

Beskrivelse af behov for forskning, udvikling og dataindsamling som konsekvens af LULUCF-forordningen

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 17.12 2025 | 76



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Beskrivelse af behov for forskning, udvikling og dataindsamling som konsekvens af LULUCF-forordningen

Forfattere: Ole-Kenneth Nielsen & Steen Gyldenkærne
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab (ENVS)

Faglig kommentering: Mette H. Mikkelsen, Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab (ENVS)
Kvalitetssikring, DCE: Vibeke Vestergaard, DCE, Nationalt Center for Miljø og Energi.

Rekvirent: Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet

Bedes citeret: Nielsen, O.-K., & Gyldenkærne, S., 2025. Beskrivelse af behov for forskning, udvikling og dataindsamling som konsekvens af LULUCF-forordningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 35 s. - - [Fagligt notat nr. 2025|76](#)

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Forsidefoto: Motiv fra Sejerø. Fotograf: Ann-Katrine Holme Christoffersen, Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

Sideantal: 35

Indhold

1	Indledning	4
2	Nuværende opgørelsesmetoder	5
2.1	Levende biomasse	5
2.2	Død biomasse	6
2.3	Jord	7
2.4	Metan og lattergas	9
3	Behov for forskning, udvikling og dataindsamling	10
3.1	Levende biomasse	10
3.2	Død biomasse	18
3.3	Kulstof i jord	18
3.4	Metan og lattergas	22
4	Anbefalinger	24
5	Referencer	28
	Bilag 1 Anbefalede indsatser	31

1 Indledning

Som et delprojekt i SINKS_{IV}-projektet har Klima- Energi- og Forsyningsministeriet (KEFM) bedt DCE om et notat, der beskriver behovet for forskning, udvikling og dataindsamling indenfor LULUCF-sektoren. Dette er aktuelt, som en konsekvens af den nye LULUCF-forordning (Forordning (EU) 2023/839), hvor der er sket en væsentlig stramning i de metodemæssige krav til emissionsopgørelserne, idet der er stillet krav om, at der fra 2028 skal anvendes metodetrin (Tier) 2 for alle arealer, og at der senest fra 2030 skal anvendes Tier 3 for en række arealer.

Derudover udløber den nuværende kontrakt mellem DCE og KEFM for rapportering af drivhusgasser for arealanvendelse (LULUCF) under den hidtidige EU-forordning (841) samt under Parisaftalen med udgangen af 2025. Det vil derfor være gavnligt, hvis den nye forordning kan indtænkes i en samlet opgavebeskrivelse for det fremtidige arbejde med LULUCF-sektoren.

2 Nuværende opgørelsesmetoder

Dette er en kort introduktion til de nuværende metoder, der anvendes i emissionsopgørelsen. En mere detaljeret beskrivelse kan ses i Nielsen et al. (2025).

Medmindre andet er angivet, så skal referencer til IPCC-guidelines læses som referencer til 2006-udgaven (IPCC, 2006).

2.1 Levende biomasse

Skov

For skov opgøres den levende biomasse ud fra ændringer i biomasse i National Forest Inventory (NFI)-punkterne. Fra 2025 er ansvaret for opgørelsen overgået fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet (KU) til Ministeriet for Grøn Trepert (MGTP), nærmere bestemt til Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV), hvor SGAV leverer rådata til IGN, som bearbejder data til det format, der anvendes i opgørelsen og videresender til DCE.

Mængden af levende biomasse opgøres som mængden af gavntre tillagt kulstofindholdet (C-indhold) i grene og blade suppleret med et C-indhold i rødder baseret på et rod:top-forhold. Metoden svarer til Tier 3.

I opgørelsen skelnes mellem biomasse fra landbrugsarealer, arealer med vedvarende græs, vådområder og arealer til by og anden infrastruktur.

Landbrugsarealer

Levende biomasse på landbrugsarealer er opdelt i tre kategorier; enårige afgrøder samt græsarealer i omdrift, frugt- og bærplantager, pil samt levende hegn og småbiotoper.

For enårige afgrøder er der ikke angivet en opgørelsesmetode i IPCC. Mængden af levende biomasse defineret ud fra det gennemsnitlige kærneudbytte i al korn i perioden 2001-2010 ganges med de allometriske funktioner, der anvendes i C-TOOL-modelleringen, til at bestemme den samlede mængde biomasse i kærne, avner, stak, strå og rødder. I alt 5,9 ton C per ha. Der regnes ikke nogen kulstofændringer for enårige afgrøder mellem år.

For frugt- og bærplantager er biomassen bestemt ud fra en ekspertvurdering (Nielsen, 2009), hvor størrelsen og antal af æbletræer og frugtbuske per hektar er estimeret. Disse er herefter omregnet til biomasse i fuldt udvokset stand vha. af en standardformel, som er den samme, som anvendes for skov til bestemmelse af vedmassen og omregnet til mængder af C. Ved arealændringer fjernes/øges C-mængden svarende til arealet for en fuldvoksen plantage. Der regnes ikke på nuværende tidspunkt for kulstofændringer i levende biomasse.

For levende hegn og småbiotoper er den stående biomasse opgjort ud fra måling af den samlede volumen (LiDAR-måling) gennemført i 2014/2015 ganget med et gennemsnitligt C-indhold per volumenenhed hegn. Tilvæksten af biomasse i hegn er udelukkende bestemt ud fra de arealer, som har modtaget støtte til hegnsrejsning. Til dette formål er opbygget en simpel lineær tilvækstfunktion. På baggrund af samtaler med HedeDanmark, er det antaget, at nye

hegn opnår en maksimale volumen efter 25 år. Denne maksimale volumen er defineret som gennemsnittet af samtlige hegn målt med LiDAR-målingerne plus en standardafvigelse.

Vedvarende græs

For vedvarende græs anvendes IPCC's standardværdi på 4,6 ton C per ha for kulstofmængden i græsarealer. Alle vedplanter, såsom hegn og andet, rapporteres samlet under Landbrugsarealer. Der regnes p.t. ikke årlige kulstofændringer i græsarealer, hvilket svarer til Tier 1.

Vådområder

IPCC-guidelines har ikke en standardværdi for levende biomasse i vådområder. Da der ikke afgræsses/høstes i vådområder antages, at delvis vanddækkede områder har en levende biomasse svarende til vedvarende græsarealer plus 50 %. For fuldt vanddækkede områder anvendes en værdi på nul. IPCC har ingen metoder til at estimere årlige kulstofændringer i levende biomasse indenfor vådområder.

By og anden infrastruktur

IPCC-guidelines har ikke værdier for levende biomasse i by og anden infrastruktur. Der er skønsmæssigt antaget en lav biomasseværdi på 2,2 ton C per ha som et gennemsnit for befæstede arealer. Der estimeres ikke i dag årlige kulstofændringer i levende biomasse i befæstede arealer, hvilket svarer til Tier 1.

2.2 Død biomasse

Skov

For skov opgøres den levende biomasse ud fra ændringer i biomasse i National Forest Inventory (NFI)-punkterne. Fra 2025 er ansvaret for opgørelsen overgået fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet (KU) til Ministeriet for Grøn Trepert (MGTP), nærmere bestemt til Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV), hvor SGAV leverer rådata til IGN, som bearbejder data til det format, der anvendes i opgørelsen og videresender til DCE. Metoden svarer til Tier 3.

Landbrugsarealer

For enårige afgrøder antages det, at stigningen i kulstofoptag i vækstsæsonen i et enkelt år modsvares af tabet forbundet med høst og mortalitet. Denne antagelse følger IPCC-guidelines og IPCC anviser ikke noget højere metodetrin til en mere detaljeret opgørelse.

For flerårige afgrøder er det i emissionsopgørelsen antaget, at dødt ved er i ligevægt, dvs. det årlige inflow til puljen udligner outflow fra puljen. Dette svarer til Tier 1.

For arealer med frugtplantager, hegn/småbiotoper og i pilemarker antages, at der ikke forekommer død biomasse i væsentligt omfang, hvorfor ændringen i denne mængde mellem år er sat til 0.

Vedvarende græs

Det er i emissionsopgørelsen antaget, at dødt ved er i ligevægt, dvs. det årlige inflow til puljen udligner outflow fra puljen. Dette svarer til Tier 1.

Vådområder

Der er ikke nogen IPCC-metode til at beregne kulstofændringer i død biomasse i vådområder.

By og anden infrastruktur

Det er i emissionsopgørelsen antaget, at dødt ved er i ligevægt, dvs. det årlige inflow til puljen udligner outflow fra puljen. Dette svarer til Tier 1.

2.3 Jord

Jord opdeles i hhv. mineraljord og organisk jord, hvor mineraljord defineres som jorder med < 6% OC (organisk kulstof).

2.3.1 Mineral jord

Skov

For gammel skov (>30 år) anvendes Tier 1, hvilket svarer til, at der ikke sker en ændring i jordernes kulstofindhold. Ved overgang til skov anvendes en standardmængde på 142 ton per ha (0-100 cm) for jorder < 6 % OC, som er bestemt ud fra NFI suppleret med andre skovmåledata. Denne mængde anvendes for alle skovovergange (ej juletræer) med en 100 års overgangsperiode. Dette svarer til Tier 2.

De fleste juletræsplantager er anlagt på landbrugsjord, som typisk har en 8-9-årig rotation, inden der genplanter, alternativt etableres en landbrugsafgrøde. Det er antaget, at juletræerne ikke bidrager til en opbygning af C i jord, hvorfor der som kulstofmængde anvendes samme værdi som arealet, hvorpå de er anlagt.

Landbrugsarealer

For landbrugsarealer, som indgår i SGAV's IMK-system, anvendes en dynamisk modellering med C-TOOL. C-TOOL-beregningerne inkluderer 20 underopdelinger på otte landsdele med hhv. to eller tre underopdelinger i jordtyper. Dette svarer til Tier 3.

For arealer udenfor IMK og indenfor arealmatricens definerede landbrugsareal antages, at der ikke sker ændringer i jordens kulstofindhold. Dette svarer til Tier 1.

For arealer med frugtplantager, hegn/småbiotoper og i pilemarker antages ingen ændringer i jordens kulstofmængde.

Vedvarende græs

For vedvarende græs gælder samme antagelser, som for landbrugsarealer.

Vådområder

For vådområder antages ingen ændringer i eksisterende områder, ligesom der heller ikke antages nogen C-opbygning ved overgang til vådområder. IPCC angiver ingen metoder til opgørelse af kulstofændringer i jord i vådområder.

By og anden infrastruktur

Der estimeres ikke kulstofændringer i jord for befæstede arealer, da disse antages at være i balance. Dette svarer til Tier 1.

For arealovergange til by og anden infrastruktur anvendes IPCC's Tier 1 anbefaling, som angiver, at jorderne har et kulstofindhold på 80 % af oprindeligt indhold (IPCC, 2006, side 8.24) for arealer, som bliver forseglet med huse og veje. Denne værdi er antaget for hele arealet. Der findes ikke danske opgørelser over forseglingsgraden og jordernes kulstofindhold. For arealer, som ikke bliver forseglet, foreslår IPCC (2006), at der anvendes en værdi for "Improved Grassland." I en dansk kontekst vil dette være en relativ høj kulstofværdi, fordi "Improved Grassland" har været intensivt dyrket i mange år med tilførsel af husdyrgødning. Det er derfor skønnet, at denne værdi ikke vil være relevant for arealer i bymæssig bebyggelse, hvor der er en minimal fotosynteseaktivitet til at bidrage til kulstof i jord (kortklippet græs). Derfor vil kulstofmængden i næsten alle arealer, som konverteres til by udlede CO₂ indtil en ny ligevægt opstår. Som reference er antaget 80 %, svarende til et arealvægtet gennemsnitligt C-indhold i landbrugets kvadratnet baseret på 1986-opgørelsen (Taghizadeh-Toosi, 2015), hvilket er opgjort til 96,6 ton C per ha (0-100 cm). Ved arealovergang nedskrives C- mængden lineært over 30 år. Dette svarer til Tier 1.

2.3.2 Organisk jord

Skov

Arealet med organisk jord i skov er vurderet af IGN ud fra fordelingen af målte punkter, hvor der skelnes mellem jorde over og under 12 % OC. For gammel skov (> 30 år) anvendes en procentdel på 4,9 af skovarealet. For skov < 30 år anvendes en andel på 10,9 % kombineret med IPCC's Tier 1-emissionsfaktorer for drænede skovjorder. Herudover er antaget, at 50% af arealet er drænet med en EF på 2,8 ton C per ha per år og 50 % udrænet med en EF på 0 ton C per ha per år. Dette svarer til Tier 1.

Landbruksarealer og Vedvarende græs

Der afrapporteres kun udledninger, som ligger indenfor indtegnede IMK-arealer på Kulstof2022-kortet (Beucher et al., 2024). Organiske jorder udenfor IMK indgår dermed ikke. Det betyder, at randzoner, øvrige arealer og grøftekanter ikke indgår. Udledningen af CO₂ beregnes ud fra en sigmoid grundvandsstands-betinget responsfunktion i kombination med seneste tørvekort fra DCA (Kulstof2022) og grundvandstandskortet fra GEUS. Den geografiske opløsning på kortene er 10*10 m. Dette svarer til Tier 3.

Arealer med frugtplantager, hegn/småbiotoper og i pilemarker indgår i Kulstof2022-kortet.

Vådområder

For vådområder (eksklusive tørveindvinding) er det antaget, at der ikke er nogen ændringer i C-indholdet i de organiske jorder og dermed nul udledning af C. Ligeledes er der ikke antaget en binding som følge af tilgroning. IPCC angiver ikke nogen metoder til at opgøre kulstofændringer i organiske jorde i vådområder.

By og anden infrastruktur

Som konvention er det antaget, at der ikke forekommer organisk jord inden for by og anden infrastruktur, selvom Kulstof2022-kortet (Beucher et al., 2024) angiver arealer med organisk jord indenfor disse områder.

2.4 Metan og lattergas

Ved opgørelse af alle øvrige ikke-CO₂-kilder, f.eks. dræning, mineralisering og brande anvendes Tier 1.

3 Behov for forskning, udvikling og dataindsamling

Drivhusgasopgørelsen for arealanvendelse er en balance mellem den årlige binding (fotosyntese) og nedbrydningen af organisk biomasse. Metodemæssigt er der to hovedprincipper:

- Carbon Stock Change-metoden hvor man opgør udledningerne som forskellen i den stående/lagrede mængde mellem to på hinanden følgende år.
- Gains/Losses - Udledningsmetoden (i det følgende er anvendt delta-metoden, ændringen i kulstofmængden per tidsenhed) som anvendes på f.eks. organiske jorder, hvor den lagrede mængde biomasse ikke er kvantificeret. Her anvender man udledningsfaktorer i CO₂ per år.

Behovet for forskning, udvikling og dataindsamling vil variere afhængigt af metodevalg. I det følgende er der beskrevet forskellige metodemæssige tilgange, en vurdering af metodernes fordele og ulemper samt behov for nye data/modeller for at mindske usikkerheden på opgørelserne.

I forbindelse med dette arbejde er der undersøgt, om andre lande anvender Tier 3-metoder (Nielsen, 2025). Der er få eksempler på lande, der anvender Tier 3-metoder for kombinationer af arealklasser og kulstofpuljer, for de områder, hvor Danmark anvender Tier 1 eller Tier 2. Disse eksempler er inkluderet i den nedenstående diskussion af mulige metodetilgange.

3.1 Levende biomasse

Levende biomasse opgøres som AGB (Above Ground Biomass) og BGB (Below Ground Biomass), som den maksimale biomasse forekomst i løbet af året.

Grundlæggende er der to metoder til at opgøre biomassen for vedplanter/planter med lang levetid:

- En opgørelsestilgang svarende til den danske National Forest Inventory (NFI) hvor den stående mængde biomasse måles og ganges med et antal ekspansionsfaktorer. Hvis biomassen opgøres hvert år, anvendes målinger i opgørelsen. I praksis vil målingerne ikke foretages hvert år, men løbende efter en vis årrække. Dette er tilfældet med den tyske NFI (1987, 2002, 2012, 2022), hvor der er anvendt en lineær interpolation i de mellemliggende år. I den tyske NFI er den årlige opgørelse korrigeret for årets hugst. Den danske NFI har benyttet sig af et rotationsprincip, hvor man af ressource-/personalemæssige grunde måler en femtedel hvert år i en femårig rotation. Den årlige ændring i opgørelsen opgøres herefter som ændringen i biomassen mellem to gentagne målinger. Med dette princip antager man at punkterne, der indgår i NFI'en, er normalfordelte.
- En tilvækstmodel hvor man anvender årlige tilplantningsrater kombineret med årlige tilvækstrater. Dette anvendes i den tyske opgørelse for arealer, som ikke er skov. En sådan tilgang kræver information om tilvækstkurver og information om arealer der fjernes. Den tyske arealanvendelse opgøres i et 1*1 km grid. Ud fra dette estimeres fjernelsen af træer/vedplanter. I Danmark anvendes denne metode for hegn, hvor der er antaget en lineær

tilvækst over 25 år. I Danmark findes der ikke tilvækstmodeller for vedplanter udenfor skovene, hvorfor en sådan tilgang kræver udarbejdelse/adaption af tilvækstfunktioner. For æble- og pæretræer opgør Danmarks Statistik (DST, 2025) alderen på de bestående arealer med 4-5 års intervaller i fem aldersklasser (Tabel FRUGT4: Nettoareal og træetæthed for æbler og pærer efter enhed, sort og træernes alder). En mere præcis arealopgørelse for alle frugttræer kan udarbejdes ved at anvende arealstatistik fra SGAV's Internet Markkort (IMK), som årligt opgør arealer på de præcise lokationer.

3.1.1 Måling af levende biomasse

Valg af metode i den danske opgørelse er sket ud fra en vurdering af den mulige indflydelse på opgørelsen. Den vigtigste parameter er primært hvor hurtigt, der sker arealændringer. Pil til biomasseformål høstes typisk hvert tredje år. Her anvendes et gennemsnit af den stående overjordisk biomasse før høst og umiddelbart efter høst, hvor mængden sættes til nul (0). Her anvendes en fast mængde, baseret på høstdata, ud fra en vurdering om, at variationen mellem år ikke vil bidrage til en mindre reduktion i usikkerheden. Dette svarer til en Tier 2-metode. For frugttræer og -buske anvendes den stående biomasse for fuldt udvokset tilstand, da det vurderes, at biomassetilvæksten primært sker i en begrænset del af levetiden. Dette skyldes, at træerne og buskene regelmæssigt beskæres, hvilket begrænser den samlede tilvækst over tid. For skov, som står i mange år, kan NFI's rotationsprincip opfattes som en kombination af arealændringer og tilvækstfunktioner.

Træer

Skove og enkeltstående træer er karakteriseret ved lang levetid og begrænsede ændringer i arealanvendelsen. AGB for skovtræer opgøres typisk ud fra stammediameteren i brysthøjde, som ganges på med allometriske funktioner for at opnå et estimat for gavntre-biomassen. Hertil kommer så yderligere faktorer for at inkludere grene, kviste og blade. BGB er den levende biomasse i jorden. Denne opgøres oftest som en fraktion af den overjordiske mængde ud fra rod:top-forholdet (root:shoot). For de mest udbredte skovtræer er fraktionen 0,2-0,25, men afhængig af flere faktorer bl.a. alderen på træerne og bestandstætheden. Det er usikkert i hvilket omfang de allometriske funktioner fra skov kan overføres til enkelttræer, fordi krone/højde-udvikling er forskellig fra tæt skovstrukturer. Se endvidere beskrivelse i kapitlet om Remote Sensing (3.1.2).

Hegn

Hegn har i lighed med skov typisk en lang levetid. Dog medfører landbrugets strukturudvikling både fjernelse af ældre hegn og nyplantninger. Hegn og småbiotoper er kendetegnet ved deres linjeformet struktur og især for hegns vedkommende en stor periferi i forhold til det samlede areal. Dette påvirker biomassetætheden per arealenhed, da randzonerne typisk har en højere biomassetæthed i forhold midten af bevoksningen. Hegnene findes i det åbne land, hvor artsammensætningen er forskellig fra skovene med flere lave træarter og buske. Herudover trimmes de fleste hegn i randzonen for at undgå vækst ind i de tilstødende marker. Gamle digehegn er ofte beskyttede, mens nyere 3-6 radede læhegn dels opføres med hensyn til lædannelse og biomasseproduktion. Dette medfører, at skovtræernes allometriske funktioner ikke kan anvendes for hegn, se desuden kapitel 3.1.2.

Frugttræer

Frugttræer og -buske har en levetid på 10-30 år. Nyere frugtplantager er anlagt i rækker med 1.800-2.000 træer per hektar podet på lavtvoksende grundstamme. Dette medfører, at træerne sjældent når store højder og ofte beskæres til ca. 3 meters højde, for eksempel som for æble- og pæretræer. Frugttræerne beskæres til en optimal planteform, så frugtsætningen sker med optimale lysforhold. Anvendelse af standardallometriske funktioner fra skovtræer vil være forbundet med en vis usikkerhed. Den stående kulstofmængde i den nuværende danske opgørelse er baseret på antal træer per ha, deres stammediameter, allometrisk funktion og formfaktor, hvor oprejst/bredskygget, træerne er.

For frugttræer og -buske opgøres udledningen alene ud fra arealændringer jf. IMK-indberetningerne. Hvis det samlede areal ændres, fjernes/øges den stående biomasse med den maksimale stående biomasse og ikke en vægtet biomasse-mængde set over de forskellige arters biomassekurveudvikling. Dette ud fra en betragtning ud fra plantagernes levealder og beskæring. Anvendelse af en tilvækstmodel svarende til den tyske opgørelse er en mulighed, men skønnes ikke at bidrage væsentlig til opgørelsens præcision, se endvidere kapitel 3.1.2.

Træagtige energiafgrøder

Energiafgrøder som pil (ca. 4.600 ha i Danmark) anvender en samlet kulstofmængde per ha ud fra litteratordata. Det vurderes ikke, at en opdatering med en tilvækstmodel vil forbedre prædiktionerne, se endvidere kapitel 3.1.2.

Enårige afgrøder i forskellige på arealanvendelsesklasser

/ skov

IGNs opgørelse for skovrejsning antages biomassen i de enårige afgrøder, der erstattes ved etablering af skov, at svare til biomassen for vedvarende græs. Denne mængde nedskrives så lineært over 25 år til nul, hvorefter der kun findes vedbiomasse, som indgår i NFI-målingerne. Denne biomasseproduktion indgår indirekte i opgørelsen af skovjordernes kulstofindhold, baseret på Tier 2-metode, hvor der anvendes et nationalt standardtal for skovjordernes kulstofindhold efter 30 år. Det er ikke undersøgt, hvordan andre lande håndterer input til dynamiske skovjordsmodeller.

På landbrugsarealer i omdrift

Enårige afgrøder, ved maksimal biomasse, er i IPCC's 2019 Refinement (IPCC, 2019) opgjort til 4,7 ton C per ha. I den danske opgørelse anvendes en stående værdi på 5,9 ton C per ha. Ved arealovergange fjernes denne mængde biomasse. En opdatering af denne værdi kan gøres uden yderligere dataindsamling som et led i den løbende udvikling af LULUCF-opgørelsen. For arealer indenfor IMK beregnes biomasseinputtet til C-TOOL vha. af differentierede allometriske funktioner. For arealer udenfor IMK, men indenfor landbrugsarealer i omdrift, anvendes ikke tal for levende biomasse, fordi de ikke indgår i C-TOOL-beregningerne, se afsnit 3.3 (kulstof i jord). Ved en udvidelse af arealet, hvor kulstof i jord modelleres, er der et stort behov for at få opgjort disse arealers inputbidrag til C-TOOL.

På vedvarende græsarealer

For vedvarende græsarealer anvendes Tier 1-værdien fra IPCC kombineret med et rod:top-forhold (IPCC, 2006). Ved arealovergange fjernes denne mængde biomasse og en ny standardbiomasse tilføjes. Effekten på emissions-opgørelsen fra levende biomasse ved arealændringerne er lille og derfor vil

en opdatering ikke bidrage til en væsentlig ændring i biomassen. For arealer indenfor IMK beregnes biomasseinputtet til C-TOOL vha. af to forskellige inputparametre for græs, hhv. græs i omdrift med 8,7 ton C per ha og for vedvarende græs med 4,0 ton C per ha. For arealer udenfor IMK, men indenfor landbrugsarealer i omdrift, anvendes ikke tal for levende biomasse, fordi disse ikke indgår i C-TOOL-beregningerne, se afsnit 3.3 (kulstof i jord). Ved en udvidelse af arealet, hvor kulstof i jord modelleres, er der et stort behov for at få kvantificeret disse arealers inputbidrag til C-TOOL-modellen. I et igangværende projekt bestilt af SGAV, undersøges af AGRO og DCE om muligheden for en mere differentieret biomasseinput til forskellige afgrøder, herunder græsarealer. Dette projekt forventes afsluttet i 2027

I vådområder

Ved arealovergange for vådområder anvendes Tier 1-værdien fra IPCC (IPCC, 2006) for græs tillagt 50 % for hele arealet. Hvis arealet overgår til fuldt vanddækket, fjernes denne biomasse. Denne værdi burde opdateres ved anvendelse af faktuelle målinger, men der kan forventes en stor variation i målingerne. En opdatering forventes at have en lille effekt på opgørelsen. I forbindelse med udtagning til vådområder, hvor der er etableret plantedække, vil dette bidrage til kulstofopbygningen i jorden/tørv. Denne opbygning indgår på nuværende tidspunkt ikke i opgørelsen, men forventes implementeret i løbet af de kommende år. Opbygningen vil her blive baseret på deltafunktion for organiske jorder.

I bymæssig bebyggelse og anden infrastruktur

IPCC angiver ikke nogen standardværdier for levende biomasse i by og anden infrastruktur og i Tier 1-metoden inkluderes ingen ændringer i eksisterende by. IPCC (IPCC, 2006, 2019) har opstillet en model, hvor biomassen er opgjort ud fra kronedækket af træer og en korrektion for forseglede arealer. Tyskland anvender en forseglingsandel på ca. 50 %, mens mængden af levende biomasse er baseret på skøn over arealet med kronedække ud fra hegns- og buskedata. Der er ikke inkluderet en konstant for enårige planter. Det betyder, at den tyske opgørelse har en relativ høj biomassetilvækst ved overgang af arealer til by. I den nuværende danske opgørelse er ikke inkluderet en lagring i vedplanter, fordi der ikke findes opgørelser over kronedækket i Danmark indenfor bymæssig bebyggelse, arealet som er forseglet og det fotosyntese aktive areal. I den nuværende opgørelse anvendes ved overgang til by og anden infrastruktur et modificeret standardtal for levende biomasse svarende til vedvarende græsarealer fra IPCC (IPCC, 2006).

3.1.2 Remote Sensing af levende biomasse

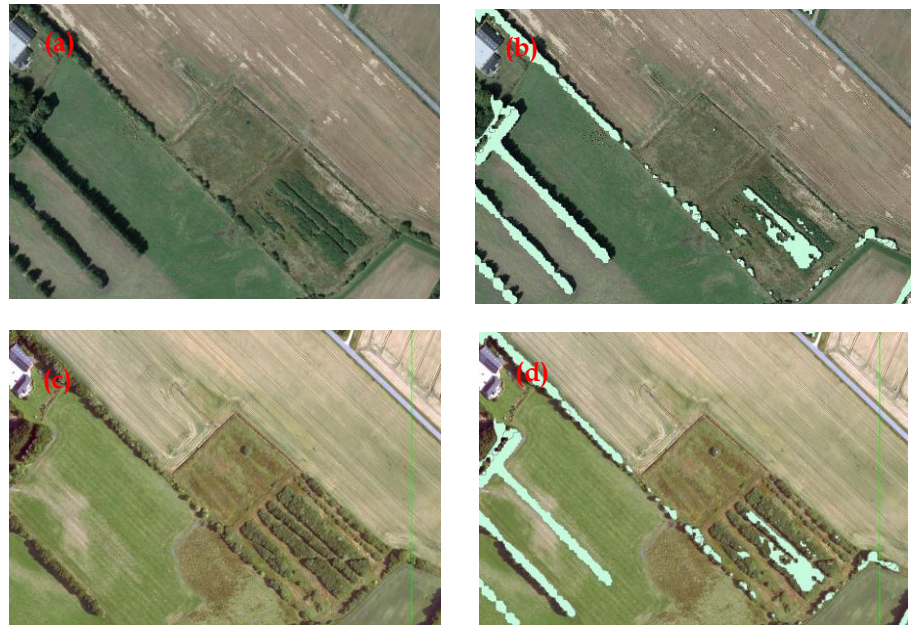
Anvendelse af Remote Sensing kan anvendes til at opgøre arealer og i en vis udstrækning også opgørelse af biomasser. Der findes tre forskellige typer Remote Sensing-systemer, som kan bidrage med nogle relevante data til udvikling af en mere avanceret emissionsopgørelse; Orthofoto, LiDAR og Satellitbilleder.

Orthofoto

Geodatastyrelsen udarbejder årlige flyfoto på 20*20 cm. Disse kan anvendes til en mere præcis kortlægning af det fotosyntese aktive areal.

LiDAR

LiDAR-scanninger (Light Detection and Ranging) anvendes i den danske højdemodel. Højdemodellen består af to kort hver med en opløsning på 40*40 cm. Det ene kort er en terrænmodel og det andet er en overflademodel. Ved at fratrække de to modeller fra hinanden fås volumen af bygninger, anden infrastrukturer, biler og planter. LiDAR-flyvninger blev gennemført i 2006, 2014/2015. Siden gennemføres flyvningerne i en femårig rotation.



Figur 1. Udvikling i vedplanter/hegn (ikke-skov) i et område i Jylland fra 2014 til 2022. (a) flyfoto 2014, (b) flyfoto med LiDAR måling fra 2014, (c) flyfoto 2022, (d) flyfoto 2022 med LiDAR-måling fra 2014.

Brug af LiDAR data vurderes til at være en relativt præcist udtryk for den stående biomasse samt ændringer i småbiotoper og levende hegn, hvor der kan anvendes en standard for mængden af biomasse per volumenenhed.

Satellit

Remote Sensing via satellit, (Copernicus, <https://climate.copernicus.eu/>) sker ved overflyvning ca. hver 10-14 dag. Opløsningen er på 10*10 m. Ud fra hver flyvning, hvis vejret tillader det, kan der beregnes forskellige indirekte biomasseopgørelser til brug for en avanceret opgørelse. Af særlig interesse er NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) og NDRE (Normalized Difference Red Edge).

NDVI bruger det røde og nær-infrarøde (NIR) lysspektrum som grafisk indikator og vurderer vegetationssundhed og densitet. Det beregnes ved at måle forskellen mellem reflekteret lys i det [nær-infrarøde](#) (NIR) og røde bånd for på den måde at kvantificere, hvor meget grøn vegetation der er. NDVI-værdier spænder fra -1 til +1, hvor høje positive værdier indikerer tæt, sund vegetation, og negative værdier indikerer vand. NDRE er vegetationsindeks der bruges til at måle klorofylindhold og vurdere plantevæksten i præcisionslandbrug. NDRE bruger en del af det røde lysspektrum til at udregne plantens sundhed og tæthed. Dette gør NDRE mere følsomt overfor klorofylaktivitet og er dermed mindre tilbøjeligt til at "mætte" ved tæt vegetation.

SEGES Innovation har i flere år anvendt NDVI og NDRE på landbrugsarealer til at rådgive om næringsstoffertilførsel og plantevækst. Der udarbejdes løbende

analyser i plantevæksten (Mette Kramer Langgaard, SEGES, 2025). Anvendelse af sådanne målinger kan være et bidrag til opgørelsen af biomasseinputtet som indgår i jordens kulstofpulje på især græsarealer, hvor der kan være store forskelle mellem marginale afgræssede arealer, anvendelse til slæt og så til naturområder med en stor vegetation, hvor biomassen ikke fjernes.

Det er uvist i hvilket omfang NDVI og NDRE kan anvendes i opgørelsen. Det vil primært afhænge af hvilken præcision, der ønskes på input-siden, hvordan værdierne omsættes til fysisk biomasse som så igen skal konverteres til C-inputfaktorer. Resultatet afhænger også af, hvordan og i hvilket omfang initialiseringsværdier for C-TOOL udarbejdes.

I øjeblikket foregår en stor udvikling omkring mulighederne for at anvende satellitdata. De europæiske satellitter (Sentinel) opereres af European Space Agency (ESA). EU finansierer det såkaldte "Copernicus Land Monitoring Service (CLMS, 2025) og i den forbindelse bearbejdes rådata til praktisk anvendelige data. Dette omfatter bl.a. (fra Copernicus' hjemmeside:

- Et fulddækkende kort af arealdække og arealanvendelse og deres ændringer. De europæiske kort omfatter detaljerede lag, der viser omfanget af uigennemtrængelige overflader, trædække og skove, græsarealer, dyrkede arealer, små skovområder samt vand og fugtighed.
- Vegetationsprodukter, der beskriver tilstanden, dynamikken og forstyrrelserne i den terrestriske vegetation globalt og i Europa.

SEGES Innovation har oplyst, at udarbejdelse af NDVI- og NDRE-indeks og tilhørende vurderinger af bl.a. høstudbytter er "hyldevare" for landbrugsarealerne (Mette Kramer Langgaard, SEGES, 2025).

3.1.3 Behov for ny forskning, udvikling og dataindsamling

Skov

For skov forudsættes det, at SGAV i fremtiden udarbejder opgørelser over ændringer i stående biomasse/kulstofmængder, som årligt videregives til DCE til brug for den årlige opgørelse. Dette i lighed med den nuværende aftale med IGN. DCE er ikke ansvarlig for den valgte metode, men der bør fortsat anvendes en Tier 3-metode, som det har været tilfældet hidtidigt.

Arealer uden for skov

Arealer uden biomasse

Arealer uden biomasse har ikke nogen fotosynteseaktivitet og bør derfor håndteres særskilt i opgørelsen. Her vil især forseglede arealer med by, vanddækkede arealer og strande være relevante kriterier. En mulig tilgang er at anvende orthofoto, som har en opløsning på 20*20 cm, evt. i kombination med satellitdata med en opløsning på 10*10 m. Behovet for opdateringsfrekvensen af arealer uden fotosyntese bør undersøges nærmere ud fra de indbyggede usikkerheder, der er i de årlige orthofotos og i satellitbillederne.

Arealer med biomasse

Arealer med levende biomasse vil have en fotosynteseaktivitet og dermed binding af CO₂. CO₂-en optages gennem bladenes læbespalter og kan lagres som simpel biomasse (alger, græs og blade på træer) eller allokeres til mere svært nedbrydelige plantedele såsom strå (højt celluloseindhold) eller som vedbiomasse (højt ligninindhold). De strukturelle forskelle i biomassen kan ses som et udtryk for planternes levetid. Vedbiomasse findes i planter, som

har behov for en struktur, så som i træer og grene, stamme og rødder, mens de let nedbrydelige biomasser findes i træernes blade og i græs og andre 1 til 2-årige planter.

Den aktuelle fotosynteseaktivitet kan, med en vis usikkerhed, måles indirekte via satellitter. Dette gøres ved hjælp af forskellige indeks, f.eks. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) eller NDRE (Normalized Difference Red Edge Index). Disse Indekser afspejler forskelle i ind- og udstrålingen af bølgelængder, hvor fotosyntesen er aktiv. Ved at summere aktuelt beregnet fotosynteseaktivitet (med korrektioner), opnås et bud på biomasseproduktion på et givet sted.

For ikke fuldt udvoksede vedplanter, vil en del af den producerede biomasse akkumuleres i vedmassen og i bladene, som ofte dør i efteråret. Døde blade nedbrydes hurtigt og indgår ikke i den levende biomasse. Ændringen i vedplanternes samlede kulstofmængde kan ikke måles vha. satellitter, men vedplanterne har en struktur, som ændrer sig over tid og kan måles vha. af LiDAR.

NDVI, NDRE og andre indeks kan som nævnt anvendes til at estimere den aktuelle biomasse produktion på stedet. Med satellitternes opløsning på 10 meter vil det sandsynligvis være muligt at differentiere biomasseinputtet for forskellige arealtyper (heder, marginale græsarealer contra intensive og tæt klippede arealer såsom fodboldbaner og parker).

Træer og anden levende vedmasse

For vedplanter er der grundlæggende to opgørelsesmuligheder. En landsdækkende NFI, som anvendes i Sverige eller en metode baseret på luftbase-rede målinger (RS) suppleret med specifikke målrettede undersøgelser.

En NFI-tilgang er meget ressourcekrævende og tager mange år før der opnås stabile resultater. Det vurderes derfor ikke at være realistisk at overgå til en ren målebaseret Tier 3 tilgang, tilsvarende den svenske metode uden for deciderede skovområder.

En metode baseret på RS giver derfor umiddelbart bedst mening, f.eks. ved anvendelse af LiDAR til brug for estimering af biomassen i vedplanter. Ved at anvende terræn- og overflademodellen fås et estimat for volumen af biomassen og volumen for f.eks. huse og biler. Ved at sammenkøre disse data med orthofotos kan det være muligt at udarbejde volumenestimer, som kun omfatter træer og vedplanter. Det bør undersøges, hvilken minimumshøjde LiDAR kan anvendes til, og eventuelt udvikling af en metode for estimering af lavere bevoksning.

Den nuværende volumenfunktion er baseret på 18 steder, hvoraf det vides, at nogle er granbevoksninger. Den anvendte model for oversættelse af volumen til biomasse bør yderligere verificeres og evt. stratificeres. En stratificering bør primært ske med data for arealer, hvor det vides, at der sker ændringer. Der bør indsamles biomasse/volumendata for et antal definerede arealtyper, som skal fastlægges efter en nærmere analyse. Vurderingen af, hvor man skal indsamle nye volumendata, bør kombineres med usikkerheden på LiDAR-beregningerne.

Til beregning af underjordisk biomasse anvendes i øjeblikket et gennemsnitligt rod:top-forhold i hegn på 0,21, baseret på gennemsnits rod:top-forholdet

i IGNs skovopgørelse. Tyskland har i en artikel (Drexler og Don, 2024) opgjort rod:top-forholdet i hegn til 0,7. Dette estimat vurderes at være for højt ved anvendelse af LIDAR-scanninger, fordi scanningerne beregner volumen ud fra arealet set fra oven og ikke kun i selve hegnet (foden). Det kan derfor være nødvendigt at iværksætte målinger af rod:top-forholdet.

Enårige afgrøder

Som det fremgår af ovenstående, vil anvendelse af Orthofoto (årlige opdateringer, LiDAR-målinger (i fem-årig rotation) og satellit-målinger kunne bidrage til en væsentlig bedre forståelse af arealernes ændringer i stående vedbiomasse. For enårige og fler-årige planter (græs) er der behov for et forbedret estimat af de stående biomasser ved maksimal biomasseforekomst for de anvendte arealkategorier. Disse bruges i forbindelse med de overordnede arealovergange i arealmatricen. Herudover vil de kunne bruges, hvis modellering af kulstof i jord udbredes til flere arealer ved at estimere fotosynteseaktiviteten. Antallet af underopdelinger i arealkategorier bør undersøges, ligesom der bør undersøges hvilke behov, der er for data i andre kategorier, f.eks. som input til kulstof i jord (se 3.3.1). Anvendte data kunne være DDO orthofoto og/eller satellitdata, hvor biomassen bestemmes ud fra NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red Edge Index). Disse data indhentes fra CLMS (CLMS, 2025) eller andre kilder, selvom det måske vil blive nødvendigt med en indsamling af kvantitative data for biomassemængder.

3.1.4 Udfordringer med implementering af RS-data i opgørelsen

I implementering af RS-produkter i opgørelsen skal differentieres mellem vedbiomasseopgørelsen og biomasseinput til jordmodellerne.

For vedbiomasse vurderes det, at LiDAR produkterne vil kunne levere data af en god kvalitet. Det vil være behæftet med usikkerheder som der ved anvendelse af data skal tages hensyn til.

- Højdemodellen udarbejdes løbende i en fem-årig rotation for specifikke områder af Danmark. Ved en implementering i en årlig opgørelse er det nødvendigt at tage stilling til, hvordan der skal ske en midling/fremskrivning af data til den årlige opgørelse ud fra historisk målte data.
- DCE har for nuværende ikke viden om præcisionen på volumenmålingerne samt deres spredning. Hvis f.eks. en LiDAR-måling påvirkes af vejret og/eller flyvetidspunkt på året, kan man risikere, at sandsynligheden for at to på hinanden efterfølgende volumenmålinger ikke viser den sande ændring.

For biomasseproduktionen målt med NDVI/NDRE i enårige afgrøder, vil der sandsynligvis være en relativ stor variation i de årlige målinger. Dette bør derfor sammenholdes med, hvor og hvordan disse data kan anvendes.

- Præcisionen på satellitmålingerne vil være påvirket af vejr, skyer og øvrige variable, hvilket kan give en stor årlig variation.
- Satellitmålingerne kan danne grundlag for en nærmere opdeling og klassificering af arealanvendelsen. F.eks. hvis der er tale om en markant ændring i arealets biomasseproduktion, vil dette kunne føre til en mere differentieret arealklasse indenfor især bymæssig bebyggelse. Her skal man være opmærksom på at forskelle i plantedækket, målt via NDVI/NDRE,

ikke nødvendigvis er tegn på permanente ændringer i den overordnede arealmatrice.

- Systematiske NDVI/NDRE-data kan anvendes som input til modellering af kulstofbalancen i år og muligvis danne et mere nuanceret billede af ændringer i jordens kulstofpulje. De nuværende inputfaktorer for græsarealer til C-TOOL er ikke baseret på overjordisk biomasse men "beregnete" C-input ud fra konstaterede ændringer i jordens kulstofbalance i langtidsforsøg. Det "beregnete" C-input svarer således ikke til den producerede biomasse, der efterlades på arealet. Denne udfordring med bestemmelse af biomasseinputtet til ikke-landbrugsarealer vil være stor, uanset hvilken opgørelsesmetode der anvendes for alle græsarealer, både indenfor og udenfor landbrugsarealerne. I NIFA-projektet "Kulstofopgørelser på bedriftsniveau" (jr. nr. 33010-NIFA-24-903) indgår et forsøg med beregning af en mere differentieret C-input på græsarealer til brug for bedriftsopgørelser. Her er der kun tale om landbrugsafgrøder og ikke de mere marginale arealer såsom heder, naturarealer (uklippede vejrabatter), hvor den producerede biomasse efterlades som input til jordens kulstofpulje samt tætklippede græsarealer i byer, hvor tilført biomasse er minimal.

Flyfoto, som også er en del af RS, kan anvendes til arealklassificering ud fra det spektrale spektrum. Samlet vil en kombination af RS-data og flyfoto være den mest optimale måde at opdele det samlede areal i forskellige arealklasser. Arealklasser som så efterfølgende håndteres forskelligt i forhold til, hvordan kulstofpuljerne i jord modelleres.

Den største udfordring ligger sandsynligvis i omregningen af levende biomasse efterladt på stedet til C-input, som kan anvendes i en dynamisk modellering af jordens kulstofbalance. Her vil det være vigtigt ikke at overkomplilere inputparametrene i forhold til, hvad modelleringsoutputtet kan bære.

Implementering af RS-produkter

På DCE foregår der i øjeblikket kompetenceopbygning i anvendelsen af LiDAR. Et overordnet mål for denne indsats kan være, at DCE udvikler en rullende metode til beregning af volumenberegninger baseret på opdaterede data fra LiDAR.

3.2 Død biomasse

Død biomasse omfatter døde blade, kviste, grene og træer. Indenfor skovbruget skal der ske en opdeling i dødt ved og anden biomasse, mens der for øvrig arealanvendelse ikke skal ske en opdeling jf. 2023/839 (EU, 2023).

Da der ikke findes meget dødt træ udenfor skovbruget og meget varierende data fra døde blade og kviste (litter), vil det være meget vanskeligt og omkostningsfuldt at indsamle repræsentative data.

3.3 Kulstof i jord

Den årlige tilførsel af biomasse til jorden bestemmes af arealanvendelsen og den måde arealet forvaltes på. I skove stammer inputtet fra nedfaldne blade, nåle, grene og andet dødt ved, hvilket afhænger af jordernes bonitet og trævalg. På landbrugsarealer med enårige afgrøder kommer biomassen fra afgrøderester, mens flerårige afgrøder bidrager med nedfaldne blade, grene og andet dødt ved. På afgræssede græsarealer som f.eks. strandenge og heder, tilføres kun små mængder af biomasse fra døde en- eller flerårige planter og

småblade fra hedelyng samt fra den afsatte husdyrgødning. For ikke-afgræssede arealer kan den tilbageværende biomasse ofte være større end for de afgræssede arealer, men disse arealer modtager til gengæld ikke biomasse fra husdyrgødningen. Samlet vil kulstofbalancen være relateret til den absolutte fotosyntese på arealet. På intensivt dyrkede danske landbrugsjorder har dyrkningspraksis, især den øget kvælstoftildeling over de seneste 70-80 år, medført en stigning i OC-indholdet sammenlignet med de magre sandjorder. Den årlige nedbrydning af organisk materiale vil derfor være højere på frugtbar landbrugsjord end på en mager hedejord, hvor det årlige input er begrænset som følge af den ekstensive dyrkning.

Hvis man ændrer enten tilførslen eller nedbrydningen, vil der ske forskydninger i ligevægtstilstanden. Det ses især på jorder, som har opbygget en stor biomasse under våde forhold (f.eks. moser), og som efterfølgende udsættes for dræning. Her vil der ske en stor ændring selvom jorden fortsat har et input af årlig biomasse. På jorde, hvor nedbrydningen er meget høj sammenlignet med tilførslen af organisk materiale, er der ikke praksis for at modellere udlædningerne, her opgøres ændringen som et direkte tab (delta). Dette princip anvender man for de organiske landbrugsjorder, hvor der anvendes en sigmoid model i forhold til grundvandsstanden baseret på jordens dræningstilstand (Elsgaard 2024, Tiemeyer et al., 2020).

Delta-princippet kan i praksis anvendes på alle arealer, hvor især Eddy-Covariance-flux-målingerne (EC) er rimeligt præcise. Sådanne EC-målinger inkluderer den samlede CO₂-udveksling fra vegetation, død biomasse og jord. I Danmark udføres EC-målinger på udvalgte steder, bl.a. Susåskovene (Pilegaard & Ibrom, 2020), men antallet af målinger er ikke tilstrækkeligt til at danne grundlag for en national opgørelse.

På jorde, hvor det ikke er muligt at dokumentere en steady-state eller ændringer i jordens kulstofbalance gennem målinger, er der et behov for en mere detaljeret tilgang til modellering af jordernes kulstofindhold. Modelresultatet bør altid sammenlignes med målinger. I Danmark er C-indholdet målt i landbrugets kvadratnet med 10 års intervaller siden 1986 (1986, 1997, 2009 og 2019; Harbo et al., 2023). Resultaterne viser stor spredning, hvilket indikerer, at det er vanskeligt både at dokumentere ændringer i jordens kulstofbalance med målinger samt verificere modeller op mod målingerne.

I afsnittet om levende biomasse (3.1) er det angivet, at der er behov for standard/dynamiske værdier for den levende biomasse fra en- og flerårige afgrøder. Livslængden af den levende biomasse har betydning for både mængden af input og den efterfølgende dannelse af død biomasse. Denne danner grundlaget for input af organisk materiale til jorden for alle arealklasser, hvor delta-funktionens forløb vil være en tilnærmet værdi for OC-ændringen.

Antages det, at de arealer, som indgår i målingerne til delta-funktionen, er repræsentativ for biomasse-inputtet i de våde jorde, vil funktionen kunne anvendes i kombination med grundvandsstandskortet-kortet (GVS) (Koch et al. 2023) for alle våde jorder uanset kulstofindhold.

For drænede jorder med et markant lavere indhold af OC er der store udfordringer, fordi der kun findes få og meget variable målinger af delta-ændringerne. Dette skyldes dels den store variation i inputtet, afhængig af dyrk-

ningspraksis. Især kvælstofinput har en afgørende betydning for den producerede biomasse kombineret med hvor stor en andel af den producerede biomasse, der fjernes fra arealet.

3.3.1 Mineral jord

Der er to tilgange, som anses som Tier 3-niveau. Den første er baseret på modelberegninger, mens den anden tilgang er baseret på kvantificering af ændringer gennem målinger for mængden af kulstof i jord på et relativt detaljeret niveau. Ved detaljeret niveau forstås både en geografisk opløsning, men især den anvendelsesorienteret opløsning.

Langt de fleste lande, der anvender Tier 3-metoder, er metoden baseret på en modelleringstilgang med undtagelse af Sverige, som anvender en målebase- ret tilgang baseret på en NFI-opgørelse, der omfatter alle arealtyper. I Danmark anvendes en modeltilgang til beregning af omsætning af organisk kulstof på landbrugsjord, der er tale om simuleringssmodellen C-TOOL (Taghizadeh-Toosi, 2016). Modeltilgangen kræver relativt præcise årlige data for biomasseinput og nedbrydningstider for det organiske materiale i jorden, kombineret med præcise initialiseringsparametre. Hvis disse tre variable ikke er afstemt sammen, kan man risikere, at modellen enten overestimerer eller underestimerer udviklingen i mineraljordernes kulstofbalance. For enårige landbrugsafgrøder er der rimelige data for mængden af efterladt biomasse, mens det er betydeligt vanskeligere for græsmarker. Da græsrødder er mere vanskelige at nedbryde end rødder fra enårige afgrøder, kan det årlige input ikke beregnes direkte ved hjælp af modellen og derfor anvendes nedbrydningshastigheder baseret på enårige afgrøder. I C-TOOL er der derfor antaget et "teknisk C-input" til modellen. Dette input baseres på målte ændringer i C-indholdet i forsøgspareceller, som derefter er tilbageregnet til nedbrydningskorregeret input. Hvis anvendelse af C-TOOL skal udvides til flere arealtyper, herunder til andre arealer med et begrænset kulstofindhold i jorden og med et begrænset årligt input, er der brug for en udvikling af nye input og initialiseringsparametre for de påtænkte arealtyper.

For skov gælder de samme udfordringer med parameterisering og initialisering som for landbrugsarealer.

En alternativ tilgang kan være repeterende prøveudtagninger i et kvadratnet med givne intervaller, så som i landbrugets kvadratnet (Harbo et al., 2023). I det kvadratnet er opdelingen i jordtyper baseret på JB-klasser, hvor klasserne er opdelt efter fraktioner af sand, silt og ler (Greve, 2024). I et repræsentativt kvadratnet er det muligt at bestemme ændringer i C-indholdet samt opgøre en ligevægtstilstand ved uændret dyrkning.

I den danske opgørelse anvendes der i øjeblikket nationalt udviklede ligevægtskonstanter for kulstofmængden (0-100 cm) ved arealovergange, hvor ligevægtskonstanterne er landsgennemsnit for den pågældende arealtype. En forbedring af opgørelsen kan ske ved en differentiering af ligevægtskonstanterne afhængig af dyrkningspraksis og jordtype.

Det samme gør sig gældende for landbrugsjorder og vedvarende græsarealer. Datasættet i landbrugets kvadratnet kan dog med fordel undersøges for andre parametre end førnævnte JB-inddeling og evt. re-analysere ud fra andre opdelingskriterier.

Datagrundlaget for arealer udenfor land- og skovbrug er sparsomt. Disse data er desuden meget varierende i kulstofindhold fra næsten rene sandjorde til organiske jorder. Der er behov for at få etableret referencekulstofværdier for disse arealer.

En væsentlig ulempe ved en målebaseret tilgang er både høje omkostninger og den lange tidshorisont, før der opnås stabile resultater. Det skyldes, at der vil gå mange år, før man har gennemført blot to målerotationer.

I by og anden infrastruktur findes der ingen målinger. Det skønnes at være forbundet med meget store omkostninger og der forventes store variationer i opgørelse af kulstofindholdet i disse jorder. Dette skyldes store variationer i jordernes oprindelse (lerjord contra sandjord) og vanskeligheden ved at finde jorde i urørt lejring.

Dette taler for en modelleringstilgang, men vil kræve udarbejdelse af nye repræsentative initialiseringsværdier og inputparametre for f.eks. vejrabatter og slået græs (græsplæner, fodboldbaner, golfgreens, osv.).

3.3.2 Organisk jord

Den nuværende CO₂-C-udledningsmodel, der anvendes for landbrugsarealer, vurderes at kunne tilpasses og anvendes på flere andre areal typer med højt indhold af organisk stof. I den nuværende opgørelse anvendes funktionen for CO₂-C-udledningen (Elsgaard, 2024) til modellering af grundvandsstand (Koch et al., 2023), men alene for arealer indenfor det opgjorte landbrugsareal, som er rapporteret i IMK-systemet. Parametermæssigt svarer denne til den parameterisering, der findes i den tyske opgørelse (Tiemeyer et al., 2020). Tyskland anvender en CO₂-C-model for alle arealer, inkl. skov selvom der i parameteriseringen ikke indgår målinger fra skov (Tiemeyer et al., 2020).

I den nuværende opgørelse er arealet af organisk jord i skovene baseret på en procentandel af udtagne NFI-punktprøver, som opfylder kriteriet for organisk jord. Det vil være fordelagtigt, hvis arealet med organiske skovjorder udarbejdes med samme metode som for landbrugsjorderne. Kulstof2022-kortet er et muligt bud på et estimat for arealudbredelsen i skovene, men det må påpeges at hovedparten af de oplysninger, som ligger til grund for den modelbaserede udbredelse af tørvejorder (faktuelle punktmålinger af jordernes C indhold og tørvedybde), stammer fra landbrugsjorder. Kulstof2022-kortets vurdering af tørvejordes udbredelse i skovene er derfor forbundet med stor usikkerhed. Hvis Kulstof2022-modellen (Beucher et al., 2024) skal danne grundlag for et samlet kort over de organiske jorder, er der en behov for en koordineret samkørsel med alle tilgængelige skovdata, evt. suppleret med yderligere prøveudtagninger i skovene.

Herudover vil der være behov for, at kortdata over tørveudbredelse og tørvedybde opdateres med jævne mellemrum, især indenfor de drænedes områder hvor tørven forsvinder.

Kortlægningen af GVS i de organiske jorder omfatter det areal, som indgår i Kulstof2022 (Beucher et al., 2024). I den forbindelse skal det påpeges, at parameteriseringen for skovene primært er baseret på GVS-data fra landbrugsarealer, hvorfor den beregnede GVS kan være forbundet med betydelige usikkerheder.

Parameteriseringen af nedbrydningsfunktionen i Elsgaard (2024) er baseret på landbrugsdata (simple græsser). Det skønnes, at en anvendelse af denne funktion i skovene er meget usikker. Dette skyldes dels, at Elsgaard-funktionen (2024) ikke tager højde for, at træerne udtørre den øverste jordprofil, og dels at funktionen ikke indregner biomasseinputtet fra træerne. Hvis en sigmoid GVS-betinget model skal anvendes i skovene, er der derfor behov for en ny parameterisering baseret på data fra skovene, før funktionen kan anbefales.

Parameteriseringen af nedbrydningsfunktionen (Elsgaard, 2024) inkluderer en del arealer med høj grundvandsstand. Det vurderes, at funktionen kan anvendes på våde arealer, hvor biomasseinputtet har en simpel struktur og hvor inputmængden fra de anvendte observationer afspejler den døde biomasse, der opnås ved vådlægning af arealerne. Der er dog en stor usikkerhed knyttet til funktionsforløbet, hvor der opbygges ny biomasse (høj GVS hvor der er fotosynteseaktivitet).

3.3.3 Behov for forskning, udvikling og dataindsamling indenfor jord

Der vil være et løbende behov for opdatering af det organiske jordbundskort, som omfatter hele det danske areal.

Der vil være et løbende behov for opdatering af GVS-kortet, herunder især for etablerede vådområder med de nyeste informationer om grundvandsstanden.

GVS-kortet i dens nuværende stand vurderes ikke at kunne anvendes indenfor skov og bør derfor genberegnes med et set-up målrettet skov.

For at validere de anvendte modeller for udviklingen af kulstof i jord er der brug for en uafhængig verificering som f.eks. med repeterende kvadratnetmålinger, hvor målesteder, -omfang, repetition og afrapportering er målrettet verificeringen af modellerne.

Der er stort behov for en validering af den sigmoide udledningsfunktions gyldighedsområde og dette gælder især for skovjorder og dybt dræned landbrugsjorder. For våde jorder (vådområder) vurderes det, at der ikke er brug for en selvstændig forskningsindsats for udledningerne. Det anbefales dog, at der iværksættes et mindre projekt med fokus på opbygning af ny organisk kulstof i udyrkede våde jorder. Dette kan baseres på en analyse af litteraturredata, bl.a. de data som ligger til grund for den sigmoide funktion. Den anvendte sigmoide Gomperts-funktion (Gyldenkerne et al., 2025) har en beregnet opbygning af kulstof på våde områder på $-0,625$ ($C_{\min}$) ton C per ha per år. Der er behov for en validering af, om denne modelværdi er retvisende i forhold til konstaterede langtidsmålinger samt i relation til den aktuelle ikke høstede biomasseproduktion.

3.4 Metan og lattergas

3.4.1 Metan

Datagrundlaget for metanudledninger i 2006 IPCC Guidelines er sparsomt og som dermed er underlagt forordningens krav om anvendelse af højere meto-detrin. Der er tale om metan fra brande og risdyrkning, hvoraf det sidste er

irrelevant for Danmark. Metanemission fra vådområder nævnes i 2006 IPCC Guidelines, men der er ikke angivet opgørelsesmetode.

Angående emissioner fra brande, anvendes der i opgørelsen på nuværende tidspunkt en Tier 1-metode, svarende til anvendelse af IPCC's standardmetode og standardemissionsfaktor. Implementering af Tier 2-metode vil indebære udarbejdelsen af en dansk emissionsfaktor, mens Tier 3 er endnu mere omfattende. Det vurderes at være forbundet med meget store omkostninger at lave en national model til beregning af metan- og lattergasemissioner (CH_4 og N_2O) fra brande.

3.4.2 Lattergas

N_2O fra mineralisering af organisk materiale i mineraljorder opgøres i C-TOOL-modellen. Hvis indholdet af organisk indhold stiger i et givet område, beregnes der ingen N_2O -emission. Ved et fald i jordens indhold af organisk materiale beregnes en N_2O -emission ud fra det organiske materials C:N-forhold, hvor kulstoftabet omregnes til et N-tab. Dette N-tab omregnes derefter til N_2O -emission baseret på IPCC's standardemissionsfaktor på 1 % (IPCC, 2006). Emissionen fra landbrugsarealer afrapporteres i landbrugssektoren, mens de øvrige arealklasser afrapporteres i LULUCF-sektoren.

3.4.3 Behov for forskning, udvikling og dataindsamling indenfor metan og lattergas

Som nævnt ovenfor vil udvikling af henholdsvis Tier 2- og Tier 3-metode kræve en betydelig forskningsindsats. Der er ikke eksempler fra andre lande, som anvender Tier 2- eller Tier 3-opgørelsesmetode. Det vil kræve målinger af emissioner fra brande i Danmark kombineret med karakterisering af den tilgængelige biomasse, hvor stor en del af biomassen, der typisk omsættes ved brand, mv.

For beregning af CH_4 og N_2O fra drænede og udrænede arealer (skov, landbrug, randzoner, vådområder, by osv.), kan der med fordel tages udgangspunkt i en videreudvikling af den tyske tilgang (Tiemeyer et al., 2020), med inkludering af flere og nyere data.

N_2O fra gødningsforbrug rapporteres i dag som en del af emissionsopgørelsen for landbrugssektoren, og derfor rapporteres IE (Included Elsewhere) i LULUCF-sektoren. I landbrug anvendes der p.t. Tier 1, men det bør nævnes, at der er igangsat en række projekter med henblik på at forbedre emissionsopgørelsen af N_2O fra gødning, herunder at skelne mellem emissionen fra udbringning af henholdsvis husdyrgødning og handelsgødning. Derfor vurderes ikke nødvendigt at behandle denne kilde på nuværende tidspunkt.

Det vil være meget vanskeligt at udarbejde en Tier 3-emissionsfaktor for N_2O fra mineralisering af organisk materiale i mineraljorder. Denne udgør i 2023 0,66 % af landbrugssektorens samlede udledning. Det anses for at være meget vanskeligt/umuligt at beregne en national værdi, fordi det er meget komplicerede sammenhænge.

4 anbefalinger

Dette afsnit beskriver DCE's anbefalinger til, hvor det er mest hensigtsmæssigt at igangsætte forsknings- og udviklingsprojekter for at opfylde de skærpede metodemæssige krav i LULUCF-forordningen.

Som påpeget i Nielsen et al. (2022) vurderer DCE, at det ikke er hensigtsmæssigt at stille krav til, om Tier 2- og Tier 3-beregning for alle dele af LULUCF-emissionsopgørelsen. Dette vil være et brud med et centralt princip i IPCC-retningslinjerne, som anbefaler at prioritere ressourcer til kategorier, der er af væsentlig betydning i forhold til udledninger og optag. Anbefalingerne skal derfor i denne kontekst forstås sådan, at når DCE ikke anbefaler igangsættelse af forskning og udvikling indenfor et specifikt område, er det baseret på en videnskabelig vurdering og bør ikke fortolkes som, at Danmark ikke har en forpligtigelse under LULUCF-forordningen.

Dog anbefales en række forskning- og udviklingsinitiativer, som DCE vurderer vil være hensigtsmæssig at igangsætte. Flere af aktiviteterne vil involvere danske vidensinstitutioner, og det vil derfor være nødvendigt at få udarbejdet mere detaljerede projektbeskrivelser, som inkluderer tidsramme og budget for de foreslåede opgaver. Da mange af de angivne projekter vil være tidskrævende at gennemføre, er det hensigtsmæssigt at igangsætte processen så hurtigt som muligt. I den forbindelse er det vigtigt, at der træffes beslutning om, hvorvidt eventuelle forsknings- og udviklingsprojekter skal være en del af et fremtidigt SINKS-projekt, eller om de skal udføres i andet regi.

Følgende aktiviteter, som anbefales planlagt og igangsat hurtigst muligt, er beskrevet inden for forskellige arealkategorier.

Levende biomasse

- Udvikling af metode til kontinuerte volumenbestemmelser af vedplanter baseret på LiDAR-målinger for Danmarks samlede areal, eksklusive skov, som baseres på højdemodellens to kort: terræn- og overflademodellen. Dette med henblik på, at denne metode kan indgå som en fast del af rapporteringen.
- Supplerende målinger af biomasse på forskellige lokaliteter og vedbestande, herunder hegn og frugttræer og -buske til bestemmelse af biomasse ud fra LiDAR-volumen. Herunder også dokumentation af forholdet mellem overjordisk og underjordisk biomasse.
- Estimering af standardbiomasse, både overjordisk og underjordisk, i en- og toårige planter til brug ved arealovergange, herunder vejrabatter, klippegræs og lignende. Disse skal desuden anvendes til beregning af C-inputfaktorer for relevante arealanvendelser til modellering af kulstofbalancer i jord (C-TOOL).

Død biomasse

På arealer, som ikke er skov, skal der alene rapporteres en samlet mængde død biomasse, som omfatter både dødt ved og blade.

For enårige afgrøder såsom korn og græs vil den døde biomasse være inkluderet i C-TOOL-modelleringen som input til jorden.

For arealer, hvor der ikke anvendes en modellering, kan den stående biomasse på arealer (uden vedplanter), som anvendes ved arealovergange, antages at indgå i jordpuljen og rapporteres dermed som: Included Elsewhere (IE).

Data til at underbygge en Tier 3-rapportering for død vedbiomasse kan alene opnås gennem målinger. Måledata er ikke tilgængelige i hegn, småbiotoper, frugtplantager og i parker. En ændring mellem to år i forekomsten af døde grene og andet vil være minimal og opnåede måleresultater vil derfor have en meget stor usikkerhed.

DCE vurderer, at der kræves en betydelig indsats for at indsamle data for død vedbiomasse i ikke-skovarealer for at opnå et relativt pålideligt estimat. Det anbefales derfor ikke, at der igangsættes projekter med henblik på at udarbejde Tier 3-metode for vedbiomasse i ikke-skovarealer. Denne anbefaling er begrundet i de meget begrænsede emissioner og optag, den metodemæssige kompleksitet og det omfattede overvågningsprogram, det vil kræve at estimere kulstofændringer i død biomasse.

Mineral jord

- Det vurderes, at C-TOOL kan udbygges til at omfatte alle arealer, hvor biomasseinput kommer fra simple biomasser såsom landbrugsafgrøder og græsarealer. Dette skyldes, at C-TOOL-modellens parametre og funktioner er baseret på langtidsforsøg indenfor landbrugsarealer. En sådan udbygning vil dog kræve yderligere igangsættelse af forsknings- og udviklingsprojekter. I skovene består inputtet af ligninholdige biomasser, som har andre nedbrydningsrater end dem, som anvendes i den nuværende C-TOOL-opsætning. Tier 3-opgørelse for skovjorder kræver en opsætning af en model, som er tilpasset de forhold, som specifikt er gældende for skov. Dette kan ske ved enten tilpasning af C-TOOL-modellen, eller ved valg af en skovorienteret model som f.eks. den finske YASSO-model (Yasso, 2025). Alternativt kan en anden skov-model anvendes.
- Udtagning af prøver/genudtagning i skovenes NFI-punkter til verificering af udviklingen i skovjorderne med faste mellemrum, som bør fastlægges ud fra statistiske kriterier.
- Kontinueret indsamling af jorddata for mineraljorde i landbrugets kvadratnet samt udbygning af kvadratnettet til andre arealer til verificering af C-TOOL-beregningerne.
- Indsamling af jorddata for mineraljorde for ikke-landbrugsarealer, specielt for forskellige naturtyper og bymæssig bebyggelse, der kan anvendes til udarbejdning af standard-/initialiseringsværdier (til C-TOOL).

Organisk jord

Det er DCE's vurdering, at den nuværende model til beregning af CO₂-emissioner fra organiske jorde indenfor landbrugsarealer i omdrift og vedvarende græsarealer med fordel kan udbredes til at dække alle organiske jorde. På nogle områder vil dette dog kræve igangsættelse af forskning og udviklingsaktiviteter

- Udarbejdelse af nye repeterende grundvandsstandskort for alle arealer. Kortet bør opdateres jævnlige. Den præcise kadence bør afhænge af en analyse af dynamikken på kort sigt.
- Opdaterede kort over tørveudbredelse og tørvedybde, som en fast periodisk leverance, f.eks. ved en femårig rotation mellem anvendte målepunkter. Målepunkter bør dække alle arealklasser.

- Den sigmoide nedbrydningsfunktion, som anvendes på danske landbrugsarealer (Elsgaard, 2024) og i Tyskland for både skov-, landbrug, samt græsarealer inden og udenfor omdrift og vådområder (Tiemeyer et al., 2020), bør revurderes. Der er især behov for at validere funktionsforløbet for stærkt drænede jorder, hvor der muligvis sker en udtørring af de øverste jordlag. Dette medvirker til en nedsat nedbrydningsrate, hvilket er en ændring, som ikke er afspejlet i den nuværende funktion. Herudover anses det for vigtigt at validere funktionen ud fra mængden og sammensætningen af biomasse-tilførslen til arealerne. Det gælder f.eks. spørgsmålet om, hvorvidt der på udyrkede arealer sker en større tilførsel af død biomasse end på landbrugsarealerne, hvilket der ikke er taget hensyn til i den nuværende funktion.
- Den sigmoide nedbrydningsfunktion (Elsgaard, 2024) modellerer ved høje GVS en opbygning af ny tørv. Der bør iværksættes et litteraturstudie, som validerer modellens $C_{\min}$ -parameter på -0,625 ton C per ha, og hvorvidt denne kan bruges som en generel værdi for kulstoflagring i nye og eksisterende vådområder.

Ved ekstrapolering til skovene er der, udover førnævnte mulige udfordring med dræningstilstanden, også mangel på informationer om mængden af tilført biomasse tilført fra blade, grannåle og grene samt disses nedbrydning i skovene, hvilket påvirker funktionen.

Metan og lattergas

Det anbefales ikke, at der igangsættes projekter med henblik på at udarbejde en national metode og emissionsfaktorer fra brande. Det er begrundet i de meget begrænsede emissioner og den metodemæssige kompleksitet. Dette er givetvis også årsagen til, at ingen andre lande har forsøgt at udvikle en Tier - metode.

N_2O -emission fra drænede jorde samt fra mineralisering udgør meget komplekse systemer, hvor udvikling af nationale emissionsfaktorer er en omfattende opgave, som kræver mange målinger og muligvis modellering. Det anbefales ikke på nuværende tidspunkt at igangsætte forsknings- og udviklingsprojekter til nærmere undersøgelse af dette.

Det bør overvejes at undersøge lattergasudledningen fra organiske jorder i relation til forskellige anvendelser, og om muligt i forhold til grundvandsstand eller nedbrydning af organisk stof. Det bør overvejes at undersøge lattergasudledningen fra organiske jorder i relation til forskellige anvendelser, og om muligt i forhold til grundvandsstand eller nedbrydning af organisk stof.

Opsummering

Ovenstående anbefalinger er yderligere uddybet i Bilag 1, hvor der er givet en beskrivelse af baggrunden for prioriteringen af disse anbefalinger samt foretaget en vurdering af konsekvensen for emissionsopgørelsen. Ligeledes er angivet forslag til igangsætningstidspunkt samt kommentarer til de enkelte projekter. Det skal i den forbindelse understreges, at for de fleste af projekterne skal DCE ikke være udførende, og der bør derfor, hvis det besluttet at igangsætte projekterne, udarbejdes egentlige projektbeskrivelser, som vil involvere andre organisationer end DCE.

For så vidt angår vurderingerne af konsekvensen for emissionsopgørelsen er det vigtigt at understrege, at projekterne i mange tilfælde skal erstatte en Tier 1-antagelse om ligevægt. Dvs. der er ikke et eksisterende estimat at sammenligne med. Der er forsøgt i Bilag 1 at beskrive forventningerne til påvirkningen af emissionerne. Da der i de fleste tilfælde er tale om nye metoder, der skal udvikles og valideres, så skal angivelserne tages med forbehold.

For alle projekter, hvor der er tale om en ny metode til erstatning for en Tier 1-antagelse om ligevægt, vil der være udfordringer, der skal løses i forhold til tidsserien.

Nedenstående tabel 1 viser de foreslåede projekter og summere, hvordan de anbefalede projekter bidrager til implementering af LULUCF-forordningen i Danmark.

Udviklingen af metoder til opgørelse af kulstofændringer i jord bør ses i sammenhæng med 'Soil Monitoring Law' (<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9474-2025-REV-1/en/pdf>). Her lægges der op til, at der skal laves en vurdering hvert sjette år for en lang række parametre, herunder kulstofindholdet i jord.

Det opfordres til, at KEFM tager kontakt til den ansvarlige myndighed for implementering af 'Soil Monitoring Law' i Danmark mhp. at vurdere i hvilken grad, behovene kan samtænkes.

Tabel 1. De foreslåede projekter og summering af hvordan de anbefalede projekter bidrager til implementering af LULUCF-forordningen i Danmark.

Projekt nr.	Kulstofpulje	Forventet resultat
1	Levende biomasse i vedplanter udenfor skov	Ved implementering af projektet vil metoden gå fra Tier 1/2 til Tier 3 og dermed indfri kravene i LULUCF-forordningen.
2	Levende biomasse i vedplanter udenfor skov	Projektet understøtter projekt 1 og er nødvendigt for at kunne leve op til IPCC's dokumentationskrav.
3	Levende biomasse i græsser udenfor skov	Ved implementering af projektet vil metoden gå fra Tier 1 til Tier 2 og dermed indfri kravene i LULUCF-forordningen i forbindelse med 2028-rapporteringen.
4	Mineral jord i skov	Ved implementering af projektet vil metoden gå fra Tier 1 til Tier 3 og dermed indfri kravene i LULUCF-forordningen.
5	Mineral jord i skov	Projektet understøtter projekt 4 og er nødvendigt for at kunne leve op til IPCC's dokumentationskrav.
6	Mineral jord på landbrugsarealer	Verificering af nuværende Tier 3 for at sikre, at modellen er retvisende, herunder hvis der skal ske en yderligere geografisk detaljering af beregningerne.
7	Mineral jord for ikke-landbrug og ikke-skov	Ved implementering af projektet vil metoden gå fra Tier 1 til Tier 3 og dermed indfri kravene i LULUCF-forordningen.
8	Organisk jord - grundvandsstand	Grundvandsstanden er en vigtig parameter, og det nuværende kort fokuserede på landbrugsarealer. For at kunne anvende den nuværende metode for andre arealklasser og dermed gå fra Tier 1 til Tier 3, så er det nødvendigt med en opdatering. Det er desuden nødvendigt med periodiske opdateringer.
9	Organisk jord - kort	Der har hidtil været fokus på landbrugsarealer. For at kunne få andre arealklasser fra Tier 1 til Tier 3 er det nødvendigt at udvide målepunkterne til at dække disse arealklasser.
10	Organisk jord - emissionsmodel for landbrugsarealer	Validering samt udvidelse af funktionen til organiske jorder som ikke er omfattet af landbrugsdrift
11	Organisk jord - emissionsmodel for skov	Ved implementering af projektet vil metoden gå fra Tier 1 til Tier 3 og dermed indfri kravene i LULUCF-forordningen.
12	Organisk jord - emissionsmodel for vådområder	Ved implementering af projektet vil metoden gå fra Tier 1 til Tier 3 og dermed indfri kravene i LULUCF-forordningen.

5 Referencer

Beucher A, Weber PL, Hermansen C, Pesch C, Koganti T, Møller AB, Gomes L, Greve M, Greve MH., 2023. Updating the Danish peatland map with a combination of new data and modelling approaches. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture, Aarhus University, 66 pages. Submitted 26.05.2024. Tilgængelig via: https://pure.au.dk/ws/portalfiles/portal/379113275/T_rv2022_Rapport_2605_2024rev3.pdf

CLMS, 2025, Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). Tilgængelig via: <https://land.copernicus.eu/en>

Drexler, S., Don, A., 2024. Carbon sequestration potential in hedgerow soils: Results from 23 sites in Germany, Geoderma, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116878>.

DST, 2025, Statistikbanken. Tilgængelig via: <https://statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1175>, Tabel FRUGT4

Elsgaard L., 2024. Dokumentationsnotat vedr. forskningsprojekter om analyse af danske emissionsdata (>12 pct. OC) samt relation mellem emission fra jorder med 6-12 pct. OC og >12 pct. OC. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. 7 sider. Leveret: 26.01.2024.

Forordning (EU) 2023/839. Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2023/839 af 19. april 2023 om ændring af forordning (EU) 2018/841 for så vidt angår anvendelsesområdet, forenkling af rapporterings- og overholdelsesregler og fastsættelse af medlemsstaternes mål for 2030, og om ændring af forordning (EU) 2018/1999 for så vidt angår forbedring af overvågning, rapportering, sporing af fremskridt og revision. Tilgængelig via: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/839/oj>

Greve, M.B., 2024, Revidering af jordbundstypekort 2024 Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Institut for Agroøkologi. Tilgængelig via: https://pure.au.dk/ws/portalfiles/portal/378595646/Revidering_jordbundstypekort_1705_2024.pdf

Harbo, L.s., Olesen, J.E., Lemming, C., Christensen, B.T. & Elsgaard, L., 2023, Limitations of farm management data in analyses of decadal changes in SOC stocks in the Danish soil-monitoring network, Eur J Soil Sci. 2023;74:e13379. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1111/ejss.13379>

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. Tilgængelig via: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

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, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Tilgængelig via: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Koch, J., Elsgaard, L., Greve, M. H., Gyldenkerne, S., Hermansen, C., Levin, G., Wu, S., and Stisen, S., 2023, Water-table-driven greenhouse gas emission estimates guide peatland restoration at national scale, *Biogeosciences*, 20, 2387–2403. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.5194/bg-20-2387-2023>

Nielsen, 2009, Personlig kommunikation med Kim Nielsen, Danmarks Jordbrugsforskning, Aarslev (nu Inst. for Fødevarer, FOOD), Aarhus Universitet.

Nielsen, O.-K., Callisen, L.W. & Gyldenkerne, S., 2022. Konsekvenser ved implementering af forslag til LULUCF regulering. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 24 s. – Notat nr. 2022 | 65. Tilgængelig via: https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_65.pdf

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, 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 Document 2025. Emission Inventories 1990-2023 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 929 pp. Scientific Report No. 655. Tilgængelig via: https://envs.au.dk/fileadmin/envs/Emission_inventories/DENMARKS_NATIONAL_INVENTORY_DOCUMENT_TO_UNFCCC.pdf

Pilegaard, K. & Ibrom, A., 2020, Net carbon ecosystem exchange during 24 years in the Sorø Beech Forest – relations to phenology and climate, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, DOI: 10.1080/16000889.2020.1822063

SEGES, 2025, Personlig kommunikation med Afdelingschef Jens Elbæk.

Taghizadeh-Toosi, A., & Olesen, J. E. (2016). Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. *Agricultural Systems*, 145, 83–89. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.03.004>

Tiemeyer, B.; Freibauer, A.; Borraz, E.A.; Augustin, J.; Bechtold, M.; Beetz, S.; Beyer, C.; Ebli, M.; Eickenscheidt, T.; Fiedler, S.; et al. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 2020, 109, 105838, doi:10.1016/j.ecolind.2019.105838

Taghizadeh-Toosi, A. 2015: C-TOOL A simple tool for simulation of soil carbon turnover Technical report, October 2015. Available at: [https://envs.au.dk/fileadmin/envs/Emission_inventories/Supporting_documentation/NIR/2018DNKA33 - C-TOOL_Documentation.pdf](https://envs.au.dk/fileadmin/envs/Emission_inventories/Supporting_documentation/NIR/2018DNKA33_-_C-TOOL_Documentation.pdf)

Yasso, 2025, Description of Yasso. Tilgængelig via: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso-description>

Bilag 1 Anbefalede indsatser

Projekt nr.	Kulstofpulje	Beskrivelse	Baggrund for prioritering	Konsekvenser for emissionsopgørelsen	Budget	Foreslået opstart	Kommentar
1	Levende biomasse i vedplanter udenfor skov	Udvikling af metode til kontinuerte volumenbestemmelser af vedplanter ud fra LiDAR-målinger for Danmarks samlede areal eksklusive skov, hvor højdemodellens to kort indgår, hhv. terrænmodellen og overflademodellen. Dette med henblik på, at dette kan indgå som en fast del af rapporteringen.	Kulstofændringer i vedplanter udenfor skovarealet er kun i meget begrænset omfang reflekteret i emissionsopgørelsen på nuværende tidspunkt, hvor der kun tages hensyn til støttet etablering af hegn og småbiotoper. Dette skal i princippet også opgøres for bl.a. byarealer og ved tilgroning af vådområder med træer. I den nuværende opgørelse antages det, at der ikke er kulstofændringer i vedbiomassen i eksisterende arealer (by og nye vådområder). En detaljeret metode til opgørelse af kulstofændringer i vedplanter udenfor skovarealet vil kunne bidrage til mulighed for at reflektere plantning af hegn, småbiotoper og enkelt træer som virkemiddel, f.eks. i forbindelse med skovlandbrug samt andre private initiativer på bedriftsniveau eller i kommunalt regi.	Det er vanskeligt at vurdere, om der generelt sker en opbygning eller nedbrydning af levende biomasse i vedplanter udenfor skovarealet. LiDAR-målingerne opgøres på 0,4*0,4 m ² i en fem-årig rotation. Det må antages, at der er en variation mellem to målinger på samme lokalitet. Denne kan dels være en funktion af fysiske ændringer og dels en variation, som ligger i metoden. Variationen som følge af metoden er ukendt. På nationalt plan er antallet af punkter stort, så usikkerheden er lav med mindre, at der er systematiske forskelle mellem flyvningerne, som ikke kan forklares.	Udviklingsprojektet forventes at kræve to årsværk. Derefter vil der være et behov til finansiering af den løbende drift og vedligehold af metoden.	2026	Projektet er et forsknings-/udviklingsprojekt, hvor der er tale om egentlig metodeudvikling. Derfor er der nogle usikkerheder i forhold til hvilken detaljeringsgrad, der kan opnås. Projektet kan udføres af DCE. Budgettet er på nuværende tidspunkt et overslag, og der skal udarbejdes en egentlig projektbeskrivelse, hvis det besluttet at gå videre med projektet.
2	Levende biomasse i vedplanter udenfor skov	Supplerende målinger af biomasse på forskellige lokaliteter og vedbestande for bl.a. hegn og frugttræer og -buske til brug for biomassebestemmelse ud fra LiDAR-volumen. Herunder også dokumentation af forholdet mellem overjordisk og underjordisk biomasse.	Det er nødvendigt at opdatere data til brug for omregning mellem biomassevolumener (som kan estimeres ud fra det skitserede projekt nr. 1) og kulstofmængder. I forbindelse med opgørelsen for hegn mellem årene 2006 og 2014/2015 pba. LiDAR-målinger blev der målt fjernet biomasse på i alt 10,3 ha på 18 steder, omfattende både løv- og nålebiotoper, som blev omregnet til mængde biomasse per volumen. For nogle steder blev ikke al biomasse fjernet (ammetræer). Der er en forskel i biomasse-mængden per volumenenhed mellem plantearter og hvorvidt de står i hegn, mindre biotoper eller som enkelt træer. Denne variation kan ikke udledes fra de målte data. Skal ses i sammenhæng med (1).	På nationalt niveau vil en mere differentieret biomasse per volumenenhed have en mindre betydning, men det kan have større betydning mellem forskellige lokaliteter ud fra især aktuelle jordbund- og vindforhold.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2027	Dette projekt giver kun mening i sammenhæng med projekt 1. For ovenjordiske biomasse i hegn og små biotoper vil opgaven kunne løses af DCE i samarbejde med de store aktører på området "Dalgas" (tidligere Hedelandmark) og "Skovdyrkerne", hvor biomassedata indhentes fra aktuelle flisningsprojekter. Hvis der skal indhentes tal for rodbiomasse skal der udføres opgravning af rødder. Dette ligger udenfor DCE's kompetence og skal formentlig løses i samarbejde mellem DCA/KU. Det er ikke muligt for DCE at prissætte denne del af opgaven.

Projekt nr.	Kulstofpulje	Beskrivelse	Baggrund for prioritering	Konsekvenser for emissionsopgørelsen	Budget	Foreslået opstart	Kommentar
3	Levende biomasse i græsser udenfor skov	Estimering af standard-biomasse, både overjordisk og underjordisk, i en-/toårige planter (græsser) til brug ved arealovergange, herunder vejrabatter, klippet græs og lignende. Disse skal endvidere anvendes til beregning af C-inputfaktorer for de relevante arealanvendelser til modellerede kulstofbalancer i jord (C-TOOL).	Der er på nuværende tidspunkt ikke danske referenceværdier for kulstofmængden i 1- og 2-årige planter, herunder græs. Til brug for beregninger/modellering af input data til C-TOOL for arealer, som både ligger indenfor og udenfor landbrugsarealer, er der behov for vurderinger af biomasseproduktionen, som kan omsættes til C-input til C-TOOL. Her kan de eksisterende funktioner/modeller til C-TOOL ikke anvendes. Der vil være store forskelle i biomasseinputtet mellem f.eks. ugdede hedearealer (lavt årligt input), ekstensiverede græsarealer i ådalene (højt årligt input) og over til fodboldbaner, golfgreens, græsplæner og vejrabatter. Det bør undersøges, om der bør anvendes simple gennemsnitsdata eller om der med fordel kan anvendes data fra Sentinelsatellitterne (Copernicus Land Monitoring System, CLMS, 10 meter opløsning) anvendes til dette formål (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI; Normalized Difference Red Edge Index, NDRE; Leaf Area Index, LAI; andre index). Hvis dette er muligt, vil man enten kunne lave generelle C-inputvariable per kategori eller man med fordel kan anvende de senest nye årlige CLMS-data. Det sidste vil inkludere en større variation i de årlige inputdata.	Lille effekt fordi det vil være en parallelforskydning af en allerede anvendt metode. Den vil dog være mere præcis.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses mellem DCE, DCA og KU og det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven. Se endvidere projekt nr. 13.
4	Mineral jord i skov	Udvikling af Tier 3-metode for skovjorde enten ved tilpasning af C-TOOL eller anvendelse af en anden model	Skovjorde er et af de få eksempler, hvor hovedparten af landene omkring os anvender en Tier 3-metode. På nuværende tidspunkt anvender Danmark Tier 1. Det skal i projektet vurderes, hvorvidt C-TOOL kan tilpasses til anvendelse for skovjorde, eller om der skal anvendes en anden model samt en evt. opbygning, kalibrering, initialisering og parameterisering af model og kørsel for hele tidsperioden 1990 og frem.	Sandsynligvis meget lille effekt fordi både tyske og finske modelberegninger/opgørelser ikke kan dokumentere signifikante forskelle i kulstofmængden i mineralske jorde i gammel skov.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses af IGN/SGAV. Det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven.

Projekt nr.	Kulstofpulje	Beskrivelse	Baggrund for prioritering	Konsekvenser for emissionsopgørelsen	Budget	Foreslået opstart	Kommentar
5	Mineral jord i skov	Udtagning af prøver/genudtagning i skovenes NFI-punkter til verificering af udviklingen i skovjorderne kulstofindhold med faste mellemrum som bør fastlægges ud fra statistiske kriterier.	Det er nødvendigt at have måledata til at validere modellen, som foreslås udviklet, se projekt 4.	Verifikation har ingen effekt, med mindre verifikationen nødvendiggør ændringer i initialisering og parameterisering af en opstillet model.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses af IGN/SGAV. Det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven.
6	Mineral jord på landbrugsarealer	Kontinuert indsamling af jorddata for mineraljorde i landbrugets kvadratnet til verificering af C-TOOL-beregningerne.	Der blev i SINKS og SINKS2 foretaget en sampling af kvadratnettet. En fast sampling af kvadratnettet vil være meget vigtig dels i den fortsatte udvikling af C-TOOL, men i endnu højere grad i forhold til at kunne anvende C-TOOL på et mere detaljeret niveau, f.eks. på driftsniveau. Det bør derfor overvejes at have et setup svarende til en NFI, hvor en fast andel af målepunkterne samples årligt med henblik på at have en fast rotation. I lyset af 'Soil Monitoring Law', så vil en 6-årig rotation give mening.	Verifikationen har ingen effekt på opgørelsen, med mindre verifikationen nødvendiggør ændringer i initialisering og parameterisering af C-TOOL.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses af DCA og det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven.
7	Mineraljord udenfor skov og landbrug	Målinger af C i mineraljorder og modeludvikling	Jf. LULUCF-forordningen skal der anvendes en højere tier. Indsamling af jorddata for mineraljorde for ikke-landbrugsarealer, specielt for forskellige naturtyper og bymæssig bebyggelse der kan anvendes til udarbejdning af standard-/initialiseringsværdier (til C-TOOL), samt udvikling, parameterisering, initialisering af C-TOOL til brug for arealer udenfor landbruget.	Kan ikke vurderes. Resultatet af modelberegningerne kan ændre de absolutte emissioner i både nedad og opadgående retning. Effekten på klimamålet vil sandsynligvis kun blive mindre påvirket, fordi det vil være en parallelforskydning af den nuværende opgørelse.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses i samarbejde mellem DCA og DCE. Det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven.

Projekt nr.	Kulstofpulje	Beskrivelse	Baggrund for prioritering	Konsekvenser for emissionsopgørelsen	Budget	Foreslået opstart	Kommentar
8	Organisk jord – grundvandsstand	Udarbejdelse af nye re- peterende grundvandsstands-kort for alle arealer. Kortet bør opdateres jævnlgt. Den præcise kadence bør afhænge af en analyse af dynamikken på kort sigt.	Emissionernes store afhængighed af vandstanden betyder, at det er vigtigt med et præcist datagrundlag. P.t. anvendes der ét kort for hele tidsserien, 1990-2024, men med den dynamik der er i grundvandsstanden, herunder som følge af klimaforandringer, er det nødvendigt med periodevis opdatering af vandstandskortet. Grundvandsstandskortet er udarbejdet med data fra landbrugsjorder og vådområder. Opnåede erfaringer siden udarbejdelsen viser, at der er behov for en revurdering af vandstanden i etablerede vådområder, herunder især VMPII og VMPIII arealer. Der findes ikke grundvandsstandsdata fra skovjorder. Her er der et stort behov for en validering (se endvidere herunder under emissionsmodel)	I det nuværende setup anvendes vandstandsmodellen indenfor landbrugsarealerne, herunder også de VMPII- og VMPIII-arealer, som stadig er omfattet af landbrugsdrift. Det må formodes, at en opdatering vil øge udledningerne og dermed mindske bidraget til 2030-målet. Omfanget er ukendt. Dette vil også få indflydelse på de beregnede effektivurderinger af kommende udtagninger til vådområder, hvor der i øjeblikket antages, at nye vådområder har en nul CO ₂ -udledning. En forventet udvidelse af setuppet til også at omfatte eksisterende vådområder og arealer udenfor det dyrkede areal, vil med den nuværende viden om grundvandsstanden medføre en generel opjustering af de samlede udledninger (parallelforskydning), men også en effekt på 2030-målet. Omfanget er ukendt.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2027	Hovedopgaven vil formentlig skulle løses af GEUS med DCE og DCA som bidragsyder af grunddata. Det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven.
9	Organisk jord - kort	Opdaterede kort over tørveudbredelse og tørvedybde, som en fast periodisk leverance. Målepunkter bør dække alle arealklasser.	Vigtigheden af organiske jorde nødvendiggør en periodisk opdatering af data uanset LULUCF forordningen. Det er vigtigt, at målepunkterne udvides til repræsentativt at dække alle arealklasser og ikke hovedsageligt fokusere på landbrugsarealer.	Ukendt effekt.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2027	Opgaven vil formentlig skulle løses af DCA med bidrag fra IGN med skovmålepunkter. Det er ikke muligt for DCE at prissætte opgaven.
10	Organisk jord – emissionsmodel for landbrugsarealer	Validering af nedbrydningsfunktionen for landbrugsarealer og organiske arealer i tilknytning til landbrugsarealer	Den sigmoide nedbrydningsfunktion, som anvendes på danske landbrugsarealer, bør yderligere valideres. Det er DCE's formodning, at den nuværende sigmoide model overestimerer udledningen på dybt drænede landbrugsjorder, fordi de stærkt drænede forhold kan nedsætte nedbrydningen af organisk materiale som følge af at jorden udtørres og heraf mindre mikrobiel aktivitet. Da modellen samtidig er opbygget med udgangspunkt i landbrugsarealer, hvor den producerede biomasse fjernes, vil modellen sandsynligvis også overvurdere udledningen på ekstensiverede arealer, hvor den producerede biomasse efterlades.	Ukendt effekt, men da der vil være tale om en parallelforskydning af emissionerne vil effekten på 2030-målet være begrænset.	Kræver udarbejdelse af egentlig projektbeskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses i samarbejde mellem DCE og DCA.

Projekt nr.	Kulstofpulje	Beskrivelse	Baggrund for prioritering	Konsekvenser for emissionsopgørelsen	Budget	Foreslået opstart	Kommentar
11	Organisk jord – emissions-model for skov	Udarbejdelse/validering af nedbrydnings-funktionen til brug på skovjorder.	Den sigmoide nedbrydningsfunktion, som anvendes på danske landbrugsarealer, kan ikke umiddelbart overføres til skovjorder, hvorfor der bør udvikles en separat funktion for skovjorder. På dræ-nede skovjorder vil der dels ske en ud-tørring af jorden i vækstsæsonen, lige-som der vil blive tilført blade, nåle og nedfaldne grene (i modsætning til land-brugsarealer), som vil bidrage til kulstof-balancen. Tyskland har udarbejdet én CO ₂ funktion, som anvendes for både landbrugsjorder og skovjorder. Denne anvendelse giver en meget høj emis-sion, som ligger langt over værdien i IPCC's guidelines 2014 (Wetland Sup-plement). Som følge af en dansk priori-tering om mere urørt skov (mulig våd-lægning) vil effekt af dette ikke kunne kvantificeres med en rimelig sikkerhed.	Ukendt effekt på både de absolutte ud-ledninger og 2030-målet.	Kræver udarbejdelse af egentlig projekt-beskrivelse.	2026	Opgaven vil formentlig skulle løses i samarbejde mellem DCE og IGN.
12	Organisk jord – emissions-model for vådområder	Udarbejdelse/validering af nedbrydnings-/bin-dingsfunktionen til brug på vådområder. Op-bygning af ny tørv i vådområder.	Der findes en del målinger af CO ₂ -ud-ledninger/bindinger fra våde områder, som kan omsættes til en sigmoid ned-brydnings/bindingsfunktion. I den nuvæ-rende opgørelse indgår ikke udledninger og bindinger i eksisterende vådområder og nye vådområder. Opbygningen af modellen skal ske i sammenhæng med arealmatricen, hvor der bør indføres vi-den om arealernes aktuelle fotosyntese-aktivitet (lokal produktion af biomasse).	Den nuværende opgørelse bygger på IPCC's emissionsfaktor på 0 fra vådom-råder. Konsekvensen på emissionsop-gørelsen afhænger af præcisionen på grundvandsstandskortet og arealmatri-cens biomasseproduktionsestimater (se projekt 3 og 13). I den nuværende opgø-relse anvendes funktionen ikke i vådom-råder. Siden 1990 er der i den nuvæ-rende arealmatrice indregnet 17.000 ha, som skal tillægges de eksisterende 49.000 ha. Ved maksimal lagring og an-vendelse af -0,625 ton C per ha giver det en manglende C-lagring i det natio-nale regnskab på 151 kt CO ₂ per år. DCE har indledningsvist kørt udled-ningsmodellen for hele det organiske areal. Heri indgår GVS-kortet. Dette setup inkluderer ikke mineraljorde i WE, ligesom usikkerheder i GVS-kortet bi-drager til usikkerheden. Samlet giver det en lagring/mindre udledning på ca. 40 kt CO ₂ per år, som ikke indgår i den nuvæ-rende opgørelse. Hertil kommer arealer med mineraljord. Forskellen skal tilskri-ves forløbet af nedbrydningsfunktionen.	Kræver udarbejdelse af egentlig projekt-beskrivelse.	2027	Opgaven vil formentlig skulle løses af DCE ved et internt samarbejde med ECOS og ENVS.