, non-cancer - total [CTUh]	4,95E-08	-1,50E-10	5,59E-09	7,60E-09	1,32E-09	3,21E-09	9,46E-09	4,13E-08	-2,02E-08	1,34E-09
Ionising radiation, human health [kBq U235 eq.]	-5,16E-01	3,91E-03	1,48E-02	1,27E-03	1,12E-03	8,97E-03	1,91E-03	1,54E-02	-5,65E-01	1,61E-03
Land Use [Pt]	-4,52E+01	-2,26E+01	1,54E+00	2,54E+00	1,90E+00	3,02E+00	3,79E+00	8,13E+00	-3,76E+01	4,66E-02
Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	1,91E-08	-1,00E-09	1,84E-08	7,04E-17	1,30E-09	4,79E-10	1,06E-16	8,39E-16	-3,11E-14	9,22E-16
Particulate matter [Disease incidences]	1,76E-07	-1,05E-09	1,52E-08	1,21E-07	1,97E-09	1,21E-08	1,44E-08	4,52E-08	-3,57E-08	2,72E-09
Photochemical ozone formation, human health [kg NMVOC eq.]	1,39E-02	-8,23E-05	9,28E-04	8,56E-03	8,80E-05	6,88E-04	2,40E-03	3,55E-03	-2,44E-03	1,81E-04
Resource use, fossils [MJ]	3,61E+01	-9,47E-02	2,67E+00	7,23E+00	8,04E-01	7,90E+00	1,10E+01	4,28E+01	-3,72E+01	9,24E-01
Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]	1,37E-06	-1,31E-08	6,07E-07	4,20E-08	4,45E-07	1,30E-08	6,34E-08	1,86E-07	-4,68E-07	4,99E-07
Water use [m³ world equiv.]	1,88E+00	2,75E-03	2,95E-02	4,87E-03	1,25E-01	6,67E-01	7,19E-03	7,13E-02	9,15E-01	6,18E-02

Tabel D: Potteproduktion, karakteriserede resultater inddelt tematisk.

	Total	Biogene flows og genanvendelse af træ	Gødning	Maskiner i	Pesticider	Emballage	Transport	Privat kørsel	Forbrænding af træ	Andet
Acidification [Mole of H+ eq.]	9,55E-03	-5,70E-05	3,01E-04	8,82E-04	9,93E-05	2,77E-03	2,29E-03	5,45E-03	-2,96E-03	7,81E-04
Climate Change - total [kg CO2e]	4,82E+00	-4,76E+00	1,19E-01	7,83E-02	2,20E-02	1,80E+00	7,13E-01	3,26E+00	2,71E+00	8,90E-01
Climate Change, biogenic [kg CO2e]	-2,63E-03	-4,75E+00	2,47E-04	2,28E-04	9,43E-05	3,23E-03	2,07E-03	4,64E-03	4,74E+00	1,82E-03
Climate Change, fossil [kg CO2e]	4,82E+00	-1,02E-02	1,18E-01	7,74E-02	2,18E-02	1,79E+00	7,05E-01	3,26E+00	-2,03E+00	8,88E-01
Climate Change, land use and land use change [kg CO2e]	5,33E-03	-8,98E-05	2,69E-05	6,41E-04	3,25E-05	3,96E-04	5,83E-03	7,96E-04	-3,11E-03	8,07E-04
Ecotoxicity, freshwater - total [CTUe]	6,15E+01	-2,64E-01	1,36E-01	7,54E-01	2,51E+01	5,58E+00	6,85E+00	3,07E+01	-9,44E+00	1,99E+00
Eutrophication, freshwater [kg P eq.]	6,57E-05	1,26E-06	2,87E-06	2,32E-07	1,25E-05	3,27E-05	2,11E-06	1,07E-05	-8,66E-06	1,20E-05
Eutrophication, marine [kg N eq.]	2,60E-03	-1,83E-05	1,04E-04	4,47E-04	2,19E-05	5,91E-04	1,06E-03	8,98E-04	-7,48E-04	2,48E-04
Eutrophication, terrestrial [Mole of N eq.]	3,97E-02	-2,04E-04	1,32E-03	4,92E-03	1,73E-04	5,88E-03	1,18E-02	1,93E-02	-5,90E-03	2,46E-03
Human toxicity, cancer - total [CTUh]	9,87E-10	-6,21E-12	9,39E-12	1,57E-11	2,74E-11	3,51E-10	1,38E-10	6,06E-10	-3,18E-10	1,63E-10
Human toxicity, non-cancer - total [CTUh]	8,35E-08	-1,20E-10	5,32E-10	1,10E-09	5,24E-09	3,96E-08	8,14E-09	4,13E-08	-1,61E-08	3,84E-09
Ionising radiation, human health [kBq U235 eq.]	-3,60E-01	3,13E-03	6,28E-03	1,81E-04	1,88E-03	2,24E-02	1,64E-03	1,54E-02	-4,52E-01	4,08E-02
Land Use [Pt]	-2,74E+01	-1,81E+01	8,49E-02	3,58E-01	6,86E-02	1,95E+01	3,25E+00	8,13E+00	-3,01E+01	2,83E+01
Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	1,08E-08	-8,04E-10	3,48E-16	1,00E-17	8,85E-09	3,67E-10	9,10E-17	8,39E-16	-2,48E-14	2,40E-09
Particulate matter [Disease incidences]	1,73E-07	-8,37E-10	2,12E-09	1,77E-08	7,65E-10	1,16E-07	1,24E-08	4,52E-08	-2,85E-08	8,00E-09
Photochemical ozone formation, human health [kg NMVOC eq.]	7,40E-03	-6,58E-05	1,11E-04	1,26E-03	5,52E-05	1,77E-03	2,06E-03	3,55E-03	-1,95E-03	6,16E-04
Resource use, fossils [MJ]	6,43E+01	-7,58E-02	1,74E+00	1,04E+00	4,63E-01	2,61E+01	9,48E+00	4,28E+01	-2,97E+01	1,25E+01
Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]	1,57E-06	-1,05E-08	4,86E-08	5,99E-09	1,18E-06	4,21E-08	5,45E-08	1,86E-07	-3,75E-07	4,36E-07
Water use [m³ world equiv.]	3,12E+00	2,20E-03	2,95E-03	6,80E-04	2,06E-02	8,70E-01	6,18E-03	7,13E-02	7,32E-01	1,42E+00

Tabel E: Normaliserede resultater (i PE) for de 4 scenarier.

	Standard-scenarie	Uden privat kørsel	Økologisk produktion	Potteproduktion
Acidification	1,82E-04	8,36E-05	2,36E-04	1,72E-04
Climate Change	3,24E-04	-7,84E-05	3,63E-04	5,96E-04
Climate Change, biogenic	-1,45E-06	-2,03E-06	-1,02E-06	-3,24E-07
Climate Change, fossil	3,25E-04	-7,71E-05	3,63E-04	5,95E-04
Climate Change, land use and land use change	8,53E-07	7,54E-07	1,01E-06	6,58E-07
Ecotoxicity, freshwater - total	1,69E-03	9,69E-04	1,57E-03	1,44E-03
Eutrophication, freshwater	4,86E-05	4,19E-05	4,97E-05	4,09E-05
Eutrophication, marine	1,82E-04	1,36E-04	2,44E-04	1,33E-04
Eutrophication, terrestrial	3,00E-04	1,91E-04	3,76E-04	2,25E-04
Human toxicity, cancer - total	6,07E-05	2,48E-05	4,23E-05	5,84E-05
Human toxicity, non-cancer - total	2,63E-04	8,31E-05	2,16E-04	3,64E-04
Ionising radiation, human health	-1,46E-04	-1,49E-04	-1,22E-04	-8,53E-05
Land Use	-7,33E-05	-8,32E-05	-5,52E-05	-3,35E-05
Ozone depletion	8,49E-07	8,49E-07	3,57E-07	2,02E-07
Particulate matter	1,80E-04	1,04E-04	2,95E-04	2,91E-04
Photochemical ozone formation, human health	2,32E-04	1,44E-04	3,42E-04	1,82E-04
Resource use, fossils	4,93E-04	-1,66E-04	5,56E-04	9,89E-04
Resource use, mineral and metals	8,62E-05	8,32E-05	2,16E-05	2,46E-05
Water use	1,82E-04	1,76E-04	1,64E-04	2,72E-04