



Dette sektorforudsætningsnotat er en del af Klimastatus og -fremskrivning 2023 (KF23). KF23 er en såkaldt frozen policy fremskrivning, hvilket indebærer at forudsætningerne for fremskrivningen afspejler et "politisk fastfrosset" fravær af nye tiltag på klima- og energiområdet ud over dem, som Folketinget har besluttet før 1. januar 2023 eller som følger af bindende aftaler. For yderligere information om frozen policy tilgangen, se kapitel 1 Principper for frozen policy i sektorforudsætningsnotatet Principper og politikker.

Indholdsfortegnelse

Introduktion og opsummering	3
1. Hvad omfatter sektoren for landbrug og skove i KF?	3
2. Væsentlige ændringer i forudsætninger eller metode ift. KF22	3
3. Hvordan indgår forudsætninger og modeller i beregning af udledningerne?	5
Kapitel 1: Landbrugsprocesser.....	8
1.1 KF23 forløbet frem mod 2035	8
1.2 Metode og antagelser bag KF23 forløbet	11
1.2.1 Generelle antagelser og metode	11
1.2.2 Frozen policy antagelser til KF23.....	15
1.3 Kvalificering af KF23 forløbet.....	15
1.3.1 Sammenligning med KF22	15
1.3.2 Usikkerhed	18
1.3.3 Planlagt udvikling fremadrettet.....	18
1.4 Kilder	19
Kapitel 1 bilag: AGMEMOD	21
Kapitel 2: Landbrugsarealer og øvrige arealer.....	24
2.1 KF23 forløbet frem mod 2035.....	24
2.2 Metode og antagelser bag KF23 forløbet	26
2.2.1 Generelle antagelser og metode	27
2.2.2 Frozen policy antagelser til KF22.....	30
2.3 Kvalificering af KF23 forløbet.....	32
2.3.1 Sammenligning med KF22.....	32
2.3.2 Usikkerhed	34
2.3.3 Planlagt udvikling fremadrettet.....	35



2.4 Kilder	36
Kapitel 3: Skov og høstede træprodukter	37
3.1 KF23 forløbet frem mod 2035	37
3.2 Metode og antagelser bag KF23 forløbet	39
3.2.1 Generelle antagelser og metode	39
3.2.2 Frozen policy antagelser til KF23	40
3.3 Kvalificering af KF23 forløbet	43
3.3.1 Sammenligning med KF22	43
3.3.2 Usikkerhed	43
3.3.3 Planlagt udvikling fremadrettet	44
3.4 Kilder	46
Kapitel 3 bilag: Uddybning af de væsentligste forudsætninger i skovfremskrivningen	48
Kapitel 4: DCE's beregningsmetoder for landbrug og LULUCF	57
4.1 DCE's modelsystem for landbrug og LULUCF	57
4.1.1 DCE's udledningsberegninger	57
4.1.2 DCE's modelkompleks	57
4.2 Landbrug	59
4.2.1 Metode og antagelser	59
4.2.2 Metodeudvikling siden KF22	61
4.2.3 Kritiske antagelser og parametre i metoden	61
4.2.4 Planlagt metodeudvikling fremadrettet	62
4.3 LULUCF	62
4.3.1 Metode og antagelser	62
4.3.2 Metodeudvikling siden KF22	65
4.3.3 Kritiske antagelser og parametre i metoden	65
4.3.4 Planlagt metodeudvikling fremadrettet	66
4.4 Kilder	67
Kapitel 4 bilag: Beregning af ændringer i jordens kulstofpulje	68

Introduktion og opsummering

1. Hvad omfatter sektoren for landbrug og skove i KF?

I Klimafremskrivningen omfatter landbrug og skove bl.a. landbrugsprocesser, landbrugsarealer og skove, og forudsætningerne for disse dele af sektoren præsenteres i dette samlenotat.¹

For at illustrere størrelsesorden af disse udledninger, er de forskellige typer af historiske udledninger forbundet med hhv. landbrugsprocesser, landbrugsarealer og skove i den forrige fremskrivning (dvs. i KF22) vist i tabel 1.

Tabel 1: Historiske udledninger forbundet med landbrugsprocesser, landbrugsarealer og skove mv. jf. KF22

Mio. ton CO ₂ e		2019	2020
Landbrugsprocesser – heraf	Husdyrenes fordøjelse	4,1	4,1
Landbrugsprocesser – heraf	Gødningshåndtering	3,0	3,1
Landbrugsprocesser – heraf	Gødskning og kvælstof-omsætning på landbrugsjorden	4,2	4,2
Landbrugsprocesser	I alt	11,3	11,4
Landbrugsarealer - heraf	Dyrket mark	3,1	2,9
Landbrugsarealer - heraf	Græsarealer	2,2	2,3
Skov mv - heraf	Skov	-2,5	-2,2
Skov mv - heraf	Høstede træprodukter	-0,1	-0,1
Øvrig LULUCF	Bebyggelse og vådområder	0,3	0,3
LULUCF	I alt	2,9	3,1
Landbrugsprocesser og LULUCF	I alt	14,2	14,5
De samlede udledninger for alle sektorer		47,5	44,9
Landbrug og LULUCFs andel af de samlede udledninger for alle sektorer		33 %	35 %

Kilde: KF22.

2. Væsentlige ændringer i forudsætninger eller metode ift. KF22

I KF23 forventes færre kvæg, sammenlignet med KF22. Ændringen fra malkekvæg og kvæg er baseret på en metodeændring i landbrugsfremskrivningen, som

¹ Herudover er der også energiforbrug fra landbrug, gartneri, skovbrug og fiskeri – forudsætningerne knyttet til dette er præsenteret i kapitel 6 i sektorforudsætningsnotat Husholdninger og erhvervs energiforbrug og procesudledninger.



indebærer, at omkostningerne i produktionen stiger relativt til afsætningspriserne, og dermed reduceres den danske konkurrencekraft og produktionen skønnes at falde.

Fra 2021-2025 forventes færre grise i KF23 end i KF22, bl.a. som følge af at den kinesiske svineproduktion nu er ved at være genetableret efter det kinesiske udbrud af afrikansk svinepest. I de sidste år af fremskrivningsperioden forventes der dog at være flere grise i KF23 end i KF22 (jf. også tabel 2 nedenfor).

Der er ikke større ændringer ift. staldteknologier.

Tabel 2: Udvalgte sektorspecifikke forudsætninger i KF23 sammenlignet med KF22

		2025	2030	2035
Malkekvæg	KF23	552.510	523.000	494.050
	KF22	572.204	590.674	566.739
Øvrig kvæg	KF23	1.077.287	1.039.655	997.321
	KF22	1.129.783	1.140.204	1.106.466
Søer	KF23	959.472	931.209	894.539
	KF22	1.016.707	930.713	842.741
Smågrise	KF23	32.621.758	32.866.845	32.685.062
	KF22	33.599.022	32.702.310	30.177.702
Slagtesvin	KF23	19.096.629	19.309.604	19.031.039
	KF22	20.187.668	19.550.586	18.058.884
Samlet landbrugsareal (1000 ha)	KF23	2489	2430	2418
	KF22	2475	2405	2395

Landbrugsarealet forventes fortsat at falde i fremskrivningsperioden i KF23, som et resultat af udtagning af (primært) kulstofrig landbrugsjord og skovrejsning, men faldet er mindre end det var tilfældet i KF22. Det mindre fald skyldes opdatering af Fødevareministeriets forudsætninger ift. udtagning af jord, idet det nu antages, at ikke alle arealer, der udtages, stammer fra landbrugsarealet. Det forventede efterafgrødeareal er uændret, sammenlignet med KF22, men til KF23 tages der nu højde for, at størrelsen på efterafgrødearealet vil påvirke produktionsafgrøderne på



de danske marker. Det er vanskeligt at sige, hvad den samlede effekt af dette er, da der er flere modsatrettede faktorer, som påvirker udledningerne, men alt i alt vil det ikke medføre store udsving i resultaterne.

Da skovfremskrivningen fra KF22 genanvendes til KF23 er der ikke ændringer i forudsætningerne fsva. skov og høstede træprodukter, bortset fra opdatering af de historiske tal frem til 2021. I lyset af at skovfremskrivningen først blev færdiggjort i februar 2022 er der til KF23 lavet en opdateret og mere uddybende beskrivelse af forudsætningerne bag skovfremskrivningen, ligesom der som noget nyt for KF23 er udarbejdet en følsomhedsanalyse af de i fremskrivningen anvendte fældningssandsynligheder, som er en af de væsentligste hovedforudsætninger der anvendes.

3. Hvordan indgår forudsætninger og modeller i beregning af udledningerne?

I de efterfølgende kapitler dokumenteres de forudsætninger, der lægges til grund for fremskrivningen af udledningerne fra landbrugsprocesser, landbrugsarealer og skove mv. i KF23. Som læsevejledning til disse mere detaljerede kapitler følger her afslutningsvis et kort overblik over de forudsætninger og modeller, der indgår i disse kapitler.

Udledningerne forbundet med landbrugsprocesser stammer hovedsageligt fra:

- Metanudledning fra husdyrenes fordøjelse
- Metan- og lattergasudledning fra gødningshåndtering i stald og lager
- Lattergasudledning ved gødskning og kvælstofomsætning på landbrugsjorden

LULUCF-udledninger fra landbrugsarealer og skov mv. stammer hovedsageligt fra:

- CO₂-udledninger fra kulstofrig landbrugsjord
- CO₂-udledninger og -optag forbundet med ændringer i kulstofpuljerne i biosfæren på landbrugsarealerne
- Optag og udledninger af drivhusgasser, primært CO₂, i skovene

Landbrugsprocesser

Udledninger fra husdyrenes fordøjelse og fra gødningshåndtering i stald og på lager afhænger beregningsteknisk grundlæggende af aktivitetsniveauet i husdyrproduktionen, dvs. antallet af husdyr i landbruget, samt mælkeydelsen pr. dyr for kvægproduktionen. I KF fokuseres derfor på *udviklingen i antal kvæg og mælkeydelsen pr. kvæg* (opdelt på malkekvæg og øvrig kvæg) og *udviklingen i antal grise* (opdelt på søer, smågrise og slagtesvin).

Udledningerne fra fordøjelse og gødningshåndtering kan endvidere påvirkes gennem forskellige produktionsmæssige og teknologiske tiltag, som fx *fedtfodring* (for konventionel malkekvæg og kvier) og *miljøteknologier i stalde* (herunder gylleforsuring, gyllekøling og luftrensingsanlæg) og bioforgasning af gylle og



afgrøderester. Mælkeydelsen afhænger grundlæggende af mængden og sammensætningen af foder, dyrene indtager.

Udledninger fra gødskning afhænger bl.a. af det samlede gødningsforbrug, der beregnes ved brug af IPCCs standardemissionsfaktor. Gødningsforbruget påvirkes af den forventede *udvikling af landbrugsarealet*, men også kvælstofnormerne fordelt på afgrødetyper og jordtyper.

Landbrugsarealer

Udledninger fra landbrugsarealernes lagrede kulstofpuljer afhænger bl.a. af udviklingen i *landbrugsarealets størrelse* og sammensætningen af jordtyper (herunder ikke mindst udviklingen i *dyrket kulstofrig landbrugsjord*)

Udledningerne fra landbrugsarealerne kan påvirkes gennem forskellige tiltag, der påvirker anvendelsen af landbrugsarealet, som fx permanent udtagning af landbrugsarealer, vandstandshævning v. sløjfning af dræn, ekstensivering af landbrugsjord i omdrift, samt tiltag som efterafgrøder og braklægning som er en del af reguleringen ift. kvælstofudvaskning.

Skove

Ud fra den aktuelle tilstand i skovarealernes lagrede kulstofmængde samt historiske erfaringer fra skovdriften beregnes de forventede fremtidige udledninger og optag på baggrund af følgende nøgleantagelser med forventninger om:

- Forøget kulstofindhold pr ha i skovene ved stigende aldersklasser for overlevende træer på arealerne. Ved tilvækst sker et CO₂-optag, der er større end den CO₂-udledning, der sker som følge af tynding (fældning af nogle af træerne i et givent skovareal, idet tynding giver plads til, og fremmer, de tilbageværende træers vækst), og der opbygges gradvist et større kulstoflager pr. ha indtil der på et tidspunkt sker hovedfældning (fældning af alle træer på det givne skovareal).
- Overlevelses-sandsynligheder for træerne i skovene førend arealerne hovedfældes afhængigt af trætyper, aldersklasser og geografi baseret på historiske erfaringer.
- Træerne på arealerne overlever, hvis ikke de tyndes eller hovedfældes i den pågældende periode.
- Ved tynding og fældning sker beregningsteknisk en CO₂-udledning, hvor en mindre andel antages anvendt til træprodukter, der beregningsteknisk lagrer CO₂.

- Udledninger fra skovjord er primært baseret på emissionsfaktorer for CO₂, N₂O og CH₄.
- Mængden af nye arealer skov, der rejses (øget CO₂-optag), og skovarealer, der permanent fjernes (øget CO₂-udledning).



Kapitel 1: Landbrugsprocesser

1.1 KF23 forløbet frem mod 2035

Dette notat beskriver de væsentligste forudsætninger, der anvendes af Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet (DCE) til at beregne de forventede udledninger fra landbrugsprocesserne. Disse udledninger omfatter primært metan (CH₄) fra husdyrenes fordøjelse, metan og lattergas (N₂O) fra gødningshåndtering i stald og lager, samt lattergasudledning ved gødskning på marker og kvælstofomsætning i landbrugsjorden².

Først beskrives i dette afsnit de væsentligste aspekter af udviklingen i faktorer som påvirker udledningerne. I afsnit 2 beskrives metoden og forudsætningerne forbundet med fremskrivningen.

Drivhusgasudledningerne fra landbruget drives dermed i høj grad af antallet af husdyr, gødningshåndteringen og mængden af gylle og fast gødning, samt mængden af kunstgødning. Disse betegnes også som aktivitetsdata (se kapitel 4 om DCE's modeller).

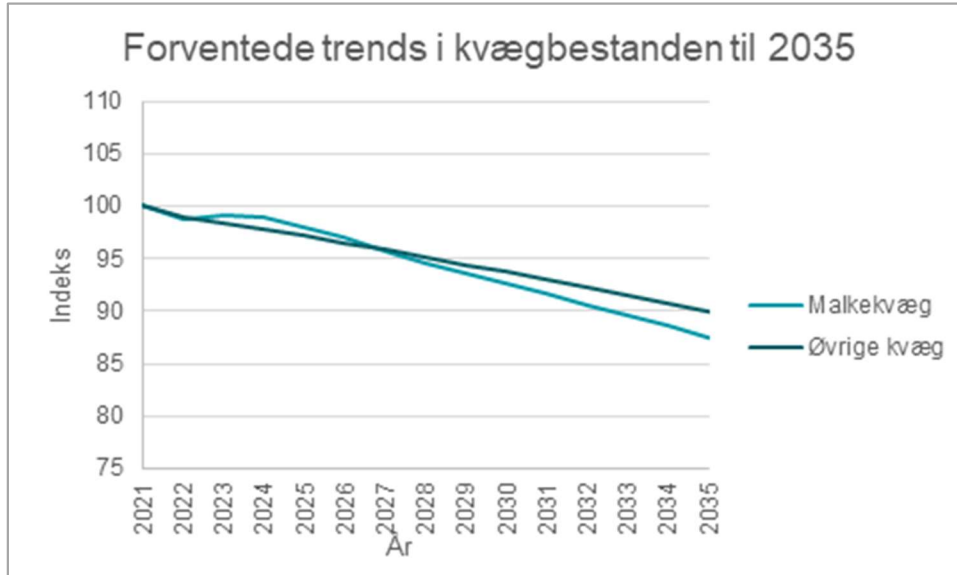
Antal husdyr

Figur 1.1 og 1.2 viser den forventede udvikling i antallet af husdyr frem mod 2035, som er baseret på Landbrugsfremskrivningen 2023 (Jensen, 2023). Ifølge Landbrugsfremskrivningen 2023, forventes antallet af malkekøer at falde væsentligt frem mod 2035, svarende til et samlet fald i 2035 på 12 pct. sammenholdt med produktionen i 2021, som bl.a. skyldes stigende omkostninger til kvægproduktionen. Dette fald afspejles også i antallet af øvrige kvæg.

Den samlede produktion af grise i Danmark er faldende i de nærmeste år, hvilket bl.a. skyldes reducerede afsætningsmuligheder af dansk svinekød efter at den kinesiske griseproduktion er ved at være genetableret efter kinesisk udbrud af afrikansk svinepest siden 2019. Produktionen forventes igen at stige en smule i 2024. Derefter forventes i 2035 sammenholdt med 2021 et fald i antal af søer (14 pct.), smågrise (5 pct.) og slagtesvin (7 pct.) sammenholdt med 2021. Det skal dog bemærkes, at der især er betydelig usikkerhed behæftet med fremskrivningen af antal husdyr efter 2030.

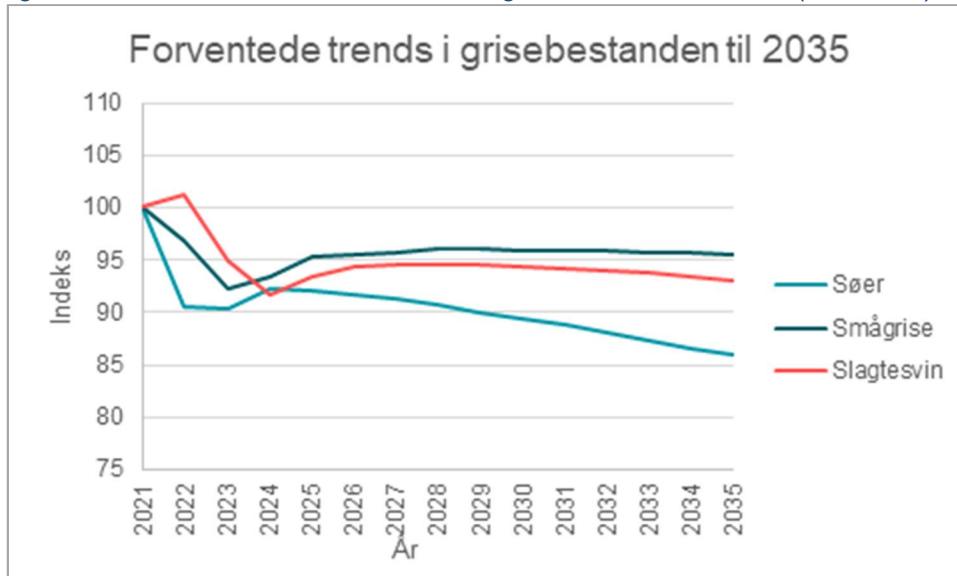
² Derudover opgøres også udledninger fra mindre kilder i landbrugssektoren; CO₂ fra kalkning, urea og andre kulstofholdige gødninger samt metan og lattergas fra afbrænding af frøgræs og halmrester.

Figur 1.1: Forventede trends for antallet af kvæg i Danmark til 2035. (2021=100).



Kilde: Jensen (2023) og oplysninger fra DCE.
Anm.: 2021 er indeks 100.

Figur 1.2: Forventede trends for antallet af grise i Danmark til 2035. (2021=100).



Kilde: Jensen (2023) og oplysninger fra DCE.
Anm.: 2021 er indeks 100.

Husdyrenes fordøjelse

Omsætning af foder i vommen på husdyr medfører dannelsen af metan. Sammensætningen og størrelsen af husdyrbestanden påvirker mængden af disse udledninger, idet udledningen af metan fra fordøjelsen hos de flermavede



drøvtyggere, især malkekøer, er kvantitativt større end udledningen fra enmavede produktionsdyr såsom grise. Udledninger fra drøvtyggenes fordøjelse kan f.eks. påvirkes via fodringspraksis og avl.

Gødningshåndtering

Mængden af gødning, der skal håndteres som følge af husdyrproduktionen, afhænger i sagens natur bl.a. af udviklingen i antallet af dyr. Udledningerne fra gødningshåndteringen afhænger derudover bl.a. af brugen af miljøteknologier i staldene og omfanget af biogasning af gylle mv. Klimatiltag som følge af *Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug* og EU's fælles landbrugspolitik for 2023-2027 og øget brug af miljøteknologier reducerer udledningerne fra bl.a. gødningshåndtering, og antagelser herom er afgørende for KF23 udledningsforløbet. Ligeledes reducerer bioforgasning af gylle udledningerne af metan og lattergas fra gødningshåndtering grundet en kortere opholdstid i stalden og på lager, og fordi det organiske indhold i gyllen omsættes til energi.³

Gødskning

Den samlede anvendte mængde gødning afhænger bl.a. af landbrugsarealets størrelse. Landbrugsarealet forventes at falde frem mod 2035 på grund af udtagning af arealer til skov, infrastruktur og øget bebyggelse, men også som konsekvens af politisk vedtagne tiltag som frivillige udtagningsordninger af kulstofrig jord og i mindre grad ny skovrejsning. Ligeledes vil ekstensiveringsordninger føre til ændringer i arealanvendelsen i form af et mindre dyrket landbrugsareal (se mere i kapitel 2). Et fald i det dyrkede areal medfører et tilsvarende faldende behov for gødning.

Mængden af handelsgødning beregnes ud fra gødningsbehovet forklaret ovenfor fratrukket mængden af kvælstof i husdyr- og anden organisk gødning. Da antal af husdyr forventes at falde frem mod 2035, skal en tilsvarende større andel af gødningsbehovet dækkes af handelsgødning. Dog forventes et samlet fald i mængden af handelsgødning frem mod 2035 da faldet i gødningsbehovet overstiger faldet i antal husdyr.

Ændring i forudsætninger siden KF22

Sammenlignet med KF22 forudsætningerne for landbrugsprocesser er de væsentligste ændringer:

- Malkekvæg: Ift. KF22 færre malkekvæg hhv. 3 pct. færre i 2025, 11 pct. i 2030 og 12 pct. i 2035.
- Øvrige kvæg: Ift. KF22 færre øvrige kvæg hhv. 3 pct. færre i 2025, 7 pct. i 2030 og 8 pct. i 2035.

³ Omvendt sker der dog også en udledning af metan fra biogasanlæggene under produktionen i form af metanlækage (jf. kapitel 3 i sektorforudsætningsnotat Produktion af olie, gas, og VE-brændstoffer).



- Søer: Ift. KF22 6 pct. færre søer i 2025 men flere søer i 2030 og 2035 hhv. 0,1 pct. og 6 pct.
- Smågrise: Ift. KF22 færre smågrise 3 pct. i 2025 men flere smågrise hhv. 1 pct. i 2030 og 8 pct. i 2035.
- Slagtesvin: Ift. KF22 færre slagtegrise hhv. 6 pct. i 2025 og 1 pct. i 2030 men flere slagtesvin 5 pct. i 2035.

For yderligere sammenligning af KF23 og KF22 forløbene henvises til afsnit 1.3.1.

1.2 Metode og antagelser bag KF23 forløbet

1.2.1 Generelle antagelser og metode

Den forventede udvikling i husdyrproduktionen og landbrugsarealet (aktivitetsdata) er baseret på Landbrugsfremskrivningen (Jensen, 2023), der udarbejdes årligt af Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO) ved Københavns Universitet.

Landbrugsfremskrivningen er en modelbaseret fremskrivning, som bygger på den europæiske AGMEMOD model. Modellen er en økonometrisk, dynamisk ligevægtsmodel for landbrugssektorerne i EU's medlemslande samt andre vigtige handelspartnere. Fremskrivningen af udviklingen i landbrugets aktivitet bygger helt overordnet på såvel historiske data som adfærdsligninger, der beskriver bl.a. producenteres og forbrugeres adfærd ved ændringer i sektoren. Disse ændringer kan f.eks. stamme fra nye politiske tiltag, ændringer i markedspriser mv. (Jensen, 2017). For nærmere beskrivelse henvises til Bilag 5.1. AGMEMOD blev opdateret i foråret 2022, og det er den opdaterede model, der er blevet benyttet til dette års Landbrugsfremskrivning. Med opdateringen, er det blevet muligt at fremskrive til 2040, med hensyntagen til EU-landenes markedsbalancer. Dette er en ændring fra sidste års Landbrugsfremskrivning, hvor der blev fremskrevet til 2030, og foretaget en partiel fremskrivning af årene 2031-2040 (Jensen, 2023).

Når DCE beregner udledningerne fra sektoren foretages en efterbehandling af aktivitetsdata fra Landbrugsfremskrivningen således, at husdyrgrupperne svarer til inddelingen i emissionsopgørelsen og dermed klimafremskrivningen (se kapitel 4 om DCE's modeller). Ligeledes benytter DCE i nogle tilfælde tendensen i landbrugsfremskrivningen frem for de absolutte fremskrevne værdier. Dette er f.eks. tilfældet for udviklingen i antal grise, hvilket skyldes, at der i DCE's beregning tages udgangspunkt i en gennemsnitsgris, hvad angår foderindtag samt kød- og gødningsproduktion, således at gødningsproduktion og kvælstofudskillelse er i overensstemmelse med normtallene for husdyrgødning.



1.2.1.1 Metode for beregning af udledninger

Udledningen af metan og lattergas fra dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering og gødning på markerne beregnes i henhold til IPCC's metoder for drivhusgasopgørelser. Komplexiteten i metoden afhænger af de metodeniveauer, såkaldte "Tiers", som er angivet af IPCC. For en detaljeret gennemgang af IPCC tier-niveauer henvises til kapitel 4 om DCE-modeller.

Udledninger fra dyrenes fordøjelse

Metanudledning fra fordøjelse beregnes ved at gange mængden af foderets bruttoenergiindhold (GE, Gross Energy, megajoule per dyr pr. dag) med en faktor (Ym), der udtrykker metantabet i fordøjelsesprocessen. Ym-faktoren for malkekøer er estimeret ved brug af en model, hvor gennemsnitlige nationale foderplaner indgår som input, mens den for øvrige husdyr er baseret på IPCC's standardværdier. Ym for malkekøer afhænger bl.a. af fodersammensætningen, og beregningen kan dermed tage højde for f.eks. øget fedtfodring. Den samlede metanudledning pr. husdyr ganges afslutningsvist med antal husdyr for den dertilhørende kategori, hvorfra en samlet metanudledning for husdyrkategorien estimeres.

Udledninger fra gødningshåndtering

Beregningen af udledninger fra gødningshåndteringen er forskellig for metan og lattergas. Metanudledning beregnes ved at gange mængden af flygtige faste stoffer (VS, Volatile solids) i gødningen med en metankonverteringsfaktor (MCF). MCF udledes ved brug af en kompliceret model, hvor metanudledningen beregnes baseret på gyllens opholdstid i stalden (kaldet hydraulisk retentionstid, HRT) for hver dyre- og staldtype og for evt. bioforgasning af gyllen. Modellen kan dermed tage højde for tiltag såsom hyppig udslusning af gylle. Lattergasudledning fra gødningshåndtering beregnes både for den direkte proces, hvor lattergas denitrificeres direkte fra det organisk-bundne kvælstof, og for den indirekte proces via ammoniakfordampning og NOx-udledning. Dertil bruges forskellige emissionsfaktorer afhængig af gødningstypen.

Gødskning og kvælstofomsætning på marken

Lattergasudledning fra gødskning og kvælstofomsætning på markerne stammer fra flere udledningskilder, der beregnes med forskellige metoder. Udledningerne afhænger især af, hvor meget kvælstof der tilføres jorden, men også hvor meget der recirkulerer i jord-plantesfæren. Der beregnes både direkte lattergasudledning, når kvælstofholdig gødning tilføres jorden, men også indirekte lattergas, der udledes ved kvælstofudvaskning og afstrømning samt ved omsætning af ammoniak og NOx. Beregningsmæssigt udregnes først den samlede tilførte kvælstofmængde fra alle kilder (kunstgødning, husdyrgødning, slam, urin og fæces ved afgræsning, planterester og omsætning af jordens kvælstofpulje), som så ganges med en standardemissionsfaktor for lattergas. De største lattergasudledningskilder er:



- *Kunstgødning*, hvor mængden af kvælstof baseres på oplysninger fra gødningsregnskabet og salgsregistret for kunstgødning.
- *Organisk gødning*, som hovedsageligt er husdyrgødning, hvor mængden af kvælstof baseres på normtalsystemet for husdyrgødning. Endvidere indregnes kvælstofbidraget fra udbragt spildevandsslam samt anden organisk gødning.
- *Nedbrydning af planterester*, hvor mængden af kvælstof estimeres ud fra nationale tal for afgrødeudbyttet og tørstofindholdet baseret på empiriske modeller udviklet af IPCC.
- *Kvælstoffrigivelse ved dyrkning af kulstofrig jord* beregnes ved at gange arealet med standard emissionsfaktorer fra IPCC fordelt på arealer i omdrift med græs eller dårlig dræning (jf. Tabel 2.1 i kapitel 2).
- *Indirekte lattergasudledninger* fra udvaskning og afstrømning af kvælstof.

For en mere uddybende metodeforklaring henvises til Nielsen *et al.* (2022) og Albrektsen *et al.* (2021).

1.2.1.2 Økologisk versus konventionel produktion

Beregningen af den samlede udledning fra landbrugssektoren er i KF baseret på data, som omfatter både den økologiske og konventionelle produktionsform. Baggrunden herfor er, at det på nuværende tidspunkt ikke er muligt at opdele alle enkelte emissioner på produktionsformerne, da data p.t. ikke er tilstrækkelige til en sådan opdeling. Et eksempel er beregning af lattergas udledningen fra afgrøderester, der afhænger af høstudbytte som er forskelligt for økologisk og konventionel produktion, men er baseret på et samlet udbytte fra Danmarks Statistik.

I forhold til udviklingen i malkekvæg og landbrugsarealet indregnes i KF23 effekten af de i landbrugsaftalen afsatte midler til økologisk arealstøtte igennem landbrugsfremskrivningen. De afsatte midler til økologistøtte øger de relative prisforhold ml. konventionelle og økologiske bedrifter, hvilket får den økologiske andel til at stige. Gødningsforbruget er generelt lavere på økologiske bedrifter, derfor regnes den øgede økologiske andel af landbrugsarealet med i det fremskrevne gødningsforbrug som noget nyt i KF23.



1.2.1.3 Klimatiltag, der påvirker udledninger

Gødningshåndtering: Miljøteknologier mv.

Det antages, at der fremover vil være øget brug af diverse udledningsreducerende miljøteknologier til gødningshåndtering i stald og lager frem mod 2035.

Miljøteknologier er bl.a. gyllekøling og luftrensingsanlæg i svinestalde samt forsuring af kvæg- og svinegylle.

Forudsætningerne for indfasningen af teknologierne er udarbejdet på baggrund af historiske oplysninger baseret på data fra miljøgodkendelser til husdyrbrug, mens antagelser om udbredelsen af teknologi fremadrettet er foretaget på baggrund af vurdering fra SEGES. Følgende konkrete tiltag forventes øget:

- Gylleforsuring: Frem mod 2030 forventes andelen af stalde med forsuring af kvæg- og svinegylle at stige i forhold til produktionen i dag: 4 pct. stalde for malkekvæg, 1,5 pct. stalde for øvrige kvæg, 3,5 pct. stalde for søer, 2 pct. stalde for smågrise og 4,7 pct. stalde for slagtesvin.
- Gyllekøling: Frem mod 2030 forventes en betydelig stigning i andelen af svinestalde med gyllekøling ift. i dag. I 2030 forventes: 40 pct. af stalde med søer, 25 pct. af stalde med smågrise og 25 pct. af stalde med slagtesvin.
- Luftrensingsanlæg: Der forventes ligeledes en øget implementering af luftrensingsanlæg i svinestalde i 2030 ift. i dag. I 2030 forventes: 5 pct. af produktionen med søer, under 1 pct. af produktionen med smågrise og 4 pct. af produktionen med slagtesvin.⁴ Bemærk, at effekten af luftrensning ikke er indregnet i den historiske opgørelse.
- Bioforgasning: Frem mod 2030 antages en øget bioforgasning af svine- og kvæggyllen, jf. sektorforudsætningsnotat Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer kapitel 3 om biogas.

Gødskning: Husdyr- og kunstgødning mv.

Det nationale gødningsforbrug estimeres ud fra kvælstofnormen og fordeles på husdyr- og kunstgødning ved først at anvende kvælstoffet i tilgængelig husdyrgødning baseret på det fremskrevne antal husdyr og dernæst beregne det resterende behov med kunstgødning. Gødningsbehovet påvirkes til dels af den forventede udvikling af landbrugsarealet, men også af kvælstofnormerne. Konkret forventes det ligesom i KF22, at landbrugsarealet falder frem mod 2035 og gødningsbehovet reduceres (jf. kapitel 2).

⁴ Luftrensingsanlæg reducerer ammoniakfordampning, som indirekte påvirker lattergasudledningen.



1.2.2 Frozen policy antagelser til KF23

Landbrugsfremskrivningen (Jensen, 2023) er – ligesom KF23 – baseret på en såkaldt "frozen policy" tilgang, hvor kun allerede vedtagne politikker og virkemidler er indregnet. Landbrugsfremskrivningen 2023 (Jensen, 2023) samt KF23 indregner tiltag fra EU's landbrugspolitik (CAP) for perioden 2023-2027 og *Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug* af 4. oktober 2021 (herefter landbrugsaftalen), ligesom det blev gjort i KF22. For perioden efter 2030 for de tiltag, hvor der endnu ikke er fastsat midler, fastholdes 2030-niveauet.

Nedenfor ses hovedforudsætningerne for indregning af tiltag som også blev indregnet i KF22:

- *Reduktionskrav for husdyrenes fordøjelse*; hvor reguleringen antages implementeret fra januar 2025. Da der endnu ikke er truffet endelig beslutning om udmøntning og implementering af det generelle reduktionskrav, er alene effekten af øget fedttildeling til konventionelle malkekøer vurderet.
- *Hyppig udslusning af gylle*; dvs. udslusning minimum hver 7. dag. Det antages, at kravet implementeres fra januar 2023. Siden KF22 har Miljøministeriet nærmere defineret, hvordan kravet skal implementeres.
- *Reduceret kvælstofudvaskning fra rodzonen*; følger landbrugsjord i omdrift, som Fødevarerministeriet enten forventer udtaget permanent eller ekstensiveret som følge af landbrugsaftalen og CAP 2023-2027 (nærmere beskrivelse i kapitel 2).

1.3 Kvalificering af KF23 forløbet

1.3.1 Sammenligning med KF22

Ændringerne i forhold til KF22 – ud over de få, som følger af nye politiske tiltag, jf. afsnit 1.2.2 ovenfor - relaterer sig dels til det forventede antal husdyr og antagelser angående f.eks. udviklingen i staldd typer og dertil knyttet gødningshåndtering samt ændringer i det dyrkede areal, og dels implementerede metodiske forbedringer⁵. Kun få ændringer i staldd typer og gødningshåndtering forventes i KF23 sammenlignet med KF22, dog forventes et mindre fald i det dyrkede areal end antaget i KF22 (jf. kapitel 2). Nedenfor uddybes ændringerne i det forventede antal husdyr.

⁵ Til KF23 er der implementeret kravet om brug af standardværdier fra IPCC's 2019 retningslinjer for en række faktorer, bl.a. lattergas fra kvælstofudvaskning. Derudover er beregningen af metanudledninger fra lagring af gylle blevet korrigeret, som leder til en stigning af udledningerne primært fra gødningshåndtering fra grise.



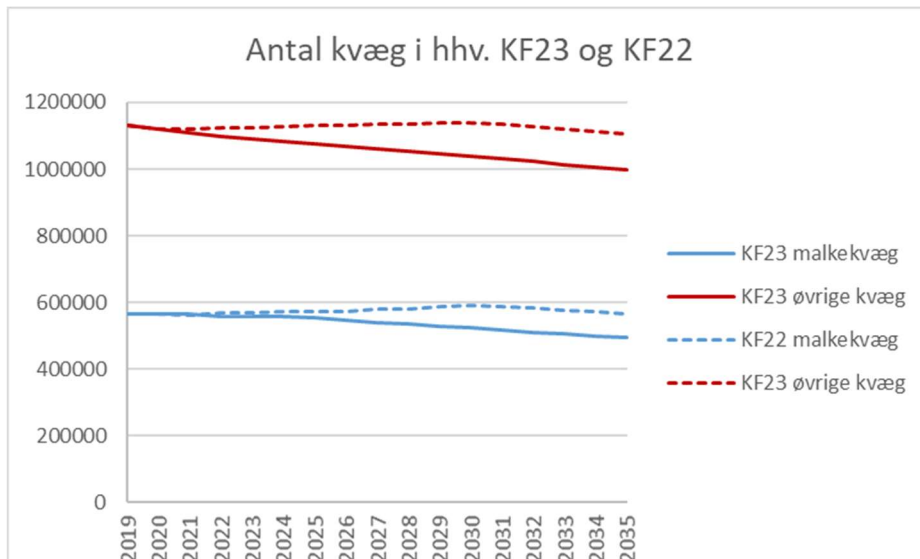
Udviklingen i antal husdyr i KF23 sammenlignet med KF22

Sammenlignes Landbrugsfremskrivningen fra 2022 (Jensen, 2022) med fremskrivningen i 2023 (Jensen, 2023) ses en væsentlig nedjustering af den fremskrevne udvikling i antal køer (Figur 1.3), mens der er tale om en mindre opjustering i den forventede udvikling i antal grise (Figur 1.4). Ændringerne skyldes blandt andet modelopdateringer af AGMEMOD.

I den danske udgave af AGMEMOD er i år ændret i udbudsfunktionen for mælk (forholdet mellem mælkepris og omkostninger ved mælkeproduktionen), baseret på data for de seneste års udvikling efter mælkekvotesystemets ophør i 2015. Ændringen indebærer en svagt stigende tendens i omkostninger ved mælkeproduktionen (imod en svagt faldende tendens i tidligere fremskrivninger), og dermed en svagere udvikling i udbuddet af mælk. Denne modelændring har resulteret i at der forventes 12 pct. færre malkekøer i 2035 i KF23 i forhold til KF22.

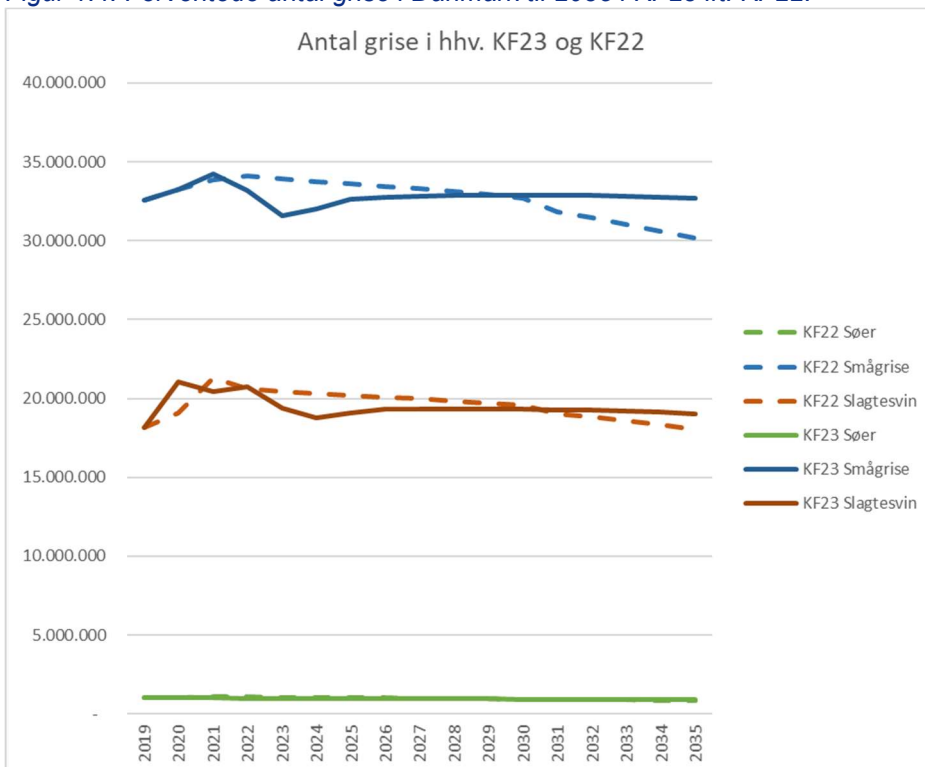
Derudover er udviklingen i antal grise pr. årssø ændret i AGMEMOD, således at der fremadrettet forventes en lavere vækstrate end i tidligere fremskrivninger. Yderligere gælder det, at afrikansk svinepest i Kina har medført en stigning i den danske produktion de seneste par år, men at den kinesiske svineproduktion nu er ved at være genetableret, hvilket har reduceret afsætningsmulighederne for dansk svinekød samtidig med, at foderomkostninger har været stigende. Således vurderes det, at antal grise vil ligge på et lavere niveau de nærmeste år end tidligere antaget, men at der forventes en stigning fra 2023 for årssøer og smågrise og fra 2024 for slagtesvin som resulterer i 6% flere årssøer, 8% flere smågrise og 5% flere slagtesvin i 2035 i forhold til KF22. Denne stigning skyldes en stigende andel producerede grise, der eksporteres til opfødning og slagtning i Tyskland og Polen på grund af lavere lønudvikling i slagtesvinsproduktionen i udlandet end i Danmark.

Figur 1.3: Forventede antal kvæg i Danmark til 2035 i KF23 ift. KF22.



Kilde: Jensen (2022; 2023) og oplysninger fra DCE.

Figur 1.4: Forventede antal grise i Danmark til 2035 i KF23 ift. KF22.



Kilde: Jensen (2022; 2023) og oplysninger fra DCE.



1.3.2 Usikkerhed

Antallet af husdyr frem mod 2035 samt estimaterne for mælkeydelse og eksporten af smågrise er i sagens natur forbundet med usikkerhed. Dette skyldes ikke mindst, at markedsforhold i EU og forbrugerpræferencer i forhold til fødevarer er svære at fremskrive og kan ændre sig.

Udviklingen i antallet af husdyr har væsentlig betydning for landbrugets udledninger. Ifølge en usikkerhedsanalyse af udvalgte variable i Landbrugsfremskrivningen fra Jensen (2017) er der mindre end 10 pct. sandsynlighed for afvigelser på mere end 10-15 pct. i forhold til fremskrivningsresultaterne til 2030. Dette usikkerhedsinterval vurderes af IFRO at være på et tilfredsstillende niveau, givet at fremskrivningen er baseret på parametre og variable, der i sig selv er usikkerhedsbehæftede (Jensen, 2017). Et fald på 12 pct. malkekøer i 2035 i KF23 sammenlignet med KF22 falder inden for dette interval, og har en stor betydning for landbrugssektorens samlede udledninger. Specielt grundlaget for en fremskrivning længere end 2030 er meget usikkert og sparsomt, hvorfor denne del af fremskrivningen er behæftet med særlig stor usikkerhed.

For de udledningsskilder, hvor der ikke er nationale målte data, bruges standardemissionsfaktorer (Tier 1 metode). Standardemissionsfaktorerne er behæftet med relativt høj usikkerhed, f.eks. vurderes usikkerheden på emissionsfaktoren for lattergasudledning fra gødningstilførsel på marken at være 200 pct. (IPCC, 2006). Der er ligeledes usikkerhed forbundet med diverse forudsætninger om staldd typer, miljøteknologier, gyllehåndtering mv.

DCE vurderer, at der er en samlet usikkerhed på ca. 50 pct. for den nationale historiske opgørelse af drivhusgasser fra landbrugssektoren ekskl. LULUCF sektoren, mens usikkerheden i fremskrivningen må betragtes som betydeligt højere, da en række variable vanskeligt kan forudsiges.

1.3.3 Planlagt udvikling fremadrettet

Der arbejdes på at implementere andelen af økologi for flere parametre i KF. Blandt andet arbejdes der på at den økologiske andel får betydning for det samlede gødningsforbrug, da der er strengere krav til gødningsforbruget for økologiske bedrifter end konventionelle – særligt, hvis de modtager tilskud for økologisk drift med tillæg for reduceret kvælstoftilførsel.



1.4 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) N₂O Emissions from Managed Soils, And CO₂ Emissions from Lime and Urea Application, Chapter 11, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

Jensen J.D. (2017) Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2030, IFRO rapport nr. 255

Jensen J.D. (2022) Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2040 – efteråret 2021, IFRO Udredning nr. 2022/04. https://static-curis.ku.dk/portal/files/299208491/IFRO_Udredning_2022_04.pdf

Jensen J.D. (2023) Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2040 – efteråret 2022, IFRO rapport nr. xxx. [LINK indsættes efter publicering].

LBST 2022. Opdatering af forudsætninger fra Landbrugsstyrelsen til Energistyrelsens og DCE's brug ifm. KF23.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Baunbæk, L., & Hansen, M.G. 2022. Denmark's National Inventory Report 2022. Emission Inventories 1990-2020 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 969 pp. Scientific Report No. 494 <http://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>

Salamon, P., Banse, M., Donnellan, T., Hass, M., Jongeneel, R., Laquai, V., van Leeuwen, M., Reziti, I., Salputra, G., Zirngibl, M. (2019): AGMEMOD Outlook for Agricultural and Food Markets in EU Member States 2018-2030. Thünen Working Paper 114, https://agmemod.eu/images/Outlook_2019.pdf

Salputra, G., Salamon, P., Jongeneel, R., Van Leeuwen, M. and Banse, M., editor(s), Salamon, P., Banse, M., Barreiro Hurlé, J., Chaloupka, O., Donnellan, T., Erjavec, E., Fellmann, T., Hanrahan, K., Hass, M., Jongeneel, R., Laquai, V., Van Leeuwen, M., Molnar, A., Pechrova, M., Salputra, G., Baltussen, W., Efken, J., Helaine, S., Jungehulsing, J., Von Ledebur, O., Rac, I. and Santini, F., (2017) Unveiling diversity in agricultural markets projections: from EU to Member States. A

medium-term outlook with the AGMEMOD model, EUR 29025 EN, Publications
Office of the European Union, Luxembourg, 2017, JRC109115.
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109115>



Kapitel 1 bilag: AGMEMOD

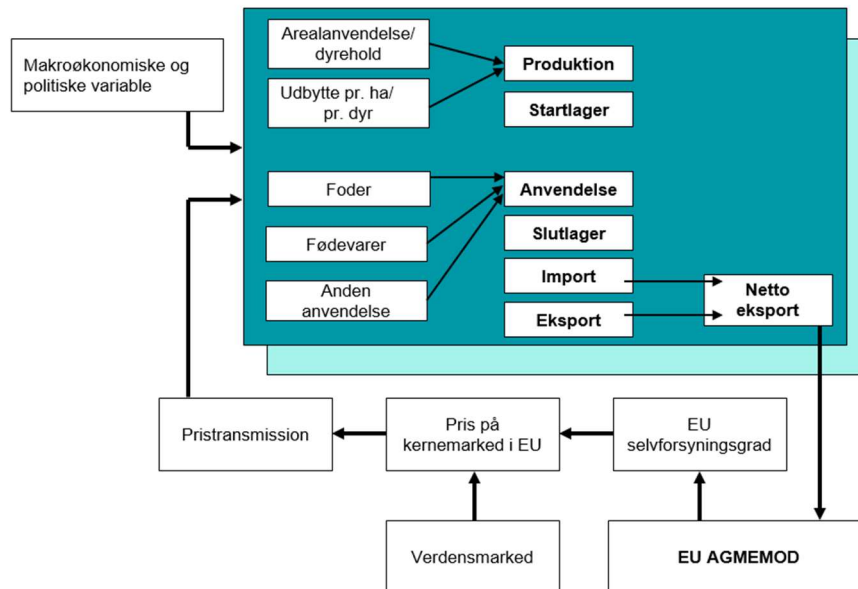
IFRO's fremskrivning af dansk landbrugs forventede udvikling er baseret på den europæiske AGMEMOD-model, som er et økonometrisk og dynamisk partielt ligevægtsmodellsystem for landbrugssektorerne i EU's medlemslande (**A**gricultural **M**ember State **M**odelling). Indeværende beskrivelse af modellen tager udgangspunkt i eksisterende rapporter fra IFRO, primært Jensen (2017), der indeholder en detaljeret beskrivelse i dansk kontekst⁶.

AGMEMOD-modellen omfatter landemodeller for alle EU's 27 medlemslande. Herudover er der konstrueret modeller for en række lande uden for EU, fx Storbritannien, USA, Kina, Brasilien, Tyrkiet, Rusland og Ukraine. Resten af verden er repræsenteret i en mindre detaljeret delmodel. Landemodellerne har en ensartet struktur, som gør det muligt at koble modellerne sammen for at beskrive handelsmæssige interaktioner mellem landenes landbrugsmarkeder samt prisdannelsen på produkter. For hvert enkelt land beskriver modellen produktion, anvendelse og prisdannelse på markederne for fire overordnede produktkategorier: afgrøder i omdrift, afgrøder fra permanente beplantninger, husdyr/kød og mejeriprodukter (se Jensen (2017) for en detaljeret produktliste).

Modellen er således opbygget af kombinationer af lande og produkter. Figur 1.5 viser den overordnede struktur for et produktmodul i et givent land. Hvert produktmodul indeholder ligninger for de økonomiske aktørers (producenter, forbrugere mv.) adfærd i forhold til ændringer i markedspriser, politiske tiltag og andre eksogene variable.

⁶ Salamon et al. (2019) viser resultater af den seneste landbrugsfremskrivning i AGMEMOD-modellen på EU-niveau, mens Jensen (2022) viser resultater af den seneste fremskrivning på DK-niveau.

Figur 1.5: Overordnet struktur for et produktmodul i et givent land i AGMEMOD



Kilde: Salputra et al. (2017) og Jensen (2017).

Produktion og anvendelse i et givet land påvirkes af produktets pris samt eksogene makroøkonomiske og politiske variable (fx befolkningsudvikling, bruttonationalprodukt, vedtagne politiske tiltag m.v.). Forskellen mellem landets samlede produktion (plus evt. startlager) og anvendelse (plus evt. slutlager) udmønter sig i landets nettoeksport, som påvirker prisdannelsen på EU-niveau, som igen påvirker prisen i det pågældende land. Dette kredsløb kan påvirkes af eksogene makroøkonomiske eller politiske forhold og/eller af forholdene på verdensmarkedet.

I forhold til prisdannelse anvendes i AGMEMOD-modellen to typer prisdannelsesligninger, afhængig af om der er tale om en "kernepris" eller en "afledt pris". For hvert enkelt produkt er der identificeret et kernemarked blandt EU-medlemslandene, dvs. "det vigtigste" nationale marked for det pågældende produkt. For eksempel er Tyskland kernemarked for svinekød, oksekød og smør. Prisdannelsen på et sådant kernemarked beskrives i modellen ved hjælp af en kerneprisligning, hvor kerneprisen er en funktion af bl.a. verdensmarkedsprisen, evt. EU-prisinstrumenter (fx interventionspris), EU-handelspolitiske variable (fx sats for importtold), samt EU's samlede selvforsyningsgrad for det pågældende produkt. I de EU-lande, som ikke er kernemarked for det pågældende produkt, afledes den nationale pris fra kerneprisen ved hjælp af en pristransmissionsligning.

For så vidt angår beskrivelsen af indenlandsk anvendelse, lageropbygning, import og eksport er modelstrukturerne nogenlunde ensartede for de fire ovennævnte produktkategorier. Beskrivelsen af den indenlandske produktion er derimod forskellig i hver produktkategori.



For afgrøder såsom korn, oliefrø og rodfrugter er produktionssiden relateret til allokeringen af landbrugsareal, som i AGMEMOD-modellen foregår i to trin. I første trin allokeres arealet til hovedgrupperne af produktioner: korn, oliefrø og rodfrugter. I andet trin allokeres arealet inden for disse hovedgrupper. I begge trin drives allokeringen af de relative økonomiske (brutto-) afkast pr. hektar. I modelleringen af oliefrøsektorerne (raps, solsikke og soja) beskrives også den relaterede produktion og anvendelse af olier og oliekgager.

For afgrøder fra permanente beplantninger (frugt, vin, olivenolie) ligner modelleringen den for afgrøder i omdrift, bortset fra, at de permanente beplantninger i allokeringen af areal ikke konkurrerer om det samme areal som afgrøder i omdrift.

Modellering af husdyr/kødprodukter (bortset fra fjerkræ) følger en struktur, som beskriver dynamikken i husdyrbesætninger med udgangspunkt i antal moderdyr (malkekøer, ammekøer, søer, moderfår), hvis afkom allokeres til forskellige formål (opdræt, slagtning, levende eksport) afhængig af bl.a. pris- og omkostningsforhold. For fjerkræ, hvor omsætningshastigheden er relativt høj, beskrives udbuddet af kød direkte som en funktion af pris- og omkostningsforholdene, uden nærmere detaljer omkring besætningsdynamikken over tid.

Modelleringen af mejeriproduktionen omfatter to overordnede trin. I første trin bestemmes mælkeproduktionen, import og eksport af råmælk, direkte anvendelse på landbrugsbedrifter og dermed den mængde råmælk, som er tilgængelig til forarbejdning på mejerierne. Den væsentligste drivkraft for produktionen er profitabiliteten i mælkeproduktion baseret på pris- og omkostningsforholdene. I andet trin allokerer AGMEMOD mælkeprotein og -fedt til forskellige mejeriprodukter baseret på estimater på protein- og fedtindholdet i fx råmælk. Allokeringen tager udgangspunkt i prisrelationer mellem de forskellige anvendelser af hhv. mælkeprotein og -fedt.

For en yderligere redegørelse for, hvilke faktorer, der driver udviklingen i den seneste fremskrivning af husdyrproduktionen og arealanvendelse i Danmark, henvises der til Jensen (2023).

28. april 2023

Kapitel 2: Landbrugsarealer og øvrige arealer

2.1 KF23 forløbet frem mod 2035

Notatet beskriver de forudsætninger, der vil blive anvendt af Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) ved Aarhus Universitet til at beregne de forventede drivhusgasoptag og -udledninger fra LULUCF-sektoren med undtagelse af skovarealer, som beskrives i kapitel 3 om Skov. LULUCF er en forkortelse, der står for "Land-Use, Land-Use Change and Forestry", der kan oversættes til "arealanvendelse, arealanvendelsesændringer og skovbrug". Udledningerne omfatter hovedsageligt CO₂-udledninger og -optag forbundet med ændringer i kulstofpuljerne i biosfæren⁷, samt metan-udledninger fra organiske jorder og lattergas-udledninger som følge af arealanvendelsesændringer⁸.

I LULUCF-sektoren beregnes udledninger og optag som årlige ændringer i de kulstofpuljer, der er bundet i levende biomasse, død biomasse og jord. Kulstofpuljernes størrelse ændrer sig over årene som følge af naturlige udsving, f.eks. kan udsving i temperaturen enten øge eller reducere omsætningen af kulstofpuljen. Ligeledes kan menneskelig aktivitet påvirke kulstofpuljerne, f.eks. kan balancen mellem tilførsel og fjernelse af planterester påvirke kulstofpuljerne.

Kulstofpuljerne kan øges eller reduceres som følge af ændrede arealanvendelsespraksisser, f.eks. når der rejses skov eller bebygges på tidligere landbrugsjord. Således tager fremskrivningen højde for de forventede ændringer i arealanvendelsen som følge af vedtagen politik.

Hovedparten af landbrugets direkte udledninger af metan og lattergas stammer fra landbrugsprocesserne og beskrives i kapitel 1, herunder navnlig udledninger forbundet med husdyrhold og håndtering af gødning og gylle. Nærværende notat fokuserer på landbrugsarealernes⁹ forventede optag og udledninger af drivhusgasserne CO₂ og metan. Disse arealer står for langt størstedelen af både udledninger og optag fra danske arealer, der ikke er skovarealer, om end der også er mindre udledninger fra andre arealer som f.eks. vådområder og bebyggede arealer.

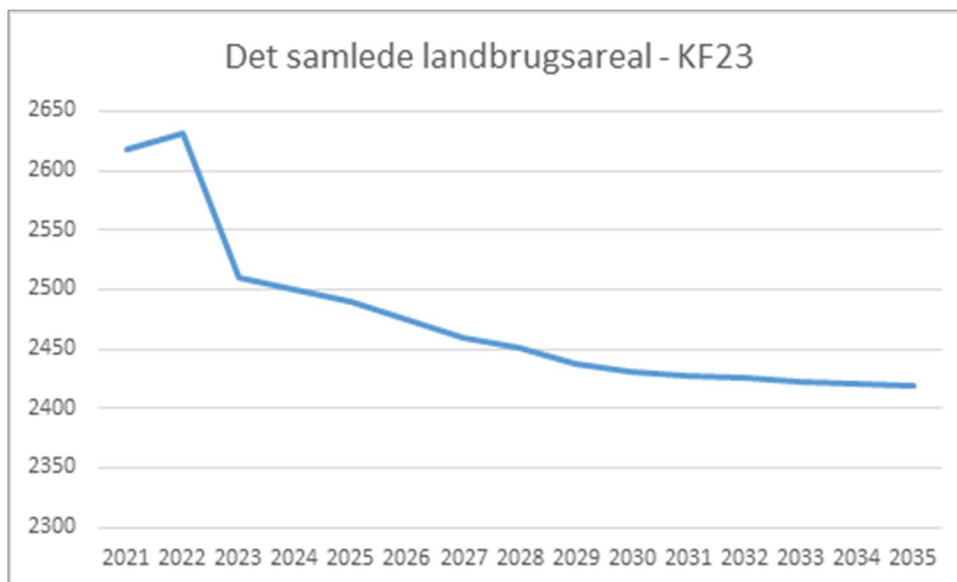
⁷ Biosfæren defineres som det globale økologiske system, og omfatter således litosfæren (jordskorpen), hydrosfæren (alt vand på jorden) og atmosfæren.

⁸ Metanudledningen fra organiske jord sker som led i en naturlig proces af langsom nedbrydning af organisk materiale under iltfattige forhold. Lattergasudledninger kan ske ved arealændringer ved ændret ilt og ph forhold i jorden.

⁹ Landbrugsarealer i denne definition omfatter CRF kategorierne 4B Cropland (dyrkede arealer), 4C Grassland (græsarealer) samt landbrugsarealer omlagt til vådområder.

Landbrugsarealerne (eksklusive skovarealer, bebyggelse og vådområder) har siden 1990 udledt ca. 5,74 mio. ton CO₂e. årligt i gennemsnit. Hovedparten af disse udledninger kommer fra drænede, kulstofrige arealer, som tidligere har været helt eller delvist vanddækkede med et højt indhold af organisk materiale, og som nu er opdyrket. Kulstofrig jord er defineret som arealer med over 6 pct. organisk kulstof. Dyrkning af kulstofrig landbrugsjord medfører en betydelig del af Danmarks samlede drivhusgasudledning, og stod for ca. 10 pct. af de samlede udledninger i 2020.

Figur 2.1. Det forventede landbrugsareal 2021-2035



Kilde: (Jensen, 2023)

Den forventede udvikling i Danmarks landbrugsareal, og især anvendelse af arealer med kulstofrig jord, har en stor betydning for DCE's fremskrivning af udledningerne fra LULUCF-sektoren. Overordnet forventes Danmarks samlede landbrugsareal at falde frem mod 2040 særligt pga. permanent udtagning af kulstofrig jord (Figur 2.1). Yderligere forventes en del af landbrugsarealet at blive omlagt fra korn eller andre et-årige afgrøder til f.eks. græsarealer via ekstensiveringsordninger eller omlægning af landbrugsarealer til skovarealer. Denne omlægning kan både ske på kulstofrig jord og mineraljord. Forventningerne til ændringerne i arealanvendelsen er hovedsageligt drevet af en række nye arealbaserede tiltag og krav om ekstensivering i EU's landbrugspolitik (CAP) for perioden 2023-2027 samt *Aftale om grøn omstilling i dansk landbrug af 4. oktober 2021* og midler afsat på Finansloven til skovrejsning og udtagning af kulstofrig jord, se afsnit 2.2.2 for en gennemgang af antagelser for KF23.

Sammenlignet med KF22 forudsætningerne for landbrugsarealer er de væsentligste ændringer:



- Efterafgrøde-arealer påvirker afgrødesammensætningen, hvorved der forventes et reduceret areal med vinterhvede.
- Det antages, at ikke alle arealer der kan indgå i tilskudsordninger oprinder fra landbrugsarealet, hvilket giver et mindre fald i det dyrkede areal.

For yderligere sammenligning af KF23 og KF22 forløbene henvises til afsnit 2.3.1.

2.2 Metode og antagelser bag KF23 forløbet

Beregning af kulstofpuljeændringer på landbrugsarealer og øvrige arealer udføres med forskellige metoder for hver kulstofpulje (dvs. levende biomasse, død biomasse, mineraljord og kulstofrig jord) og er baseret på IPCC's retningslinjer fra 2006. Udledningerne fra landbrugsarealet baserer sig på relativt kompleks modellering, dog med undtagelse af bl.a. udledninger fra kulstofrig jord, som estimeres med nationale emissionsfaktorer. Der henvises til kapitel 4 om DCE-modeller eller DCE's egne rapporter for en mere udførlig beskrivelse.

Landbrugsarealer indeholder store mængder kulstof, som gennem tiden er bundet i jord og i biomasse under jorden (f.eks. rødder og nedpløjede afgrøderester) og over jorden (f.eks. markkrat, kornafgrøder mm.). Planter optager CO₂ fra atmosfæren, når de vokser. Når planterester, rødder og andet organisk materiale efterlades på marken, vil en del af kulstoffet under nedbrydning inkorporeres som en del af jordens organiske materiale og dermed bidrage til opbygning, nedbrydning eller vedligeholdelse af jordens kulstofpulje. Afhængigt af ligevægtstilstanden i jordens kulstofpulje (ligevægt mellem hvor meget organisk materiale der tilføres, fjernes og nedbrydes), vil kulstoffet enten lagres i jorden eller blive mineraliseret, hvorved kulstoffet oxideres og vender tilbage til atmosfæren som CO₂.

Jordtyper i det danske landbrugsareal

Det danske landbrugsareal kan groft sagt inddeles i tre overordnede jordtyper:

1. Lerjord: Landbrugsmarker som ligger på lerjord og hovedsageligt bruges til planteavl. På disse marker antages jordens kulstofpulje på landsgennemsnit at være i ligevægt.
2. Sandjord: Dyrkede sandjorde der generelt har et lille kulstofoptag. Arealerne er koncentreret i den vestlige del af landet, hvor størstedelen af husdyrproduktionen foregår. Disse tidligere hedearealer har i udgangspunktet et lavt indhold af organisk materiale (kulstof), men som følge af opdyrkning og intensiv dyrehold er der i en årrække blevet tilført store mængder organisk materiale både fra husdyrgødning, efterafgrøder og



græs i sædskiftet. Dermed opbygges jordens kulstofpulje langsomt, indtil der indtræffer en ny ligevægt mellem nedbrydning og tilførsel af organisk materiale.

3. Kulstofrig jord: Organisk landbrugsjord med et højt kulstofindhold, herunder drænedede arealer på tidligere mosejord (såkaldte lavbundsjord) og andre arealer, der tidligere har stået under vand. Fra disse jorde udledes store mængder CO₂ ved opdyrkning. Når jorden drænes og dermed iltes, vil den høje koncentration af organisk materiale i jorden nedbrydes hurtigere end mængden der tilføjes, og dermed føre til udledninger. Udledningen kan reduceres, hvis dræning og dyrkning ophører, og den naturlige tilstand genetableres ved enten helt- eller delvist vanddække. I den nationale emissionsopgørelse og fremskrivning inddeles kulstofrige jorde i to klasser: arealer med 6 til 12 pct. organisk kulstof og arealer med over 12 pct. organisk kulstof (tørvejord).

Ler- og sandjord går under fællesbetegnelsen mineraljord, på grund af deres lave indhold af organisk kulstof. Mineraljord dækker over de allerfleste jordtyper i det danske jordbundsklassificeringssystem (JB) og udgør langt størstedelen af det samlede landbrugsareal. Kulstofrig jord med over 6 pct. organisk kulstof udgør ca. 6 pct. af det samlede danske landbrugsareal.

2.2.1 Generelle antagelser og metode

Datakilder til fremskrivning af landbrugsarealet

Til fremskrivningen af landbrugsarealet og afgrødesammensætningen anvender DCE Landbrugsfremskrivningen (Jensen, 2023), historisk data fra Internet Mark Kort (IMK) fra Landbrugsstyrelsen som indeholder direkte markregistreringer om placering, sammen med data fra forskellige arealregistre for udvikling af Danmarks samlede fremskrevne areal. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO) ved Københavns Universitet udarbejder landbrugsfremskrivningen ved hjælp af den europæiske AGMEMOD model.

AGMEMOD er en økonometrisk, dynamisk ligevægtsmodel for landbrugssektorerne i EU's medlemslande samt andre vigtige handelspartnere. AGMEMOD blev opdateret i foråret 2022, og det er den opdaterede model, der er blevet benyttet til dette års Landbrugsfremskrivning. Med opdateringen, er det blevet muligt at fremskrive til 2040, med hensyntagen til EU-landenes markedsbalancer. Dette er en ændring fra sidste års Landbrugsfremskrivning, hvor der blev fremskrevet til 2030, og foretaget en partiel fremskrivning af årene 2031-2040 (Jensen, 2023). For en yderligere gennemgang af AGMEMOD-modellen henvises til bilag 1.1 i kapitel 1 om modeller i landbrugs- og LULUCF-sektoren.



Foruden den fremskrevne afgrødesammensætning fra Landbrugsfremskrivningen, benytter DCE de detaljerede kort (IMK) for afgrødefordelingen på jordbundstyper sammen med et kort over kulstofindhold i jorden (Tekstur2014) udarbejdet af Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA) ved Aarhus Universitet. Overlapsanalyser mellem Tekstur2014-kortet og IMK muliggør bl.a. en vurdering af størrelsen på de historiske projektarealer fra støtteordninger til udtag af kulstofrig jord eller andre ændringer i arealanvendelsen forårsaget af bl.a. politisk vedtagne tiltag. Årligt indsamler DCE data fra forskellige arealregistre for at inddele hele Danmarks areal i de seks IPCC-definerede arealklasser: skov, dyrket mark, græsarealer, vådområder, bebyggelse og andre arealer, der tilsammen udgør den såkaldte arealmatrix. Fordelingen ændrer sig i fremskrivningen, på baggrund af forventningerne.

Økologisk vs. konventionel produktion

Den økologiske landbrugsproduktion indgår i det samlede datagrundlag for fremskrivningen af udledninger fra landbruget. Dette omfatter at økologiske afgrøder modelleres sammen med de konventionelle til beregninger af kulstofændringer i jordpuljen. Det betyder, at den forventede udvikling af f.eks. arealet og afgrødesammensætningen er en samlet vurdering på baggrund af historisk data for både økologisk og konventionel produktion. En vigtig faktor er høstudbyttet per hektar, som er baseret på data fra Danmarks Statistik kombineret med en model for udbyttestigning lavet af DCA (Jensen & Thomsen, 2021). I forbindelse med KF23 er denne opdateret af DCE med de seneste års observerede udbytter. Udbyttene er en kombination af udbytter fra konventionelt drevne landbrug og fra økologiske landbrug. Implicit indgår økologi således i de nuværende opgørelser og fremskrivninger, men der mangler f.eks. at blive taget højde for forskelle vedr. kvælstofanvendelse, jf. afsnit 1.3.3.

2.2.1.1 Metoder for beregning af udledning fra jord

Ved beregning af ændringer i kulstofpuljen i mineraljord anvender DCE den dynamiske model C-TOOL. Baseret på balancen mellem den årlige tilførsel og nedbrydning af organisk materiale beregner C-TOOL den årlige ændring i den samlede kulstofpulje og dermed udledning eller optag af CO₂. Som input til modellen bruges bl.a. den samlede årlige tilførsel af organisk kulstof fra alle afgrøder (avner, stakke, halm, stub og rødder), inkl. efterafgrøder og husdyrgødning.

I realiteten nedbrydes det organiske materiale i jorden med forskellige hastigheder. Modeludvikling baseret på langvarige markforsøg har vist, at hoveddynamikken i et mellemlangt tidsperspektiv kan repræsenteres med relativt få konceptuelle puljer. I C-TOOL beskrives dynamikken i jordens kulstofpulje med tre puljer, som svarer til frisk materiale, humificeret materiale og resistent materiale. C-TOOL betegnes derfor som en dynamisk 3-puljet jordkulstofmodel, hvor det organiske kulstof

nedbrydes efter første ordens henfald med halveringstider på 0,6-0,7 år, 30-40 år og 600-800 år for de tre kulstofpuljer. Modellen er kalibreret eksplicit for otte regioner i Danmark, der hver har 2-3 forskellige mineraljordstyper. Ud over tilførslen af organisk materiale er modellen følsom over for ændringer i vejret, hvilket kan medføre nettoudledninger i år med varme tørre somre og netto-optag i koldere vådere år, hvor udbyttet stadig er gennemsnitligt. De fremskrevne temperaturer er udarbejdet af DMI.

Fra kulstofrig jord på landbrugsarealer opgøres metan- og CO₂-udledninger i LULUCF-sektoren. CO₂-udledningerne er opdelt på direkte udledning ved nedbrydning af organisk materiale til CO₂ og indirekte udledning via udvasket organisk materiale fra disse jorde (Dissolved Organic Carbon, DOC). For den direkte CO₂-udledning bruges nationale emissionsfaktorer baseret på målinger. Emissionsfaktorerne varierer alt efter, om et givet areal er i omdrift (almindeligt dyrket areal der indgår i produktionsdriften), græsareal eller dårligt drænet. For det sidste gælder, at det kun anvendes for landbrugsarealer uden for markkortene i IMK. Emissionerne fra jorde med 6-12 pct. organisk kulstof antages at være halvt så store som for arealer med over 12 pct. organisk kulstof.

Til beregning af indirekte DOC-CO₂ og metan-udledninger bruges IPCC-standardemissionsfaktorer. Selve beregningen af udledningen er simpel, idet den passende emissionsfaktor ganges med arealets størrelse, men den relativt detaljerede inddeling af emissionsfaktorer bevirker, at der i alt bruges 18 forskellige faktorer for CO₂- og metanudledningerne, som for overblikkets skyld kan ses i tabel 2.1. Drænet kulstofrig jord udleder også lattergas (N₂O), som for landbrugsarealerne opgøres i landbrugssektoren (jf. kapitel 1), men for skov opgøres i LULUCF-sektoren.

Tabel 2.1 Oversigt med emissionsfaktorer for kulstofrig landbrugsjord

	Emissionsfaktorer (t CO ₂ e. / ha)					
	Mere end 12 % organisk kulstof			Mellem 6 og 12 % organisk kulstof		
	Omdriftsareal	Græsarealer	Udenfor IMK / dårligt drænet	Omdriftsareal	Græsarealer	Udenfor IMK / dårligt drænet
Direkte CO ₂	42,2	30,8	12,8	21,1	15,4	6,4
DOC- CO ₂	1,1	1,1	1,1	0,6	0,6	0,6
Metan	0	1,9	2,4	0	0,9	1,2
Lattergas*	3,9	2,4	0,5	1,9	1,2	0,2

**Lattergasudledningerne afrapporteres i landbrugssektoren.*

Kilde: Energistyrelsen og oplysninger fra DCE.

Klimaeffekten af udtagning af kulstofrig jord er lig med forskellen i emissionsfaktorerne for arealets før- og eftertilstand. Efter udtagning vil der fortsat være en metanudledning fra arealerne, som antages svarende til en



emissionsfaktor for vådområder på kulstofrig jord (6 ton CO₂e /ha). Som det fremgår opnås en større klimaeffekt ved at udtage og vådlægge veldrænet, dyrket kulstofrig jord, end ved udtagning af dårligt drænet våd kulstofrig jord.

2.2.1.2 Politiske tiltag der påvirker udledningerne

Fremskrivningen af landbrugsarealernes optag og udledninger påvirkes af en række politiske tiltag. Det gælder bl.a. den forventede reduktion i landbrugsbrugsarealet (herunder især til udtag og vådlægning af kulstofrig jord), en forlængelse af støtten til målrettet regulering efter 2023, en generel øget kvælstofindsats, samt et øget landbrugsareal med forbud mod tilførsel af gødning, bl.a. på grund af nye ekstensiveringsordninger og EU-krav (herunder anvendelse af arealer uden produktion som f.eks. braklægning). Forudsætningerne for dette års klimafremskrivning kommer hovedsageligt fra *Aftale om grøn omstilling i dansk landbrug af 4. oktober 2021* (herefter landbrugsaftalen) samt EU's landbrugspolitik for 2023-2027. Der redegøres herfor i afsnit 2.2.2. De enkelte forudsætninger fra CAP'en, hed i Landbrugsaftalen *eco-schemes*, men har siden undergået navneforandring til *bioordninger*. Der er ikke sket nogen indholdsmæssige ændringer med navneskiftet.

2.2.2 Frozen policy antagelser til KF22

Udledninger og optag fra landbrugsarealer fremskrives via en "frozen policy" tilgang. Det betyder, at fremskrivningen og udledningsestimatet udelukkende påvirkes af politiske tiltag, såfremt de er politisk vedtaget.

Den seneste Landbrugsfremskrivning (Jensen, 2022) samt KF23 indeholder forudsætninger om effekten af både EU's landbrugspolitik (CAP) for perioden 2023-2027 og landbrugsaftalen af d. 4 oktober 2021. Disse tiltag blev indregnet første gang i sidste års klimafremskrivning (KF22) og er også indregnet i KF23. Som en general antagelse for alle medtagne forudsætninger, forventes det at samtlige afsatte beløb i ordningerne vil blive udmøntet.

Nedenfor ses hovedforudsætninger fra Landbrugsaftalen og CAP'en, som er medregnet i KF23:

- Forventet permanent udtagning af landbrugsarealer via støtteordninger. Udtagningen af kulstofrig jord, vil reducere CO₂ udledningen fra landbrugsarealet, hvor et øget vandindhold vil stoppe den hurtige omsætning af organisk materiale. Der vil komme en metanudledning for udtaget kulstofrige jorder, som der tages højde for i de samlede beregninger. Samlet set vil der være en positiv klimapåvirkning. I KF23 antages en optimal vådlægning af samtlige kulstofrige arealer. For skovrejsning vil der være en positiv klimaeffekt, i takt med skoven vokser.



- Permanent udtagning af 22.000 ha lavbundsjord frem mod 2030. Af det samlede projektareal på 22.000 ha forventes kulstofrig jord at udgøre 16.500 ha. Til KF23 forventer Fødevareministeriet en udtagelseshastighed på 3 år fra bevilling til udtagning af arealer.
- LDP- lavbundsprojekter og LDP-vådområdeprojekter (kvælstof og fosfor), for projektarealer der ligger på kulstofrig jord. Det forventes at 6.700 ha og 300 ha kulstofrig jord omfattes af hhv. kvælstof- og fosforvådområdeprojekter.
 - Permanent udtagning til skovrejsning. Den samlede besluttede pulje til skovrejsning fra 2021 og frem til 2030 er estimeret til at resultere i ca. 28.000 ha, jf. kapitel 3 om skov.
- Forventet ekstensivering af landbrugsjord i omdrift. Generelt forventes ordninger at have en positiv klimaeffekt. For arealer der ikke længere gødes, vil lattergasudledningerne falde og for arealer med permanent eller mere græs vil opleve en stigning i jordens kulstofpulje:
- Bioordning for ekstensivering med slæt, der giver støtte til ekstensivering af omdriftsarealer på kulstofrig jord i med mere end 6 pct. kulstofindhold, og på randarealer i ådale. Det antages, at ordningen medfører ekstensivering af i alt 38.000 ha kulstofrig jord fra 2023, som klassificeres som ugødet græsareal.
 - Nye miljøkrav fra CAP'en. GLM 8 stiller krav om, at landbrugeren skal sikre, at mindst 4 pct. af bedriftens omdriftsareal udgøres af ikke-produktive arealer og stedfaste landskabselementer. GLM 8 kravet indebærer, at ca. 82.000 ha skal udlægges med ikke-produktive arealer og stedfaste landskabselementer. FVM har i deres vurdering antaget at dette vil medføre en reel ekstensivering på 32.200 ha, da visse landbrugere allerede under det grønne krav om miljøfokusområder har udlagt arealer og elementer, der kan indgå i opfyldelsen af 4 pct. kravet. Arealerne og elementerne må ikke anvendes landbrugsmæssigt, hvilket også omfatter et forbud mod slæt, afgræsning, gødsning og sprøjtning.
 - Bioordning for biodiversitet & bæredygtighed støtter frivillig udlæg af ikke produktive arealer uden produktion ud over, hvad der er pålagt via basisforpligtelsen GLM 8. Det forventes, at der under denne ordning udlægges omkring 50.000 ha landbrugsjord med brak, markbræmmer eller småbiotoper. Arealer og elementerne må ikke anvendes landbrugsmæssigt, hvilket også omfatter et forbud mod slæt, afgræsning, gødsning og sprøjtning.
- Øvrige tiltag, som forventes at have en klimaeffekt:



- Bioordning for økologisk arealstøtte fører til en stigning i det økologiske areal på ca. 50.000 ha frem mod 2030. Fremskrivningen af det økologiske areal, kommer fra IFRO's landbrugsfremskrivning, hvor de forbedrede omlægnings-satser fra CAP er medtaget. Landbrugsfremskrivningen viser at stigningen i økologiske arealer hovedsagligt vil komme som udtryk i flere arealer med økologiske salgsafgrøder.
- Den målrettede regulering (fra 2026 erstattet med ny reguleringsmodel), for at reducere kvælstofudvaskningen medfører et øget krav om efterafgrøder og braklægning som reducerer drivhusgasudledninger bl.a. via en øget kulstoflagring, hvorfor effekten medregnes i LULUCF-sektoren, mens effekter fra f.eks. reduceret lattergasudledning fra gødning indregnes i landbrugssektoren. Som resultat af Landbrugsaftalen er der fastlagt indsatsbehov under den målrettede regulering frem til 2030 for at reducere kvælstofudvaskningen ved at der samlet udlægges 959.000 ha indsatsarealer fra 2027, hvoraf de 770.000 ha forventes at være efterafgrøder der bidrager til kulstofopbygning i landbrugsjorderne.

For landbrugsaftalen er der forsøgt indregnet de tiltag, som er vedtaget under kategorien "nye indsats" på baggrund af den nuværende viden om implementering, hvorimod tiltag under kategorien "udviklingstiltag" ikke er medregnet, da der ikke er truffet politisk beslutning om implementering af disse. For perioden efter 2030 for de tiltag, hvor der endnu ikke er fastsat midler, fastholdes 2030 niveauet. Dette gælder f.eks. tiltag fra CAP 2023-27 som følge af "No Backsliding" princippet i CAP'en, således at der f.eks. ikke fremskrives yderligere skovrejsning og udtag til vådområder, dette gælder f.eks. skovrejsning og udtagning af kulstofrig jord.

2.3 Kvalificering af KF23 forløbet

2.3.1 Sammenligning med KF22

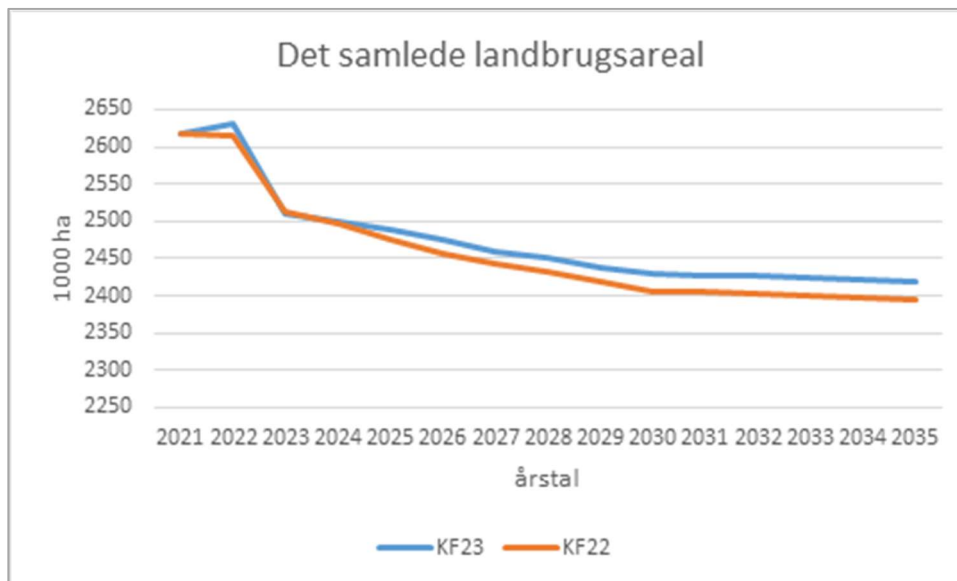
Landbrugsarealets størrelse

Til KF23 forventes det samlede landbrugsareal at falde en smule mindre, sammenlignet med KF22 (Figur 2.2). Dette skyldes at Fødevarerministeriet har vurderet, at cirka 25 pct. af arealerne, som forventes udtaget fra de forskellige lavbundsordninger som Fødevarerministeriet håndterer, ikke stammer fra landbrugsarealet.

På baggrund af forudsætningerne til KF23, forventes det samlede landbrugsareal at falde med 188.000 ha i perioden 2021-2030, sammenlignet med 215.000 ha i KF22. Det forventes at et større landbrugsareal vil samlet set vil øge

udledningerne, ved direkte og indirekte lattergasudledning, men at den nye implementering af efter- og produktionsafgrøder jf. næste afsnit, vil øge optaget, og samlet give en ligevægtig nettoeffekt.

Figur 2.2. Det samlede landbrugsareal i KF22 og KF23.



Kilde: (Jensen, 2023)

Efterafgrøder & afgrødesammensætning

Til KF23 er der foretaget en justering af forholdet mellem vinterhvede og vårbyg oven på resultaterne fra landbrugsfremskrivningen. Med resultatet af den opdaterede AGMEMOD model, som bruges til at fremskrive afgrødesammensætningen, er det ikke muligt at bibeholde den nuværende afgrødesammensætning, samt implementere det antal hektar efterafgrøder som FVM vurderer sået i 2027, som følge af målrettet regulering. Et øget efterafgrødeareal vil øge udledningen af lattergas fra planterester, da det øger mængden af planterester, samt øge optaget af kulstof i jorden med øget input af organisk materiale, der samlet set forventes at ville føre til et øget optag.

FVM forventer udlægning af samlet set 770.000 ha kulstofopbyggende efterafgrøder fordelt på 516.000 ha målrettede, 238.000 ha pligtige, og 16.000 ha efterafgrøder uden for ordning. For at dette kan lade sig gøre, forventes det høje efterafgrødeareal at medføre en forholdsmæssig forøgelse af vårbyg på bekostning af vinterhvede. Dette betyder, at der i KF23 sker en reduktion af hvedearealet fra 2027 og frem, og tilsvarende stigning af bygarealet. Dette svarer til en forventet reduktion på ca. 100.000 ha vintersæd fra 2027 og frem i forhold til forventningerne uden et højt efterafgrødekrav. Det er dog usikkert, om der vil ske en fuld udbredelse af efterafgrøder, da der også er en mulighed for at landbrugere vælger



et andet alternativ til opfyldelse af kravet (f.eks. kvotetræk i kvælstofgødningsnormen, tidlig såning eller præcisions jordbrug).

2.3.2 Usikkerhed

Udledninger og optag fra landbrugsarealer er følsomme over for udsving i udbytter og vejret, og følgelig har nettoudledningerne fra LULUCF de sidste 10 år svinget mellem 4 og 5,5 mio. ton CO₂e/år. De fremtidige udledninger afhænger derfor både af implementeringen af politikker og fremtidens vejr-situation. Ved fremskrivning af udledninger er derfor baseret på brug af et "normalt vejrår" for at undgå vejr-baseret udsving i fremskrivningsårene.

Generelt vurderes det, at opgørelse af udledninger og optag i LULUCF-sektoren er forbundet med en større metodisk usikkerhed end for de fleste andre sektorer. Det skyldes, at nettoudledninger og –optag i mineraljorder er et resultat af små ændringer i meget store kulstofpuljer, og især afhænger af en række usikre parametre vedrørende udledningerne fra de drænede kulstofrige organiske jorder, hvor mængden af fritlagt organisk materiale er meget usikkert bestemt samt hvor stor en del af denne kulstofmængde, der reelt nedbrydes årligt. Det afhænger i høj grad af arealernes dræningstilstand.

Emissionsfaktorer for kulstofrig jord

DCE beregner udledningerne fra kulstofrig jord baseret på standardiserede udledningsfaktorer. Foreløbige indikationer peger på, at dyrket kulstofrig landbrugsjord er mindre drænet og dermed mere vandmættet, end der er lagt til grund for DCE's opgørelse og fremskrivning. Det betyder, at udledningen kan være lavere end antaget beregningsteknisk. Usikkerhed omkring antagelsen, at jorde med 6-12 pct. kulstof har en emission svarende til halvdelen af jorderne med >12 pct. kulstof, kan omvendt betyde at udledningen muligvis er højere end beregnet, hvilket dermed også ville give en højere udtagnings-effekten. Bl.a. på baggrund af dette er der igangsat et arbejde med at sikre bedre viden om udledningerne jf. afsnit 2.3.3. Det samlede resultat bliver ikke nødvendigvis meget anderledes end det estimerede pga. de to modsatrettede metodiske usikkerheder.

Udtagning af kulstofrig jord

I øvrigt er der en generel usikkerhed forbundet med, hvor mange år der vil gå fra bevilling gives indtil arealer reelt udtages og vådgøres. Ligesom i KF22 anvendes i DCE's beregninger til KF23 en antagelse om, at der går tre år fra bevilling til effekten indtræder, men der forventes at være tilfælde, hvor det kan tage længere tid. Ligeledes er den forventede udtagning af landbrugsarealer baseret på frivillige ordninger. Udtagningsarealet, herunder fordelingen over årene, er således behæftet med stor usikkerhed. For at vurdere konsekvensen af eventuelle ændringer i hastigheden for udtagning af kulstofrige jorder vil der til KF23 blive udarbejdet en følsomhed, hvor hastigheden fra bevilling til effekten indtræder vil være på hhv. 5 og 7 år.



Fremskrivning af landbrugsarealets størrelse

Med udfasningen af betalingsrettigheder fra 2023, forventer Fødevareministeriet at det danske landbrugsareal der modtager landbrugsstøtte, og dermed klassificeres som landbrugsareal i klimafremskrivningen, muligvis vil stige. En eventuel stigning er ikke medtaget, da ansøgningsrunden for medtagelse af arealer, der før ikke var underlagt betalingsrettigheder løber fra februar til april 2023, og dermed ikke kvalificeres som Frozen Policy, jf. forudsætningsnotat om principper og politikker.

2.3.3 Planlagt udvikling fremadrettet

Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet har igangsat et forskningsarbejde, der skal sikre bedre viden om, hvordan udledningerne fra kulstofrig jord kan beregnes mere retvisende. I den forbindelse kan udledningsestimaterne forventes at blive revideret, men da der er tale om et omfattende dokumentationsarbejde, forventes dette ikke at kunne indarbejdes allerede i forbindelse med Klimafremskrivningen i 2023. Resultaterne forventes implementeret i den nationale emissionsopgørelse til EU og FN fra januar 2024.

Fødevareministeriet har nedsat en ekspertgruppe, hvis formål er at komme med forslag der kan øge hastigheden for udtagningen af kulstofrig landbrugsjord. Arbejdet forventes afsluttet inden udgangen af 2023, og forventes medtaget i forudsætningerne til KF24.

Klimastatus og –fremskrivning 2023

Landbrugsprocesser, landbrugsarealer og skov

Sektorforudsætningsnotat

28. april 2023



Energistyrelsen

2.4 Kilder

Danmarks Statistik (2022), JORD1: Resultatopgørelse for alle bedrifter: gennemsnit efter bedriftstype, region, standardoutput, kvartilgruppe og regnskabsposter. Link: <https://www.statistikbanken.dk/JORD1>

Jensen, J. D., (2022). Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2040 - efteråret 2021, 45 s., IFRO Udredning Nr. 2022/04

Jensen J.D. (2023) Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2040 – efteråret 2022, IFRO rapport nr. xxx. [LINK indsættes efter publicering]

Jensen, J.L., Thomsen, I.K. 2021. Udvikling i udbytter for danske landbrugsafgrøder. 4 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 21. november 2021.

28. april 2023

Kapitel 3: Skov og høstede træprodukter

3.1 KF23 forløbet frem mod 2035

Dette kapitel beskriver de forudsætninger, der anvendes til at fremskrive danske skoves forventede optag og udledninger af drivhusgasser, primært CO₂, samt optag og udledninger fra høstede træprodukter.

KF23's opgørelse for skov indgår som en del af LULUCF-sektoren¹⁰. Det er Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet der er ansvarlig for fremskrivningen af udledninger og optag fra skove. Til KF23 anvendes resultaterne fra en skovfremskrivning, som Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet udarbejdede til KF22 (Energistyrelsen 2022a).

Forudsætningerne for skovfremskrivningen fra IGN beskrives i dette notat. Skovfremskrivningen er endvidere beskrevet nærmere i en selvstændig publikation offentliggjort af IGN i februar 2022 (IGN 2022a).

Ifølge skovfremskrivningen forventes nettooptaget i skov og høstede træprodukter at blive reduceret fra 2,3 mio. ton CO₂e i 2020 til 0 mio. ton CO₂e i 2025 og herefter stige til 0,4 mio. ton CO₂e frem mod 2035. Udledningsopgørelsen fremgår af (Energistyrelsen 2022c, figur 1).

Kulstofpulje i danske skove og træprodukter mv.

Danske skove er ifølge den danske skovstatistik (IGN 2021, tabel 1.13) siden 1990 vokset både i areal og tæthed i form af vedmasse pr. hektar. Det skyldes bl.a. fortsættelse af en skovrejsning, der startede efter Skovloven i 1805 samt en kontinuerlig opbygning af vedmassen efterhånden som skovenes træer er vokset til. Ved tilvæksten har skovenes træer optaget CO₂ fra atmosfæren.

Skovarealet er ifølge den seneste opgørelse (Skovstatistik 2020) siden 1990 blevet øget med ca. 17% til ca. 633.000 ha og skovenes samlede kulstoflager er steget kontinuerligt og er således nu øget med ca. 51% ift. 1990. Skovene havde i 2020 et samlet estimeret kulstoflager på godt 52 mio. ton kulstof (C) i levende biomasse under og over jorden (rødder, grene, blade m.v.), i dødt ved (dødt træ) samt i blade og nåle på jorden (litterlag). Det svarer til ca. 192 mio. tons bundet CO₂. Hertil

¹⁰ LULUCF står for "Land Use, Land-Use Change and Forestry", der kan oversættes til "arealanvendelse, arealændringer og skovbrug". Her opgøres hovedsageligt CO₂-udledninger fra ændringer i kulstofpuljerne i biosfæren dvs. jord, levende biomasse og dødt biomasse (fx rødder og planterester), men også lattergas- og metan-udledninger fra kulstofrig jord.

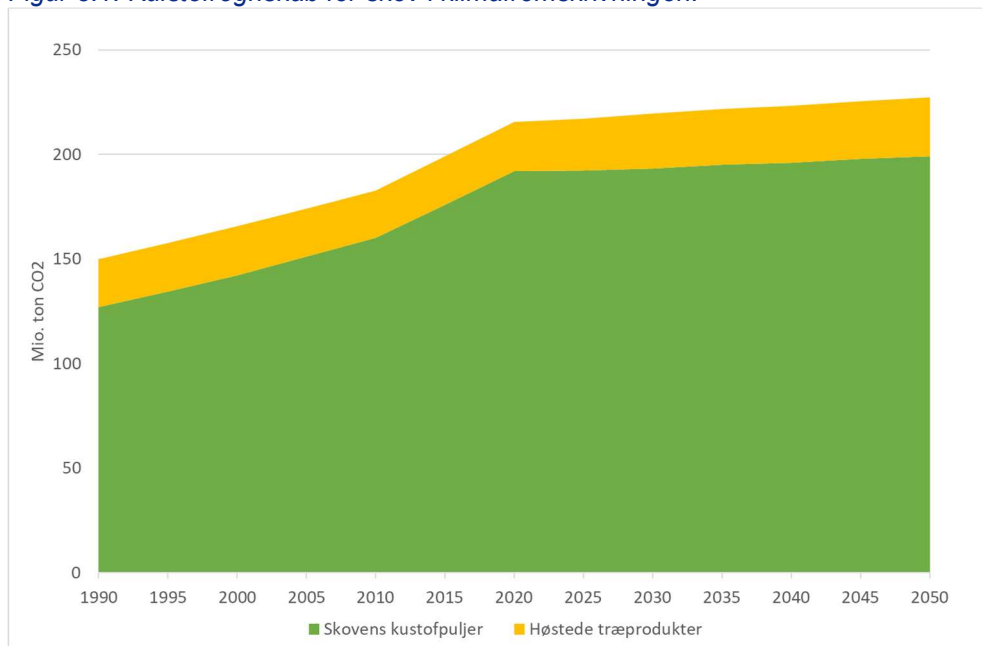


kommer knap 7 mio. tons kulstof i træprodukter¹¹ svarende til ca. 24 mio. tons CO₂. Og endelig er der bundet kulstof i skovjord.

Skovfremskrivningen fra IGN estimerer de forventede udledninger og optag af CO₂ fra disse puljer og fra puljen af høstede træprodukter frem mod 2035 og 2050 og længere frem. Hertil kommer at en mindre mængde kulstof frigives som metan ved anaerobe processer i særligt fugtige skovjorde, ligesom der sker mindre udledninger af lattergas når jordens organiske kvælstofpulje nedbrydes på de drænedede kulstofrige arealer og ved ophør af dræning heraf.

Den samlede kulstofpulje i skov og høstede træprodukter er stigende frem mod 2050 men stiger kun svagt i årene 2021-2050, *jf. figur 3.1*. Det er kulstofpuljeændringerne hvert år, der giver anledning til udledninger eller optag i Danmarks klimaregnskab. En stigning i kulstofpuljen relativt til foregående år vil give anledning til et CO₂-optag det pågældende år, mens et fald i kulstofpuljen modsat vil give anledning til en udledning.

Figur 3.1: Kulstofregnskab for skov i klimafremskrivningen.



Note: Det kan bemærkes at figuren ikke stemmer overens med den seneste skovstatistik (skovstatistik 2021). Det skyldes at der i den historiske opgørelse for 2021 har været et højere CO₂-optag end forventet i skovfremskrivningen. Der vil blive taget hånd om det opståede databrud mellem den historiske drivhusgasopgørelse og fremskrivningen næste gang der udarbejdes en ny skovfremskrivning.

¹¹ Savskåret træ og træpladertil fx byggematerialer.



Årsagen til at kurven for årlige stigninger i kulstofpuljen aftager fra år 2021, er at der i fremskrivningsårene fra 2021 og frem mod 2050 er indregnet hugst af træ (tynding og hovedskovning) med et kulstofindhold, der samlet set kun er lidt lavere end skovens bruttooptag af kulstof fra atmosfærens CO₂. Den samlede årlige mængde af kulstof bundet i træer der forventes fjernet ved hugst og foryngelse er højere end de værdier der ifølge skovstatistik 2020 årligt er fjernet historisk. Størstedelen af det kulstof der fjernes fra skoven udledes som CO₂, når træet afbrændes til fx energiformål. En mindre del af kulstoffet tilgår lageret i træprodukter (se beskrivelse under trin 5 i bilaget), hvor det løbende nedbrydes sammen med det fra tidligere tider ophobede kulstoflager.

Det grønne areal i figur 3.1 er summen af mængden af kulstof (omregnet til CO₂) bundet i skovens kulstofpuljer: levende biomasse under og over jorden (rødder, grene, blade m.v.), dødt ved (dødt træ), blade og nåle på jorden (litterlag), men eksklusiv skovjordens kulstofindhold. Det gule areal viser mængden af kulstof i høstede træprodukter (HWP).

Figuren illustrerer endvidere, at skovfremskrivningen forsøger at forudsige, om der i årene fremover vil være nettooptag eller nettoudledninger fra puljerne af kulstof lagret i skov og høstede træprodukter. Estimeringen er bl.a. baseret på antagelser om, hvordan skovarealet vil udvikle sig, hvor meget kulstof træerne vil optage ved vækst, hvor meget kulstof, der vil blive fjernet fra skovene ved tynding (fjernelse af dele af træerne i skovarealerne) og hovedskovning (hvor stort set samtlige træer på arealet fældes), samt om der vil blive tilført mere kulstof til puljen af træprodukter, end der vil blive udledt. De grønne og gule områder i figur 3.1 illustrerer således mængden af CO₂ bundet i skovenes levende og døde biomasse samt i høstede træprodukter.

Ændringer ift. KF22

Da fremskrivningen fra IGN til KF22 genanvendes som grundlag i KF23, er der ikke ændringer i forudsætningerne for skov og høstede træprodukter sammenlignet med KF22, bortset fra at CO₂-optaget i det historiske år 2021 har vist sig at være højere end forventet i skovfremskrivningen.

3.2 Metode og antagelser bag KF23 forløbet

3.2.1 Generelle antagelser og metode

Opgørelsesmetode anvendt for danske skove

Opgørelsen af drivhusgasudledningen skal ifølge Klimaloven følge FN-reglerne og dermed de guidelines, IPCC har udarbejdet (IPCC 2014). Den danske opgørelse



og fremskrivning er baseret på den såkaldte "stock-difference"-metode, som er en af to metoder, der kan anvendes.¹²

Den danske stock-difference-opgørelse er baseret på opgørelse af skovens kulstoflager (stock) baseret på Danmarks Skovstatistik (NFI) og deraf følgende beregning af ændringer i kulstoflageret over årene (difference). For hvert år foretages en opgørelse baseret på midling af 10 års målinger og resultatet udgør de årlige rapporteringer. Der opgøres ændringer i kulstofpuljerne lagret i skovens levende og døde biomasse, i skovjord samt i høstede træprodukter. Dette gennemgås mere detaljeret i bilaget nedenfor.

Ud fra den aktuelle tilstand i skovarealernes lagrede kulstofmængde beregnes de forventede fremtidige udledninger og optag på baggrund af følgende nøgleantagelser som beskrives i input- og outputfiler offentliggjort af IGN (IGN 2022b) samt i IGN's skovfremskrivningsrapport (IGN 2022a):

- Stigende kulstofindhold i løv- og nåleskove på øerne og i Jylland afhængigt af aldersklassen for træerne på arealerne (figur 3.2 i bilaget)
- Overlevelsessandsynligheder for løv- og nåleskove på øerne og i Jylland (figur 3.3 i bilaget)
- Emissionsfaktorer for CO₂, N₂O og CH₄ fra skovjord
- Andelen af kulstof fra hugsten der lagres i træprodukter (tabel 3.1 i bilaget)

De væsentligste hovedforudsætninger i skovfremskrivningen er som følger og kan opdeles i nogle trin:

- Trin 1: Fastlæggelse af det historiske udgangspunkt i 2020.
- Trin 2: Fremskrivning af ændringer i kulstofpuljen i eksisterende skovarealer (levende og død biomasse i skoven).
- Trin 3: Kulstofoptag i ny skovrejsning.
- Trin 4: Udledninger fra skovjord.
- Trin 5: Optag og udledninger fra høstede træprodukter.
- Trin 6: Den samlede opgørelse.

Ovennævnte nøgleantagelser og de beregningsmæssige trin beskrives i bilaget.

3.2.2 Frozen policy antagelser til KF23

Skovfremskrivningen skal som udgangspunkt indregne effekten af besluttede virkemidler per 1. januar 2023. Det gælder skovrejsning, der er afsat støttemidler til, jf. tabel 3.1, samt forvaltningstiltag på Naturstyrelsens arealer i form af udskudt hugst og omlægning til urørt skov.

¹² En anden metode, der kan anvendes, er den såkaldte tilvækst og hugst-model "increment and harvest". Det ligger udenfor rammerne af dette notat at beskrive denne anden metode.



De politiske tiltag, der er indregnet i KF23, er identiske med skovfremskrivningen fra KF22, og enkelte nye tiltag indregnes derfor ikke i KF23. Der er således med forslaget til Finanslov 2023 afsat midler i 2026 til ca. 210 ha statslig skovrejsning som forventes etableret i 2028. Desuden afsættes i 2023 midler til ca. 200 ha (under uændrede forudsætninger) til Klimaskovfonden til klimakompensation for statslige flyrejser foretaget i 2021. Disse initiativer er ikke indregnet, da skovfremskrivningen fra KF22 som nævnt genanvendes, men det vurderes umiddelbart, at der er tale om relativt begrænset skovrejsning, som ikke vil have målbar effekt på det samlede fremskrivningsresultat. I alt er indregnet 29.695 ha forventet ny skovrejsning i perioden 2021-2035, heraf 27.935 ha frem mod 2030.

Tabel 3.1: "Frozen policy"-antagelser vedrørende skovrejsning og rydning (ha)

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Sum
¹ Statslig skovrejsning	210	250	280	300	270	270	270				1.850
² Privat skovrejsning med tilskud	1.000	2.000	2.000	2.000	2.570	2.570	2.570	2.570	2.570	880	20.730
³ Klima-skovfonden	0	100	400	500	655	700	700	700	800	800	5.355
⁴ Sum nye initiativer	1.210	2.350	2.680	2.800	3.495	3.540	3.540	3.270	3.370	1.680	27.935
⁵ Konkret indregnet nye initiativer	2.507	2.507	2.507	2.507	2.507	3.080	3.080	3.080	3.080	3.080	27.935
Skovrydning	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-205	-2.050

Anm.:

¹Plantning af statslig skovrejsning sker mindst 2 år efter bevilling pga. arealkøb, samarbejder med kommuner og borgerinddragelse mv. Baseret på ordinære FL midler (MIM), midler fra minkaftale (FVM) og regeringens udspil "Tættere på – grønne byer og en hovedstad i udvikling" (IBM).

²Plantning antages at ske ca. 2 år efter bevilling pga. adm. af regler for tilskudsordninger samt af ansøgningsrunder mv. Baseret på ordinære CAP-midler (FVM) og Landbrugsaftale af 041021 (FVM).

³Klimaskovfonden er etableret i 2020-2021 og påbegyndte de første skovplantninger i 2022. Bedste bud på indfasning er forbundet med usikkerhed. Det forudsættes af bevillingerne bruges senest i 2030. Baseret på FL20-midler (MIM) og budget forudsættes fordoblet af private midler. Herudover bidrag (klimakompensation) for statslige flyrejser (KEFM) jf. FL22.

⁴Herudover indregnes 880 ha. privat skovrejsning med tilskud årligt i 2031 og 2032, idet bevillinger fra 2029 og 2030 først udmøntes i plantning 2 år efter bevillingsårene.

⁵Af beregningstekniske årsager indplaceres skovrejsningsarealerne lidt anderledes henover årene i IGN's skovfremskrivningsmodel. Det skyldes, at modellen ikke har årlige tal, men i stedet opererer med 5-års aldersklasser.

Der indregnes effekt af den skovrejsning, der kan etableres for kendte midler og bindende politiske aftaler, herunder afledte markedseffekter af igangsatte initiativer. Der er fsva. den CAP-finansierede del antaget indregnet CAP-midler til skovrejsning i CAP-perioden, som udløber i 2027. For skovrejsning, der finansieres via klimaskovfonden, medtages det, der kan forventes etableret for den statslige indskudskapital og et tilsvarende forventet indskud fra private investorer frem til 2030 samt den kendte bevilling i 2022 som klimakompensation for statslige flyrejser. Historisk har en del skovrejsning i Danmark været etableret uden om disse ovenanførte finansieringskilder. Sådan skovrejsning er ikke indregnet i den nuværende skovfremskrivning. Der er heller ikke indregnet bevillinger til



skovrejsning efter 2030. Til KF24 vil det blive overvejet om disse forudsætninger evt. bør revideres, jf. afsnit 3.3.3.

Oplysningerne om den forventede skovrejsning er leveret til IGN af Miljøstyrelsen og omfatter midler fra Den Danske Klimaskovfond, aftale om grøn omstilling af dansk landbrug samt de seneste års Finanslovsaftaler. Beregningen af effekten i form af ekstra CO₂-optag i skoven som følge af denne skovrejsning er baseret på et miks af den gennemsnitlige målte effekt af skovrejsning hidtil samt en andel mere hurtigt-voksende træarter, idet nogle midler til skovrejsning er baseret på denne antagelse, jf. beskrivelse i afsnit 3.2.1, trin 3.

Ud over skovrejsning indregnes også 205 ha. skovrydning årligt, jf. tabel 3.1. Dette er baseret på historiske data rapporteret i perioden 2015-2020.

Antagelser vedrørende forvaltning af Naturstyrelsens arealer

KF23 anvender uændrede forudsætninger fsva. udlæg af urørt skov. Det er således lagt til grund for beregningerne, at der samlet opnås knap 75.000 ha urørt skov, heraf størsteparten på statslige arealer. En del af den urørte skov antages at indgå i de kommende naturnationalparker. En del af træerne vil indledningsvist blive veteraniseret, det vil sige omdannet til dødt ved (dødt træ) fx ved fældning eller sprængning, hvorefter de resterende træer vil vokse videre. Desuden vil andele af de eksotiske træarter, hovedsageligt nåletræer, blive fældet og solgt. Konkrete forvaltningsplaner er ikke udviklet endnu, hvor det nærmere omfang af tiltag som fx græsning endnu ikke er kendt. Det er i fremskrivningen antaget at græsning vil berøre ca. en tredjedel af arealet, som beskrevet i vejledninger fra Naturstyrelsen. Såfremt der opstår væsentlige ændringer i forudsætningerne vil de kunne indregnes KF24 eller senere.

Som del af *aftale om grøn omstilling af dansk landbrug* blev det besluttet at reducere hugsten i Naturstyrelsens skove, som ikke er udlagt til urørt skov, med 20% i perioden 2026-2031. Den reducerede hugst er forudsat at medføre en midlertidig stigning i vedmasseniveauet på Naturstyrelsens arealer under fortsat skovdrift. Fra 2032 og frem genoptages hugsten på samme niveau, som før 2026, men fra et højere udgangspunkt. Dvs. at der vil være et højere kulstoflager pga. den reducerede hugst i årene før 2032.

De estimerede effekter på kulstofregnskabet af ovennævnte fremgår af skovfremskrivningen fra IGN (IGN 2022a og 2022b). Effekter af høstede træprodukters substitution af andre materialer eller indirekte effekter af ændret arealanvendelse og produktsammensætning fra skoven indgår ikke i skovfremskrivningen eller i KF23.



3.3 Kvalificering af KF23 forløbet

3.3.1 Sammenligning med KF22

KF23-skovfremskrivningen er identisk med KF22-skovfremskrivningen, idet KF22 genanvendes til KF23.

Sammenligning med skovfremskrivning anvendt til BF20 og KF21

Set ift. den forrige skovfremskrivning, der blev udarbejdet i 2019 og anvendt i BF20 og KF21, har IGN til KF22-fremskrivningen anvendt nogle ændrede overlevelsessandsynligheder, som indebærer en mindre sandsynlighed for at arealer med træer i lave aldersklasser overlever, mens overlevelsessandsynligheden omvendt er forøget for de ældre aldersklasser. Samtidig er kulstoflageret pr ha i alle aldersklasser for nåletræer forøget. Overlevelsessandsynligheder samt kulstoflagring pr. ha skovareal beskrives i bilaget.

3.3.2 Usikkerhed

Klimaloven fastsætter drivhusgasreduktionsmål i relation til nettoudledningen i 1990. Derfor har opgørelsen af skovens historiske nettooptag i 1990 betydning for fastsættelsen af klimamålene. Ligeledes vil nettooptag eller -udledninger blive indregnet i opgørelsen i mållårene. Pga. stor usikkerhed om både historiske og fremtidige nettooptag og –udledninger udgør skovområdet derfor en stor usikkerhed ift. opfyldelse af klimalovens drivhusgasreduktionsmål.

Usikkerhed ift. opgørelse af historisk udgangspunkt

Gennem tiden har der ved flere af de årlige skovstatistikker, der benyttes i de årlige drivhusgasopgørelser, været foretaget justeringer i opgørelsen af skovenes lagrede kulstofpulje samt de årlige nettooptag. Sådanne justeringer har betydning for 1990-nettoudledningen og påvirker dermed hvor meget drivhusgas, der kan udledes i medfør af de i Klimaloven fastsatte drivhusgasreduktionsmål. Justeringerne har også haft betydning for opgørelser af nettooptag siden 1990.

Usikkerhed ift. opgørelse ændringer i lagret kulstof fremadrettet

Fremskrivningen tager udgangspunkt i seneste status for mængden af lagret kulstof samt historiske erfaringer ift. fældningsrater (overlevelsessandsynligheder) og opbygning af kulstof pr ha (efter tynding) for træer i forskellige aldersklasser mm. Fremskrivningens resultat er således generelt baseret på en antagelse om at tynding, hovedfældning og tilvækst for de respektive skovtyper (løv/nål), aldersklasser og områder (Jylland/Øerne) vil være nogenlunde den samme i fremtiden som i fortiden. Samtidig kan tolkning ved statistisk behandling af fx overlevelsessandsynligheder for arealer samt kulstofindhold pr. ha for træer i forskellige aldersklasser variere afhængigt af den valgte statistiske metode.



Samlet vurdering af usikkerhed ift. skov og høstede træprodukter

Generelt vurderes opgørelsen og fremskrivningen af udledninger og optag fra skove og fra puljen af høstede træprodukter samlet set at være forbundet med en større metodisk usikkerhed end for de fleste andre KF-sektorer. Det skyldes, at udledninger og -optag er et resultat af små ændringer i meget store kulstofpuljer. Såvel fremskrivning som opgørelser er derfor baseret på data fra målinger over en løbende 10-årig periode for at sikre statistisk robuste data for rapporteringen.

Samtidig er der mange aktører involveret i forvaltningen af skovarealet, og der er stor fleksibilitet i forhold til en bæredygtig forvaltning af skovarealet. Derfor er der usikkerhed forbundet med at fremskrive skovens årlige optag og udledninger frem mod 2035, fordi det er vanskeligt at forudsige den præcise forvaltning (fx tynding og hovedskovning), der vil blive påvirket af skovens struktur, økonomiske og tekniske udviklinger samt evt. indvirkning af skader på skovene fra vejr, insekter og plantesygdomme.

Endelig er der usikkerhed forbundet med at estimere, hvor store andele af den fældede vedmasse, der ender med at blive lagret i puljen af høstede træprodukter, idet det afhænger af markedsforhold i træindustrien.

Følsomhedsberegninger

Der er i skovfremskrivningsrapporten fra IGN (IGN 2022a) foretaget nogle følsomhedsanalyser med henblik på at vurdere, hvor meget anderledes skovens optag og udledninger forventeligt ville udvikle sig under forudsætning om fx yderligere øget årlig skovrejsning, ændret træartssammensætning i tilplantning/genplantning, ændret antagelse om overlevelseschancer, ændret hugst og ændret andel af de fældede træer, der benyttes til høstede træprodukter og dermed bidrager til at øge mængden af kulstof, der er lagret i træprodukter. Til KF23 planlægges desuden at foretage en følsomhedsberegning ift. ændrede antagelser om de anvendte overlevelsessandsynligheder for skovens træer afhængigt af deres alder.

3.3.3 Planlagt udvikling fremadrettet

IGN's skovfremskrivningsmodel har tidligere vist sig at underestimere skovens CO₂-optag set ift. de efterfølgende årlige opgørelser i skovstatistikken. Det vil frem mod KF24 blive overvejet at bestille en ny opdateret skovfremskrivning og/eller en evaluering af den anvendte fremskrivningsmodeltype mhp. at vurdere modellens usikkerheder og mulighederne for at reducere denne usikkerhed. Der kan fx ses på modelantagelserne om træernes overlevelsessandsynligheder, opbygningen af kulstof pr. ha samt hugstudtag for de enkelte aldersklasser mm. Det kan evt. også overvejes, om man vil kunne foretage en alternativ fremskrivning med en anden type model som fx af en type baseret på antagelser om tilvækst og hugst¹³.

¹³ Increment and harvest-metoden

Herudover vil det blive analyseret hvorvidt der i de senere år er sket skovrejsning uden tilskud og om det evt. kan give anledning til at indregne ny ustøttet skovrejsning i fremskrivningsårene. Og endelig kan der laves følsomhedsberegninger for at vise den mulige effekt såfremt regeringsprogrammets mål om 250.000 ha skovrejsning implementeres.



3.4 Kilder

DCE 2022a, Denmark's national inventory report 2022,
<https://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf>.

DCE 2022b, Projection of greenhouse gases 2020-2040,
<https://dce2.au.dk/pub/SR454.pdf>.

Danmarks Skovstatistik 2021 (National Forest Inventory, NFI),
<https://ign.ku.dk/samarbejde-med-ign/forskningsbaseret-raadgivning/skovovervaagning/danmarks-skovstatistik/>.

Energistyrelsen 2022a, Klimastatus og Fremskrivning 2022,
<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning-2022>, vedlagt bilag om tal- og forudsætningsgrundlaget om LULUCF (se under punktet dataark for resultater).

Energistyrelsen 2022b, Forudsætningsnotat om skov og høstede træprodukter:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/10d_kf22_forudsætningsnotat_-_skov.pdf.

Energistyrelsen 2022c, Sektornotat om skov og høstede træprodukter:
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf22_sektornotat_10d_skov.pdf.

IGN 2016, Danish National Forest Inventory Design and calculations, https://static-curis.ku.dk/portal/files/164970017/Danish_National_Forest_Inventory.pdf.

IGN 2019, Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 – resubmission,
https://static-curis.ku.dk/portal/files/232139225/DNFAP_revised_2019_web20191220.pdf.

IGN 2020, Kulstofbinding ved skovrejsning, https://static-curis.ku.dk/portal/files/241891135/Sagsnotat_kulstof_skovrejsning_20200525_bilag.pdf.

IGN 2021, Skovstatistik 2020, https://static-curis.ku.dk/portal/files/283138747/Rapport_Skovstatistik_2020_web.pdf%20.

IGN 2022a, Skovfremskrivning 2022, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, https://static-curis.ku.dk/portal/files/298732868/KF22skov_drivhusgasregnskab_rapport.pdf.

IGN 2022b, input- og outputdata for skovfremskrivningsmodellen:
<https://erda.ku.dk/archives/cb8fdb7fae2b723db3ea8ec864c4f9f/published-archive.html>.

IPCC 2014, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf.



Kapitel 3 bilag: Uddybning af de væsentligste forudsætninger i skovfremskrivningen

Trin 1: Fastlæggelse af det historiske udgangspunkt i 2020:

Udgangspunktet for fremskrivningen er mængden af kulstof lagret i skovarealer i 2020. Denne mængde fastlægges som en af kerneopgørelserne fra Danmarks Skovstatistik. Beregningerne af den fremtidige udvikling i skovens kulstoflager er tillige i høj grad baseret på data fra Danmarks Skovstatistik (IGN 2021).

Indtil år 2000 blev skovarealet opgjort ved spørgeskemaundersøgelser ved Danmarks Statistik og den historiske udvikling i skovarealet siden 1960 er forsøgt kortlagt ud fra disse oplysninger samt satellitbilleder, hvorfor der er stor usikkerhed forbundet med opgørelsen af det historiske skovareal samt udviklingen i skovarealernes lagrede kulstofpulje (DCE 2022a). Siden 2002 er man overgået til en stikprøvebaseret skovstatistik (NFI), hvor der foretages systematiske målinger af træer, dødt ved og andre elementer i skoven. Med denne metode er der større vished omkring den faktiske tilstand og udvikling i skoven. Usikkerhed forbundet med opgørelser af skovens kulstoflager er ifølge IGN på linje med andre landes tilsvarende skovstatistikker.

Danmarks Skovstatistik er bygget op om et landsdækkende 2 x 2 km net. I hvert af nettets celler er placeret en gruppe bestående af fire prøveflader i hjørnerne af et kvadrat på 200 x 200 meter. Det svarer til en prøveflade pr kvadratkilometer i Danmark (ca. 43.000). Alle prøveflader måles over en fem-årig periode, hvor en femtedel af prøvefladerne jævnt fordelt over landet måles hvert år (IGN 2021). Skovstatistikens prøveflader er cirkulære og har en radius på 15 meter. Der indgår i alt ca. 43.000 prøveflader i netværket, hvor kun skovdækkede prøveflader måles. De skovdækkede prøveflader identificeres forud for hver målesæson ud fra de nyeste luffotos. I den femårige måleperiode 2016-2020 blev der udpeget i alt 9.558 prøveflader med skov fordelt på 4.344 grupper. Målemetoderne beskrives yderligere i bl.a. et metodedokument (IGN 2016). Hvert år udgives en rapport fra Danmarks Skovstatistik med en samlet opgørelse af skovens tilstand og udvikling.

Baseret på dialog med UNFCCC's review teams og input fra et målrettet review af de danske data og metoder, er der fastlagt principper for rapporteringen, der sikrer opgørelse af ændringer i skovens kulstoflager ved at anvende to fulde rotationer af 5 års målinger fra Danmarks Skovstatistik. Dette udnytter ifølge IGN bedst muligt det grundlæggende statistiske design, der er gældende i Danmarks Skovstatistik samtidig med, at de opgjorte ændringer ikke er udtryk for statistiske tilfældigheder. I forbindelse med rapportering efter Kyoto protokollen, har der særligt været fokus på perioden efter 1990.



En del af de data for aktuel forvaltning (fx tynding) og foryngelse (hovedskovning og genplantning), der ligger til grund for skovfremskrivningen, stammer fra Danmarks Skovstatistik, hvor såvel skovenes vedmasse og skovenes dynamik i form af foryngelse (hovedskovning og genplantning) registreres.

Fremskrivningen tager udgangspunkt i en opgørelse af ændringer i skovens kulstofpuljer baseret på målinger af vedmassen, med anvendelse af metoder beskrevet i IGN (2016). Kulstofpuljerne opgøres i hhv. levende biomasse over jorden og under jorden (rødder m.v.), i dødt ved (dødt træ, herunder tykke grene på skovbunden) samt i blade og nåle på skovbunden og i jord samt beregninger af udledningen af kuldioxid (CO₂), lattergas (N₂O) og metan (CH₄) fra kulstofrige skovjorde. En beskrivelse af hvordan denne historiske udledning estimeres fremgår af DCE's nationale drivhusgasrapporteringsrapport (DCE 2022a) samt af IGNs skovstatistik (Skovstatistik 2020). Opgørelsen af aktuel status for de danske skove omfatter bl.a.:

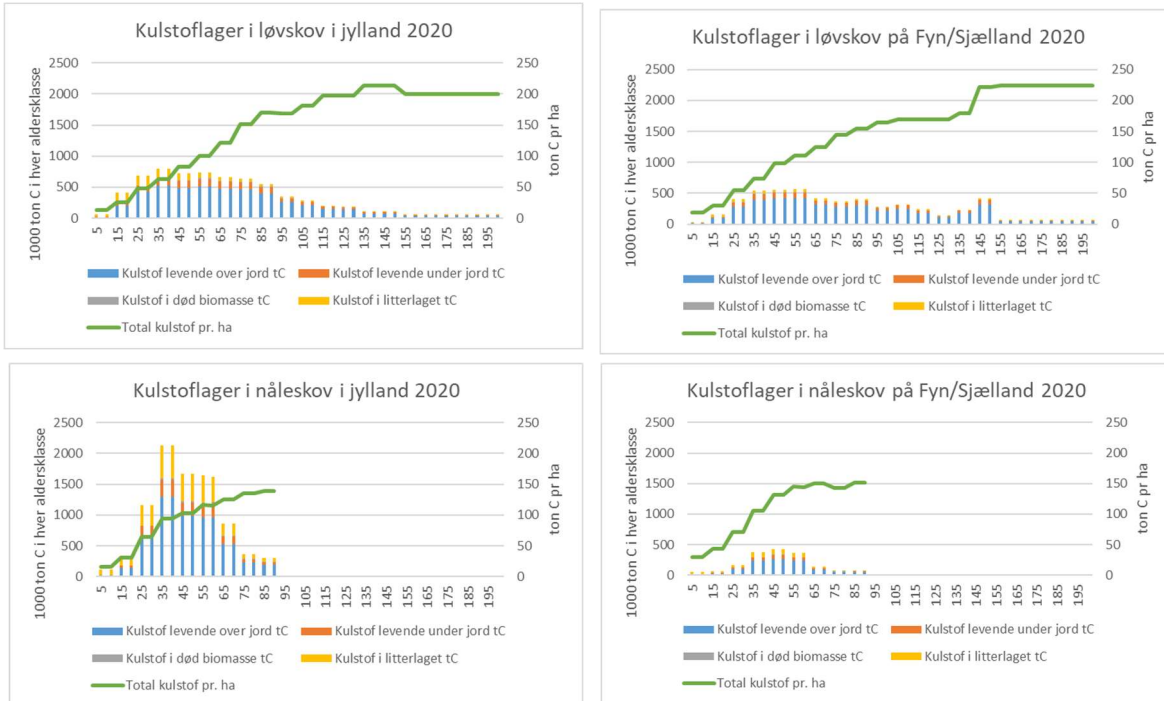
Levende og død biomasse i skoven

- Ud fra målingerne i skoven af træernes diametre og højder estimeres kulstofindholdet i skovene på baggrund af:
 - Volumen og biomassefunktioner udviklet på grundlag af omfattende målinger i Danmark.
 - En omregningsfaktor fra vægt til kulstofmængde for både levende træer og døde træer og grene (0,47 g C pr. g biomasse)¹⁴.
 - Normtal for kulstofindhold i litterlaget afhængigt af lagets tykkelse.
 - For juletræer antages et kulstofindhold i træer og rødder på 12 tons C pr. ha.

- Disse oplysninger anvendes til at fastlægge kulstofindholdet pr. ha i skovområder baseret på 5 års målinger. Disse beregninger kan fordeles efter skovtype (nål, løv og juletræer), efter 5 års aldersklasser og geografisk fordelt på hhv. Sjælland og Jylland/Fyn. For hver opdeling haves information om puljerne af kulstof (levende biomasse over jord, levende biomasse under jord, dødt ved, blade og nåle (litterlaget). Som illustreret i figur 3.2 (højre akse) stiger kulstofindholdet pr. ha med aldersklassen indtil der opnås et vist maksimum. Figur 3.2 (venstre akse) illustrerer desuden, hvordan det samlede estimerede kulstofindhold på 11 mio. ton C i løvskove på Fyn/Sjælland, 14 mio. ton C i løvskove i Jylland, 17 mio. ton C i nåleskove i Jylland og 4 mio. ton C i nåleskove på Fyn/Sjælland fordeles på aldersklasser. Det ses bl.a. af figurerne, at størstedelen af nåleskovenes kulstof er fjernet fra skoven, når træerne bliver over 70 år gamle, mens løvtræer kan have en betydeligt længere levetid, vokser langsommere og er længere tid om at opnå et højt lager af kulstof pr. ha.

¹⁴ Vægten af CO₂ (kuldioxid) er 3,6667 gange højere end vægten af C (kulstof).

Figur 3.2: Eksempel på opgørelsen af kulstof på aldersklasser.



Note: Figurerne viser skovstatistikens estimat for kulstof lagret i ca. 541.000 ha skovarealer i 2020, eksklusivt 0,7 mio. ton kulstof lagret i arealer med juletræer (ca. 34.000 ha) samt 6,7 mio. ton kulstof lagret i ca. 61.000 ha af naturstyrelsens arealer, der er forudsat udlagt til "urørt skov" (både indenfor og udenfor nationalparker – se yderligere i (IGN 2022)). Grunden til udeladelsen af arealer med juletræer samt naturstyrelsens arealer med urørt skov i figur 3.2 er, at der i fremskrivningen anvendes anderledes antagelser f.eks. overlevelsessandsynlighed og kulstoflager for disse arealer (jf. beskrivelse i sidste punkt under trin 2) end de antagelser, der beskrives under trin 2, og som anvendes for alle de arealer, der illustreres i figur 3.2. De arealer, der indgår i figur 3.2, har i alt et kulstofindhold på 45 mio. ton C, svarende til 165 mio. ton CO₂.

Skovjord

- For skovjord indgår den samlede lagrede kulstofpulje ikke i beregningen af årlige optag og udledninger, idet mineraljorden ifølge IGN antages at være i balance. Udledning fra kulstofrige jorde og drænet/genfugtede jorde estimeres ud fra de forudsætninger der beskrives under trin 4 om fremskrivningsmetoden nedenfor.

Høstede træprodukter

- Der antages i 2020 ifølge IGN at være lagret kulstof i høstede træprodukter svarende til ca. 24 mio. ton CO₂. Opgørelsesmetoden beskrives nedenfor under trin 5 om fremskrivningsmetoden.



Trin 2: Fremskrivning af ændringer i kulstofpuljen i eksisterende skovarealer (levende og død biomasse i skoven):

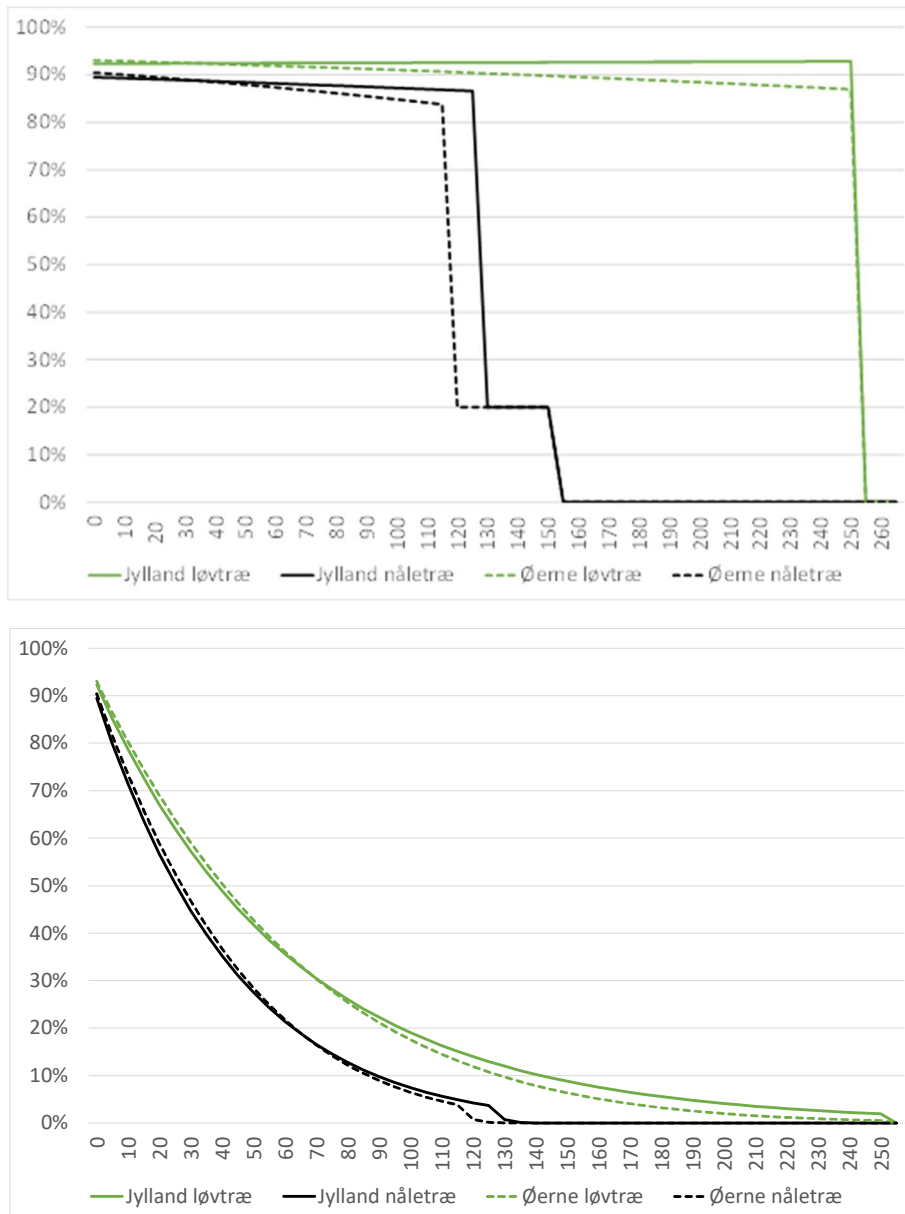
Med udgangspunkt i estimatet for skovarealernes kulstofindhold i levende og død biomasse i 2020 (figur 3.2 ovenfor) fordelt på løvtræer og nåletræer i hhv. Jylland og øerne (Sjælland og Fyn) fremskrives den forventede udvikling i skovarealernes lagrede kulstofmængde ved hjælp af en fremskrivningsmodel udviklet af IGN. Hovedforudsætningerne er som følger:

- Ud fra data fra Danmarks Skovstatistik (2002-2020) har IGN estimeret modeller for hvor stor en andel af skovarealet i hver klasse efter skovtype, region og alder, der forynges (hovedfældes) i løbet af en 5 årig periode. Figur 3.3 (øverste del af figuren) illustrerer sandsynligheden for, at et skovareal af en given alder hovedfældes i løbet af en femårig periode (aldersklasseinddelingen i fremskrivningsmodellen).¹⁵ Der skelnes i modellen mellem nål og løv i hhv. Jylland og på øerne (Sjælland og Fyn), hvor hurtigtvoksende nåletræ fældes tidligere end langsommere voksende løv. Det ses, at der er beregnet en sandsynlighed for hovedskovning også af arealer med unge bevoksninger på 7-8% for løv og 10-11% for nål for hver 5-årig aldersklasse (se også afsnit 11.5 i IGN 2022).
- Nederste del af figur 3.3 viser sandsynligheden for, at et skovareal vil være hovedfældet når det opnår en vis alder. Antagelserne om overlevelsessandsynlighed for de enkelte aldersklasser medfører, at ca. 1,4% af kulstofpuljen lagret i det samlede skovareal hovedfældes årligt¹⁶ og arealerne overføres herefter til yngste aldersklasse hvor det antages at der genplantes eller selvsås nye træer på arealet. Som et konkret eksempel kan det nævnes at 55 år efter genplantning har 60% af løvtræarealerne i hht. modellen oplevet hovedskovning, mens 40% fortsat lever.

¹⁵ Ved anvendelse af disse overlevelsessandsynligheder og deraf følgende hovedfældning mere end fordobles andelen af arealet der befinder sig i 5-årsaldersklassen permanent i fremskrivningsperioden. Denne modelforudsætning bør undersøges nærmere.

¹⁶ I praksis opererer skovmodellen dog med 5-års intervaller, da skovarealerne i skovfremskrivningsmodellen er inddelt i 5-års aldersklasser.

Figur 3.3: Overlevelsessandsynligheder der anvendes i skovfremskrivningsmodellen



Note: Øverste del af figur 3.3. angiver løbende overlevelsessandsynlighed og nederste del af figuren viser den akkumulerede overlevelsessandsynlighed.

- Udover at foryngelse af skovarealer medfører hugst af træer, sker der også tynding i bevoksningerne. Typisk sker der tyndinger 2-15 gange i løbet af en bevoksnings levetid. Baseret på data fra Danmarks Skovstatistik og modeller baseret på langsigtede feltforsøg, er det for hver kombination af region, skovtype og aldersklasse i fremskrivningen estimeret, hvor stor den



gennemsnitlige hugst i form af hhv. tynding (m³/ha/år) og hovedskovning (% af arealet hvert 5. år) er i hver gruppe. Den samlede årlige mængde kulstof, der dermed årligt forventes fjernet fra skoven ved både hovedfældning og tynding, udgør i fremskrivningen ca. 2,5% af skovens samlede kulstofindhold i levende og død biomasse. Hertil kommer at der efterlades dødt træ i skoven.

- For de tilbageværende eksisterende skovarealer (altså de arealer hvor der ikke er foretaget hovedskovning) antages arealerne i skovfremskrivningsmodellen hvert tiende år at opnå et kulstofindhold pr. ha der svarer til det kulstofindhold den tilsvarende aldersklasse havde ti år forinden efter tynding (se figur 2, grønne kurver). Dvs. at de arealer der overlever rykkes hvert femte år op i en højere femårs aldersklasse. Men IGN's historiske data anvendes i IGN's skovfremskrivningsmodel på en sådan måde at kulstofindholdet pr. ha i skovarealer der overlever kun forøges hver anden gang alderen forøges med 5 år (deraf følger at det kun sker hvert tiende år).¹⁷
- Fremskrivningen af udviklingen i den del af Naturstyrelsens areal, der er forudsat udlagt til "urørt skov" anvender andre forudsætninger end for resten af skovarealet. For arealerne med urørt skov antages fjernelse af en stor andel nåletræer, veteranisering i løvskovsarealer etablering af græsning samt udfasning af den kommercielle hugst over tid. Ligeledes er det indregnet, at hugsten reduceres i naturstyrelsens øvrige arealer i perioden 2026-2031. Se beskrivelse af disse politiske initiativer i afsnit 3.2.2. For konkrete beregningsforudsætninger henvises til IGNs fremskrivningsrapport (IGN 2022a).

Trin 3: Kulstofoptag i ny skovrejsning:

CO₂-optag ved skovrejsning (altså arealer der omlægges til ny skov) fremskrives baseret på historiske data og vækstmodeller baseret på mere end 100 års forsøg i skov. Skovrejsning påvirker optag i skove gradvist, efterhånden som træerne på arealerne kommer i god vækst, typisk efter 10-20 år afhængig af træart og lokalitet (IGN 2020).

- For ny skovrejsning i fremskrivningsårene fra 2021 og frem anvendes tilvækstmodeller for forskellige træarter (kulstoflagring pr. år afhængigt af bl.a. træarter og træernes alder, jordbundstyper mm) (IGN's model anvender ikke en tilsvarende funktion for tilvækst i modelleringen af eksisterende skovarealer, jf. beskrivelsen under Trin 2). Blandt de mest almindelige træarter i de danske skove har grantræer en hurtigere tilvækst end løvtræer, men visse løvtræer som poppel har også hurtig vækst.

¹⁷ Samtidig sker der jf. beskrivelse tidligere i afsnittet tynding og hovedfældning som i praksis i skovfremskrivningsmodellen tilskrives hvert femte år. Det betyder i praksis at det samlede kulstofindhold i et givent skovareal i modelberegningerne reduceres hvert femte år. Disse modelforudsætninger bør undersøges nærmere.



- 29.695 ha forventet ny skovrejsning i perioden 2021-2035 er indregnet, jf. beskrivelse i afsnit 3.2.2. For skovrejsning er det antaget, at 68% af arealerne vil være løvskov og have et gennemsnitligt årligt nettooptag, der svarer til gennemsnitlig skov (5 tons CO₂ pr ha de første 10 år og 7 tons CO₂ pr. ha de efterfølgende 10 år). De resterende 32% antages at være hurtigt voksende skov (blanding af hurtigt voksende nål suppleret med løvtræer), heraf halvdelen på jord med høj bonitet og deraf følgende højt optag af CO₂ (17 tons CO₂ pr ha de første 10 år og 42 tons CO₂ de følgende 10 år) og halvdelen på jord med dårlig bonitet og et lavere optag af CO₂ (8 tons CO₂ pr ha de første 10 år og 27 tons CO₂ de følgende 10 år pr ha (IGN 2022a og 2022b, tabel 11.3, hjælpetabel 11.3 og tabel 11.4). Det kan bemærkes at de her nævnte tal for CO₂-optag er gennemsnit over 10 år. Optagene er lavere de første 5 år af tiårsperioden. De konkrete tal fremgår af tabel 11.4 i denne kilde fra IGN: <https://erda.ku.dk/archives/cb8fdb7fae2b723db3ea8ec864c4f9f/published-archive.html>. Og herudover indregnes de optag og udledninger fra skovjord der nævnes under trin 4.
- For ny skovrejsning antages det, at etableringen er sikker (krav for tilskud), og at der således ikke sker foryngelse (tilbagegang i alder) i de første 40 år. Efter 15 år antages de første tyndinger af nåltræer at ske i den del af skovene hvor der er plantet en blanding af hurtigt voksende nål samt løvtræer. De arealer, hvor der er sket hovedfældning, overgår herefter til yngste aldersklasse og behandles herefter jf. de forudsætninger, der beskrives under trin 2.
- Udover ny skovrejsning indregnes også en forventning om skovrydning, jf. afsnit 3.2.2. Der antages en udledning på 163 ton CO₂ pr. ha. skovryddet areal.

Trin 4: Udledninger fra skovjord:

Udledninger fra skovjord beregnes ikke på baggrund af skovmålingerne til brug for skovstatistikken, men estimeres på baggrund af følgende simple beregningsantagelser jf. IPCC retningslinjer for nationale emissionsopgørelser:

- Kulstofpuljen i mineraljord på skovforvaltede arealer antages at være i balance, dvs. hverken at have optag eller udledninger af kulstof.
- Ved ny skovrejsning på mineraljord antages der at ske en kulstofopbygning over 100 år med 0,77 ton CO₂ pr. ha pr. år. For skovrejsning på landbrugsjord sker der endvidere et tab af den afgrøde der tidligere var på arealet (22 t CO₂/ha)¹⁸. Til gengæld etableres der træer samt indledende vegetationsdække svarende til en brak/græsningsmark (18 t CO₂/ha). Efterhånden som træerne

¹⁸ Dette tab er medregnet i IGNs skovfremskrivningsrapport. På Danmarks klimaregnskab indgår tabet dog som en udledning i kategorien landbrugsjord (cropland).



vokser op og danner sluttet kronedække, reduceres kulstofpuljen i vegetationsdækket (over 25 år) og træernes kulstofpulje dominerer udviklingen.

- Kulstofpuljen i skovarealer på organisk jord opgøres kun for arealer med over 12 pct. kulstof i jorden. I drivhusgasopgørelsen for 2020 indgår der ca. 37.000 ha organisk jord i skovarealer, heraf 18.000 ha med dræn/grøfter. For drænet areal antages en årlig udledning fra jorden på 9,5 ton CO₂ pr. ha. pr. år. Herudover beregnes en CH₄-udledning på 2,5 kg CH₄ og en N₂O-udledning på 4,4 kg pr. ha. pr. år fra drænet/grøftet organisk jord samt 217 kg CH₄/ha/år for de arealer der udgør selve grøfterne. Der antages en let faldende CO₂-udledning fra et let faldende areal med drænet/afvandet organisk jord, idet andelen af drænet organisk jord antages at falde fra 50 pct. i 2020 til 45 pct. i 2030, samtidig med at selve drænene (i form af fx grøfter) antages at udgøre en fast andel på 2,5% af det drænedede organiske areal.

Trin 5: Optag og udledninger fra høstede træprodukter:

IGN opgør, hvor stor en del af det i Danmark fældede træ, der ender som dansk produceret papir, savet træ eller træplader. Denne lagring i "høstede træprodukter" opgøres særskilt og indgår i Danmarks klimaregnskab. I praksis er der ingen dansk papirproduktion af dansk træ, og det antages at fortsætte.

- Der er en opgørelse for den historisk lagrede mængde af kulstof i træprodukter der er lagret over tid. Der er ifølge IGN lagret 24 mio. tons CO₂ i det seneste historiske opgørelsesår som ligger til grund for skovfremskrivningen fra 2020.
- Hvert år afskrives en del af det bundne kulstof ud fra halveringstider for savskåret træ på 35 år (2% årlig afskrivning) og for træplader på 25 år (2,7% årlig afskrivning).
- Der er antagelser om, hvor store mængder af kulstof der fremover vil blive tilført puljen af træprodukter. Hvert år tilføres en del af det træ der tyndes og fældes til anvendelse til træprodukter og andelen afhænger af træernes diameter, jf. figur 6 (øverst). Afhængigt af aldersklasse udnyttes 10-40% for løvtræ og 20-60% for nåletræ. Gennemsnitligt set antages en anvendelsesgrad på 28% af den samlede hugst i skoven, eller 38% af den del af hugsten der fjernes fra skoven¹⁹. Af den del der anvendes antages 58% at gå til savskårne træprodukter og 42% til træplader. Heraf antages udnyttelsesgraden til savskåret træ at være 44% for nåletræ og 47% for løvtræ. For den del, der går til træplader, antages en udnyttelsesgrad på 74%.

¹⁹ Gennemsnittene er som følger: For nåletræ anvendes 25% af det kulstof der udtages fra skoven til HWP. For løvtræ drejer det sig om 12%.



- Samlet set er det hermed ca. 20% af kulstofindholdet i hugsten (tynding plus hovedskovning, men eksklusive hugstaffald, der forbliver i skoven) der tilføres puljen af høstede træprodukter. Samtidig afskrives en mængde kulstof fra puljen der svarer til 13% af hugsten. Netto svarer forøgelsen af puljen derfor til ca. 7% af hugstens kulstofindhold.

Tabel 3.2 illustrerer hugstmængder, udtag af skoven, andel heraf der anvendes og udnyttes til høstede træprodukter, samt afskrivning (udledning) af kulstof (som CO₂) fra puljen af træprodukter samt den deraf følgende nettotilskrivning til puljen.

Tabel 3.2: Illustration af flow til og fra HWP-puljen

Ton CO ₂ i 2025	Nål	Løv	I alt
Total hugst			4.767.592
Udtag af skoven	2.588.326	1.663.160	4.251.486
Til HWP-anvendelse	1.240.148	350.588	1.590.736
Til HWP-udnyttelse	656.903	203.127	860.031
Til savskåret træ	274.388	98.017	372.405
Til træplader	382.516	105.110	487.626
I alt tilskrives HWP-pulje	656.903	203.127	860.031
I alt afskrives fra HWP-pulje			-561.290
Nettotilskrivning til HWP-pulje			298.741

Trin 6: Den samlede opgørelse

Den samlede fremskrivning af årlige optag og udledninger fra skovområder fås ved at opgøre og sammenlægge følgende:

- Årlige nettoændringer i kulstofpuljen lagret i levende biomasse over og under jorden samt død biomasse og litterlaget (trin 2 ovenfor).
- Årlige nettooptag i nye skovrejsningsområder (trin 3 ovenfor).
- Årlige udledninger fra skovjord (trin 4 ovenfor).
- Årlige nettooptag i (eller nettoudledninger fra) kulstofpuljen lagret i træprodukter (trin 5 ovenfor).



Kapitel 4: DCE's beregningsmetoder for landbrug og LULUCF

4.1 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 LULUCF²⁰.

4.1.1 DCE's udledningsberegninger

DCE står for at udarbejde den nationale udledningsopgørelse og fremskrivning af drivhusgasser, herunder for landbrug og LULUCF, som afrapporteres til FN og EU samt anvendes som input til Energistyrelsens 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). Udledningerne fra landbrug og LULUCF opgøres derfor fordelt på en række underkategorier (CRF-kategorier).²¹

Udledningerne fra landbruget (CRF-kategori 3) omfatter udledninger af primært metan og lattergas relateret til den primære landbrugsproduktion (herunder husdyrfordøjelse, gødningshåndtering og gødsning på markerne), dog med undtagelse af de energirelaterede udledninger fra landbruget.

Udledninger i LULUCF-sektoren (CRF-kategori 4) omfatter udledninger relateret til forvaltning af arealer, herunder primært landbrugs²²- og skovarealer, hvorfra der primært udledes CO₂, men også metan og lattergas.

4.1.2 DCE's modelkompleks

Fremskrivningen af udledningerne foregår ud fra DCE's modelkompleks og bygger på samme struktur og metoder, som anvendes i Danmarks historiske udledningsopgørelse. Dette sikrer konsistens mellem historiske og fremskrevne udledningsopgørelser. Der er dog forskelle i de internationale dokumentationskrav til hhv. opgørelsen og fremskrivningen, hvilket bevirker at der i fremskrivning f.eks. er indregnet brugen af luftrensingsanlæg i svinestalde, mens dette ikke indgår i

²⁰ LULUCF står for "Land Use, Land-Use Change and Forestry", der kan oversættes til "arealanvendelse, arealændringer og skovbrug".

²¹ For yderligere information om CRF-tabellerne se også kapitel 3 om principper for udledningsopgørelse i sektorforudsætningsnotat Principper og politikker.

²² Landbrugsarealer omfatter CRF kategorierne 4B Cropland (dyrket mark) og 4C Grassland (græsarealer).



opgørelsen. Endvidere gælder det, at de historiske data, der anvendes i den nationale opgørelse, er erstattet med en række forudsætninger og forenklinger i fremskrivningen. Forsimpelt kan det siges, at udledningerne fra underkategorierne opgøres ved at gange aktiviteten (A) med en emissionsfaktor (EF) for den pågældende aktivitet. Aktivitet kan f.eks. være antal husdyr eller antal ha dyrket areal, mens emissionsfaktorer er en funktion af mange forskellige faktorer²³, der har indflydelse på udledningerne for den pågældende aktivitet.

Kompleksiteten i de anvendte metoder varierer. IPCC angiver en række metodeniveauer, såkaldte Tiers:

- Tier 1: Baseres på gennemsnitlige beregningsmetoder og standard emissionsfaktorer fra 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. For de udledningsskilder, hvor nationale data ikke er tilgængelige, anvendes en Tier 1 metode med standard emissionsfaktorer anbefalet af IPCC. Såfremt en udledningsskilde 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 – f.eks. for foderindtag eller stalddtype, men at beregningsmetoden grundlæggende stemmer overens med IPCC's beregningsmetode.

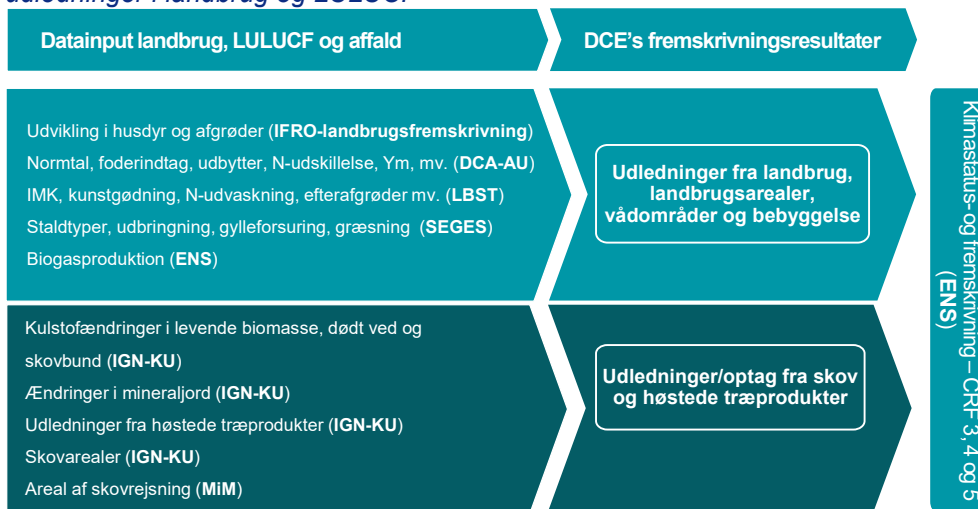
Tier 3 er væsentligt anderledes end de øvrige Tier niveauer, fordi der her er tale om beregning baseret på en landespecifik beregningsmodel, baseret på nationale målinger og/eller modellering, som dermed afspejler de faktiske klima- og landbrugspraksisser i det pågældende land. Beregningen er dog ikke 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 bl.a. forskellige

²³ Det kan f.eks. være stald- og gødningstype, årlige vejrforhold, jordens dræningstilstand, dyrenes tørstof- og kvælstofudskillelse og gyllens opholdstid i stalden.

institutter på Aarhus Universitet, Københavns Universitet, men også fra ministerier, styrelser og eksterne aktører såsom Landbrugets Rådgivningstjeneste SEGES. Figur 4.1 viser et overordnet overblik over hovedleverandørerne af datainput til DCE's fremskrivning af udledninger fra landbrug og LULUCF.

Figur 4.1: Overblik over eksterne inputdata og –leverandører for fremskrivning af udledninger i landbrug og LULUCF

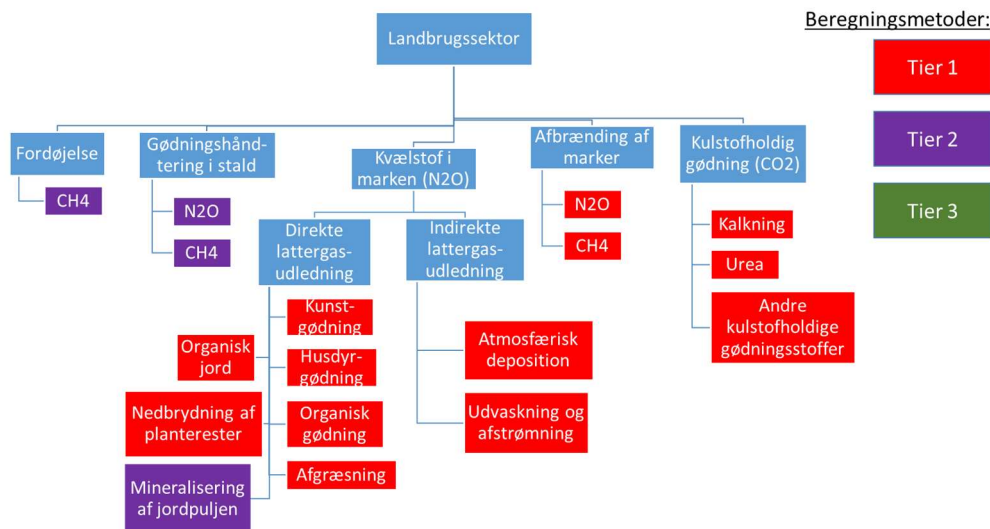


4.2 Landbrug

4.2.1 Metode og antagelser

Ifølge IPCC guidelines opgøres udledninger fra landbrug i 17 forskellige underkategorier, der beregnes ved mere eller mindre særskilte metoder. I udgangspunktet anvendes de samme beregningsmetoder og værdier for emissionsfaktorerne i fremskrivningen, som dem der er brugt i de historiske udledningsopgørelser. Som angivet i Figur 4.2 dækker metodeniveauerne i landbrugssektoren over Tier 1 og 2.

Figur 4.2: Oversigt over udledninger fra landbruget



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 niveau.

DCE beregner de forventede udledninger fra landbruget ved hjælp af en databasebaseret model kaldet IDA-frem, som er en forkortelse af Integrated Database model for Agricultural emissions (Albrektsen *et al.*, 2021)²⁴. 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 landbruget fordelt på de pågældende CRF-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 4.1. 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 bl.a. Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA) ved Aarhus Universitet. Mængden af databehandling afhænger af den enkelte kilde og strækker sig fra lidt til omfattende. F.eks. foretages der for visse husdyrkatogier en databehandling af antallet af dyr, fordi DCE har behov for

²⁴ En tilsvarende database benyttes til den historiske opgørelse under navnet IDA.



en anden opdeling af antallet af dyr end den, der leveres fra IFRO's Landbrugsfremskrivning (Jensen, 2023), således at data svarer til DCE's beregningsopsætning og strukturen i normtalssystemet for husdyrgødning, som DCA leverer²⁵.

På baggrund af de mange særskilte metoder og detaljerede aktivitetsdata består DCE's samlede beregning af udledninger fra landbruget således af en stor, kompliceret beregningsopsætning. Opsætningen spænder bredt med mange detaljerede og lange beregningskæder under hensynstagen til aktivitetsdata såsom husdyrkategori og stald- og gødningstype. Beregningerne afhænger ikke direkte af hinanden på tværs af udledningskilder i DCE's modelkompleks, idet der ikke er tale om en samlet dynamisk model.

For en yderligere beskrivelse og dokumentation af IDA-frem og DCE's beregningsmetoder henvises til Albrechtsen *et al.* (2021).

4.2.2 Metodeudvikling siden KF22

Der er grundlæggende ikke foretaget større ændringer i DCE's metodegrundlag for beregning af udledninger og optag fra landbrugets produktion siden KF22.

4.2.3 Kritiske antagelser og parametre i metoden

Den forventede udvikling i antallet af husdyr samt fordelingen af stald- og gødningstyper har stor betydning for beregningerne af drivhusgasudledninger fra landbruget. For disse forudsætninger og andre, såsom handelsgødningsforbruget, normdata for foderindtag og dyrenes tørstof- og kvælstofudskillelse via gødning og arealanvendelse, sker der en årlig opdatering.

Mange inputdata opdateres dermed løbende, men er samtidig 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 vejforhold, konstant ændrer sig og dermed påvirker udledningerne.

²⁵ 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 husdyr kategorier i IDA-frem. Endvidere er husdyrkategorierne fordelt på stald- og gødningstyper, der i alt giver 269 kombinationer af husdyrtyper og stald- og gødningstyper, der indgår som input i emissionsberegningerne.



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 på området som noget af det bedst mulige og med relativt lavere usikkerhed, da de fleste metoder er på Tier 2 eller 3 niveau. Dertil kommer, at den nationale aktivitetsdata på landbrugsområdet er noget af det mest detaljerede i verden. Det skyldes at der historisk har været behov for gødningsregnskaber i Fødevarerministeriet for at kontrollere kvælstofreguleringen.

4.2.4 Planlagt metodeudvikling fremadrettet

Der er endnu ikke fastlagt væsentlig metodeudvikling fremadrettet. Fødevarerministeriet har igangsat et længerevarende forskningsarbejde med Århus Universitet, der har til formål at se nærmere på udvikling af det nuværende danske Normtalssystem, herunder for kulstofudledninger fra husdyrgødningen. Målet er, at resultaterne kan indgå som input i den nationale opgørelse for landbrugets drivhusgasudledninger.

4.3 LULUCF

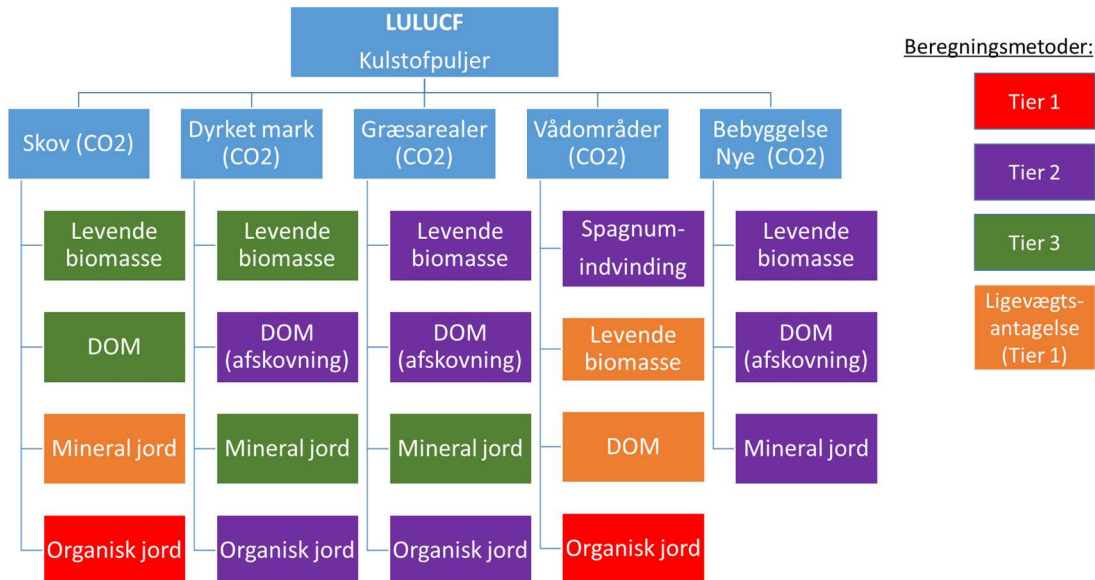
4.3.1 Metode og antagelser

Ifølge IPCC guidelines opgøres udledninger fra arealer og skove under kategorien LULUCF. LULUCF omfatter hovedsageligt CO₂-udledninger som følge af ændringer i kulstofpuljerne i biosfæren²⁶, men også lattergas fra omsætning af jordens organiske kvælstofpulje i forbindelse med arealændringer og metan fra våde kulstofrige lavbundsjorder. De forskellige typer LULUCF-udledninger for kulstofpuljer er vist i Figur 4.3, mens Figur 4.4 viser andre typer LULUCF-udledninger, herunder fra ændringer i arealanvendelsen. 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 4.3 og 4.4 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.

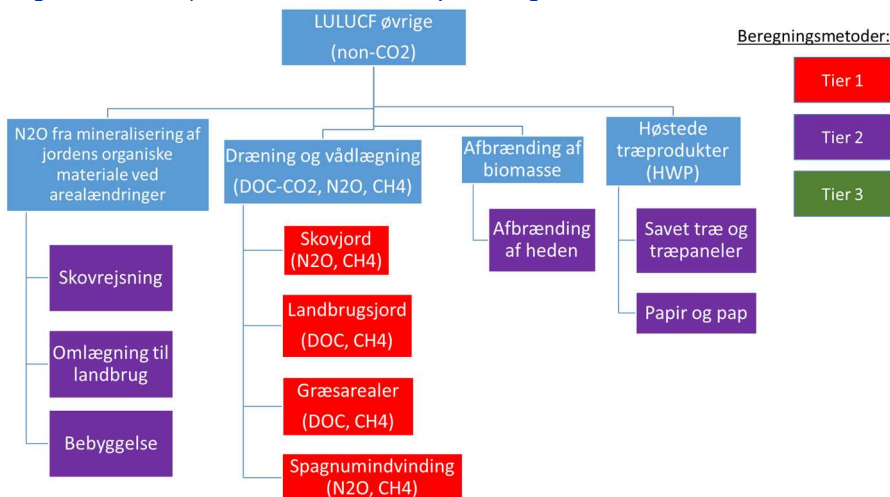
²⁶ Kulstofpuljer er bl.a. levende biomasse, dødt organisk materiale (DOM), jord og træprodukter, som vist i figur 4.3 og 4.4.

Figur 4.3: Oversigt over typer af LULUCF-udledninger for kulstofpuljer.



DOM: dødt organisk materiale (skovbund og dødt ved). Ligevægtsantagelse svarer til nul udledninger.

Figur 4.4: Oversigt over andre typer af LULUCF-udledninger. DOC (Dissolved Organic Carbon) kan oversættes til opløst organisk kulstof.



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

Estimering af landbrugsareal og afgrødesammensætning

Til estimering af landbrugsarealet og afgrødesammensætningen anvender DCE Landbrugsfremskrivningen (Jensen, 2023) og data fra Internet Mark Kort (IMK) sammen med data fra forskellige arealregistre for udvikling af Danmarks samlede fremskrevne areal. Endvidere inddrages arealet i de seks IPCC-definerede



arealklasser: skov, dyrket mark, græsarealer, vådområder, bebyggelse og andre arealer. IMK offentliggøres af Landbrugsstyrelsen og er et detaljeret kort over afgrøder og jordbundstyper på markniveau. IMK benyttes sammen med Tekstur2014 kortet over kulstofindholdet i jorden, som bestemmer, om jorden har mellemhøjt (6-12 pct.) eller højt (over 12 pct.) indhold af 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 bebyggede arealer og vådområder. Udledningerne fra landbrugsarealet stammer fra flere forskellige kilder, hvoraf ændringer i de mineralske landbrugsjorders kulstoflager og kulstofrige jorder udgør de største udledningskilder.

Mineraljorder omfatter ler- og sandjorder og karakteriseres ved deres lave indhold af organisk kulstof. 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/organiske landbrugsjorder (også kaldet lavbundsjorder), som mister organisk materiale som CO₂. Kulstofrig jord inddeles i jorder med 6 til 12 pct. organisk kulstof og jorder med over 12 pct. organisk kulstof i den nationale emissionsopgørelse og fremskrivning. Samtlige arealer med kulstofrig jord (både 6-12 pct. og over 12 pct. organisk kulstof) udgør ca. 6 pct. af det samlede danske landbrugsareal.

DCE beregner ændringer i mineraljordspuljen ved brug af en dynamisk model (C-TOOL), der kan kategoriseres som Tier 3 metode, mens jordens tab af organisk kulstof fra kulstofrige jorder beregnes ved brug af Tier 2 metode ved brug af nationalt bestemte emissionsfaktorer. Disse to beregningsmetoder er beskrevet nærmere i bilag 1.1.

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.

Til sidste års klimafremskrivning bestilte Energistyrelsen en ny skovfremskrivning fra IGN (Johannsen *et al*, 2022). Skovfremskrivningen fremskriver forventninger til optag og udledninger fra skovarealer samt kulstofpuljen i træprodukter. For en gennemgang af antagelser og forudsætninger til fremskrivning af udledninger og optag fra skove og høstede træprodukter henvises til kapitel 3 om skov.



4.3.2 Metodeudvikling siden KF22

Der er grundlæggende ikke foretaget større ændringer i DCE's metodegrundlag for beregning af udledninger og optag fra landbrugsarealer og øvrige arealer siden KF22.

4.3.3 Kritiske antagelser og parametre i metoden

Generelt vurderes fremskrivningen af udledninger og optag fra skove og øvrig arealanvendelse at være forbundet med en større usikkerhed end andre sektorer udenfor LULUCF. 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 vejret. Udledningerne har svinget med lidt over 1 mio. ton CO₂e de sidste 10 år, som primært skyldes vejrbetingede udsving i de årlige høstudbytter på mineraljorder samt årets temperaturer. Her giver en kombination af et dårligt høstår og høje temperaturer et tab af CO₂, mens et godt høstår kombineret med normale temperaturer giver en binding. De fremtidige udledninger afhænger derfor også af fremtidens vejr-situation og udbytter fra de enkelte afgrøder.

Kulstofrige landbrugsjorder udleder store mængder CO₂ når de er veldrænede og betydeligt mindre hvis arealerne er dårligt drænet og delvis våde. De nuværende emissionsfaktorer for dyrkede landbrugsarealer, som bruges i fremskrivningen, er baseret på målinger foretaget på fuldt drænede arealer. Det viser sig dog at dræningstilstande på de kulstofrige jorde i praksis er dårligere, og flere arealer allerede er vådere end det antages i fremskrivningen. Det betyder alt andet lige, at klimaeffekten af udtagningerne kan være mindre, end den er beregnet til. Men omvendt, er der usikkerhed omkring, hvorvidt antagelsen om, at jord med 6-12 pct. kulstof har en emission svarende til halvdelen af jord med >12 pct. kulstof er korrekt. Det er ikke kun kulstofprocenten som er afgørende men mængden af fritlagt organisk kulstof som er afgørende – og den er nødvendigvis ikke halvt så stor. Det samlede resultat bliver dermed ikke nødvendigvis meget anderledes end det estimerede pga. de to modsatrettede metodiske usikkerheder.

Det antages, at kulstofrige lavbunds-jorde udtages tre år efter at der er afsat finansiering til støtte til udtagningsordningerne. Der er dog usikkerhed omkring denne antagelse, hvorfor der i KF23 er foretaget en følsomhedsanalyse for udtagelseshastighedens påvirkningen på reduktionsmålet, som tidligere beskrevet vil blive hhv. 5 og 7 år.

Opgørelsen og fremskrivningen af udledninger og optag fra skove baseres på data fra 10 års målinger for at sikre en mere robust rapportering. De historiske opgørelser af skovenes optag og udledninger svinger relativt meget i forhold til andre sektorer udenfor LULUCF. Fra og med KF21 er udsvingene dog forsøgt



udjævnet mere end tidligere ved at lave glidende gennemsnit for de årlige udledninger og optag over en tiårig periode. Der kan ved sammenligning af tidligere skovfremskrivninger fra IGN indtil nu konstateres en afvigelse mellem fremskrivningerne for perioden frem til i dag. Det er blevet forventet, at skoven ville overgå til ikke længere at optage ret meget CO₂, og de historiske drivhusgasopgørelser fra IGN, som har vist, at skoven hidtil har haft et nettooptag af CO₂. For yderligere beskrivelse heraf henvises til (Johannsen et. al. 2022) kapitel 3.

4.3.4 Planlagt metodeudvikling fremadrettet

Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet har igangsat et forskningsarbejde, der skal sikre bedre viden om, hvordan udledningerne fra kulstofrige jorder kan beregnes med en mindre usikkerhed. I den forbindelse kan udledningsestimaterne forventes at blive revideret. Da der er tale om et omfattende dokumentationsarbejde, forventes dette imidlertid ikke at kunne indarbejdes allerede i forbindelse med Klimafremskrivningen i 2023. Resultaterne af arbejdet forventes implementeret i den nationale emissionsopgørelse til EU og FN fra januar 2024.

Energistyrelsen planlægger tillige frem mod KF24 at få lavet en vurdering af om usikkerhederne i skovfremskrivningsmodellen kan minimeres, jf. beskrivelse i kapitel 3.



4.4 Kilder

Albrechtsen, 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>

Energistyrelsen 2021, <https://presse.ens.dk/news/ny-rapport-om-metantab-fra-danske-biogasanlaeg-432900>.

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.

Jensen J.D. (2023) Fremskrivning af dansk landbrug frem mod 2040, IFRO rapport nr. xxx. [LINK indsættes efter publicering].

Johannsen et al 2022, Skovfremskrivning 2022, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, https://static-curis.ku.dk/portal/files/298732868/KF22skov_drivhusgasregnskab_rapport.pdf, 2022.

Johannsen et al, Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 – resubmission, December 2019, https://staticcuris.ku.dk/portal/files/232139225/DNFAP_revised_2019_web20191220.pdf.



Kapitel 4 bilag: Beregning af ændringer i jordens kulstofpulje

Udledninger og optag fra mineraljorder

DCE beregner ændringer i mineraljordspuljen ved brug af en dynamisk model (C-TOOL), hvorfor metoden kategoriseres som Tier 3, som vist i Figur 4.3. I modellen beregnes den samlede årlige tilførsel af organisk kulstof fra alle afgrøder (avner, stakke, halm, stub og rødder), inkl. efterafgrøder og 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 hhv. 0,6-0,7 år, 50 år og 600-800 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 jorder

Ved beregning af ændring i puljen af kulstofrige jorder benytter DCE en Tier 2 metode, som betyder, at der anvendes en lidt mere simpel tilgang end den modelbaserede tilgang for mineraljorder.

Beregningerne er dog i høj grad baseret på nationale emissionsfaktorer, hvorfor der ikke er tale om Tier 1. For udledninger fra kulstofrig jord beregnes der både metan og CO₂-udledninger, hvor sidstnævnte yderligere er opdelt på direkte CO₂-udledninger og indirekte CO₂-udledning via forgasning af opløste kulstofholdige forbindelser (Dissolved Organic Carbon, DOC).

Overordnet beregnes udledningerne med en relativ simpel tilgang ved at gange emissionsfaktorer med aktivitetsdata, dvs. arealer fremkommet ved overlapsanalyser.

For emissionsfaktorerne for metanudledningerne og DOC-afledt CO₂ udledning anvendes standardfaktorer, hvorimod der for den direkte CO₂-udledning bruges nationale emissionsfaktorer baseret på målinger. Emissionsfaktorerne er ydermere bestemt af arealanvendelsen – f.eks. om arealet er i omdrift eller græsareal, og af om jorden har mellemhøjt eller højt indhold af organisk kulstof. Trods den simple metodetilgang, bevirker den detaljerede inddeling af emissionsfaktorer, at der i alt bruges 18 forskellige faktorer.