



Bilag 4b: DCE's modelsystem for landbrug og LULUCF

Dette kapitel beskriver den overordnede metodetilgang og antagelser, der anvendes af Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) ved Aarhus Universitet til beregning af udledninger fra landbrug og LULUCF¹.

For en mere uddybende metodeforklaring henvises til Nielsen *et al.* (2025) og Albrechtsen *et al.* (2021).

1.1.1 DCE's udledningsberegninger

DCE står for at udarbejde den nationale emissionsopgørelse og fremskrivning af drivhusgasser for landbrugsprocesser og LULUCF, som afrapporteres til FN og EU samt anvendes som input til Klima-, Energi- og Forsyningsministeriets årlige Klimastatus og –fremskrivning (KF).

Opgørelsen og fremskrivningen af udledningerne beregnes i overensstemmelse med de internationale retningslinjer og beregningsmetoder vedtaget af IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC 2006, 2013, 2019). Udledningerne fra landbrugsprocesser og LULUCF opgøres derfor fordelt på en række underkategorier (CRT-kategorier).²

Udledningerne fra landbrugets processer (CRT-kategori 3) omfatter udledninger af primært metan og lattergas relateret til husdyrenes fordøjelse, gødningshåndtering samt gødsning og kvælstofomsætning på markerne. Udledninger i LULUCF-sektoren (CRT-kategori 4) omfatter udledninger relateret til forvaltning af arealer, herunder primært landbrugs³- og skovarealer, hvorfra der primært udledes CO₂, men også metan og lattergas.

Fremskrivningen af udledningerne foregår ud fra DCE's modelkompleks og bygger på samme struktur og metoder, som anvendes i Danmarks historiske nationale emissionsopgørelse. Dette sikrer konsistens mellem historiske og fremskrevne udledninger. Der er dog forskelle i de internationale dokumentationskrav til henholdsvis opgørelsen og fremskrivningen, hvilket bevirker at der i fremskrivning fx er indregnet brugen af luftrensingsanlæg i svinestalde, mens dette ikke indgår i opgørelsen. Endvidere gælder det, at de historiske data, der anvendes i den nationale

¹ LULUCF står for "Land Use, Land-Use Change and Forestry", der kan oversættes til "arealanvendelse, arealændringer og skovbrug".

² For yderligere information om CRT-tabellerne se også kapitel 2 om principper for udledningsopgørelse i sektorforudsætningsnotat Principper og politikker.

³ Landbrugsarealer omfatter CRT kategorierne 4B Cropland (dyrket mark) og 4C Grassland (græsarealer).

emissionsopgørelse, er erstattet med en række forudsætninger og forenklinger i fremskrivningen.

1.1.2 DCE's modelkompleks

Forsimplet kan det siges, at udledningerne fra forskellige underkategorier opgøres ved at gange aktiviteten (A) med en emissionsfaktor (EF) for den pågældende aktivitet. Aktivitet kan fx være antal husdyr eller antal ha dyrket areal, mens emissionsfaktorer er en funktion af mange forskellige faktorer⁴, der har indflydelse på udledningerne for den pågældende aktivitet.

Kompleksiteten i den anvendte beregningsmetode indenfor hver emissionsfaktor varierer. IPCC angiver en række metodeniveauer, såkaldte Tiers:

- Tier 1: Baseres på en simpel beregningsmetode, hvor der anvendes standard emissionsfaktorer angivet i IPCC Guidelines.
- Tier 2: Baseres på en beregning, der inkluderer landespecifikke data, hvilket kan gælde både aktivitetsdata og emissionsfaktorer.
- Tier 3: Baseres på beregningsmodeller og/eller målinger, som reflekterer de landsspecifikke landbrugs- og klimaforhold.

Således stiger detaljeringsniveauet for metodegrundlaget fra Tier 1 til Tier 3 med stigende krav til data og dokumentation. For de udledningskilder, hvor nationale data ikke er tilgængelige, anvendes en Tier 1 metode med standard emissionsfaktorer anbefalet af IPCC. Såfremt en udledningskilde bidrager signifikant i forhold til den totale nationale drivhusgasudledning, betragtes kilden som en "key source", og dermed skal der som minimum anvendes en Tier 2 beregning. En Tier 2 beregning betyder, at der i et vist omfang anvendes nationale data – fx for foderindtag eller staldtype, men at beregningsmetoden grundlæggende stemmer overens med IPCC's beregningsmetode.

Tier 3 er væsentligt anderledes end de øvrige Tier niveauer, fordi der her er tale om beregning baseret på en landespecifik beregningsmodel, baseret på nationale målinger og/eller modellering, som dermed afspejler de faktiske klima- og landbrugspraksisser i det pågældende land. Beregningen er dog ikke nødvendigvis alene baseret på nationale data, men kan også være estimeret ved en kombination af målinger/modeller fra andre lande med sammenlignelige klima- og landbrugsforhold.

Foruden de anvendte standardværdier fra IPCC, tager DCE's beregninger i høj grad udgangspunkt i forskellige datakilder og ekspertantagelser fra blandt andet

⁴ Det kan fx være stald- og gødningstype, årlige vejrforhold, jordens dræningstilstand, dyrenes tørstof- og kvælstofudskillelse og gyllens opholdstid i stalden.

forskellige institutter på Aarhus Universitet, Københavns Universitet, men også fra ministerier, styrelser og eksterne aktører såsom SEGES. Figur 1.1 viser et overordnet overblik over hovedleverandørerne af datainput til DCE's fremskrivning af udledninger fra landbrug og LULUCF.

Figur 1.1



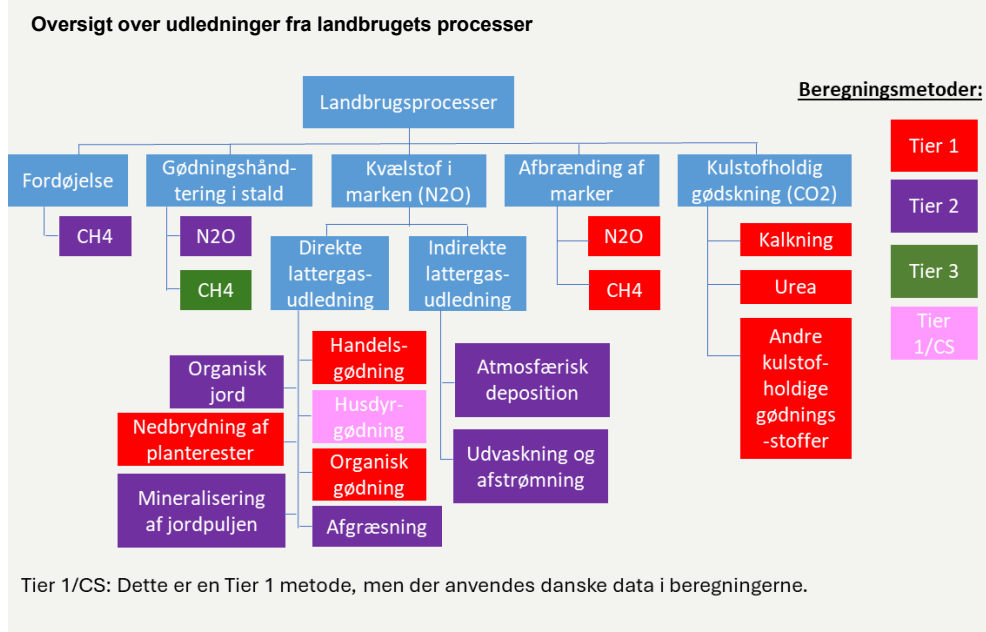
1.2 Landbrugsprocesser

1.2.1 Metode og antagelser

Ifølge IPCC guidelines opgøres udledninger fra landbrugets processer i 17 forskellige underkategorier. Som angivet i Figur 1.2 dækker metodeniveauerne i landbrugssektoren over Tier 1, 2 og 3.

Beregning af udledningerne fra de 17 forskellige udledningskilder (angivet med Tier niveau) varierer fra simpel til kompleks afhængig af metode og data. For mange af de mindre udledningskilder anvender DCE standardværdier angivet af IPCC med relativt simple formler og ligninger. For de større kilder såsom gødningshåndtering og fordøjelse er beregningsmetoderne mere komplekse, da DCE her anvender nationale data og modeller på Tier 2 og 3 niveau.

Figur 1.2



DCE beregner de historiske og forventede udledninger fra landbrugets processer ved hjælp af en databasebaseret model kaldet IDA-frem, som er en forkortelse af Integrated Database model for Agricultural emissions (Albrektsen *et al.*, 2021). IDA-frem er en relationel database i MS Access, som består af ca. 50 tabeller med inputdata samt omkring 130 forespørgsler, der udfører mellemregninger, samler beregninger og i sidste ende genererer udledninger fra landbrugets processer fordelt på de pågældende CRT-kategorier ved hjælp af særskilte beregningsmetoder for hver kategori.

Som første led i DCE's beregninger indsamles data fra flere forskellige kilder, som illustreret i Figur 1.1. Herefter behandles data, inden det importeres til IDA-frem. Som input til DCE's udledningsberegninger laves en lang række bagvedliggende antagelser og modelberegninger. Nogle af disse bagvedliggende beregninger er foretaget af DCE, mens andre også er lavet af blandt andet Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA) ved Aarhus Universitet. Mængden af databehandling afhænger af den enkelte kilde og strækker sig fra enkel til mere omfattende. fx foretages der for visse husdyrkategorier en databehandling af antallet af dyr, fordi DCE har behov for en anden opdeling af antallet af dyr end den, der leveres fra Landbrugsfremskrivningen (Stewart *et al.* 2025), således at data svarer til DCE's beregningsopsætning og strukturen i normtalssystemet for husdyrgødning, som DCA leverer⁵.

⁵ For kvæg gælder det f.eks., at der er 5 overordnede kategorier; malkekøer, kalve, tyre, kvier og ammekøer, der yderligere er opdelt på vægtklasser og racer. Samlet eksisterer der 39 forskellige husdyrkategorier i IDA-frem. Endvidere er husdyrkategorierne fordelt på stald- og gødningstyper, der i alt giver 269

DCE's samlede beregning af udledninger fra landbrugets processer er således baseret på en relativ omfattende beregningsopsætning, som indeholder flere detaljerede beregningskæder under hensyntagen til aktivitetsdata såsom husdyrkategori og stald- og gødningstype. Beregningerne er ikke for alle kilder gjort systematisk afhængig af hinanden på tværs af udledningskilder i DCE's modelkompleks, idet der ikke er tale om en samlet dynamisk model. Således er data for visse afhængige variable håndteret manuelt i beregningen.

1.2.2 Metodeudvikling siden KF25

Til KF26 opdateres metoden for beregning af metantab fra fordøjelse for smågrise og slagtesvin, så der anvendes nationale data i stedet for IPCC standard emissionsfaktorer. Derudover opdateres til KF26 DCEs omregning af antal dyr fra Landbrugsfremskrivningen til antal dyr der matcher normtalssystemet, hvilket til KF26 har opjusteret antal svin fra KF25 til KF26.

1.2.3 Kritiske antagelser og parametre i metoden

Den forventede udvikling i antallet af husdyr, fordelingen af stald- og gødningstyper, handelsgødningsforbruget, normdata for foderindtag og dyrenes tørstof- og kvælstofudskillelse via gødning samt arealanvendelse har stor betydning for beregningerne af drivhusgasudledninger fra landbruget. For disse forudsætninger sker der en årlig eller løbende opdatering. Inputdata er dog stadig forbundet med betydelig usikkerhed, ligesom IPCC's egne standardemissionsfaktorer er behæftet med relativ høj usikkerhed. Det skyldes bl.a., at det ikke er muligt at måle de faktiske udledninger på hver enkelt bedrift. I stedet må der anvendes emissionsfaktorer baseret på generelle antagelser om den danske landbrugssektor eller IPCC standardværdier.

Endvidere er der betydelig variation i udledninger, ikke bare fra bedrift til bedrift, men også fra dag til dag, som ikke fanges af de generelle emissionsfaktorer og standardværdier. Det skyldes, at landbrugets udledninger afhænger af biologiske processer, hvor både de fysiske- og driftsmæssige forhold, som fx vejrforhold, konstant ændrer sig og dermed påvirker udledningerne.

Da det er biologiske processer som regulerer udledningerne fra landbrugs- og LULUCF-sektorerne er rammevilkårene for estimerne, at usikkerheden er høj ift. udledninger fra fx fossile brændsler. Men sammenlignet med andre landes landbrugs- og LULUCF- estimer anses de danske beregningsmodeller at være baseret på et højt detaljeringsniveau og med relativ lav usikkerhed for aktivitetsdata. Tilgængeligheden af landbrugsdata skal ses i lyset af den relative store betydning landbruget historisk har i Danmark i kombination med regulering af landbrugsproduktionen,

kombinationer af husdyrtyper og stald- og gødningstyper, der indgår som input i emissionsberegningerne.

herunder behov for data og viden til gødningsregnskaber, varetaget af Ministeriet for Grøn Trepert, nu Ministeriet for Natur og Dyrevelfærd, i forbindelse med kontrol af kvælstofreguleringen.

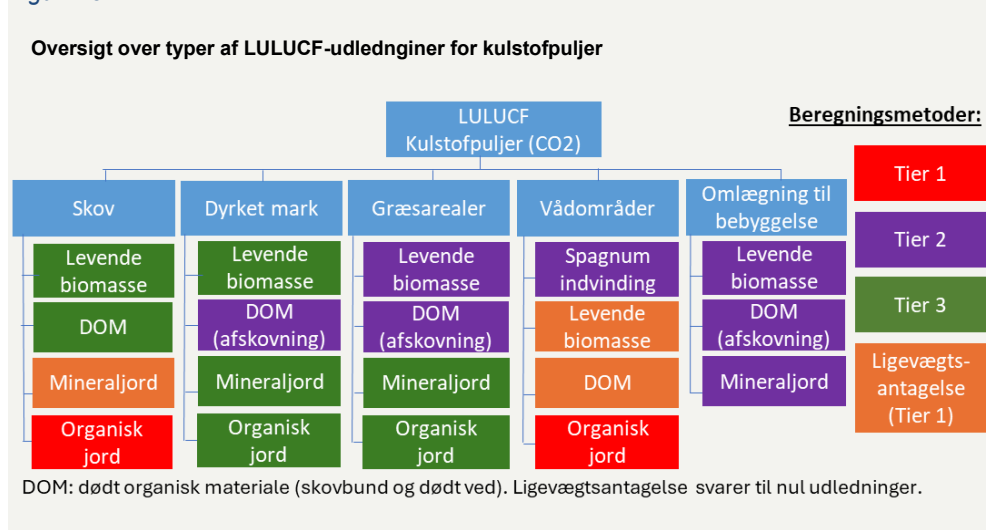
1.3 LULUCF

1.3.1 Metode og antagelser

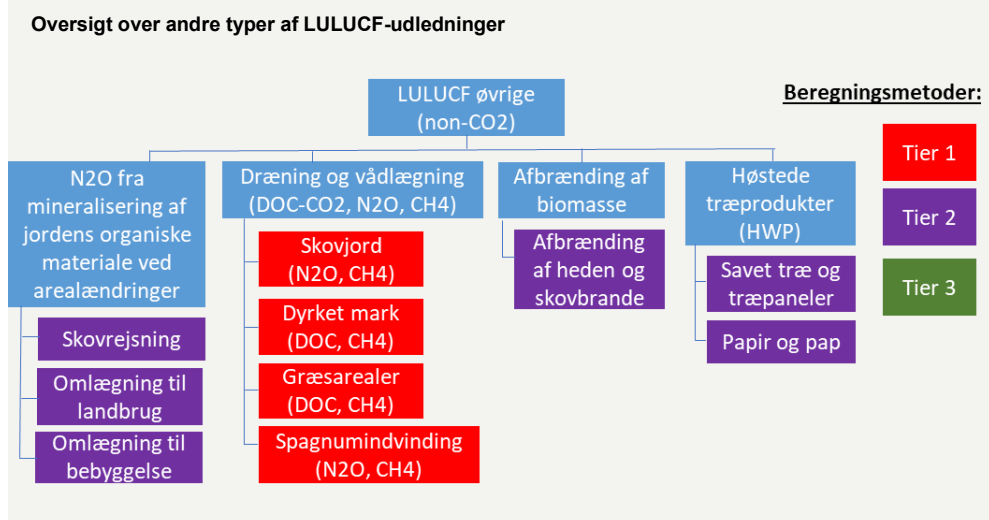
Ifølge IPCC guidelines opgøres udledninger fra arealer og skove under kategorien LULUCF. LULUCF omfatter hovedsageligt CO₂-udledninger som følge af ændringer i kulstofpuljerne i biosfæren. Kulstofpuljer er blandt andet levende biomasse, dødt organisk materiale (DOM), jord og træprodukter. Derudover inkluderer LULUCF sektoren også lattergas fra omsætning af jordens organiske kvælstofpulje i forbindelse med arealændringer og metan fra våde kulstofrige arealer. De forskellige typer LULUCF-udledninger for kulstofpuljer er vist i Figur 1.3, mens Figur 1.4 viser non-CO₂ (metan og lattergasudledninger) fra LULUCF-sektoren. For hver udledningskilde beregnes udledningerne med særskilte metoder på baggrund af de internationale retningslinjer. For så vidt angår DCE's beregning af kulstofpuljeændringer på landbrugsarealer og øvrige arealer udføres disse med forskellige metoder for hver kulstofpulje.

Af Figur 1.3 og 1.4 ses, at de fleste anvendte metoder er Tier 2 eller 3 niveau, hvilket betyder, at de baseres på detaljerede, nationale målinger og/eller dynamisk modellering. For enkelte kilder anvendes en mere simpel tilgang baseret på IPCC's standardværdier- og emissionsfaktorer på Tier 1 niveau. Det gælder især beregning af lattergasudledningerne ved omsætning af organisk materiale i jorden som følge af ændringer i anvendelsen af jorden.

Figur 1.3



Figur 1.4



Anm: DOC (Dissolved Organic Carbon) kan oversættes til opløst organisk kulstof

Beregning af udledninger fra landbrugsarealer og øvrige arealer

DCE er ansvarlig for udarbejdelsen og beregningen af drivhusgasudledninger og optag af kulstof for den del af LULUCF-sektoren, der omhandler arealanvendelse og arealændringer. Udledningerne stammer primært fra landbrugsarealer, men der er også mindre udledninger fra andre arealer som etablering af vådområder og omlægning til bebyggede arealer. Udledningerne fra landbrugsarealet stammer fra flere forskellige kilder, hvoraf udledninger fra dyrkede og drænede kulstofrige arealer udgør langt de største udledningskilder, hertil kommer ændringer i de mineraliske landbrugsarealers kulstoflager.

Mineraljord omfatter ler- og sandjord og karakteriseres ved deres lave indhold af organisk kulstof (< 6 pct.). Mineraljord dækker over de allerfleste jordtyper i det danske jordbundsklassificeringssystem, JB. I fremskrivningen antages disse samlet set at have et lille CO₂-optag i modsætning til de kulstofrige landbrugsarealer, som mister organisk materiale som CO₂. Samtlige landbrugsarealer med kulstofrig jord udgør ca. 2 pct. af det samlede danske landbrugsareal.

Udledninger og optag fra mineraljord

DCE beregner ændringer i mineraljordspuljen ved brug af en dynamisk model (C-TOOL), hvorfor metoden kategoriseres som Tier 3, som vist i figur 1.3. I modellen beregnes den samlede årlige tilførsel af organisk kulstof fra alle afgrøder (avner, stakke, halm, stub og rødder), inkl. efterafgrøder samt husdyrgødning for hvert år. C-TOOL er en dynamisk 3-puljet jordkulstofmodel. Modellen består således af tre kulstofpuljer, som repræsenterer organisk materiale, der nedbrydes med forskellige hastigheder.

I modellen nedbrydes det organiske kulstof efter første-ordens henfald med halveringstider på henholdsvis 0,6-0,7 år, ca. 20 år og 400-600 år for de tre forskellige kulstofpuljer. Modellen er kalibreret eksplicit for otte regioner i Danmark, der hver har 2-3 forskellige mineraljordstyper. Baseret på det årlige input af organisk materiale beregner C-TOOL den årlige ændring i den samlede kulstofpulje og dermed udledning eller binding af CO₂. Ud over tilførslen af organisk materiale er modellen meget følsom over for ændringer i vejret, hvilket kan medføre nettoudledninger fra mineraljordspuljen i år med varme somre, jf. ovenfor.

Udledninger fra kulstofrig jord

For udledninger fra kulstofrig jord beregnes der både CO₂ og metanudledninger, hvor førstnævnte yderligere er opdelt på direkte CO₂-udledninger og indirekte CO₂-udledning via forgasning af opløste kulstofholdige forbindelser (Dissolved Organic Carbon, DOC). I beregningen af de direkte CO₂-udledninger tages der højde for grundvandsstanden samt dybden af det kulstofrige jordlag. Der medregnes en årlig mineralisering af kulstofindholdet i de organiske jorde, hvilket indebærer, at nogle af de organiske jorde overgår til mineraljordklassen med tiden. For emissionsfaktorerne for metanudledningerne og DOC-afledt CO₂ udledning anvendes standardfaktorer.

Udledninger fra skove og høstede træprodukter

Fremskrivningen af udledninger og optag fra skove, inklusiv høstede træprodukter, udarbejdes af Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet, som leveres som input til DCE's samlede LULUCF-udledningsfremskrivning. Skovfremskrivningen fremskriver forventninger til optag og udledninger fra skovarealer samt kulstofpuljen i træprodukter. Denne metode beskrives nærmere i Bilag 4c om skovfremskrivningsmodellen.

1.3.2 Metodeudvikling siden KF25

Der er ingen væsentlige metodeændringer i LULUCF opgørelsen til KF26.

1.3.3 Kritiske antagelser og parametre i metoden

Generelt vurderes fremskrivningen af udledninger og optag fra LULUCF sektoren at være forbundet med en større usikkerhed end andre sektorer. Det skyldes, at nettoudledninger og -optag er et resultat af en langsom dynamik, og at selv små ændringer i de meget store kulstofpuljer vil påvirke opgørelser af udledninger og optag. Udledninger fra landbrugsarealer er især følsomme over for de klimatiske forhold.

Kilder

Albrektsen, R., Mikkelsen, M.H. & Gyldenkærne, S. (2021): Danish emission inventories for agriculture. Inventories 1985 – 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 202 pp. Scientific Report No. 443.
<https://dce2.au.dk/pub/SR443.pdf>

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

IPCC (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

IPCC (2019): 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>

Nielsen O.K., Plejdrup M.S., Winther M., Nielsen M., Gyldenkærne S., Mikkelsen M.H., Albrektsen R., Hjelgaard K., Fauser P., Bruun H.G., Levin L., Callisen L.W., Andersen T.A., Johannsen V.K., Nord-Larsen T., Vesterdal L., Stupak I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen E., Petersen S.B., Baunbæk L., Hansen M.G. (2025). Denmark's National Inventory Report 2025. Emission Inventories 1990-2023 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and Paris Agreement. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 934 pp.

Stewart L.B., Berg A.K., Hedeboe C. (2025): Fremskrivning af dansk landbrug. Dokumentationsnotat 18. november 2025. <https://dreamgruppen.dk/Media/638999158080207861/Landbrugsfremskrivning%202026.pdf>