

# LULUCF og iLUC

---

Afrapportering

---

**ENERGISTYRELSEN**

---

**21. MARTS 2021**

# Indhold

---

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Størrelsesordenen af danske og globale LULUCF-udledninger</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Udfordringer ved opgørelse af LULUCF-udledninger</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Udfordringer ved kobling af LULUCF-udledninger og input-output modeller</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Vurdering af LUC-udledninger som følge af det danske forbrug</b>	<b>9</b>
5.1	dLUC-emissioner: Metode fra Chalmers Universitet	10
5.2	iLUC-effekter: Metode fra 2.-0 LCA consultants	12
5.3	Sammenligning af metoderne	15
5.4	Arealændringer fra det danske forbrug	16
<b>6</b>	<b>Konklusion og anbefalinger</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Referencer</b>	<b>21</b>
<hr/>		
	<b>Bilag 1 : Begrebsafklaring</b>	<b>23</b>

---

# 1 Indledning

Den globale afrapportering af de internationale effekter af den danske klimaindsats, som Energistyrelsen udarbejder, inkluderer en beregning af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk. Formålet med denne vurdering er at belyse størrelsesordenen af drivhusgasudledningerne, indenlands og udenlands, som forårsages af tilvejebringelsen af alle varer og services, der forbruges i Danmark af bl.a. private husholdninger og den offentlige sektor.

En del af disse udledninger stammer fra anvendelse af arealer (til f.eks. dyrkning af landbrugsafgrøder) og ændringer i arealanvendelse (f.eks. hvis skov fældes for at give plads til landbrugsarealer). Disse udledninger er vanskelige at opgøre og allokere til efterfølgende forbrug, og denne rapport har til formål at belyse de særlige udfordringer der knytter sig hertil. Samlet set betegnes disse emissioner ofte som en del af de såkaldte LU-LUCF-udledninger, idet LULUCF er en engelsk betegnelse for arealanvendelse (*Land Use - LU*), ændringer i arealanvendelse (*Land Use Change - LUC*) samt skovbrug (*Forestry - F*).

I forbindelse med FN's rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC) og Kyoto Protokollen, indrapporterer Danmark årligt de danske LULUCF-udledninger. Imidlertid har en række andre lande ingen pligt til at indrapportere disse udledninger, og dette, kombineret med udfordringerne ved opgørelsen af emissioner og optag fra LULUCF-sektoren, gør at størrelsesordenen af de globale LULUCF-udledninger er behæftet med stor usikkerhed. Denne usikkerhed har betydet, at Holland, Frankrig, Storbritannien og Sverige har valgt ikke at inkludere LU-LUCF-udledningerne i opgørelsen og publiceringen af deres officielle nationale forbrugsbaserede klimaaftryk. Sverige har dog valgt særskilt at rapportere den del af LULUCF-udledningerne, der vedrører afskovning i træerne som følge af det svenske forbrug. I den beregning af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk, som er gengivet i den Globale Afrapportering 2021, er det valgt kun at inkludere nationale og udenlandske LU udledninger fra kulstofdepotændringer i dyrkede arealer og græsarealer, som direkte kan henføres til landbrugssektoren. Baggrunden for dette valg diskuteres nærmere i afsnit 4.

Formålet med denne rapport er således dels at belyse, hvordan forskellige modeller og metodetilgange kan anvendes til at estimere de totale udledninger fra arealanvendelse og arealændringer, så disse på sigt potentielt kan inkluderes i beregningen af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk. Og dels at belyse de forskellige metoder med henblik på at forstå, hvorfor de giver så forskellige resultater, og hvad effekten ville være af at indregne disse resultater i beregningerne af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk.

Det forudsættes, at læseren er bekendt med både beregningsmodellen bag Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk, input-output (IO) analyse, og forskellen mellem forbrugsbaserede kontra produktionsbaserede eller territoriale opgørelser. Der henvises til henholdsvis metoderapporten og resultatrapporten<sup>1</sup> for yderligere beskrivelse af disse koncepter.

## 2 Størrelsesordenen af danske og globale LULUCF-udledninger

Opgørelsen af emissioner fra LULUCF-sektoren afrapporteres årligt af Danmark og de andre såkaldte "Annex-1 lande" under Klimakonventionen<sup>2</sup> til UNFCCC. Alle andre lande under Klimakonventionen opfordres til at afrapportere nationale opgørelser hvert fjerde år med færre krav bl.a. til review af beregningerne. Paris-aftalen opfordrer til, at alle medlemslande afrapporterer deres drivhusgasopgørelser inkl. LULUCF-emissioner fra 2024, og der forventes dermed på sigt en højere tilgængelighed af robuste LULUCF-opgørelser.

---

<sup>1</sup> Delrapport 1 - Beregning af Danmarks samlede forbrugsbaserede klimaaftryk; Metoderapport, samt Delrapport 2 - Danmarks samlede forbrugsbaserede klimaaftryk; Resultatrapport. Begge kan hentes på Energistyrelsens hjemmeside for Global Afrapportering 2021: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/global-afrapportering-2021>.

<sup>2</sup> "Annex-1 lande" dækker alle industrialiserede lande samt lande med overgangsekonomier (i Central- og Østeuropa), se listen her: <https://unfccc.int/process/parties-non-party-stakeholders/parties-convention-and-observer-states>. Andre lande kaldes omvendt "Non Annex-1 lande".

De nationale LULUCF-udledninger opgøres som led i udarbejdelsen af Danmarks nationale drivhusgasopgørelse, der udgives årligt med to års forsinkelse<sup>3</sup>. Der henvises til Bilag 1 for yderligere beskrivelse af LULUCF-opgørelser. Der anvendes globale opvarmningspotentialer<sup>4</sup> for metan og lattergas fra IPCC's 4. evalueringsrapport (dvs. hhv. 25 og 298 kg CO<sub>2</sub>e per kg) jf. de officielle retningslinjer. Som det ses i Tabel 2.1, vurderes det, at LULUCF-sektoren i Danmark resulterede i en nettoudledning på 2.412 kton CO<sub>2</sub>e i 2019, hvor agerjord og græs-jord er de største emissionskilder, mens skovarealer bidrager med et netto-optag (negative udledninger).

Tabel 2.1. Foreløbige 2021 opgørelse af LULUCF-emissioner i Danmark (EEA, 2021). Positive tal viser emissioner, mens negative tal viser et optag af drivhusgasser.

	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
LULUCF (kton CO <sub>2</sub> e)	6.508	4.581	2.026	622	1.728	1.658	3.474	2.412
A. Skovareal	- 1.251	- 1.208	- 2.308	- 4.063	- 3.183	- 2.629	- 2.194	- 2.558
B. Agerjord	4.949	3.661	2.168	2.269	2.417	1.966	3.257	2.877
C. Græs jord	2.230	1.982	1.881	2.118	2.149	2.056	2.219	2.133
D. Vådområder	111	84	241	70	100	47	92	71
E. Bebyggelse	472	347	242	256	279	211	230	223
F. Andet land	0	0	0	0	0	0	0	0
G. Høstede træprodukter	- 2	- 284	- 196	- 28	- 34	6	- 130	- 335

Summen af LULUCF-udledninger på tværs af Annex 1-lande er estimeret til -1.881 Mton CO<sub>2</sub>e i 2018 (UNFCCC, 2020). Dette netto-optag betyder, at der samlet set bindes mere drivhusgas end der udledes i disse lande, selv om der for Danmarks vedkommende var tale om en netto-udledning i 2018 på ca. 3,5 Mton CO<sub>2</sub>e (se Tabel 2.1).

Usikkerheden om størrelsesordenen af de samlede globale LULUCF-udledninger er væsentlig større, hvilket er relateret til mangel på opgørelser i Non-Annex 1-lande. Ifølge IPCC's femte evalueringsrapport er de globale LULUCF-emissioner estimeret til en netto-udledning af ca. 3.300 Mton CO<sub>2</sub>e per år i perioden 2002-2011 (IPCC, 2014).

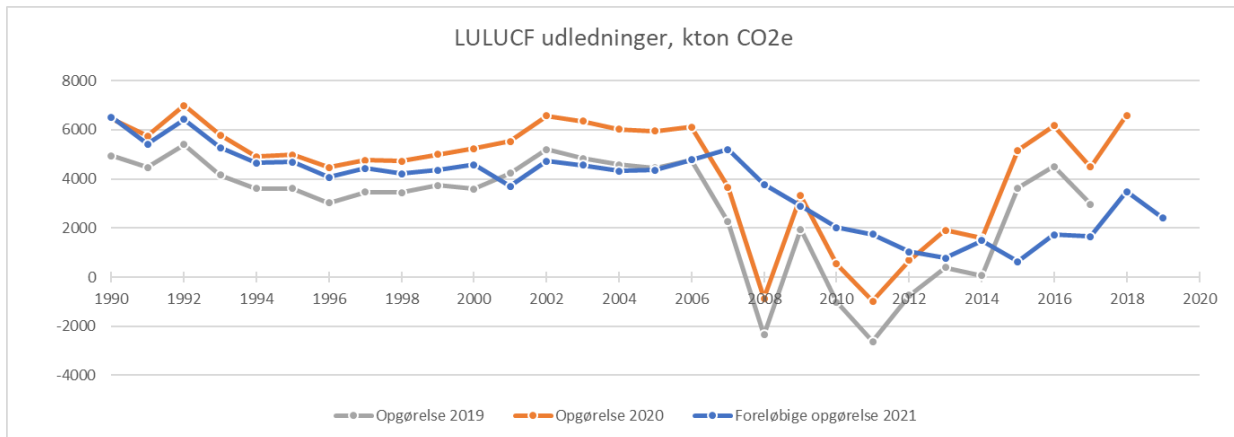
### 3 Udfordringer ved opgørelse af LULUCF-udledninger

Opgørelsen af LULUCF-udledninger er en kompleks og tidskrævende opgave, idet LULUCF-sektoren dækker over et meget komplekst og dynamisk biologisk system med flere kilder til optag og udledninger af kulstof (fx fotosyntese, dekomposition af organisk stof, respiration, etc.). Om jord og biomasse frigiver eller optager kulstof, afhænger bl.a. af jordtype, dræning, afgrødevalg, vejrmæssige forhold og måden jorden dyrkes på. LULUCF-opgørelser fra 1990 og frem genberegnes løbende, idet kvaliteten af inputdata (fx om arealer) forbedres, og emissionsfaktorer opdateres.

Det bør bemærkes, at de årlige genberegning af emissioner for tidligere år ofte resulterer i store udsving i de historiske tal, som kan ses i Figur 3.1. Eksempelvis er 2018 LULUCF-udledninger i Danmark 47 % lavere i den foreløbige 2021-opgørelse end de var i 2020-opgørelsen. Forskellen skyldes især bidrag fra skovarealer, hvor opgørelsen af udledningerne er reduceret fra 402 kton CO<sub>2</sub>e til -2.194 kton CO<sub>2</sub>e mellem de to udgaver af den nationale drivhusgasopgørelse. Genberegningen påvirker hele tidsserien fra 1990 og frem, og skyldes bl.a. nye data om arealet af de forskellige areal typer, samt en ny metodisk tilgang i opgørelse af skovarealer fra år til år, som giver færre udsving.

<sup>3</sup> Danmarks LULUCF opgørelse beregnes af DCE samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet. Som regel udgives den foreløbige opgørelse i januar, mens den endelige opgørelse udgives i marts.

<sup>4</sup> Det globale opvarmningspotentiale udtrykker den klimaeffekt, et kilo af en given gas har sammenlignet med et kilo CO<sub>2</sub>



Figur 3.1 LULUCF-udledninger i Danmark ifølge 2019 opgørelsen, 2020 opgørelsen, og den foreløbige 2021 opgørelse. Bemærk, at opgørelserne har en toårig forsinkelse.

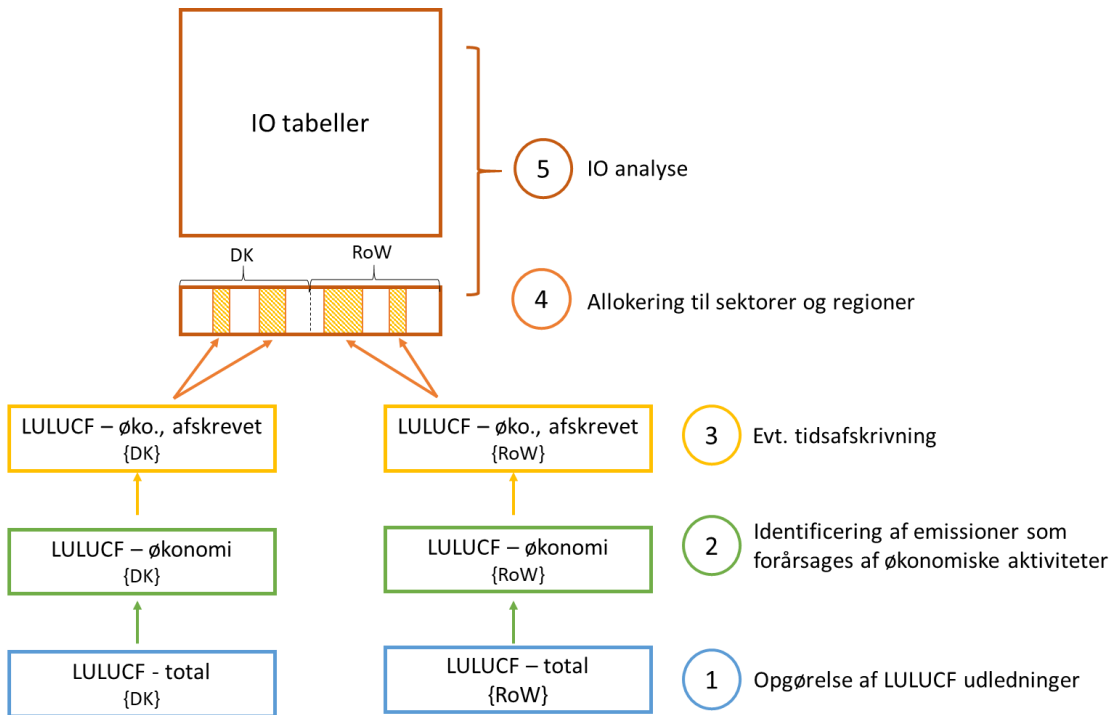
Både størrelsesordenen af LULUCF-opgørelsen og de ændringer, som opstår ved en genberegning, giver nogle udfordringer i forhold til at skulle inkludere LULUCF i opgørelsen af det danske klimaaftryk.

## 4 Udfordringer ved kobling af LULUCF-udledninger og input-output modeller

Modellen til beregning af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk består af en kobling mellem officielle danske statistikker (IO-tabeller og emissionsregnskaber<sup>5</sup>) og de multi-regionale IO-tabeller og emissionsdata fra EXIOBASE v3.8 (Stadler et al., 2018; Stadler et al., 2020). Modellen afspejler – i monetære enheder – hvor meget der købes fra alle brancher i hele verden for at imødekomme den danske efterspørgsel af produkter og tjenesteydelser, og hvor stort drivhusgasudslippet fra disse brancher er.

Beregningen af et forbrugsbaseret klimaaftryk forudsætter en kobling af emissionsregnskaber med økonomiske input-outputtabeller. Dette indebærer, at alle emissioner skal kunne kobles til økonomisk aktivitet i alle lande og regioner (UN, 2014). Der findes som udgangspunkt ikke sådanne koblinger for de emissioner, der stammer fra LULUCF-sektoren. I denne afsnit undersøges det, i hvilket omfang LULUCF-udledninger vil kunne tilføjes til beregningsmodellen, og hvad implikationerne vil være. Den foreslåede fremgangsmåde er illustreret i Figur 4.1, og beskrives i det følgende.

<sup>5</sup> Se <https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/nationalregnskab-og-offentlige-finanser/produktivitet-og-input-output/input-output-tabeller> og <https://www.dst.dk/da/Statistik/dokumentation/statistikdokumentation/emissionsregnskab>



Figur 4.1. Indarbejdelse af LULUCF-opgørelser i IO analyse.

I første omgang forudsætter inklusion af LULUCF-emissioner i input-output modellen, at LULUCF-opgørelser er tilgængelige for alle de lande og regioner, som findes i IO-tabellerne (trin 1 i Figur 4.1). Til vurderingen af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk inkluderer beregningsmodellen data for Danmark via Danmarks Statistiks opgørelser. Derudover inkluderes data for 48 andre individuelle lande, og resten af verdens lande samlet i fem regioner fra EXIOBASE IO-tabellerne. Disse lande og regioner vises for forenklingens skyld som "rest-of-world" eller RoW i figuren. Imidlertid er det som tidligere nævnt kun "Annex I parties" (43 lande, inkl. Danmark) som på nuværende tidspunkt er forpligtet til at afrapportere deres LULUCF-udledninger årligt. Den første udfordring i forhold til at inkludere LULUCF-udledninger i opgørelsen af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk er således, at der mangler LULUCF-opgørelser for en lang række lande i verden, bl.a. Kina, Indonesien, Indien, etc.

Under forudsætning af at der fandtes LULUCF-opgørelser for alle lande og regioner i modellen, ville næste skridt være at identificere, hvilke emissioner der kan allokeres til hvilke typer forbrug. Med andre ord at identificere, hvilke emissioner der kan tilknyttes til de økonomiske aktiviteter, som udføres for at imødekomme en efterspørgsel af varer eller tjenesteydelser (trin 2 i Figur 4.1). LULUCF-udledninger vil nemlig ikke altid naturligt være knyttet til et forbrug eller en økonomisk aktivitet, (fx emissioner fra skovbrande, som afrapporteres under "forest land" i LULUCF-opgørelserne). Disse ikke-forbrugsrelaterede udledninger kan have en ret væsentlig størrelse i nogle lande og kan ikke allokeres til en økonomisk aktivitet i IO-tabellerne. I Danmark blev der fx i 1989 vedtaget en målsætning om at fordoble skovarealet. Denne målsætning skyldtes ikke øget efterspørgsel efter træprodukter, men et ønske om at styrke en række ikke-markedsomsatte goder, som skov kan bidrage til, herunder rekreative værdier, biodiversitet mv. Sådanne ikke-markedsomsatte goder indgår ikke i de økonomiske IO-tabeller, selv om de i princippet kan siges at blive "forbrugt" af borgerne. Den resulterende binding af CO<sub>2</sub> gennem skovrejsning kan og skal derfor ikke allokeres til økonomiske aktiviteter. De vil derfor ikke indgå som en del af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk. Samlet set medfører dette, at så længe man anvender en model hvor udledninger skal knyttes til økonomiske aktiviteter for at opgøre Danmarks klimaaftryk, vil der være en del af LULUCF-sektorens udledninger/optag, som ikke kan indregnes i modellen, fordi de ikke meningsfuldt kan betragtes som relateret til forbrug.

Mens emissioner fra arealændringer opgøres for ét år, kan udslippet faktisk være over flere år fx pga. biologiske processer i jordlaget. Her skal det besluttes, om LUC emissioner evt. skal afskrives over en længere periode, og

hvordan (trin 3 i Figur 4.1). EU Kommissionen opfordrer fx til at bruge en jævn afskrivning af LUC-emissioner over 20 år ved beregning af produkters miljømæssige fodaftryk (*Product Environmental Footprint – PEF*) (Manfredi et al., 2012). Afhængig af formålet med fordeling af emissionerne over tid, kan der vælges kortere eller længere afskrivningsperioder, med en jævn eller ujævn distribution af emissionerne (Davis et al., 2014).

Når først LULUCF-udledninger forbundet med økonomiske aktiviteter er identificeret for alle lande og regioner i modellen, skal de allokeres på tværs af de relevante brancher i IO-tabellerne (trin 4 i Figur 4.1). Der skal dermed opstilles en ny matrix af LULUCF-emissioner tilknyttet økonomiske aktiviteter i IO-tabellen. For en del af LULUCF-udledningerne er koblingen til økonomisk aktivitet og specifikke brancher forholdsvis enkel, mens det for andre er mere problematisk og kan have nogen uønskede konsekvenser for hvordan årsagssammenhænge afspejles i modellen. I beregningsmodellen anvendes de danske IO-tabeller opdelt i 117 brancher for den danske del af udledningerne, samt EXIOBASEs IO-tabeller med 163 sektorer for udledningerne indeholdt i importen fra andre lande og regioner. Det betyder, at allokeringen af emissioner til de relevante brancher ikke kan være den samme for Danmark og for resten af verden, hvilket er vist i tabel 4.1. Eksempelvis kan de danske LULUCF-udledninger fra arealtypene "*cropland*" og "*grassland*" allokeres til branchen "Landbrug og gartneri", som det er gjort i beregningen af det danske klimaaftryk. Grundet den mere detaljerede opdeling af landbrugsbrancher i EXIOBASE vil udenlandske udledninger fra "*cropland*" og "*grassland*" skulle fordeles på tværs af de hhv. 8 landbrugsbrancher og 5 husdyrproduktionsbrancher i EXIOBASE<sup>6</sup>. Kategorien "*Forest land*" dækker bl.a. optag af CO<sub>2</sub> gennem skovtilvækst, samt CO<sub>2</sub>-udslip fra skovning af træ til biomasse (energiformål), hvor det antages, at biomasse brændes i samme år, som det skoves. Ved at koble disse emissioner til branchen "Skovbrug" eller "*Forestry, logging and related services activities*" i IO-tabellerne, vil man i en forbrugsbaseret analyse allokere emissionerne til alle varer og tjenesteydelser som inkluderer et forbrug af træ i deres forsyningskæder. Effekten fra afbrænding af biomasse vil dermed være indarbejdet i modellen gennem en reduktion i tilvæksten i skovsektoren (i landet hvor biomassen blev høstet) i stedet for som en udledning i energisektoren (i landet hvor biomassen blev afbrændt)<sup>7</sup>.

Under forudsætningen af, at der kan produceres en matrix af LULUCF-emissioner, som er konsistent med IO-tabeller, kan IO-analyse derefter anvendes til at identificere størrelsesordenen af de LULUCF-udledninger i verden, som skyldes det danske forbrug (trin 5 i Figur 4.1). Det skal bemærkes, at selv for udledninger, som er rimeligt direkte knyttet til økonomisk aktiviteter, er omfanget af emissionerne kraftigt påvirket af vejret. Ændringer i kulstofdepoter i landbrugsjord og skovarealer afhænger af både tilvækst af biomasse og af mikroorganismers nedbrydning af dødt materiale, som begge er påvirket af temperatur og nedbør. Når sluteffekten indarbejdes i den forbrugsbaserede opgørelse, vil man kunne stå i den situation, at et fald/stigning i LULUCF emissioner knyttet til det danske forbrug (og dermed et fald eller stigning i den årlige opgørelse af Danmarks samlede forbrugsbaserede klimaaftryk) ikke skyldes ændret økonomisk adfærd eller forbedrede produktionsmetoder, men snarere skyldes særlige vejrforhold i det pågældende år.

<sup>6</sup> Her vil landbrugsareal eller antal husdyr med fordel kunne anvendes som fordelingsnøgle

<sup>7</sup> Det bemærkes, at CO<sub>2</sub> udledninger fra afbrænding af biomasse til energiformål kun afrapporteres som en memo item i Energisektoren i afrapportering til UNFCCC.

Table 4.1. Foreslået allokering af LULUCF-udledninger på tværs af brancher i danske statistikker og EXIOBASE. Der kræves yderligere analyse af økonomiske aktiviteter tilknyttet til LULUCF-sektoren i hele verden til at sikre, at alle relevante brancher i IO tabellerne er medtaget.

Land use category	Økonomiske Aktiviteter	Danske brancher	EXIOBASE brancher
A. Forest land	Plantage, produktion af træ til energiformål	Skovbrug	Forestry, logging and related service activities
B. Cropland	Landbrug	Landbrug og gartneri	Cultivation of paddy rice Cultivation of wheat Cultivation of cereal grains nec Cultivation of vegetables, fruit, nuts Cultivation of oil seeds Cultivation of sugar cane, sugar beet Cultivation of plant-based fibers Cultivation of crops nec
C. Grassland	Græsning, landbrug	Landbrug og gartneri	Cattle farming Pigs farming Poultry farming Meat animals nec Animal products nec
D. Wetlands	Indvinding af tørv	Indvinding af grus og sten	Mining of coal and lignite; extraction of peat
E. Settlements	Nybyggeri og infrastruktur	Nybyggeri	Construction
F. Other land	Ubetydelig	-	-
G. Harvested wood products	Plantage, produktion af træ til fremstilling af træprodukter eller papirprodukter	Skovbrug, eller Træindustri	Forestry, logging and related service activities, eller Manufacture of wood and of products of wood and cork...

Opsummerende kan det siges, at der er to overordnede elementer, der skal være på plads for at kunne inkludere LULUCF i det forbrugsbaserede klimaafttryk:

- 1) Der skal være data for LULUCF udledninger og optag for alle de lande og regioner der indgår i IO-modellen
- 2) De udledninger, der stammer fra LULUCF, skal opdeles i udledninger der meningsfuldt kan allokeres til forbrug og udledninger der skyldes andre forhold

Den officielle danske LULUCF-opgørelse beregner bl.a. CO<sub>2</sub>-emissioner fra kulstofdepotændringer i dyrkede arealer og græsarealer, som forårsages af landbrugssektoren i Danmark. Derudover findes der i EXIOBASE data om CO<sub>2</sub>-emissioner fra tørvedbrydning i landbrugssektoren i udlandet. Det er vurderet, at disse to datasæt samlet set giver et retvisende og konsistent billede af CO<sub>2</sub> emissioner fra arealanvendelse, som er tilknyttet til landbrugsaktiviteter på dyrkede arealer i hele verden. Det er således besluttet, at medtage disse emissioner i beregningsmodellen, som dermed fanger den del af LULUCF-udledningerne, der stammer fra anvendelse af dyrkede arealer (LU). De øvrige udledninger fra LULUCF-sektoren (LUC og F) er imidlertid ikke inkluderet i modellen på nuværende tidspunkt.

Da der ikke findes fyldestgørende globale data om LULUCF-udledninger, er det nødvendigt at undersøge andre metoder til at estimere emissionerne fra LULUCF, hvis de samlede udledninger skal inkluderes i det danske klimaafttryk. Undersøgelsen afgrænses her til metoder med fokus på LUC, hvor IO-tabeller danner grundlag for beregningen af forbrugsbaserede opgørelser. Der er identificeret to metoder, der forsøger at medregne LUC-emissioner knyttet til forbruget, som pt. ikke er med i beregningen af det danske forbrugsbaserede klimaafttryk. Metoderne, som er udviklet af hhv. 2.-0 LCA consultants og Chalmers Universitet, beskrives i næste afsnit.



## 5 Vurdering af LUC-udledninger som følge af det danske forbrug

Betegnelsen LULUCF, hvoraf LUC er en delmængde, anvendes primært ift. afrapportering af nationale, territoriale udledninger til UNFCCC, som alene fokuserer på emissioner inden for landets geografiske grænser.

En forbrugsbaseret opgørelse af klimaaftrykket har et andet formål og inkluderer alle emissioner, både indenlands og udenlands, som følge af forbruget. For at håndtere en forbrugsbaseret opgørelse nedbrydes ændringer i arealanvendelse i to forskellige bestanddele (som også anvendes i LCA-opgørelser):

- *Direkte ændringer i arealanvendelsen (direct Land Use Change - dLUC)*: Omfatter de udledninger der er knyttet til de direkte ændringer, der sker på et givet areal, fx når en skov ryddes til landbrugsjord.
- *Indirekte ændringer i arealanvendelsen (indirect Land Use Change - iLUC)*: Omfatter de udledninger der er knyttet til den arealændring som følger indirekte ved udnyttelse af et areal, sædvanligvis pga. de globale markedsforhold. Når et landbrugsareal omlægges fra dyrkning af fødevarer til dyrkning af fx energiafgrøder, vil det betyde, at fødevarerne skal produceres andetsteds, fordi den globale efterspørgsel efter fødevarer antages at være uændret. I sidste ende kan dette således potentielt medføre, at der ryddes skov for at sikre areal til dyrkning af de efterspurte fødevarer.

Skelnen mellem dLUC og iLUC er således specifik for forbrugsbaserede opgørelser. I afrapportering af nationale, territoriale udledninger til UNFCCC medtages kun LUC inden for landets grænser.

I fraværet af fælles standarder og retningslinjer findes der et bredt udvalg af modeller til at medregne iLUC-udledninger i forbrugsbaserede opgørelse af klimaeffekter. De fleste studier om iLUC-udledninger fokuserer på specifikke produkter (bl.a. biobrændsler og fødevarer), og tillader således et større detaljeringniveau i modelleringen, evt. med indarbejdelse af fysiske data om varerne eller priselasticitet, end det er muligt når man skal opgøre de forbrugsbaserede udledninger for et helt land. Der findes færre studier til opgørelse af iLUC-udledninger på sektorielt eller nationalt niveau, hvor store mængder af varer og internationale værdikæder besværliggør opgaven (Woltjer et al., 2017; Hörtenhuber et al., 2018; Flysjö, 2012). Modellerne afviger fra hinanden både ift. den generelle metodiske tilgang (fx anvendelse af økonomiske modeller, livscyklusanalyse, etc), tidsaspekter, håndtering af biprodukter mv. Resultaterne viser som følge deraf en stor variation og der er enighed om, at vurderingen af iLUC-udledninger er forbundet med stor usikkerhed (Finkbeiner, 2013).

I praksis er dLUC-emissioner oftere inkluderet i forbrugsbaserede opgørelser end iLUC emissioner. Ifølge den europæiske PEF metode skal vurderinger af produkters miljømæssige fodaftryk inkludere dLUC<sup>8</sup>, men udelade iLUC (Manfredi et al., 2012). Andre eksperter foretrækker dog alligevel at inkludere iLUC effekterne, på trods af usikkerheden, for at undgå en bevidst undervurdering af de samlede klimaeffekter (Muñoz et al., 2014).

Det bemærkes, at beregningen af iLUC effekter typisk sker med en konsekvensrettet eller marginal tilgang, som har fokus på at belyse effekter som følge af en beslutning eller forandring. Den marginale tilgang baseres således ikke på en gennemsnitlig allokering af de faktiske LUC emissioner, men belyser de marginale ændringer der vil være i emissionerne som følge af en ændret efterspørgsel. I en attributiv eller gennemsnitstilgang medregnes den gennemsnitlige andel af de faktiske (historiske) udledninger som skyldes et givet forbrug. Dette sker efter en fastsat fordelingsnøgle (fx totale LUC emissioner divideret med totale landbrugsarealer).

Det skal dog anføres, at selv med en fyldestgørende kobling af LULUCF opgørelser med IO-tabeller, vil iLUC emissioner ikke blive fanget af beregningsmodellen, idet IO-tabellerne ikke kan afspejle de globale markedsforhold, som forårsager de indirekte effekter. Hvis IO-analyser anvendes til at vurdere fx udledninger fra forbruget af dansk rapsbaseret biodiesel, ville resultaterne medtage LULUCF emissioner, som er direkte tilknyttet til produktion af selve biodieselen inkl. produktion af raps. Derimod kan IO-analysen ikke fange, at idet arealet nu

---

<sup>8</sup> PEF metoden følger en attributiv tilgang. Beregningen af dLUC emissioner tager udgangspunkt i historiske og fortidige arealændringer på det undersøgte areal, hvoraf emissionerne fordeles jævnt over en 20-årig periode.

bliver anvendt til produktion af raps, kan det betyde, at det der tidligere blev dyrket på arealet, fx en proteinafgrøde, nu må dyrkes et andet sted, hvis det antages, at det samlede behov for proteinafgrøder er det samme. Potentielt kan dette behov for areal til proteinafgrøder (fx soja) medføre skovrydning et andet sted end der, hvor den konkrete dyrkning foregår (fx i Brasilien). Selvom emissionerne fra skovrydning i Brasilien er dokumenteret i landets LULUCF opgørelse, og måske endda er koblet til den økonomiske aktivitet "dyrkning af soja", så indgår der ikke noget indkøb af brasiliansk soja i biodiesels værdikæde, og der mangler derfor et link mellem forbruget af biodiesel i Danmark og skovrydning i Brasilien, som således ikke medtages i den matematiske omfordeling fra produktion til forbrug i IO analysen. Udledninger vil så i stedet være pålagt produkter, som inkluderer brasiliansk soja direkte i deres forsyningskæde.

Med andre ord kan man kun inkludere emissioner, som indgår direkte i værdikæden af de forbrugte produkter ved en almindelig IO-analyse. Før indirekte effekter (som fx iLUC emissioner) kan inkluderes, skal der tilføjes et nyt lag af data og modellering til IO-tabellerne.

Nedenstående metoder, som er udviklet af Chalmers Universitet og 2.-0 LCA consultants, fokuserer på at opgøre hhv. direkte arealændringer og indirekte arealændringer og beskrives i det følgende.

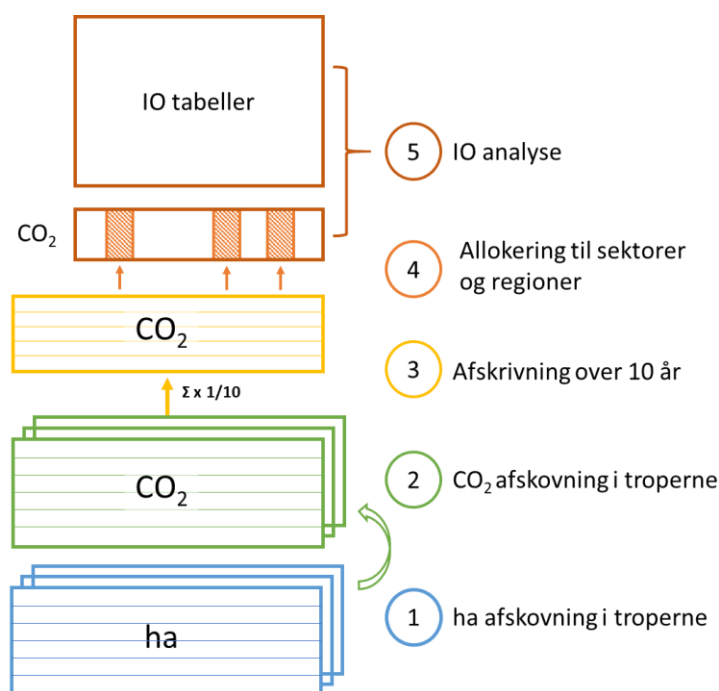
## 5.1 dLUC-emissioner: Metode fra Chalmers Universitet

I forbindelse med PRINCE projektet<sup>9</sup> i Sverige har forskere fra Chalmers Universitet undersøgt sammenhængen mellem forbrug og emissioner fra afskovning i troperne, som beskrevet i artiklen fra Pendrill et al. (2019). Metoden følger en attributiv tilgang med formål at vurdere størrelsesordenen af de historiske emissioner fra afskovning i troperne, som skyldes det svenske forbrug. Metoden fokuserer dermed på en del af de direkte ændringer i arealanvendelse (dLUC).

Fremgangsmåden, som illustreres i Figur 5.1, ligner den ovenstående foreslåede metode til at inkludere LU-LUCF-opgørelser i IO-modeller, idet der opstilles en ny matrix af emissioner fra afskovning, som kan kobles med IO-tabeller.

---

<sup>9</sup> PRINCE (Policy-Relevant Indicators for National Consumption and Environment) var et 3-årigt forskningsprojekt (2015-2018) finansieret af Naturvårdsverket (det svenske miljøbeskyttelsesagentur) og Havs och Vatten Myndigheten. Formålet med projektet var bl.a. at udvikle indikatorer til overvågning af forbrugets klimapåvirkning



Figur 5.1. Forbrugsbaseret beregning af emissioner fra afskovning i tropene, ifølge metoden fra Chalmers Universitet.

Metoden fokuserer på udledninger fra afskovning i tropene, som forårsages af udvidelse af areal til landbrug, græsning og plantager. Det er antaget, at landbrugsdrevet afskovning i andre lande er marginal sammenlignet med den, der finder sted i tropene, og derfor medregnes det ikke. Der er anvendt data fra FAO<sup>10</sup> til at beregne størrelsen af arealerne i alle tropiske lande, hvor skov er blevet ryddet på grund af udvidelse af areal til landbrug, græsning og plantager (trin 1 i Figur 5.1). Afskovningsdata er indsamlet for hele perioden 2001-2014 (som illustreres af flere lag i figuren), og opdelt på tværs af 9 afgrødegrupper (rismark, hvede, andet korn, grøntsager frugter og nødder, oliefrø, sukker, plantebaserede fibre, andre afgrøder), græsning af kvæg til produktion af kød og skovbrugsprodukter i plantager (flere linjer i den blå kasse i figuren). Det er vurderet, at ca. 60 % af afskovning i tropene skyldes dyrkning af landbrugsafgrøder, græsning af kvæg eller produktion af skovbrugsprodukter i plantager. De resterende 40 % vurderes at være forårsaget af andre forhold såsom skovbrand, udvidelse af areal til byer eller råstofudvinding etc., og disse udelades.

Afskovningsdata (i hektar) er derefter omregnet til CO<sub>2</sub>-emissioner ved at beregne ændringer i kulstofindhold i biomasse og jord (trin 2 i Figur 5.1). Beregningen tager hensyn til kulstofindhold af arealerne før og efter afskovning afhængigt af, hvad arealet anvendes til. Dette er gjort med udgangspunkt i satellitmålinger og data fra litteraturen.

Udledninger fra afskovning afskrives over 10 år (trin 3 i Figur 5.1), idet det antages, at arealændring og afgrødeproduktion ikke sker på samme tid, men at udvidelsen af areal er sket op til 10 år før det pågældende års produktion. Hvis der fx blev fældet skov i 2001 i Brasilien for at udvide arealet til produktion af soja, er emissionerne fra afskovning fordelt jævnt over den 10-årige periode 2001-2011. Produktion af soja i 2011 være således være forbundet med en tiendedel af de emissioner, der stammer fra den tilknyttede afskovning, hvis dette er sket indenfor de foregående 10 år. Er afskovning sket for mere end 10 år siden, bliver de tilknyttede emissioner sat til nul. Der bemærkes her, at valget af en 10-årig afskrivningsperiode er subjektiv, og forudsætter en retrospektiv tilskrivning af ansvarlighed for tidligere afskovning. Andre metoder anvender en jævn fordeling af emissionerne over en 20-årig afskrivningsperiode, eller en ujævn fordeling med mere vægt på de første år efter arealændringerne (Davis et al., 2014; Manfredi et al., 2012).

<sup>10</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations

Emissionerne allokeres derefter til de relevante sektorer og lande eller regioner i EXIOBASE IO-tabeller (trin 4 i Figur 5.1). Allokeringen til økonomiske sektorer muliggøres bl.a. af opdelingen af afskovningsdata på tværs af landbrugsprodukter, som udført i trin 1. Afskovning som skyldes produktion af oliefrø, allokeres fx til sektoren "*Cultivation of oil seeds*" for det pågældende land i EXIOBASE.

Til sidst allokeres emissionerne til det endelige forbrug ved anvendelse af IO-analyse (trin 5 i Figur 5.1). I artiklen af Pendrill et al. (2019) anvendes de monetære IO-tabeller fra EXIOBASE til at undersøge sammenhæng mellem afskovning og forbrug i perioden 2010-2014. Artiklen angiver resultater for en række lande, og resultaterne for Danmark er angivet i Tabel 5.3 i afsnit 5.4.

Samlet set er udledninger fra afskovning pga. landbrug, græsning og plantager faldet med 4 % mellem 2010 og 2014. Dette fald skyldes først og fremmest faldet i skovrydning i Amazonas (-18 % i Brasilien). Tiltag som fokuserer på at reducere afskovning resulterer således i et fald i de samlede udledninger, som medregnes i modellen - dog med en forsinkelse pga. afskrivning.

Resultaterne i artiklen giver således en vurdering af de gennemsnitlige udledninger fra direkte arealændringer (afskovning), som sker opstrøms i værdikæden af varer og tjenesteydelser, som er forbrugt i Danmark i 2010-2014.

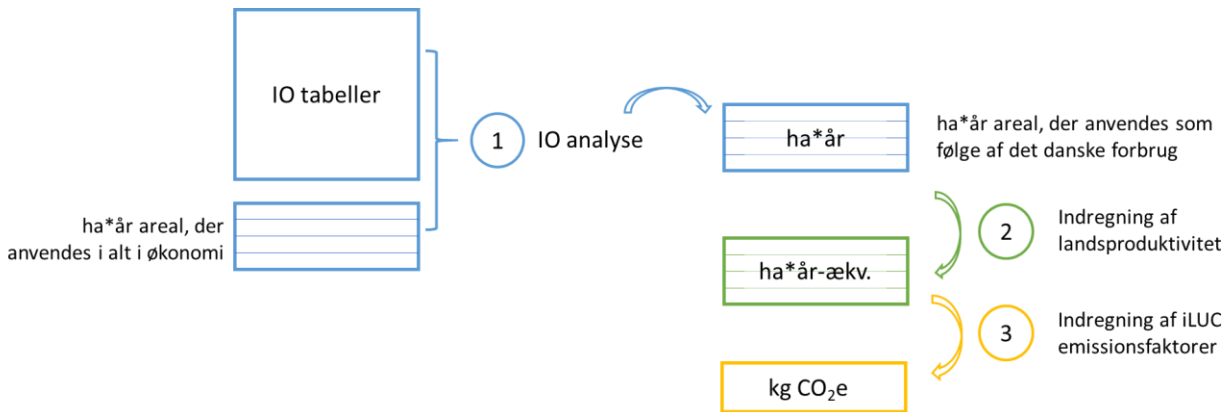
Pendrill et al. (2020) har senere udgivet et opdateret datasæt over produktionsbaserede emissioner fra afskovning og dræning af tørvemarker, som dækker tidsserier i perioden 2005-2017. Emissionsdata er dog ikke tilpasset økonomiske aktiviteter i EXIOBASE, og kræver yderligere databearbejdning, før de kan reallokeres til forbrugsbaserede resultater med IO-modeller.

## 5.2 iLUC-effekter: Metode fra 2.-0 LCA consultants

Rådgivningsvirksomheden 2.-0 LCA consultants har udviklet en metode til at modellere og medregne indirekte arealændringer i livscyklusanalyser, som beskrevet i artiklen fra Schmidt et al. (2015). Metoden følger en marginal eller konsekvensrettet tilgang, med formål at vurdere størrelsen af iLUC emissioner, såfremt det danske forbrug ændres. Resultatet viser forskellen mellem udledningerne fra det danske forbrug sammenlignet med den hypotetiske situation, hvor der ikke er noget forbrug.

I denne metode antages alle arealkrævende aktiviteter at trække på et globalt marked for land, som er forbundet med drivhusgasemissioner. Som illustreret i Figur 5.2 og yderligere beskrevet i det følgende, kan beregningen af iLUC-effekterne af det danske forbrug samlet set brydes ned i:

- 1) Vurdering af arealerne (i hektar\*år) som udnyttes i produktion i alle lande til at kunne imødekomme det danske forbrug – ved EXIOBASE IO-tabeller
- 2) Omregning af arealerne til produktivitetsvægtede arealer (i hektar\*år-ækvivalenter)
- 3) Multiplikation af produktivitetsvægtede arealer med emissionsfaktorer fra Tabel 5.1.



Figur 5.2. Forbrugsbaseret beregning af iLUC-effekter, ifølge metoden fra 2.-0 LCA consultants.

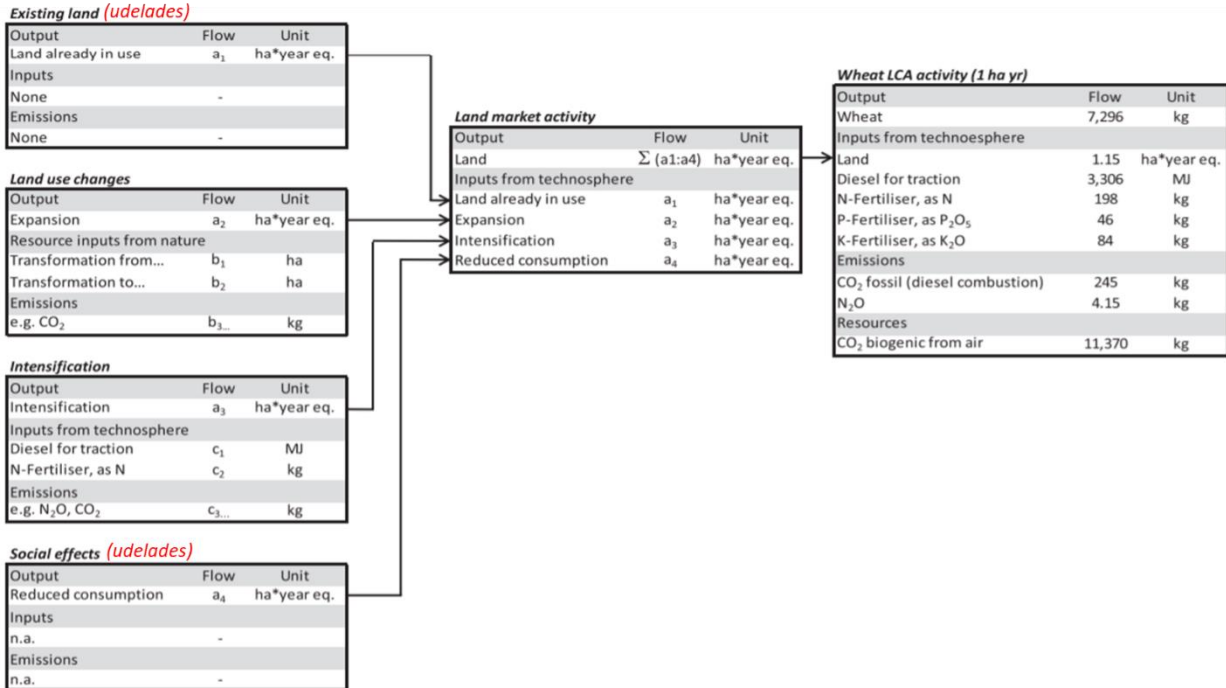
Der anvendes hybride IO-tabeller fra EXIOBASE v3.3.16b2 (udgivet august 2020), som baseres på data fra 2011. Betegnelsen "hybrid" henviser her til anvendelsen af både monetære og fysiske enheder (dvs. både EUR, kg, MJ og hektar). IO-tabellerne er produceret med det formål at understøtte livscyklusanalyser, med en konsekvensrettet tilgang. De følger således en marginaltilgang med hensyn til elproduktion, håndtering af biprodukter samt håndtering af affald, og de inkluderer kapitalgoder som input til produktion<sup>11</sup>. EXIOBASE indeholder data om den samlede anvendelse af areal (skovareal, dyrket land, græsningsareal, og andet areal) af alle brancher i alle lande og regioner i modellen. Indledningsvist anvendes IO-modellen til at beregne arealudnyttelsen i hvert land i EXIOBASE til at imødekomme det danske forbrug (trin 1 i Figur 5.2).

Alle arealer i verden har ikke den samme evne til at producere biomasse, og modellen tager derfor hensyn til forskellen i arealernes produktivitet på tværs af lande. Anvendelsen af 1 hektar areal i ét år (dvs. 1 ha\*år) omregnes i ha\*år-ækvivalenter (trin 2 i Figur 5.2), hvor udnyttelsen af 1 ha\*år jord med gennemsnitlig potentiel produktivitet er lig med 1 ha\*år-ækv. Eksempelvis er 1 ha\*år i Danmark lig med 1,08 ha\*år-ækv., mens 1 ha\*år i Indonesien er lig med 1,97 ha\*år-ækv., hvilket afspejler at landbrugsjord i Indonesien har en større produktivitet sammenlignet med Danmark.

Dette forbrug af areal eller land forsynes af et globalt marked for land, hvor efterspørgslen kan imødekommes på fire forskellige måder: Anvendelse af eksisterende land, arealændringer (herunder skovrydning), intensivering (med gødning), og sociale effekter (fx reduktion i forbrug af fødevarer) (se Figur 5.3). Pga. manglende evidens vedrørende en reduktion i forbruget af fx fødevarer på lang sigt, antages det på nuværende tidspunkt, at bidraget herfra kan udelukkes. Derudover udelukkes udnyttelsen af eksisterende land som følge af anvendelse af en marginaltilgang<sup>12</sup>. Det bemærkes her, at emissioner fra anvendelsen af eksisterende land og arealændringer afrapporteres til UNFCCC i LULUCF-sektoren, mens emissioner fra intensivering afrapporteres i Landbrugssektoren (se Bilag I). Det bemærkes endvidere, at intensivering ikke er en del af de fleste iLUC-modeller (Muñoz et al., 2014). iLUC-effekter anvendes således i metoden fra 2.-0 LCA consultants som en samlet betegnelse for arealændringer og intensivering og kan ikke direkte sammenlignes med opdelingen af sektorer i afrapportering til UNFCCC.

<sup>11</sup> Der anvendes et marginalt elmix i de hybride IO tabeller, mens de monetære IO-tabeller anvender et gennemsnitligt elmix. Biprodukter, bl.a. fra affaldshåndteringsprocesser, håndteres derudover som negative inputs i de hybride IO-tabeller til at afspejle fortrængning af produkter. Til gengæld anvendes der allokering i de monetære IO-tabeller. Kapitalgoder håndteres som input til produktion i de hybride IO-tabeller, mens de opgøres som en type af endeligt forbrug i de monetære IO-tabeller.

<sup>12</sup> Metoden kan anvendes med en attributiv eller en konsekvensrettet (marginal) tilgang, hvor markedet for land vil hhv. inkludere eller udelukke anvendelsen af eksisterende land. Modelleringen af iLUC effekter med en attributiv tilgang (dvs. med anvendelse af eksisterende land) resulterer i lavere emissioner end med en marginal tilgang. I EXIOBASE v3.3.16b2 anvendes der en marginal tilgang, dvs. markeder er uden anvendelse af eksisterende land.



Figur 5.3. Marginale markedet for landbrugsareal, som følge af eksempelvis dyrkningen af hvede (figur tilpasset fra Schmidt et al, 2015).

De marginale markeder for areal eller land (og dermed bidraget fra intensivering eller arealændringer) tager udgangspunkt i statistikker om areal og udbytte mellem 2000 og 2010. Efterspørgslen for dyrket land imødekommes således med 47 % arealændringer, og 53 % intensivering i modellen. Ses der en hurtigere stigning i afgrøders udbytte end i størrelsen af dyrkede arealer i perioden 2010-2020, ville opdaterede markeder for land indebære et større bidrag af intensivering.

Intensivering medfører emissioner af CO<sub>2</sub>, metan og lattergas fra anvendelsen og fremstillingen af gødning, hvor der anvendes globale opvarmningspotentialer fra IPCC's 5. evalueringsrapport (hhv. 1, 28 og 265 kg CO<sub>2e</sub> per kg). Emissioner af CO<sub>2</sub> fra arealændringer håndteres særskilt pga. tidsaspekter. Det antages nemlig, at der hvor der har været arealændringer i år ét, kan landet udnyttes det næste år uden behov for yderligere afskovning (arealet er allerede tilgængeligt). Arealændringer betragtes således som en accelereret udvidelse af fx dyrket land, hvor CO<sub>2</sub>-emissioner sker ét år tidligere end de ellers ville være sket (Kløverpris og Mueller, 2013). Med en tidshorisont af 100 år<sup>13</sup> beregnes klimapåvirkningen fra 1 kg CO<sub>2</sub> fra afskovning i ét år som udslippets samlede potentiale for opvarmning over 100 år minus dets samlede potentiale for opvarmning over 99 år (dvs. hvis udslippet skete ét år senere). Det resulterende potentiale for global opvarmning er 0,00783 kg CO<sub>2e</sub> per kg CO<sub>2</sub> fra afskovning. Det betyder, at 1 kg CO<sub>2</sub> fra skovrydning har det samme potentiale for global opvarmning over 100 år som 0,00783 kg CO<sub>2</sub> fra fx fossile kilder.

Der beregnes efterfølgende iLUC-emissionsfaktorer i kg CO<sub>2e</sub> per ha\*år-ækv. for dyrket land, skovareal, græsland, og andet land (se Tabel 5.1). Udnyttelsen af 1 ha\*år-ækv. dyrket land, som er den arealtype der bidrager mest til iLUC effekter, resulterer i iLUC effekter på 1.290 kg CO<sub>2e</sub>, hvoraf bidraget af arealændringer og intensivering er hhv. 60 % og 40 %. Markederne for skovareal og græsland forsynes udelukkende ved arealændringer, idet der ikke forudsættes anvendt gødning på disse type arealer. ILUC-emissionsfaktorerne varierer ikke

<sup>13</sup> Tidshorisonten defineres som den periode, hvor potentialet for opvarmning beregnes. Det anvendes en tidshorisont på 100 år i afrapportering til UNFCCC.

på tværs af lande men er konstante for den givne arealtype (idet der allerede er korrigeret for produktivitetforskelle via ha\*år-ækvivalent omregningen).

Tabel 5.1. iLUC udledninger fra udnyttelse af hver landtype ifølge modellen udviklet af Schmidt et al. (2015) og implementeret i EXIOBASE v3.3.16b2

Land type	iLUC emissionsfaktor (kg CO <sub>2</sub> e pr ha*år-ækv.)	Hvoraf bidrag fra arealændringer	Hvoraf bidrag fra intensivering
Dyrket land	1.290	60 %	40 %
Skovareal	429	100 %	0 %
Græsland	67	100 %	0 %
Andet land	0	Ikke relevant	Ikke relevant

Denne modellering af iLUC-effekter resulterer samlet set i en vurdering af klimaeffekter fra emissionerne af CO<sub>2</sub>, metan og lattergas, som forårsages af det afledte behov for fremrykkede arealændringer og intensivering til at kunne imødekomme en marginal efterspørgsel af varer og tjenesteydelser. Når analysen fokuserer på iLUC-udledninger fra det danske forbrug, vil resultaterne bl.a. vise en fremrykning på ét år af afskovning svarende til hele det danske forbrug behov for landbrugsareal. Resultaterne skal altså tolkes som størrelsen af emissioner, som ændres, hvis der ændres i det danske forbrug.

I udgangspunktet medfører al efterspørgsel efter produkter, der kræver areal eller land i værdikæden, arealændringer i henhold til den nævnte metode. Uanset om der anvendes danske græsproteiner eller brasiliansk soja til fodring af husdyr i Danmark, ville foder pålægges iLUC effekter, hvor størrelsen af emissionerne afhænger af hvor meget areal der udnyttes (i ha\*år-ækv.) og ikke så meget hvor det dyrkes (dog korrigeret for produktivitet gennem ha\*år-ækv.).

### 5.3 Sammenligning af metoderne

Chalmers Universitet og 2.-0 LCA consultants har udviklet to vidt forskellige metoder, der grundlæggende er forskellige både ift. til opgørelse af emissioner og i forhold til opstilling af IO-tabellerne (se Tabel 5.2). Det skyldes bl.a. to forskellige formål med metoderne, hvor den første har til formål at vise den gennemsnitlige og historiske sammenhæng mellem afskovning i troperne og forbrug, mens den anden forsøger at vurdere størrelsesordenen af iLUC emissioner som følge af en ændring eller stigning i efterspørgslen ud fra en marginal betragtning.

Med en attributiv tilgang ift. IO-tabellerne og emissioner, belyser metoden fra Chalmers Universitet et gennemsnitlig forhold mellem fx det danske forbrug og den tilhørende afskovning. Omvendt følger metoden fra 2.-0 LCA consultants en marginaltilgang, som viser det afledte behov for intensivering og arealændringer svarende til hele det danske forbrug. Resultatet viser ikke en faktisk størrelse, men er en vurdering af størrelsen af emissionerne, som ændres, hvis der ændres i den danske efterspørgsel.

Det bemærkes, at LUC udledningerne, som vurderes ved hver metode, ikke er komplementære til hinanden pga. de store metodiske afvigelser. Resultaterne kan således ikke summeres. Ligeledes er ingen af de to metoder konsistente med beregningsmodellen bag det danske klimaaftryk, og LUC udledningerne må dermed ikke lægges direkte oven i opgørelsen af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk.

Samlet set er metoden fra Chalmers Universitet den, som minder mest om den tilgang, der er beskrevet i afsnit 4 med at indarbejde LULUCF-udledninger for alle lande i IO-tabellerne, hvor historiske mængder pålægges forbruget ved en attributiv tilgang. Metoden fra Chalmers Universitet medtager dog kun en del af emissionerne, idet den kun ser på udledninger fra afskovning i tropiske lande. Denne tilgang pålægger kun det danske forbrug emissioner, hvis der importeres netop de afgrøder (et sted i værdikæden), der umiddelbart efter afskovningen dyrkes på de afskovede arealer i troperne. Dette har den implikation, at man "regnskabsmæssigt" kan reducere sine emissioner blot ved at ændre sit forbrug fra ét land til et andet eller fra én afgrøde til en anden. I modsætning hertil tager metoden fra 2.-0 LCA consultants hensyn til, at efterspørgsel efter arealer ét sted, potentielt

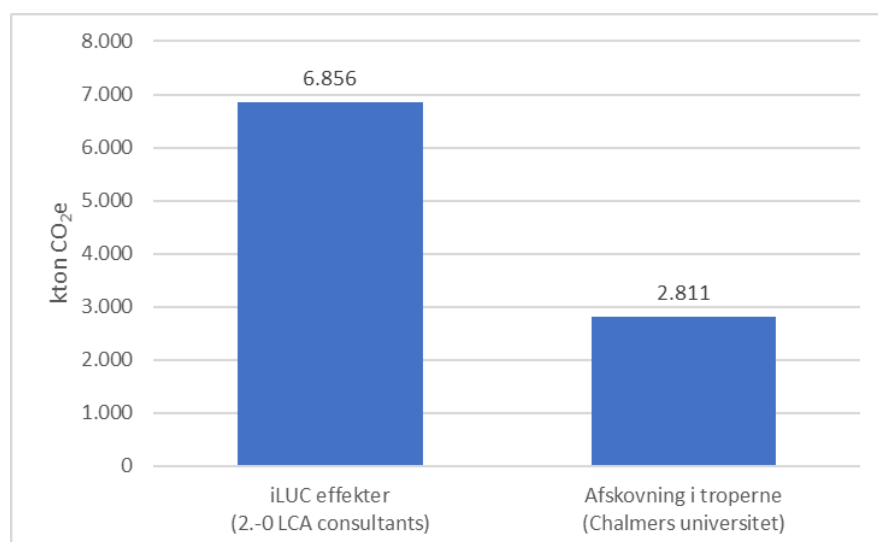
kan medføre udledninger gennem fx afskovning et andet sted. Dette vil betyde, at der ikke vil komme en reduktion i udledningerne ved fx at efterspørge afskovningsfrit soja. Implikationen herfra er, at den eneste måde at reducere emissionerne på, er ved at reducere sit arealbehov eller ved at opnå en bedre arealudnyttelse.

Tabel 5.2. Sammenligning af metoderne til beregning af LUC emissioner (Chalmers Universitet) og iLUC-effekter (2.-0 LCA consultants)

	dLUC: Chalmers Universitet	iLUC: LCA 2.-0 consultants
<b>Om emissionerne</b>		
<b>Hvilke udledninger er inkluderet?</b>	CO <sub>2</sub> fra afskovning i troperne, som følge af landbrug, græsning eller plantage som kan knyttes direkte til forbrug	Drivhusgasemissioner (i CO <sub>2</sub> e) fra alle indirekte arealændringer og intensivering i verden, som følge af udnyttelsen af areal i værdikæden.
<b>Attributiv eller marginal tilgang?</b>	Attributiv (opgørelse af gennemsnitlig historisk sammenhæng mellem afskovning og forbrug)	Marginal (opgørelse af effekter ved fremtidige ændringer i forbrug relateret til arealændringer)
<b>Hvilke produkter bliver pålagt udledninger?</b>	Kun produkterne, som er dyrket på areal, hvor der er sket afskovning.	Alle produkter, som kræver areal. Højproduktive arealer tillægges flere udledninger pr. ha end lavproduktive arealer.
<b>Hvordan afskrives udledninger fra arealændringer?</b>	Udledninger fra afskovning afskrives over 10 år.	Arealændringer betragtes som en accelereret ekspansion af land.
<b>Om IO-tabellerne</b>		
<b>EXIOBASE version</b>	Monetære EXIOBASE v3.7	Hybrid EXIOBASE v3.3.16b2
<b>Attributiv eller marginal tilgang?</b>	Attributiv	Marginal
<b>Referenceår?</b>	2010 til 2014	2011

## 5.4 Arealændringer fra det danske forbrug

NIRAS har på baggrund af modellen fra 2.-0 LCA consultants beregnet, at det danske forbrug medfører 6,9 mio. ton CO<sub>2</sub>e fra iLUC-effekter. Anvendes metoden fra Chalmers Universitet, forårsager det danske forbrug udledning af 2,8 mio. ton CO<sub>2</sub>e fra afskovning i troperne (se Figur 5.4). Til sammenligning er Danmarks samlede forbrugsbaseret klimaaftryk i 2019 beregnet til 61,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e i den Globale Afrapportering. Det bemærkes, at de beregnede LUC udledninger kan ikke lægges direkte oven i det danske forbrugsbaserede klimaaftryk pga. de metodiske afvigelser.



Figur 5.4. Emissioner fra afskovning i troperne (LUC) og iLUC-effekter som følge af det danske forbrug (EXIOBASE v3.3.16b2; Pendrill et al. 2019)



Som det er beskrevet tidligere, er der en række grundlæggende forskelle i metoderne, der er opřidset i Tabel 5.2. Hvor meget hver af disse parametre bidrager til forskellen mellem resultaterne er ikke muligt at udlede på baggrund af de foreliggende data og modeller.

Begge modeller viser, at det danske endelige forbrug af tjenesteydelser udgør en stor andel af iLUC-effekter og emissioner fra afskovning (hhv. 36 % og 29 % ifølge 2.-0 LCA consultants og Chalmers universitet). Her inkluderes forbruget af alle type services, fx hoteller og restauranter, telekommunikation, sundhedsydelser, etc. Ifølge 2.-0 LCA consultants bidrager forbruget af hoteller og restauranter alene med 11 % af iLUC-effekterne, som forklares af indkøbet af fødevarer i sektoren.

Forbruget af mejeriprodukter medfører også et væsentligt bidrag til iLUC-effekter fra det danske forbrug (10 %), da opdræt af malkekvæg kræver en del areal, primært i Europa. Forbruget af mejeriprodukter forårsager til gengæld kun begrænset afskovning i troperne (kun 1 %). Det hidrører primært fra import af foder til malkekvæg, idet der ikke importeres mejeriprodukter fra troperne. Kategorien "andre fødevarer" inkluderer bl.a. drikkevarer, kolonialvarer, tobaksvarer, samt gødningsprodukter, som importeres i større omfang fra lande i troperne. Bidraget fra "andre fødevarer" til udledninger fra afskovning i troperne som følge af det danske forbrug er således betydeligt (31 %).

I modellen fra 2.-0 LCA consultants er der en direkte udnyttelse af dyrket land og andet land fra husholdninger, som medfører iLUC-effekter svarende til 369 kton CO<sub>2</sub>e. Denne direkte udnyttelse af dyrket land skyldes husholdningernes anvendelse af private arealer til dyrkning af fx grøntsager og frugter. Det vurderes i modellen fra Chalmers Universitet, at en direkte udnyttelse af dyrket land fra husholdninger ikke bidrager til afskovning.

Tabel 5.3. Fordeling af LUC emissioner og iLUC-effekter på tværs af forbrugskategorier

Forbrugskategori	iLUC-effekter (2.-0 LCA consultants)		Afskovning i troperne (Chalmers universitet)	
	kton CO <sub>2</sub> e	%	kton CO <sub>2</sub> e	%
<b>Foder og fødevarer</b>				
<b>Kvægkød</b>	207	3 %	63	2 %
<b>Mejeri</b>	707	10 %	18	1 %
<b>Oliefødevarer</b>	26	0 %	220	8 %
<b>Grøntsager, frugter og nødder</b>	122	2 %	79	3 %
<b>Andre kødprodukter</b>	467	7 %	79	3 %
<b>Ris, sukker og plantebaserede fibre</b>	24	0 %	5	0 %
<b>Hvede</b>	93	1 %	2	0 %
<b>Andet korn</b>	80	1 %	5	0 %
<b>Andre afgrøder</b>	70	1 %	64	2 %
<b>Andre fødevarer</b>	621	9 %	868	31 %
<b>Andre varer og tjenesteydelser</b>				
<b>Beklædning</b>	442	6 %	66	2 %
<b>Skov produkter</b>	506	7 %	26	1 %
<b>Fremstillede produkter</b>	369	5 %	286	10 %
<b>Byggeri</b>	44	1 %	171	6 %
<b>Transport</b>	99	1 %	19	1 %
<b>Andre tjenesteydelser</b>	2.457	36 %	817	29 %
<b>Huse</b>	146	2 %	22	1 %
<b>Handel</b>	8	0%	1	0 %
<b>Direkte forbrug af husholdninger</b>	369	5 %	0	0 %
<b>Total (kton CO<sub>2</sub>e)</b>	<b>6.856</b>	<b>100 %</b>	<b>2.811</b>	<b>100 %</b>

Opdelingen af udledninger på tværs af produktion, import, eksport og forbrug kan ikke ses i hverken artiklen fra Chalmers Universitet eller modellen fra 2.-0 LCA consultants. Ved anvendelse af emissionsdata fra Pendrill et al. (2019) og EXIOBASE v3.7 har NIRAS forsøgt at beregne denne opdeling vedrørende emissioner fra afskovning i troperne (dvs. efter metoden fra Chalmers Universitet). Resultaterne vises i Tabel 5.4. Det er beregnet, at den samlede import til Danmark er forbundet med 3.582 kton CO<sub>2</sub>e, hvoraf 75 % af udledningerne kan knyttes til det danske endelige forbrug (2.671 kton CO<sub>2</sub>e), mens de resterende 25 % reeksporteres til udlandet (911 kton CO<sub>2</sub>e). Den danske produktion bidrager ikke til emissioner, idet metoden fokuserer på afskovning i troperne og dermed udelader evt. afskovning i Danmark.

Tabel 5.4. Fordeling af emissioner fra afskovning i troperne på tværs af import, eksport og forbrug i Danmark<sup>14</sup>.

	Produktion	Import	Eksport	Forbrug
Emissioner fra afskovning i troperne (kton CO <sub>2</sub> e)	0	3.582	911	2.671

<sup>14</sup> Beregning blev udført af NIRAS med EXIOBASE v3.7 og emissionsdata fra Pendrill et al. (2019), og der mistænkes at nogle mindre opdateringer i IO-tabellerne medfører afvigelse i forbrugsrelaterede resultater sammenlignet med artiklen, som ellers ses i Figur 5.4 og Tabel 5.3.

## 5.5 Fremskrivning til 2019

Da de beskrevne resultater for iLUC effekter og emissioner fra afskovning i troperne baserer sig på hhv. 2011 og 2010-2014-data er der foretaget en fremskrivning af resultaterne til 2019. Metoden og resultaterne er beskrevet nærmere nedenfor.

I EXIOBASE-modellen fra 2.-0 LCA consultants, som er implementeret i SimaPro med 2011 data, indgår der iLUC emissionsmultiplikatorer i kg CO<sub>2e</sub> pr MEUR 2011 (køberspris, dvs. inkl. moms, produktskatter og subsidier) samt det danske endelige forbrug i 2011 på tværs af de 164 sektorer i EXIOBASE (plus husholdningernes direkte anvendelse af areal). Til fremskrivningen af resultater til 2019 er der anvendt det danske endelige forbrug i 2019 fra de danske IO-tabeller fra Danmarks Statistik uden eksport og investeringer<sup>15</sup>, så det er konsistent med beregningen for 2011. Disse IO-tabeller er opgjort i basispriser (dvs. ekskl. moms, produktskatter og subsidier) på tværs af de 117 danske brancher. For at konvertere basispriser til køberpris er der anvendt det gennemsnitlige forhold mellem indenlandske køberspriser og basispriser i perioden 2011-2017<sup>16</sup>. De 117 danske brancher er matchet imod EXIOBASE sektorer som defineret i beregningsmodellen bag det danske forbrugsbaserede klimaaftryk. I tilfælde, hvor en dansk branche matches med flere EXIOBASE sektorer (fx branchen "landbrug og gartneri"), bruges det endelige forbrug i 2011 til at definere fordelingsnøglen på tværs af EXIOBASE sektorerne<sup>17</sup>. Det danske forbrug i 2019, udtrykt i køberspris, fordeles således på tværs af EXIOBASE sektorer og omregnes i MEUR 2011, før de ganges med iLUC emissionsmultiplikatorer. Det antages derudover, at husholdningernes direkte anvendelse af areal (og de dertilhørende iLUC effekter) i 2019 er lig med den i 2011.

For at tilsvarende at kunne opskrive emissioner fra afskovning til 2019 er der antaget den samme forholdsmæssige opskrivning.

Det anslås således med den usikkerhed, der ligger i den anvendte metode, at det danske forbrug i 2019 medfører iLUC effekter på ca. 7.020 kton CO<sub>2e</sub> beregnet efter metoden fra 2.-0 LCA consultants og emissioner fra afskovning i troperne på ca. 2.879 kton CO<sub>2e</sub> beregnet efter Chalmers metode. Dette svarer til en stigning på 2,4 % sammenlignet med tal fra 2011.

Table 5.5. iLUC effekter og emissioner fra afskovning i troperne som følge af det danske forbrug i 2019.

	2011	2019
iLUC effekter	6.856 kton CO <sub>2e</sub>	7.020 kton CO <sub>2e</sub>
Afskovning i troperne	2.811 kton CO <sub>2e</sub>	2.879 kton CO <sub>2e</sub>

## 6 Konklusion og anbefalinger

Samlet set er manglen på LULUCF-opgørelser fra "Non-Annex I lande" en væsentlig udfordring ift. at opgøre LULUCF-udledninger relateret til det danske forbrug. Dog forventes det, at LULUCF-opgørelser bliver mere fyldestgørende som følge af Paris-aftalen. Anvendelse af disse data til opgørelse af forbrugsbaserede klimaaftryk vil dog kræve yderligere databearbejdning, så udledninger, der kan allokeres til forbrug, kan identificeres og allokeres til de relevante brancher i IO-tabeller.

I denne rapport er der derfor gennemgået to metoder, som kan være mulige alternative tilgange til en forbrugsbaseret kvantificering af udledninger fra arealændringer ved anvendelse af IO-modeller. Forskere fra Chalmers Universitet har udarbejdet en forbrugsbaseret opgørelse af de gennemsnitlige udledninger af CO<sub>2</sub> fra afskovning i troperne i 2010-2014, og fanger dermed en del af udledningerne fra LULUCF-sektoren som direkte

<sup>15</sup> Investeringer betragtes ikke som en kategori af endelig forbrug men er endogeniseret ind i IO tabellerne i modellen fra 2.-0 LCA consultants. Emissioner fra anvendelsen af kapitale goder er dermed inkluderet i emissionsmultiplikatorerne.

<sup>16</sup> For den danske branche "Fiskeri" anvendes det gennemsnitlige forhold over perioden 2011-2016 pga. en outlier i 2017.

<sup>17</sup> Ifølge EXIOBASE modellen fra 2.-0 LCA consultants er der ingen endelig forbrug af sektorer, som er matchet imod den danske branche "Indvinding af grus og sten". I dette tilfælde anvendes det endelige forbrug fra de 2019 monetære IO tabeller til at definere fordelingsnøglen.

arealændringer. Med modellen fra 2.-0 LCA consultants opgøres drivhusgasemissioner (CO<sub>2</sub>, metan og lattergas) fra det afledte behov for arealændringer og intensivering som følge af forbrug baseret på en marginaltilgang.

Modellerne afspejler således to forskellige tilgange til opgørelse af LUC, og indebærer forskellige metodiske valg. Med Chalmers metoden er det beregnet, at det danske forbrug medfører 2.811 kton CO<sub>2</sub> fra afskovning i troperne, mens iLUC-effekterne af dansk arealanvendelse er opgjort med 2.-0 LCA's metode til 6.856 kton CO<sub>2e</sub> i 2011, svarende til hhv. 7.020 kttons og 2.879 kttons i 2019.

Der gøres opmærksom på, at resultaterne fra de to ovennævnte modeller ikke kan sammenlignes direkte med beregningen af det danske forbrugsbaserede klimaaftryk på grund af metodiske afvigelser vedrørende referencetåret, versionen af EXIOBASE, den metodiske tilgang (attributiv eller marginal) samt valget af nationale statistikker eller EXIOBASE-data for Danmark.

Det vurderes, at ingen af de to metoder giver et retvisende billede af LULUCF-udledningerne forbundet med det danske forbrug som defineret ift. den Globale Afrapportering, og der er derfor behov for at forske yderligere i dette område for at kunne finde en fyldestgørende model til inkludering af LULUCF-udledningerne, som er konsistent med beregningsmodellen bag Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk. Modellen skulle således følge en attributiv tilgang, og anvende nationale statistikker i det omfang det er muligt. For at muliggøre anvendelsen af den danske LULUCF-opgørelse i IO-modellen, skal det bl.a. afdækkes hvordan sammenhæng er mellem emissioner, optag og de økonomiske aktiviteter, således at emissionerne kan matches retvisende op mod den danske branchestatistik, og dermed indarbejdes i emissionsregnskabet. Derudover skal der opstilles et omfattende datasæt af LULUCF emissioner knyttet til økonomiske aktiviteter i resten af verden. Disse kan være enten i form af officielle nationale LULUCF opgørelser eller udviklet gennem forskningsprojekter med udgangspunkt i fx globale statistikker. Med hensyn til indarbejdningen af LULUCF-data i IO-tabeller anbefales det at indgå i samarbejde med forskere bag EXIOBASE eller et andet IO-konsortium samt eksperter i LULUCF opgørelser for at sikre en datahåndtering, som er konsistent med LULUCF-definitioner og IO-modeller.

I betragtning af den store usikkerhed og manglende fælles standard vedrørende inklusion af LULUCF-emissioner i nationale forbrugsbaserede opgørelser, anbefales det fremadrettet at afrapportere emissioner fra arealanvendelse og arealændringer separat, eventuelt baseret på forskellige metoder. Det anbefales her at indgå i samarbejde med andre lande, der laver forbrugsbaserede opgørelser (fx Sverige, UK, Holland, Frankrig, o.a.) med formål at udvikle ensartede metoder. Denne tilgang vil fremme sammenlignelighed i resultater og facilitere en faglig diskussion om fordele og ulemper ved de forskellige metoder, og hvordan deres resultater kan tolkes.

## 7 Referencer

Davis, S. J., Burney, J. A., Pongratz, J., & Caldeira, K. (2014). Methods for attributing land-use emissions to products. *Carbon Management*, 5(2), 233-245.

EEA, 2021. Inventory submission January 15 2021, for years 1990-2019. Link: [https://cdr.eionet.europa.eu/dk/eu/mmr/art07\\_inventory/ghg\\_inventory/envyafoua/](https://cdr.eionet.europa.eu/dk/eu/mmr/art07_inventory/ghg_inventory/envyafoua/)

Energistyrelsen, 2020. Biomasseanalyse. Link: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseanalyse\\_fi-nal\\_ren.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasseanalyse_fi-nal_ren.pdf).

Finkbeiner, M. (2013). Indirect Land Use Change (iLUC) within life cycle assessment (LCA)–scientific robustness and consistency with international standards. *Publication of the Association of the German Biofuel Industry, Berlin, Germany*. Link: [https://www.ufop.de/files/5213/6853/0753/RZ\\_VDB\\_0030\\_Studie\\_ENG\\_Komplett.pdf](https://www.ufop.de/files/5213/6853/0753/RZ_VDB_0030_Studie_ENG_Komplett.pdf)

Flysjö, A. M. (2012). Greenhouse gas emissions in milk and dairy product chains: Improving the carbon footprint of dairy products.

Hörtenhuber, S. J., Theurl, M. C., Piringer, G., & Zollitsch, W. J. (2018). Consequences from Land Use and Indirect/Direct Land Use Change for CO<sub>2</sub> Emissions Related to Agricultural Commodities. In *Land Use-Assessing the Past, Envisioning the Future*. IntechOpen.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Link: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)

Kløverpris, J. H., & Mueller, S. (2013). Baseline time accounting: considering global land use dynamics when estimating the climate impact of indirect land use change caused by biofuels. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(2), 319-330.

Manfredi, S., Allacker, K., Pelletier, N., Chomkhamsri, K., & de Souza, D. M. (2012). Product environmental footprint (PEF) guide. European Commission Joint Research Center. Link: <https://ec.europa.eu/environment/eusss/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf>

Muñoz, I., Schmidt, J. H., Brandão, M., & Weidema, B. P. (2014). Avoiding the streetlight effect: Rebuttal to 'Indirect land use change (iLUC) within life cycle assessment (LCA)–scientific robustness and consistency with international standards' by prof. Dr. Matthias Finkbeiner, 2(0).

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., et al. 2020. Denmark's National Inventory Report 2020. Emission Inventories 1990-2018 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 900 pp. Scientific Report No. 372 <http://dce2.au.dk/pub/SR372.pdf>

Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S., & Wood, R. (2019). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global Environmental Change*, 56, 1-10.

Pendrill, F., Persson, U. M., & Kastner, T. (2020). Deforestation risk embodied in production and consumption of agricultural and forestry commodities 2005-2017 (Version 1.0) [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4250532>

Sato, A., Nojiri, Y. Assessing the contribution of harvested wood products under greenhouse gas estimation: accounting under the Paris Agreement and the potential for double-counting among the choice of approaches. *Carbon Balance and Management* 14, 15 (2019).

Stadler, K., et al. (2018). EXIOBASE 3: Developing a time series of detailed environmentally extended multi-regional input-output tables. *Journal of Industrial Ecology* 22.3 (2018): 502-515.

Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C.-J., Simas, M., Schmidt, S., ... Tukker, A.. (2020). EXIOBASE 3 (Version 3.8) [Data set]. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4277368>

UN, 2014. System of Environmental-Economic Accounting 2012 – Central Framework. [https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/seea\\_cf\\_final\\_en.pdf](https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/seea_cf_final_en.pdf)

UNFCCC, 2020. Greenhouse Gas Inventory Data – Detailed data by Party. [Online] Link: [https://di.unfccc.int/detailed\\_data\\_by\\_party](https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party) [Last accessed 03/02/2021].

Woltjer, Geert, et al. (2017). Study report on reporting requirements on biofuels and bioliquids stemming from the directive (EU) 2015/1513. EU Commission.

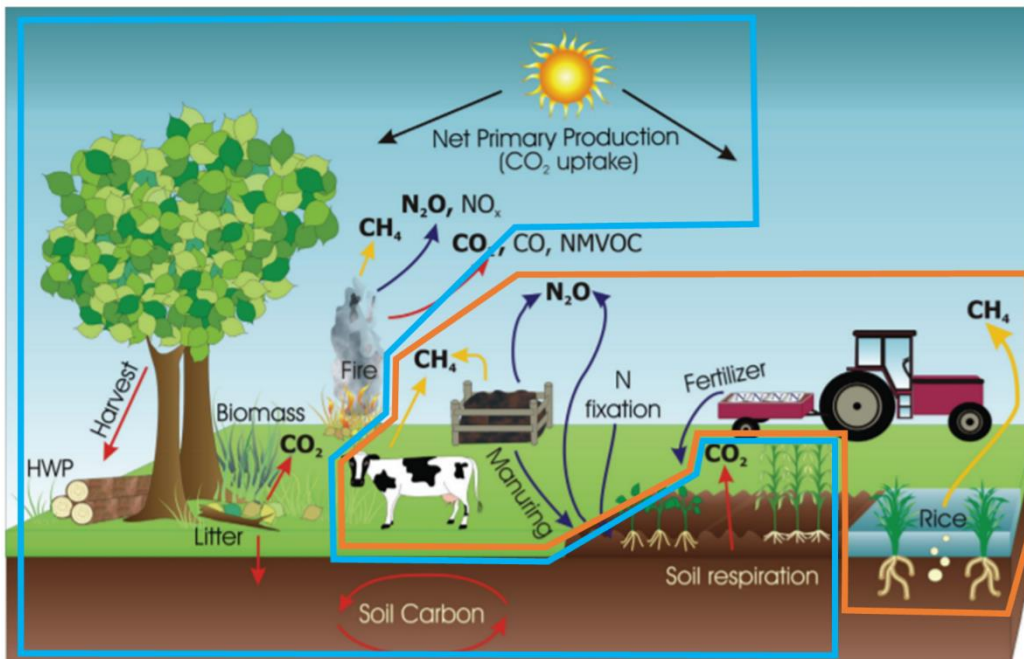
## Bilag 1: Begrebsafklaring

I forbindelse med afrapportering af udledninger fra skovbrug, arealanvendelse og ændringer i arealanvendelse, anvendes forskellige forkortelser og begreber. Nedenfor gives en forklaring af de anvendte begreber.

### LULUCF-sektoren

#### Afrapportering til UNFCCC

LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) er en engelsk betegnelse for arealanvendelse, arealændringer og skovbrug og henviser til en sektor i afrapporteringen af territoriale drivhusgasudledninger til UNFCCC<sup>18</sup> (IPCC, 2006). I IPCC's 2006-retningslinjer håndteres LULUCF-sektoren samt Landbrug i et bind kaldet AFOLU, som er den engelske betegnelse for landbrug (*Agriculture*), skovbrug (*Forestry*) og anden arealanvendelse (*Other Land Uses*). Det skyldes bl.a. anvendelsen af flere fælles metodiske definitioner vedrørende arealer og aktiviteter. I de nationale opgørelser skelnes der mellem LULUCF-sektoren og Landbrugssektoren.



Figur 7.1. Oversigt over de største drivhusgas emissionskilder og optag i AFOLU sektoren, opdelt mellem Landbrug (i orange) og LULUCF (i blå) sektorerne (billedet tilpasset fra IPCC, 2006).

Ifølge IPCC's retningslinjer opgøres LULUCF-udledninger på tværs af 6 landtyper (*forest, cropland, grassland, wetlands, settlements, other land*) samt høstede træprodukter (*harvested wood products*). Udledninger inkluderer CO<sub>2</sub> (binding eller frigivelse) fra arealanvendelse, samt CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O fra skovbrand, steppebrand, eller dræning og genetablering af vådområder. Generelt har andre drivhusgasser end CO<sub>2</sub> kun yderst begrænset betydning for LULUCF-bidraget samlet set. LULUCF-sektoren afviger således fra andre sektorer, da den inkluderer både frigivelse og binding af kuldioxid, hvorimod andre sektorer kun inkluderer udslip af drivhusgas. Om jord og biomasse frigiver eller optager kulstof, afhænger bl.a. af jordtype, klima, dræning, afgrødevalg, og hvordan jorden forvaltes til dyrkning.

<sup>18</sup> UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

Udledninger af metan fra husdyrs fordøjelse, husdyrgødning og markafbrænding, udledninger af lattergas fra husdyrgødning, dyrkningsjord og markafbrænding, samt udledninger af kuldioxid fra kalkning, gødsning med urea, og anvendelse af andre kulstofholdige gødningsmidler afreporteres ikke i LULUCF-sektoren men i landbrugssektoren.

### **Udledninger fra forbrænding af biomasse**

I opgørelsessystemet som er fastlagt af UNFCCC antages det, at træ til afbrænding (energiformål), som fjernes fx fra skovarealer, høstes og afbrændes i det samme år. I praksis håndteres afbrænding af biomasse til energiformål som en fjernelse af kul i skov og plantager, og afreporteres som emissioner af kuldioxid i LULUCF-sektoren. På det samme tidspunkt resulterer biomassetilvæksten i et optag af kuldioxid fra atmosfæren. Afbrænding af svenske træpiller i danske energianlæg håndteres således som et mindre nettooptag i det svenske LULUCF-opgørelse, men tæller som nul-emission i den danske energisektor. Emissioner af metan og lattergas fra biomasseforbrænding medregnes imidlertid i energisektoren, mens emissioner af kuldioxid registreres som et såkaldt "memo item" til krydskontrolformål (Energistyrelsen, 2020).