UNIVERSITY OF COPENHAGEN

Københavns Universitet

Ændring i drivhusgasudledninger, såfremt Danmark erstatter en del af den importerede soja med danskproducerede proteinafgrøder

Bosselmann, Aske Skovmand; Frandsen, Olivia; Thers, Henrik; Jørgensen, Uffe; Mikkelsen, Mette Hjorth; Gyldenkærne, Steen

Publication date:
2024

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
Ikke-specificeret

Citation for published version (APA):
Bosselmann, A. S., Frandsen, O., Thers, H., Jørgensen, U., Mikkelsen, M. H., & Gyldenkærne, S. (2024). *Ændring i drivhusgasudledninger, såfremt Danmark erstatter en del af den importerede soja med danskproducerede proteinafgrøder*. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Udredning Nr. 2024/28

Download date: 10. okt.. 2026

INSTITUT FOR FØDEVARE- OG RESSOURCEØKONOMI
KØBENHAVNS UNIVERSITET

IFRO Udredning

Ændring i drivhusgasudledninger, såfremt Danmark erstatter en del af den importerede soja med danskproducerede proteinafgrøder

Aske Skovmand Bosselmann
Olivia Frandsen
Henrik Thers
Uffe Jørgensen
Mette Hjorth Mikkelsen
Steen Gyldenkærne

2024 / 28

IFRO Udredning 2024 / 28

Ændring i drivhusgasudledninger, såfremt Danmark erstatter en del af den importerede soja med danskproducerede proteinafgrøder

Forfattere: Aske Skovmand Bosselmann[1] (afsnit 1, 1.1, 1.2, 1.3, 2, 2.1, 3, 3.1, 3.3 og 5.1), Olivia Frandsen[1] (afsnit 1, 1.1, 1.2, 1.3, 2, 2.1, 3, 3.1, 3.3 og 5.1), Henrik Thers[2] (afsnit 2, 2.2, 3, 3.2, 3.3, 5.2 og 5.3), Uffe Jørgensen[2] (afsnit 2, 2.2, 3, 3.2, 3.3, 5.2 og 5.3), Mette Hjorth Mikkelsen[3] (afsnit 4), Steen Gyldenkærne[3] (afsnit 4)

[1]: Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet
[2]: DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
[3]: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet

Faglig kvalitetssikring: Marie Lautrup[1], Troels Kristensen[2] og Tommy Dalgaard[2] har foretaget faglig kommentering. Ansvaret for udgivelsens indhold er alene forfatternes.

Udarbejdet for Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri i henhold til aftalen mellem henholdsvis Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi og Aarhus Universitet samt Miljøministeriet og Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri om forskningsbaseret myndighedsbetjening.

Udgivet november 2024

Se flere myndighedsaftalte udredninger på www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/udredninger/

Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO)
Københavns Universitet
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg
www.ifro.ku.dk

Forord

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri har bedt Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO) ved Københavns Universitet (KU) om i samarbejde med ,Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA), Institut for Agroøkologi, samt Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE), Institut for Miljøvidenskab, ved Aarhus Universitet (AU) at vurdere, hvordan henholdsvis det danske og det globale klimaregnskab vil se ud, såfremt Danmark nationalt producerer en del af det foderprotein, der ellers ville blive importeret i form af soja. Vurderingen indebærer to scenarier, hvor henholdsvis 15 og 30 procent af sojaimporten erstattes af hjemmedyrket kløvergræs, lucerne eller hestebønner. Vurderingen foretages under antagelse om, at sojaimporten ikke er forbundet med afskovning efter den 31. december 2020, som defineret i EUDR.

Vurderingen er delt i to.

I den første vurdering estimerer IFRO klimaaftrykket for Danmarks sojaimport på baggrund af en kortlægning af sojaimporten i 2023 og en gennemgang af empiriske studier i eller nær produktionsområderne, hvor systemafgrænsning og antagelser belyses. Vurderingen tager yderligere delvist udgangspunkt i IFRO Udredning 2020/16, *Ændringer i drivhusgasudledninger fra arealanvendelse som følge af dansk import af afskovningsfri soja og palmeolie* (Bosselmann og Callesen, 2020), med hensyn til metoden til beregning af klimaregnskabet for sojaimporten.

I den anden vurdering estimerer DCA klimaeffekten ved en øget dansk produktion af protein fra de tre proteinafgrøder kløvergræs, lucerne og hestebønner. Herudover beskriver DCE opgørelsen af de nationale udledninger fra landbruget. Til sidst diskuteres resultaterne kort i forhold til det nationale og globale klimaaftryk samt af de anvendte metoder, herunder forskelle i opgørelsesmetoder sammenlignet med den nationale opgørelse. Vurderingen tager delvis udgangspunkt i DCA-leverancen fra juni 2024, *Klima- og miljøeffekter ved øget dyrkning af bælgsæd/proteinafgrøder* (Thers et al., 2024), som ved hjælp af modellen *CIRKULÆR* estimerede konsekvensen for klimaet og visse miljøparametre ved at øge den danske produktion af protein på bekostning af korndyrkning og på baggrund af nærmere definerede afgrøde- og teknologiscenarier. Antagelser og systemafgrænsning fra DCA-leverancen bibeholdes i denne besvarelse.

De to vurderinger af henholdsvis en reduceret import af soja og en øget produktion af hjemmedyrket protein sammenstilles i forhold til det globale og Danmarks klimaaftryk. Det er vigtigt at understrege, at det ikke er muligt at give et endeligt facit for det danske og globale klimaaftryk. Dette skyldes blandt andet forskelle i de anvendte metoder, herunder forskelle i antagelser om systemafgrænsning og afledte effekter. Disse forhold diskuteres.

Projektdeltagerne har løbende været i dialog under udarbejdelsen af notatets afsnit.

Notatet har været fremsendt til kommentering hos Landbrugsstyrelsen, der har fremsendt kommentarer i en særskilt skabelon. Kommentarerne er efterfølgende håndteret af forskergruppen, som dokumenteret i kommenteringsskabelonen. Fagfællebedømmelse er foretaget af Marie Lautrup (IFRO), Troels Kristensen (DCA) og Tommy Dalgaard (DCA). Ansvaret for udgivelsens indhold er alene forfatternes.

Sammendrag

Dette notat vurderer klimaaftrykket af Danmarks sojaimport og den potentielle klimaeffekt ved en øget dansk produktion af protein fra enten kløvergræs, lucerne eller hestebønner til delvis erstatning af importeret soja. Vurderingen beregner det nationale og globale klimaaftryk og belyser de anvendte metoder.

Metoder

Klimaaftrykket af Danmarks sojaimport er estimeret ved hjælp af livscyklusvurderinger (LCA). To tilgange er anvendt: 1) en attributional LCA (A-LCA) med økonomisk allokering og beregninger af udledninger fra direkte arealanvendelsesændringer (dLUC) og 2) en konsekvensbaseret LCA (C-LCA) med systemudvidelse, hvor sojaolie fortrænger palmeolie, og beregning af udledninger fra indirekte arealanvendelsesændringer (iLUC). Derudover er modellen *CIRKULÆR* anvendt til at estimere de ændrede drivhusgasudledninger ved dyrkning af de tre proteinafgrøder, når de enkeltvis erstatter arealer med korn i Danmark.

Resultater

Notatet præsenterer ikke en entydig konklusion om det globale og nationale klimaaftryk ved at erstatte soja med danskproducerede proteinafgrøder, da klimaaftryk ved ændringer i globale værdikæder afhænger af valg af metode, antagelser og systemafgrænsninger, hvorom der ikke er konsensus i den videnskabelige litteratur. Derfor præsenteres resultater fra forskellige tilgange og systemafgrænsninger. Der gives et overblik over drivhusgasudledningerne under to scenarier, hvor sojaimporten reduceres med henholdsvis 15 og 30 procent, mens produktionen af kløvergræs, lucerne eller hestebønner i Danmark øges tilsvarende. I beregningerne inkluderes drivhusgasudledninger fra øget produktion af hvede og byg i andre europæiske lande på grund af dansk arealomlægning. De samlede resultater indikerer udfaldsrummet for klimaeffekten ved en erstatning af soja med hjemmedyrket foderprotein og belyser de væsentlige potentielle positive eller negative klimaeffekter i produktionssystemerne.

Hovedpunkter

- Ved anvendelse af A-LCA og økonomisk allokering samt dLUC estimeres de samlede drivhusgasudledninger for Danmarks import af 1.463.402 tons sojaskrå i 2023 til 2.210.267 tons CO_2-ækvivalenter (CO_2æ). Ved brug af C-LCA, systemudvidelse og iLUC-emissionsfaktorer estimeres udledningerne til 789.211 tons CO_2æ. De største emissionsfaktorer for begge beregninger er arealanvendelsen (ændring eller forskydning) og den primære produktion. Den væsentlige forskel skyldes hovedsageligt, at systemudvidelsen under C-LCA antager, at sojaolien, som er et biprodukt ved produktion af sojaskrå, erstatter eller fortrænger palmeolie. Hermed fortrænges også det store klimaaftryk fra palmeolieproduktionen, hvilket reducerer de samlede udledninger fra sojaskråimporten.
- Drivhusgasudledningerne fra sojaimporten er i høj grad afhængige af produktionsområdets karakteristika, herunder arealanvendelsesændringer (LUC), der påvirker kulstoflagrene, især kulstof i træer og planter. Den højeste emissionsfaktor er 2,426 tons CO_2æ pr. ton sojaskrå fra sojabønner produceret i Cerrado-staterne i Brasilien, hvor dLUC fra konvertering af skov- og græssavanne til landbrug udgør den største enkeltstående emissionsfaktor. Sojabønner fra USA har derimod den

laveste emissionsfaktor på 0,684 tons CO_2æ pr. ton soja, primært på grund af dyrkning i etablerede landbrugsområder og en positiv kulstoflagring.

- Når korn udskiftes med henholdsvis kløvergræs eller lucerne, estimerer *CIRKULÆR*-modellen en stigning i de samlede landbrugsemissioner på henholdsvis 1,79 og 1,30 tons CO_2æ pr. ha omlagt areal med de største ændrede udledninger fra opbevaring og anvendelse af "plantegylle", som fremkommer ved afgasning af græsfiberen med produktion af biogas og gylle som konsekvens. En omstilling til hestebønner resulterer i samlede landbrugsemissioner på -1,2 tons CO_2æ pr. ha, det vil sige en reduktion, hvilket i høj grad skyldes færre udledninger fra gødskning. Skiftet fra korn til kløvergræs og lucerne øger kulstofbindingen i jorden under dyrkningen, da plantegyllen returneres til markerne, og kløvergræs og lucerne under dyrkningen tilfører mere kulstof til jorden end korn, henholdsvis 6,2 og 4,6 tons CO_2æ pr. ha pr. år beregnet som den tilbageværende mængde kulstof i jorden set i et 20-årigt perspektiv. For hestebønner reduceres kulstofbindingen svarende til 0,5 ton CO_2æ pr. ha. Et skifte fra korn til hver af de tre proteinafgrøder resulterer dermed i en reduktion i udledninger fra landbruget inklusive kulstofbindingen i jorden. Skiftet til proteinafgrøder fører også til ændringer i udledninger fra energiforbrug uden for landbruget, hovedsageligt til processer relateret til bioraffinering af kløvergræs og lucerne (1,3 og 1,2 tons CO_2æ pr. ha), og fra reduceret gødningsproduktion til fortrinsvis lucerne og hestebønner (-1,9 og -1,1 tons CO_2æ pr. ha). Biproduktet fra bioraffinering af kløvergræs og lucerne (pulp) antages at anvendes til biogasproduktion, som dermed kan fortrænge naturgas og udledninger herfra. Tabel 0.1 giver et overblik over ændringer i udledningerne.

Tabel 0.1. *Ændringer i drivhusgasudledninger i hvert led af produktionsprocessen for de tre proteinafgrøder*

Fra korn- til protein-produktion	Landbrugs-emissioner, samlet	Kulstof-binding	Energi ikke-landbrug	Produktion af gødning	Lækage af biogas	Fortrængt naturgas
Kløvergræs	1,792	6,196	1,298	0,079	0,562	6,019
Lucerne	1,303	4,595	1,178	-1,895	0,529	5,667
Hestebønner	-1,203	-0,545	0,055	-1,137	0	-

Note: Alle emissionsfaktorer og kulstofbinding er i tons CO_2æ pr. ha og er udtryk for ændringer i drivhusgasudledninger sammenlignet med nuværende kornproduktion.

- For scenariet med en 15 procent reduktion i sojaimport estimerer metoden A-LCA og dLUC en udledningsreduktion på 331.540 tons CO_2æ, mens C-LCA-metoden og iLUC estimerer en reduktion på 118.382 tons CO_2æ. Øget dansk produktion af kløvergræs, lucerne og hestebønner fører til reduktioner i de samlede udledninger af drivhusgasser, inklusive landbrug, kulstoflagring, bioraffinering og gødningsproduktion, på henholdsvis 235.759, 273.290 og 170.402 tons CO_2æ. Ser man alene på landbrugsemissioner (energi, stald- og lagertab, gødskning med mere og N_2O fra markerne), estimeres klimaaftrykket til øgede udledninger for kløvergræs og lucerne på henholdsvis 139.571 og 88.824 tons CO_2æ og til en reduceret udledning på 117.812 tons CO_2æ for hestebønner.
- Antager man, at omlægningen af dansk landbrugsjord til proteinafgrøder og den deraf lavere kornproduktion og -eksport fører til merproduktion af korn i de primære kornproducerende lande i Europa, resulterer den udenlandske kornproduktion i udledninger på 235.652 tons CO_2æ for delscenariet med kløvergræs, 224.138 tons CO_2æ for delscenariet med lucerne og 212.894 tons CO_2æ

for delscenariet med hestebønner. Dette er baseret på scenariet på 15 procent og brug af A-LCA og dLUC. Anvendes i stedet C-LCA og iLUC, er udledningen fra den udenlandske kornproduktion 83 procent højere for alle delscenarier. Biogasproduktionen baseret på pulpen fra bioraffinering af lucerne og kløvergræs kan erstatte naturgas og er i en størrelse, som i en forsimplet beregning kan fortrænge drivhusgasudledninger svarende til 350.253 og 425.021 tons CO_2æ. Det er her vigtigt at bemærke, at man ikke direkte kan sammenstille de forskellige klimaaftryk for en reduceret sojaimport og en øget dansk proteinproduktion på grund af forskelle i metoder.

- DCE er ansvarlig for den nationale emissionsopgørelse af drivhusgasser til EU og FN's rammekonvention om klimaændringer. Opgørelserne er opdelt i sektorer, heriblandt landbrug og LULUCF. Beregningerne inkluderer emissioner fra landbrugsproduktionen i Danmark, men inkluderer ikke emissioner fra import eller eksport af produkter som soja og svinekød. I LULUCF-sektoren opgøres drivhusgasudledninger og kulstofoptag fra arealanvendelse. Ændringer i sojaimport og dermed afgrødeproduktionen vil påvirke emissionsberegningen for både landbrugs- og LULUCF-sektoren, hvilket omfatter N_2O-emissionen fra dyrkning af landbrugsjorden, herunder emission fra afgrøderester samt kulstoflagring i jorden.
- Der er konceptuelle forskelle mellem tilgangene (en modellering af fremtiden i form af *CIRKULÆR* og en afrapportering af året, der gik, i form af DCE's nationale opgørelse), som gør, at det ikke er selvsagt, at den nationale opgørelse vil komme frem til samme ændring i drivhusgasudledningerne som *CIRKULÆR* – måtte de analyserede scenarier blive indfaset. Det skyldes især to ting. For det første er *CIRKULÆR* lavet for at kunne sammenligne scenarier, hvilket vil sige, at der skal være en referencesituation. På denne måde kan *CIRKULÆR* komme med et bud på konsekvensen af en kompliceret systemændring i landbruget. *CIRKULÆR* forudsætter stabile systemer, som hver især er uændrede over en årrække, og tager derfor udgangspunkt i gennemsnitsbetragtninger. I virkeligheden er hvert år forskelligt – selv i et relativt stabilt system. I den nationale opgørelse vil beregningerne reflektere årsvariationerne. For det andet er *CIRKULÆR* lavet for at udtale sig om fremtidige systemændringer. Det vil sige, at den information og de beregninger, som *CIRKULÆR* lægger til grund for et scenarie, beror på et datainput, der på en hensigtsmæssig måde kan beskrive fremtidens produktionssystem. Den nationale opgørelse kan i højere grad bero på et statistisk udtræk og på den måde anvende den faktiske mængde for et specifikt år.
  I denne besvarelse vil de mulige forskelle mellem *CIRKULÆR* og den nationale opgørelse formentlig især relatere sig til kulstoflagring og lagertab fra den opståede plantebaserede gylle fra delscenarierne med kløvergræs og lucerne til bioraffinering.
- I fremtidige behandlinger af spørgsmål af karakter som i denne besvarelse bør det i højere grad tilstræbes at sikre konsistent metodebrug i alle dele af beregningerne. Det er ikke muligt for forfatterne på stående fod at estimere det nødvendige tidsforbrug for en sådan opgave. Det er forfatternes overbevisning, at de dele af beregningerne, der især bør søges gjort mere konsistente, omfatter direkte land use change (LUC), indirekte land use change (iLUC), opgørelse af kulstoflagring samt metoder for allokering/systemudvidelser. Man vil aldrig komme uden om at foretage valg og antagelser, men man kan godt sikre en højere grad af konsistens inden for beregningerne, end det har været muligt i denne besvarelse med det forudsatte ressource- og tidsperspektiv.

Indhold

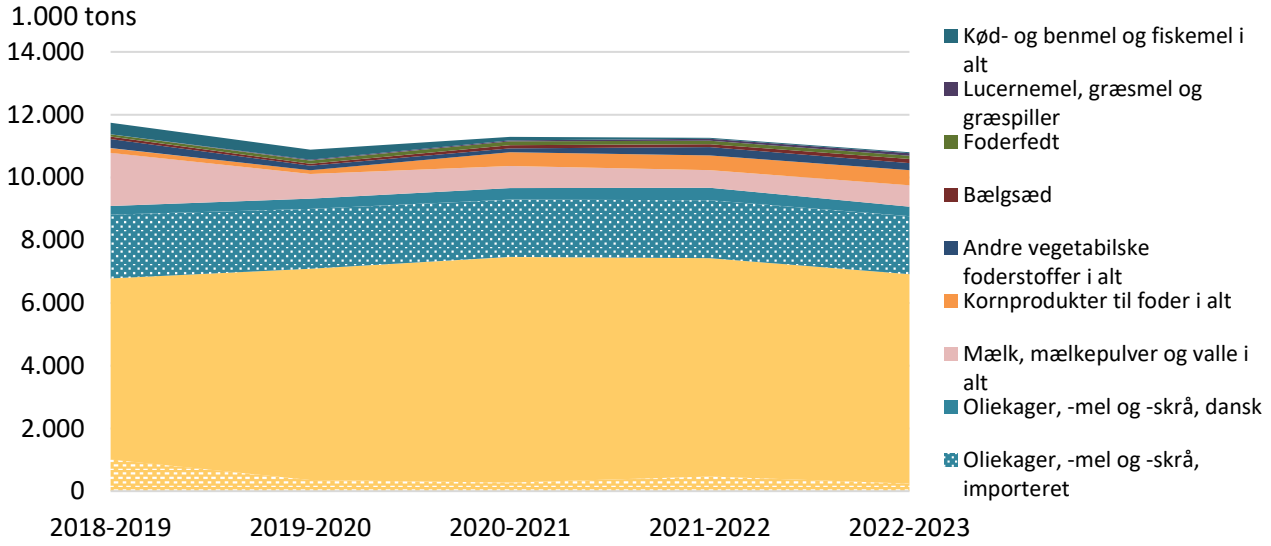
Forord 1
Sammendrag 2
Metoder 2
Resultater 2
Hovedpunkter 2
Indhold 5
1. Baggrund 7
1.1 Danmarks sojaimport 8
1.2 Klimaaftryk for den danskimporterede soja 10
1.3 EU-forordningen mod global skovrydning og skovforringelse 11
2. Metode 11
2.1 Metode for beregning af klimaaftryk for dansk import af sojaskrå 12
2.1.1 Metoder for udregning af sojas klimaaftryk 13
2.1.2 Anvendelse af nyere studier for klimaaftryk 13
2.2.3 Anvendelse af *Den Store Klimadatabase* 16
2.2 Metode for beregning af klimaaftryk for kløvergræs, lucerne og hestebønner 18
2.2.1 Baggrund for brug af modellen *CIRKULÆR* i besvarelsen 18
2.2.2 Introduktion af *CIRKULÆR*-modellen 18
2.2.3 Forklaring til modellens forudsætninger 19
2.2.4 Brug af *CIRKULÆR*'s resultater i denne besvarelse 21
3. Analyse og resultater 23
3.1 Klimaaftryk for danskimporteret soja til foder 23
3.2 Klimaaftryk for dansk dyrkede proteinafgrøder til foder 25
3.3 Samlet oversigt over klimaaftryk for en reduceret import af sojaskrå og en tilsvarende øget dansk produktion af proteinafgrøder 29
3.3.1 To eksempler på beregning af erstatning af sojaskrå 31
4. Metode for de nationale opgørelser 32
4.1 Konsekvens for landbrugssektoren ved en reduktion i import af soja 34
4.2 Konsekvens for LULUCF-sektoren ved en reduktion i import af soja 35
5. Diskussion af metoder, antagelser og resultater 36
5.1 Udregning af klimaaftryk for sojaimport 36
5.2 *CIRKULÆR*'s resultater 38
5.3 *CIRKULÆR*: forskelle til DCE's nationale opgørelse 39

Referencer 41
Bilag A. Brasiliens arealanvendelse og sojaproduktion 46
Bilag B. USA's arealanvendelse og sojaproduktion 48
Bilag C. Argentinas arealanvendelse og sojaproduktion 49
Bilag D. Emissionsfaktorer fra kilder 51
Bilag E. Emissioner forbundet med byg og hvede i udlandet 52

1. Baggrund

Aske Skovmand Bosselmann, Olivia Frandsen

Det danske landbrug er i høj grad tilpasset animalsk produktion, hvilket betyder, at en stor del af den danske landbrugsjord dyrkes med forskellige foderafgrøder. Foder kan deles op i grovfoder med højt indhold af kulhydrater og kraftfoder med højt indhold af protein og næring. Det danske forbrug af grovfoder består hovedsageligt af græs og grøntfoder, som produceres i Danmark, mens det samlede forbrug af kraftfoder består af flere forskellige produkter, herunder korn, som hovedsageligt dyrkes i Danmark, og pressede kager fra olieafgrøder (herunder soja), som i vid udstrækning importeres (figur 1.1). Danmarks forbrug af oliekager i kraftfoderet var i driftsåret 2022-2023 på 2,15 mio. tons. Heraf var 1,3 mio. tons, svarende til 60 procent, importeret sojaskrå[1]. Resten udgjordes af henholdsvis 31 procent rapskager (to tredjedele importeret), 5 procent importeret solsikkekager og 4 procent andre typer af oliekager. Blandt de mindre proteinkilder er dansk dyrket bælgsæd, lucernemel, græsmel og græspiller, som tilsammen stod for 207.000 tons af kraftfoderet i 2022-2023 (Danmarks Statistik, 2024a).



Figur 1.1. *Danmarks forbrug og import af kraftfoder*

Note: Import er kun vist for korn til foder og oliekager (prikket mønster), da importen fra andre typer af kraftfoder er ganske lille. Importeret sojaskrå udgør 1,287 mio. tons.
Kilde: Danmarks Statistik (2024a).

[1] Sojaskrå og sojakager er to produkter inden for dyrefoderindustrien. Begge produkter indeholder omtrent samme mængde protein. Forskellen mellem de to ligger i deres olieindhold, som varierer en smule. I eksisterende data og litteratur foretages der imidlertid sjældent et klart skel mellem kager og skrå. I dette notat vil betegnelsen "sojaskrå" blive anvendt som den generelle term.

1.1 Danmarks sojaimport

Olivia Frandsen, Aske Skovmand Bosselmann

Soja er et populært foderprotein på grund af et højt proteinindhold og en god aminosyresammensætning (Frandsen et al., 2023; Parajuli et al., 2022). Omkring 80 procent af verdens soja anvendes til dyrefoder i form af sojaskrå (Frandsen et al., 2023). Den internationale handel med soja er steget eksponentielt i løbet af de sidste 30 år, hvilket har ført til en betydelig ekspansion i arealforbruget til dyrkning af soja globalt samt en intensivering i landbrugspraksis (Dreoni et al., 2022). Som det ses i tabel 1.1, blev det globale sojaareal udvidet med 9,7 mio. ha fra 2018 til 2022. Den globale produktion i 2022 var på 348,9 mio. tons soja produceret på cirka 133,8 mio. ha. Brasilien, USA, Argentina, Indien og Kina er de fem største producenter af sojabønner og står sammenlagt for omkring 90 procent af produktionen.

Tabel 1.1. *De fem største producentlandes samt resten af verdens sojaproduktion fra 2018 til 2022 målt i mio. ha og mio. tons*

Mio. ha eller mio. tons (t)	2018		2019		2020		2021		2022	
	Ha	t	Ha	t	Ha	t	Ha	t	Ha	t
Brasilien	34,8	117,9	35,9	114,3	37,2	121,8	39,1	134,8	40,9	120,7
USA	35,4	120,5	30,3	96,7	33,4	114,7	34,9	121,5	34,9	116,4
Argentina	16,3	37,8	16,6	55,3	16,7	48,8	16,5	46,2	15,9	43,9
Indien	10,3	10,9	11,1	13,3	12,2	11,2	12,9	12,6	12,1	13,0
Kina	8,4	16,0	9,3	18,1	9,9	19,6	8,4	16,4	10,2	20,3
Resten af verden	18,8	11,8	6,5	12,6	6,9	12,4	7,2	13,0	7,6	10,7
I alt	124,1	344,8	121,4	335,9	127,5	355,9	130,5	372,9	133,8	348,9

Kilde: FAOSTAT (2024).

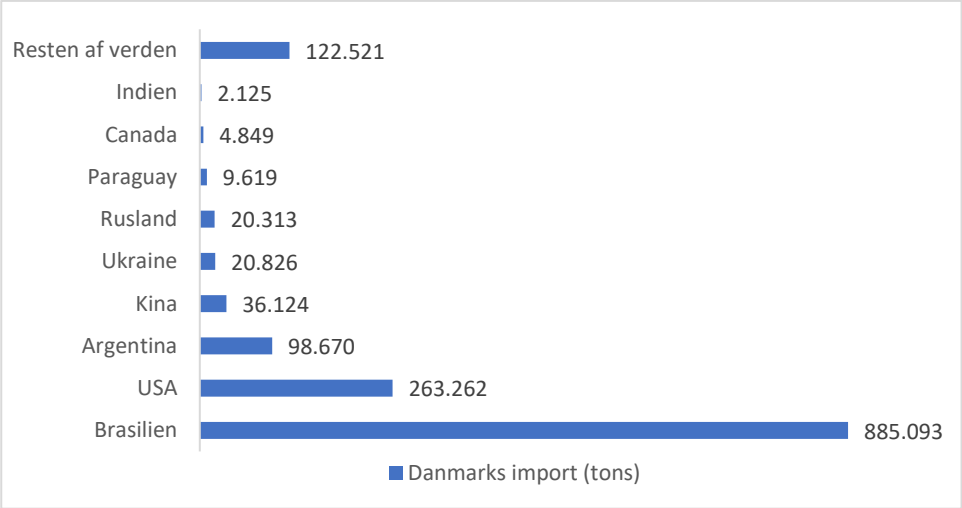
I Danmark er der en betydelig efterspørgsel efter sojaprodukter til den animalske produktion, herunder fra svineproduktion, som er den største aftager (Bosselmann og Callesen, 2020); kvæg- og fjerkræproduktion samt akvakultur. Som illustreret i tabel 1.2 nedenfor importerede Danmark knap 1,5 mio. tons soja i 2023, hvoraf cirka 94 procent var til foder (Danmarks Statistik, 2024a).

Tabel 1.2. *Danmarks import af sojaoliekager og sojabønner fra 2017 til 2021 målt i tons sojaskrå*

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1.755.763	1.631.686	1.613.585	1.720.973	1.547.861	1.689.955	1.578.333	1.438.376	1.463.923

Note. Det antages, at 79 procent af sojabønnernes vægt omdannes til sojaskrå. Dette betyder, at ud af 100 kg sojabønner vil der typisk være 79 kg sojaskrå efter olieudvinding.
Kilde: Danmarks Statistik (2024b).

Brasilien, Tyskland, Holland, Argentina og USA er de fem største direkte eksportører af soja til Danmark og står for 91 procent af Danmarks samlede import i 2023. Fra 2016 til 2022 var Tyskland den største eksportør til Danmark, men i 2023 overtog Brasilien den rolle og står nu for 44 procent af Danmarks direkte samlede import. Importen fra europæiske lande forventes at være reeksport. Tyskland og Holland har ikke en stor produktion af egne sojabønner, men er i top fem over de største eksportører til Danmark med henholdsvis 24 og 11 procent af Danmarks import i 2023. I figur 1.2 nedenfor har vi taget højde for deres reeksport af sojaskrå til Danmark baseret på deres import af sojabønner og -skrå fra primære producentlande.



***Figur 1.2**. Danmarks import af sojaprodukter til foder i 2023 fordelt mellem de største producenter, medregnet reeksport fra Tyskland og Holland og målt i tons sojaskrå*

Note: Det antages, at 80 procent af sojabønner bliver forarbejdet til sojaskrå. Reeksporten er beregnet for Tyskland og Holland, som står for henholdsvis 24 procent og 11 procent af Danmarks import. Importen i kolonnen *Resten af verden* antages også at stamme fra de ni produktionslande, da Danmarks direkte import primært kommer fra europæiske lande, der ikke producerer soja.

Kilde: Danmarks Statistik (2024b); Eurostat (2024).

Sojaproduktionen er forbundet med en række uønskede konsekvenser, herunder rydning af skove og anden naturlig vegetation, tab af naturlige levesteder og biodiversitet, intensiv landbrugsdrift med vandforurening som følge, konflikter omkring jordejerskab, krænkelse af oprindelige folks rettigheder samt udledning af drivhusgasser fra arealomlægning, landbrugsdrift, transport og forarbejdning (Frandsen et al., 2023; Dreoni et al., 2022). Et omdiskuteret eksempel er sojaproduktionen i Brasilien, som på den ene side har bidraget positivt til økonomisk vækst i løbet af de seneste 30 år, herunder stigninger i gennemsnitsindkomster og en reduktion i antallet af mennesker under fattigdomsgrænsen. På den anden side har denne ekspansion resulteret i omfattende skovrydning og ødelæggelse af naturlig vegetation som følge af udvidelsen af landbrugsarealer (Dreoni et al., 2022). Ifølge Reis og Moro (2022) er udvidelsen af sojaplantager den næststørste direkte årsag til skovrydning og omdannelse af naturlige økosystemer i Brasilien, kun overgået af udvidelsen af græsarealer til kvægbrug. Miljøpåvirkningerne, især skovrydning i Amazonas, er blevet adresseret gennem forskellige værdikædeinitiativer, der involverer nationale regeringer, internationale organisationer og virksomheder. To eksempler er certificeringsordninger såsom Round Table for Sustainable Soy (RTRS) og sojamoratoriet[2], en frivillig nulafskovningsforpligtelse (Zero-Deforestation Commitment, ZDC). Moratoriet involverer store multinationale kornvirksomheder, sojaproducenter og miljøorganisationer og forbyder direkte omdannelse af Amazonas-skove til sojaproduktion (Garrett et al., 2021). Blandt andet på grund af fokus på Amazonas er udvidelsen af sojaområder i Brasilien det seneste et og et halvt årti flyttet til Cerrado-regionen, som er en biom, der strækker sig over flere stater i Brasilien og i vid udstrækning består af skov- og græssavanne, som ikke falder under definitionen af skov i EUDR. Hovedparten af sojaplantagernes

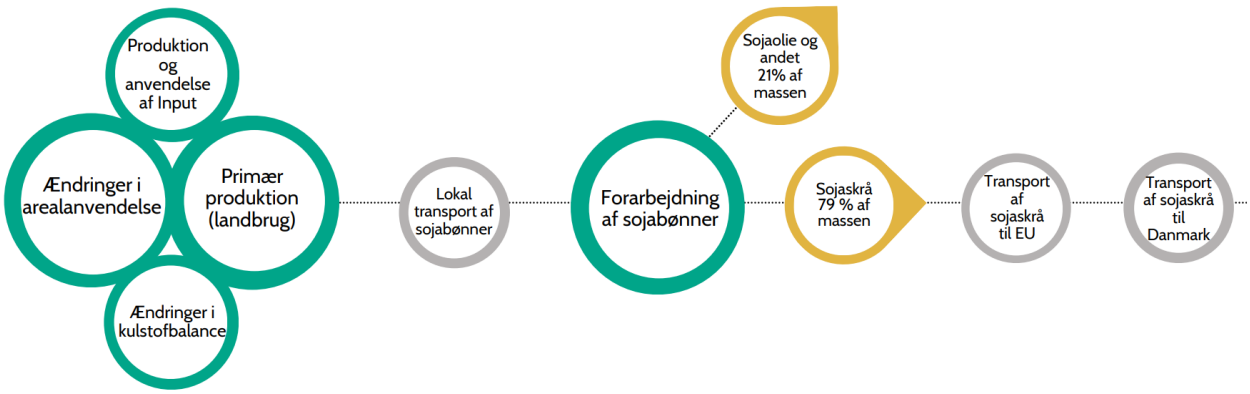
[2] https://moratoriadasoja.com.br/home

udvidelse fandt sted i Cerrado-regionen i 2020, hvor denne ekspansion var knyttet til skovrydning af 264.000 ha. Pampas-området, som er et græslandsbiom, er ligeledes hårdt ramt med sojaproduktion på 228.000 ha tidligere naturlige økosystemer i 2020. Til sammenligning var sojaproduktionen i Amazonas-regionen i 2020 forbundet med skovrydning af 76.400 ha (Reis og Moro, 2022). Reis og Moro (2022) fremhæver, at ZDC'er dækkede kun omkring 50 procent af Brasiliens sojaeksport i 2020, hvilket betyder, at halvdelen af eksporten ikke er omfattet. Afskovning er derfor stadig udbredt, især i Cerrado- og Pampas-regionerne, mere end et årti efter ZDC'ernes indførelse. De frivillige tilgange viser klare begrænsninger, og der er et behov for initiativer i vigtige biomer som Cerrado og Pampas.

1.2 Klimaaftryk for den danskimporterede soja

Olivia Frandsen, Aske Skovmand Bosselmann

Ifølge Parajuli et al. (2022) er de største kilder til drivhusgasudledninger i sojaproduktionen ændringer i arealanvendelse (LUC) efterfulgt af landbrugsproduktion, herunder gødning, omsætning af kulstof i jorden og brændstoffer til landbrugsmaskiner. Derudover er der også mindre udledningskilder, som omfatter frø- og maskinproduktion samt produktion relateret til infrastruktur. Vi har illustreret en generel livscyklus for sojaproduktionen med de led, vi har beregnet drivhusgasudledningerne for, i cyklussen, se figur 1.3. Dette giver et indblik i, i hvilke led den største udledning finder sted. Det er vigtigt at pointere, at udledningerne af drivhusgasser fra sojaproduktionen i høj grad er præget af produktionens placering, da der er stor variation i udledninger mellem lande og mellem stater inden for lande (Garofalo et al., 2022). Variationen bliver ikke mindre af, at der ikke er konsensus i litteraturen omkring metoder, herunder systemafgrænsning og antagelser, til at udregne udledninger fra et produkts livscyklus (Garofalo et al., 2022).



Figur 1.3. *Generel livscyklus for sojaproduktion samt drivhusgasudledninger for hvert led af cyklussen*
Kilde: Egen fremstilling.

1.3 EU-forordningen mod global skovrydning og skovforringelse

Aske Skovmand Bosselmann, Olivia Frandsen

I juni 2023 trådte EU's forordning mod skovrydning i kraft (EU Regulation on Deforestation-Free Products - EUDR). Centralt i forordningen er et krav til virksomheder, der importerer en række varer til EU eller handler med dem inden for EU, om, at varerne ikke må være forbundet med skovrydning eller skovforringelse efter den 31. december 2020[3]. Derudover skal virksomhederne sikre, at produktionen er foregået i overensstemmelse med national lovgivning, herunder at miljølovgivning, menneskerettigheder og oprindelige folks rettigheder respekteres. For at sikre, at kravene i EUDR overholdes, skal relevante virksomheder udstede en såkaldt due diligence-rapport, som dokumenterer overholdelse samt risici og risikoforanstaltninger med hensyn til skovrydning i hele værdikæden. Formålet er således at garantere, at de produkter, som benyttes i EU, ikke bidrager til verdens skovrydning eller skovforringelse. I dette notat antages det, at Danmarks importerede sojaprodukter overholder EUDR, det vil sige ikke er produceret i områder med skovrydning eller -forringelse, som defineret i EUDR (Miljøministeriet, 2023).

2. Metode

Aske Skovmand Bosselmann, Olivia Frandsen, O., Henrik Thers, Uffe Jørgensen

Notatet behandler det globale og det nationale klimaaftryk for to scenarier for en reduceret import af sojaskrå, henholdsvis 15 og 30 procent, og en tilsvarende øget dansk produktion af grønne proteiner. I det følgende beskrives de anvendte metoder til at beregne klimaaftrykket for en øget produktion af hver af de tre udvalgte proteinafgrøder – hestebønner, lucerne og kløvergræs – samt for Danmarks reducerede import af sojaskrå til foder. Disse beskrivelser danner grundlag for den efterfølgende præsentation af resultater samt en diskussion af beregningsgrundlaget og forskellene mellem den nationale opgørelse og de metoder, der er valgt til denne rapport.

Tabel 2.1 nedenfor beskriver Danmarks import af sojaskrå i 2023 samt de to scenarier for en reduktion på henholdsvis 15 og 30 procent i sojaimporten med en tilsvarende stigning i produktionen af enten lucerne, kløvergræs eller hestebønner, som modsvarer den reducerede import baseret på råproteinindholdet i de forskellige foderproteiner. Det angivne sojaareal på 655.738 ha, som den danske sojaskråimport lægger beslag på, er baseret på et gennemsnitsudbytte pr. ha fra FAOSTAT (2024) for de pågældende produktionslande.

[3] Varerne er soja, palmeolie, kakao, kaffe, naturgummi, oksekød og tømmer samt visse afledte produkter. Forordningen gælder for store og mellemstore virksomheder fra den 30. december 2024 og mikro- og små virksomheder fra den 30. juni 2025.

Tabel 2.1. *Scenarier for en henholdsvis 15 og 30 procent reduceret import af sojaskrå og en tilsvarende øget produktion af tre udvalgte grønne proteiner i Danmark*

	Materiale, tons	Protein, tons	Sojaareal, ha	Kløvergræsareal, ha	Lucerne-areal, ha	Heste-bønnearеal, ha
Import af sojaskrå til DK 2023	1.463.402	684.872	655.738			
Sce. 1: 15 % reduktion soja	-219.510	-102.731	-98.361	77.885	68.169	97.932
Sce. 2: 30 % reduktion soja	-439.021	-205.462	-196.721	155.771	136.338	195.864

Note: Tager udgangspunkt i en antagelse om 46,8 procent råprotein i den importerede sojaskrå ved 12 procent vandindhold.
Kilde: Egne beregninger for Danmarks import baseret på data fra Danmarks Statistik (2024b). Arealbehovet til henholdsvis kløvergræs, lucerne og hestebønner, når den enkelte erstatter hele den reducerede sojaimport, er udregnet baseret på resultater fra *CIRKULÆR*, se tabel 3.4.

2.1 Metode for beregning af klimaaftryk for dansk import af sojaskrå

Olivia Frandsen, Aske Skovmand Bosselmann

Klimaaftrykket for den danske import af sojaskrå estimeres ved hjælp af en kortlægning af Danmarks import af sojaskrå og sojabønner fra sojaproducerende lande i 2023 og en udregning af et klimaaftryk pr. ton importeret sojaskrå ved hjælp af emissionsfaktorer fra henholdsvis 1) *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) og 2) en række nyere kilder, der samlet anvendes til at udregne klimaaftrykket for dyrkning af sojabønner til import af sojaskrå i Danmark. Disse estimater sammenlignes. Der er væsentlige forskelle på de to metoder, hvilke beskrives nærmere i dette afsnit samt i den efterfølgende diskussion.

Den danske import af sojaskrå er baseret på handelsdata for 2023 fra Danmarks Statistik (2024b) med koderne *23040000 Oliekager og andre faste restprodukter fra udvinding af sojaolie, også formalede eller i form af piller/pellets* samt *12019000 Sojabønner, også knuste (undtagen til udsæd)*. Dertil er data fra Eurostat (2024), også fra 2023, benyttet til at medregne reeksporten fra producentlande via henholdsvis Tyskland og Holland til Danmark ved samme metode som benyttet i Callesen et al. (2020). Sojaimporten angives i sojaskrå, hvor volumen af sojabønner omregnes til sojaskrå med en faktor 0,79. Det antages yderligere, at sojaskrå indeholder 46,8 procent råprotein, hvilket benyttes ved erstatning af foderprotein fra sojaskrå med dansk produceret protein.

Udledningen af drivhusgasser fra produktionen af sojabønner varierer betydeligt afhængigt af oprindelsen, hvilket blandt andet skyldes forskelle i arealforbrug og gødskningstryk. Tidligere notater har belyst, hvorledes soja fra Sydamerika kan være forbundet med konvertering af naturlig vegetation, dog i ukendt udstrækning. Bosselmann og Callesen (2020) viser de samlede udledninger med og uden antagelse om konvertering af skov. I dette notat antages det, at den importerede soja lever op til EUDR og dermed ikke direkte er relateret til konvertering eller forringelse af skov. Sojaproduktionen kan stadig være forbundet med konvertering af andre typer af naturlig vegetation, herunder skov- og græssavanne, som ved konvertering til landbrug udleder store mængder af drivhusgasser. Ifølge Castanheira og Freire (2013) foregik 75 procent af arealkonvertering til landbrug i Brasilien i savanne- og busklandskaber, mens omkring 90 procent af arealomlæggelserne til landbrug i Argentina foregik i tørre og fugtige savanne- og græslandsområder, som ikke falder under EUDR's definition af skov. Vi har derfor for de tre største eksportlande, Brasilien, USA og

Argentina, kortlagt, hvilke regioner den danske import af soja stammer fra. Yderligere detaljer beskrives i Bilag A. Brasiliens arealanvendelse og sojaproduktion, B og C.

2.1.1 Metoder for udregning af sojas klimaaftryk

I den videnskabelige litteratur benyttes livscyklusvurderinger (LCA) som metode til at vurdere, hvilke(t) potentielle klima- og miljøpåvirkninger samt ressourceforbrug der er knyttet til et produkt fra produktion til forbrug. Det er væsentligt at fremhæve, at der i litteraturen findes forskellige typer af LCA, som er baseret på forskellige metoder og antagelser samt anvender data fra forskellige tidsperioder, hvilket har betydelig indflydelse på det endelige resultat. Derfor er det ikke muligt at præsentere et enkelt og entydigt facit for sojas klimaaftryk. Vi vælger at præsentere estimater baseret på to fremgangsmåder. Den første benytter sig af en attributional LCA (A-LCA) og økonomisk allokering af udledninger til henholdsvis sojaskrå og sojaolie, inkluderer udledninger fra direkte ændringer i arealanvendelse (dLUC) og anvender så vidt muligt data fra de nyeste tilgængelige kilder for perioden 2020 til 2023 i de primære eksportlande. Den anden fremgangsmåde tager udgangspunkt i *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021), som benytter en konsekvensbaseret LCA (C-LCA) og systemudvidelse, hvor sojaolien (fra produktionen af sojaskrå) erstatter palmeolie og inkluderer arealudledninger baseret på arealforbrug og generelle landbrugsudledninger (iLUC) samt benytter standardemissionsfaktorer fra LCA-databaser, eventuelt på landeniveau. Forskellene gennemgås i de følgende beskrivelser.

Baseret på litteraturens oftest benyttede afgrænsning af sojas livscyklus fra produktionen af sojabønner til forbruget af sojaskrå inkluderer vi i begge fremgangsmåder følgende processer:

- Ændringer i arealanvendelse (LUC)
- Primær produktion (landbrug)
- Transport, lokalt af sojabønner inden for produktionslandet og internationalt til Danmark af sojaskrå
- Forarbejdning af sojabønner til sojaskrå

Ændringer i kulstoflagring er inkluderet i dLUC i den første fremgangsmåde, hvor der benyttes A-LCA.

Formålet med at anvende og præsentere resultater fra begge fremgangsmåder er at vise spændet i klimaaftryk alt efter, hvilke metoder og antagelser man benytter. Der er ikke konsensus om, hvilken fremgangsmåde der er den ”rigtige”.

2.1.2 Anvendelse af nyere studier for klimaaftryk

De udvalgte nyere kilder anvender en attributional livscyklusvurdering (A-LCA). A-LCA benyttes til at analysere og kvantificere klimaaftrykket direkte forbundet med et specifikt produkt og dets komplette livscyklus. Denne metode fokuserer på at identificere og tilskrive de miljøpåvirkninger, der kan relateres direkte til produktet, ved at vurdere forholdet mellem input (som råmaterialer, energi og andre ressourcer) og output (som emissioner) gennem hele eller dele af produktets livscyklus. De samlede udledninger fra en produktion med flere outputs såsom forarbejdning af sojabønner til sojaskrå og sojaolie allokeres til de forskellige outputs baseret på enten masse eller økonomisk værdi. Valget af allokeringsmetode kan have betydelig indflydelse på de endelige resultater af en livscyklusvurdering. Vi anvender begge allokeringsmetoder, men viser kun detaljerede resultater for økonomisk allokering, som er den oftest benyttede metode. Forskellen i de samlede udledninger er i vores estimater en cirka 13 procent højere udledning ved brug af masseallokering.

Vi har gennemgået nyere kilder, som dækker perioden fra 2018 til 2024. Det er imidlertid vigtigt at bemærke, at de anvendte data i disse kilder går længere tilbage til perioden fra 2010 til 2022. Uddybende noter og referencer til de udvalgte empiriske studier kan ses i bilag D. Kilderne beregner emissioner fra sojaproduktionen i de største produktionsområder, herunder de nyere produktionsområder i Cerrado-regionen, de traditionelle sojaproducerende områder i Brasilien samt det øvre Midtvesten i USA, hvor over 80 procent af USA's samlede produktion af sojabønner finder sted (jævnfør kort i bilag A og B). Det har ikke været muligt at identificere specifikke kilder vedrørende sojaproduktionsområderne i Argentina. I stedet anvendes data fra brasilianske kommuner beliggende i Pampas-regionen, som også strækker sig ind i Argentina. Det antages, at emissionsfaktorerne for disse områder er sammenlignelige.

Direkte ændringer i arealanvendelsen (dLUC)

Der er udvalgt empiriske kilder, hvor direkte Land Use Change (dLUC) er anvendt som metode. Disse kilder benytter dLUC i lokale eller direkte vurderinger med fokus på de umiddelbare ændringer og konsekvenser for et specifikt område i forbindelse med en given produktion. dLUC refererer til de direkte ændringer i arealanvendelse på specifikke steder og anvendes derfor til at beregne emissionerne som følge af ændringer i arealbrug på kendte lokaliteter, hvor produktionen finder sted. Dette inkluderer for eksempel soja dyrket i traditionelle landbrugsområder i det sydlige Brasilien samt soja produceret i nyligt konverterede skovsavanneområder i Cerrado, Brasilien. Ved at fokusere på dLUC udelades de potentielle afledte effekter på arealanvendelse andre steder (jævnfør boks 2.1). I afsnit 3 sammenlignes resultaterne fra dLUC med resultaterne fra indirekte Land Use Change (iLUC), som anvendes i *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021).

Opdelingen i gamle og nye sojaproduktionsområder er en del af vores fremgangsmåde, som skal give en mere præcis vurdering af udledningerne fra importen fra Brasilien. Mængden af soja fra henholdsvis Cerrado og traditionelle sojaområder varierer nemlig betydeligt. Data for mængden af soja fra Brasilien er fra Trase Earth (Trase, 2022b), der har kortlagt eksporten af sojaskrå fra brasilianske kommuner, stater og biomer til henholdsvis Danmark, Tyskland og Holland. Der er taget udgangspunkt i de seneste data, som er fra 2020, og i eksporten på statsniveau. Stater med kommuner, som ligger indenfor Cerrado-biomet, og som er traditionelle sojaproducerende områder, såsom Mato Grosso du Sul og Sao Paulo regnes også i vores opdeling for at tilhøre traditionelle områder. Af Danmarks direkte import fra Brasilien i 2020 er 52 procent fra stater i Cerrado (Trase, 2022b). Vi tager også højde for Brasiliens eksport til Tyskland (47 procent fra nyere områder i Cerrado) og til Holland (34 procent), da de to lande har en stor reeksport fra Brasilien til Danmark (Eurostat, 2024; Danmarks Statistik, 2024b). Andelene er antaget at være de samme for Danmarks samlede import fra Brasilien (inklusive reeksport) i 2023 som i 2020. Derfor estimerer vi, at 437.259 tons sojaskrå kom fra Cerrado i 2023 og dermed er forbundet med en højere dLUC-emissionsfaktor, samt at 448.644 tons sojaskrå kom fra traditionelle områder. Importen fra Argentina antages at stamme fra områder i Pampas, hvilket var tilfældet i 2020 baseret på data fra Trase (2022b), mens importen fra USA er fra de traditionelle landbrugsområder i det øvre Midtvesten, hvor mere end 80 procent af landets samlede sojabønneproduktion finder sted (National Agricultural Statistics Service, 2024). På baggrund af dette er det vurderet, at udledningerne fra dLUC i dette område kan betragtes som repræsentative for dLUC i forbindelse med Danmarks sojaimport (se bilag C).

dLUC-emissionsfaktorer for Brasilien og Argentina er baseret på Garofalo et al. (2022), som udregner emissionsfaktorer fra sojaproduktionen i alle kommuner i Brasilien baseret på IPCC-retningslinjer, som inkluderer arealkonverteringsrater, ændringer i kulstoflagre og CO_2-emissioner fra arealanvendelse. Hvor et areal har flere afgrøder på et år, fordeles emissionerne på afgrøderne. Gennemsnitsemissioner fra

kommuner i de relevante stater i og uden for Cerrado er benyttet. Stater med konvertering af skov (EUDR) er dermed så vidt muligt undgået. Emissionsfaktorer for Argentina er baseret på kommuner i den brasilianske del af Pampas, hvor vi antager, at forholdene er sammenlignelige med den argentinske del af Pampas. For USA benyttes US EPA (2024), som udregner de samlede emissioner og den samlede lagring af kulstof i traditionelle landbrugsarealer, hvor nettoeffekten fra landbrugsjorder er et mindre optag af kulstof i jorderne. I alle tilfælde er udledning fra kulstofomsætning inkluderet.

Primær produktion (landbrug)

Udledninger i landbrugsproduktionen tager udgangspunkt i CarbonCloud (2024), som udregner klimaaftrykket for sojabønner i udvalgte lande. CarbonCloud følger Greenhouse Gas Protocols *Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* (2011) og data fra FAOSTAT (2024) med flere for de pågældende lande. Her indgår også produktionen samt anvendelsen af landbrugskemikalier, herunder uorganisk gødning. For lande i resten af verden (andre end Brasilien, USA og Argentina) har vi benyttet et vægtet gennemsnit for de største af de resterende eksportlande af sojaskrå til Danmark.

Transport

Lokal transport i Brasilien og Argentina er baseret på Escobar et al. (2020), som udregner de samlede udledninger fra transport af sojabønner over en femårig periode for hele Brasilien. Denne er delt med den samlede volumen af sojabønner i samme periode. I USA er lokal transport baseret på Sustainable Solutions Corporation (2024), mens Parajuli et al. (2022) anvendes til andre lande. International transport fra produktionslandene til Danmark er baseret på Mogensen et al. (2018), som har estimeret udledninger fra skibs- og landtransport for foderstoffer til Danmark fra en række lande.

Forarbejdning

Udledninger fra forarbejdningen af sojabønner til sojaskrå er ligeledes baseret på Escobar et al. (2020) og en femårig periode for produktion af soja i Brasilien. Sustainable Solutions Corporation (2024) og Parajuli et al. (2022) er benyttet til henholdsvis USA og andre lande. Ved forarbejdning antager vi, at 79 procent af sojabønner bliver til sojaskrå, 18 procent til sojaolie, og 3 procent til skaller og tab. Derved vil 79 procent af den samlede miljøpåvirkning blive allokeret til sojaskrå. Økonomisk allokering fordeler derimod miljøpåvirkninger mellem produkterne baseret på markedsværdien. Baseret på eksportpriser for sojaolie og sojaskrå fra USA, Brasilien og Argentina i 2022 (UN Comtrade, u.å.) resulterer den økonomiske allokeringsregel i, at sojaskrå allokeres omkring 68 procent af de samlede udledninger frem til forarbejdning, og at sojaolien allokeres de resterende 32 procent. Sojabønneskaller, omkring 3 procent i volumen, har en meget lille værdi og tages ikke med her.

Boks 2.1. *Begrebsafklaring i forhold til ændringer i arealanvendelse (LUC)*

Direkte ændringer i arealanvendelse (dLUC) og indirekte ændringer i arealanvendelse (iLUC) er to centrale begreber i diskussioner om landbrugsproduktionens miljøpåvirkninger, men de refererer til forskellige aspekter af arealanvendelsesændringer. Beregningen af iLUC findes i flere versioner, og der er ingen konsensus om anvendelsen af én specifik metode, hvilket resulterer i betydelige variationer i resultaterne.

Direkte ændringer i arealanvendelse (dLUC)

dLUC opstår, når én type arealanvendelse konverteres til en anden arealanvendelse, for eksempel konvertering fra skovsavanne til landbrug eller fra en type landbrug til en anden type. Ved udregning af drivhusgasudledninger fra dLUC henvises der til direkte ændringer i jordens anvendelse, som direkte påvirker kulstoflageret, oftest med fokus på kulstof indeholdt i træer og planter over jorden. Ved arealkonvertering vil de samlede udledninger typisk fordeles over en 20-årig periode. I dette notat benyttes blandt andet Garofalo et al. (2022) og US EPA (2024), som dog begge inkluderer omsætning af kulstof i jorden, hvilket normalt ikke hører til LUC. Af denne årsag angives negative udledninger i USA, hvor de traditionelle landbrugsjorder lagrer kulstof gennem forvaltningen af jord og afgrøder, men dLUC-emissioner er positive i Brasilien, hvor skov- og græssavanne konverteres til soja.

Indirekte ændringer i arealanvendelse (iLUC)

iLUC beskrives oftest som de udledninger fra ændringer i arealanvendelse, der forekommer som en konsekvens af en øget efterspørgsel efter landbrugsjord. I *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) beregnes iLUC baseret på det samlede globale landbrugsareal, de samlede udledninger fra landbrugsarealet og arealets produktivitet. En stigende efterspørgsel efter et produkt, for eksempel soja, fører til et øget behov for landbrugsjord, og iLUC-udledningen afhænger da af produktiviteten på det pågældende areal sammenlignet med den globale gennemsnitlige produktivitet af landbrugsjord.

2.2.3 Anvendelse af *Den Store Klimadatabase*

Livscyklusvurderingerne i Concitos *Den Store Klimadatabase* (2021) er udført i overensstemmelse med en konsekvensbaseret modelleringsmetode (Schmidt et al., 2024). Denne tilgang har til formål at vurdere klimapåvirkningen ved en ændring i efterspørgslen efter et givent produkt inklusive de afledte konsekvenser af ændringen. Metoden søger at inddrage alle emissionsfaktorer, der påvirkes som en konsekvens af disse ændringer, inklusive faktorer med meget lille vægt såsom produktionen af kommunikationsværktøjer, som indirekte og i meget lille grad påvirkes af stigende efterspørgsel efter sojabønner i Brasilien. De sædvanlige emissionsfaktorer, det vil sige landbrugsaktiviteter i landbruget, udgør dog langt størstedelen af de samlede udledninger, for eksempel 98 procent af udledninger i produktionen af brasilianske sojabønner. Metoden antager, at biprodukter (i dette tilfælde sojaolie) erstatter og dermed fortrænger andre lignende produkter (i dette tilfælde andre vegetabilske olier). Raffineret palmeolie er her antaget at være referenceproduktet, som sojaolien erstatter. Da palmeolie har en høj emissionsfaktor, hovedsageligt forbundet med udledninger fra tørvejorde i Indonesien, giver dette en relativt stor negativ udledning for produktionen af sojaolie, som fortrænger palmeolien. Denne negative udledning reducerer dermed de samlede udledninger for sojaskrå væsentligt. Vi har benyttet os af dataark, der er frit tilgængelige via hjemmesiden for *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021), til at opgøre detaljerede udledninger fra sojabønneproduktion globalt og fra de respektive lande samt fra sojabønneforarbejdning, inklusive transport til Danmark.

Vi har udregnet de samlede udledninger forbundet med Danmarks import af sojaskrå baseret på dataarket for sojaskrå generelt (*Ma0363-WW*) (Concito, 2021). Foruden emissionsfaktorer for brug af elektricitet, vand med mere henviser denne blandt andet til dataarket for sojabønner importeret til Danmark (Danmarks

Statistik, 2024b), som igen er baseret på et vægtet gennemsnit for sojabønneproduktion i udvalgte lande. Herefter har vi samlet udledningerne for de udvalgte processer i livscyklusvurderingen for sojaskrå. Dette resulterer i én emissionsfaktor for hver proces i livscyklussen til den danske import af sojaskrå. Vi har gentaget beregningen med udgangspunkt i dataark for sojabønneproduktion i de udvalgte sojaproducerende lande (FAOSTAT, 2024), og for hvilke der er landespecifikke data, samt tilpasset transportdistancen for derved at beholde den overordnede fremgangsmåde, men anvende emissionsfaktorer fra produktionslandene for soja til Danmark.

Ændringer i arealanvendelse (iLUC)

Som tidligere beskrevet anvender Schmidt et al. (2024) iLUC-metoden for at tage højde for det samlede arealbehov, som stiger ved en stigende efterspørgsel efter soja, uanset hvor denne soja produceres. dLUC baseres på historiske ændringer i arealanvendelse, som ikke nødvendigvis er relateret til, hvordan den nuværende og fremtidige efterspørgsel efter soja påvirker konvertering af naturlige økosystemer. *Den Store Klimadatabase* anvender en enkelt emissionsfaktor på 1,29 tons CO_2æ pr. ha pr. år som udtryk for iLUC på baggrund af de samlede udledninger fra det globale marked for land. For en given afgrøde og lokalitet (på landeniveau) afhænger udledningen fra iLUC af landets primære produktivitet relativt til det globale gennemsnit og af udbyttet for den pågældende afgrøde. For detaljer se Schmidt et al. (2015) og Schmidt et al. (2024).

Primærproduktion

Udledninger fra den primære produktion af sojabønner (dataark *Cm152-GLO*) (Concito, 2021) tager udgangspunkt i sojabønneproduktion i Brasilien (dataark *Ca152-Br*), USA (dataark *Ca152-US*), andre lande i Sydamerika (for Argentina og Paraguay, dataark *Ca152-WL*) og resten af verden (dataark *Ca152-WE*). For hver af de lande- og regionsspecifikke emissionsfaktorer for sojabønner udgøres de samlede udledninger hovedsageligt af udledninger fra iLUC, produktion og anvendelse af gødning samt energiforbrug. Sojabønner fra Brasilien har for eksempel en samlet udledning på 1,09 tons CO_2æ pr. ton sojabønner (dataark *Ca152-Br*), hvor iLUC står for 62 procent og gødning og energi for størstedelen af det resterende.

Transport

Data for udledningerne fra transport i *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) tager udgangspunkt i emissionsfaktorer fra tre forskellige transporter:

- Vejtransport med lastbil i Brasilien, som benyttes som standard for lastbiltransportudledninger i klimadatabasen: Det antages, at en lastbil har en CO_2æ-udledning på 0,0551 ton pr. ton sojaskrå, når den kører 1 ton sojaprodukter 259 km (dataark *Ma0259-BR*).
- Søtransport med skib fra produktionslandet til Europa: Der tages udgangspunkt i emissionsfaktorer for skibstransport i Indonesien (som anvendes som global emissionsfaktor for skibstransport) med en CO_2æ-udledning på 0,148 ton pr. ton sojaskrå ved en distance på 10.800 km (dataark *Ma0271-ID*).
- Vejtransport med lastbil til forbrugeren i Danmark inden for Europas grænser. Det antages, at en lastbil har en CO_2æ-udledning på 0,205 ton pr. ton sojaskrå, når den kører 1 ton sojaprodukter 1.680 km (dataark *Ma0362-DK*).

Forarbejdning

Data for udledningerne fra forarbejdning i *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) tager udgangspunkt i data for Brasilien og Indonesien, som dog næsten er identiske. Udledninger kommer fra følgende processer:

- Vandforbrug: Opsamling, rensning og fordeling i Brasilien har en udledning på 0,00000163 ton CO_2æ pr. ton soja.
- Brændstof fra naturgas: Forbrænding i Indonesien har en udledning på 0,00002299 ton CO_2æ pr. ton soja.
- Elektricitetsforbrug: Dette har i Brasilien en udledning på 0,00117 ton CO_2æ pr. ton sojaskrå.
- Brændstof fra olie: Forbrænding i Brasilien har en udledning på 0,00001785 ton CO_2æ pr. ton sojaskrå.
- Behandling af rå sojabønneolie: Den rå sojabønneolie, som i denne sammenhæng er et biprodukt i produktionen af sojaskrå, antages at erstatte raffineret palmeolie og PFAD[4]. Da produktionen af oliepalmefrugt har et stort klimaaftryk, hovedsageligt fra udledning af CO_2 fra tørvejorde, betyder den fortrængte palmeolie og PFAD, at sojaolien i beregning af klimaaftrykket får en negativ udledning på 1,245 tons CO_2æ ved produktion af 1 ton sojaskrå. Dette trækker væsentligt ned i den samlede udledning for sojaskrå.

Den samlede udledning for selve forarbejdningen af sojabønner til 1 ton sojaskrå er meget beskeden, omkring 0,0012 ton CO_2æ. Den relativt store negative udledning fra sojaolien, som fortrænger palmeolie og PFAD, lægges i dataarket for sojaskrå (*Ma0363-WW*) (Concito, 2021) sammen med udledningen fra den primære produktion af sojabønner, hvor den samlede udledning for sojaskrå, inklusive primærproduktion, transport og fortrængt palmeolie og PFAD, er på 0,4632 ton CO_2æ pr. ton sojaskrå.

2.2 Metode for beregning af klimaaftryk for kløvergræs, lucerne og hestebønner

Henrik Thers, Uffe Jørgensen

2.2.1 Baggrund for brug af modellen *CIRKULÆR* i besvarelsen

I besvarelsen af Thers et al. (2024) brugte DCA modellen *CIRKULÆR* til at estimere ændrede udledninger af drivhusgasser som konsekvens af at dyrke flere bælgplanter rettet mod proteinproduktion i stedet for korn. Besvarelsen benyttede scenarier med fem forskellige afgrøder (kløvergræs, lucerne, hestebønner til modenhed samt ærter til henholdsvis modenhed og til høst af grønne ærter) dyrket konventionelt og økologisk på udvalgte jordtyper. Thers et al. (2024) er benyttet som grundlag for klimabelastningen for øget dansk dyrkning af protein i denne besvarelse.

2.2.2 Introduktion af *CIRKULÆR*-modellen

Nedenstående afsnit er delvist gengivet fra Thers et al. (2024), hvor yderligere metodebeskrivelse kan findes. *CIRKULÆR*-modellen kan beregne produktion, emissioner samt over-/underskud af kvælstof, fosfor og kalium (N, P og K) for landbrugssystemer på regionalt og nationalt niveau baseret på en balancetilgang. Modellen tager højde for strømmene af plantebiomasse, herunder affald og biprodukter, gennem landbrugsproduktion og forarbejdning. Biomassestrømmene forlader modellen i form af landbrugsprodukter som korn, kød,

[4] PFAD står for Palm Fatty Acid Distillate, på dansk palmefedtsyredestillat. Det er en forarbejdningsrest, der opstår ved raffinering af rå palmeolieprodukter og anvendes typisk som foderstof.

planteolie og biogas eller som affald og biprodukter, der føres tilbage til jorden. Derudover beregner *CIRKULÆR* kulstof-, kvælstof- og energiindholdet i biomassen, når den bevæger sig gennem lagring og forarbejdning, samt beregner tab og fordelinger mellem råvarer (for eksempel rapsfrø) og produkter (for eksempel rapsolie og kager).

Et givet scenarie i *CIRKULÆR* definerer grundlæggende en fordeling af jordtyper, afgrøder og husdyr over et givet område med yderligere parametre for opbevaring, forarbejdning og efterbehandling af biomasse i systemet. Forskellige scenarier, der repræsenterer forskellige landbrugssystemer, kan sammenlignes på den samme jordtype eller på tværs af forskellige jordtyper samt mellem konventionel og økologisk landbrugspraksis.

CIRKULÆR er en statisk model, hvilket betyder, at den beregner alle produktions-, lagrings- og forarbejdningstrin på én gang i et uspecifikt år uden hensyntagen til parametre, der udvikler sig eller ændrer sig gennem tiden, såsom jordens tilstand, vejret eller klimaet. Vigtigt er det, at CIRKULÆR foretager alle sine beregninger baseret på typiske standarder for produktivitet, ressourceudnyttelseseffektivitet og emissionsfaktorer. Størstedelen af disse tal er fundet i det danske normsystem og andre generelle kilder (Børsting et al., 2021; Landbrugsstyrelsen, 2019; Landbrugsstyrelsen, 2020; NorFor, u.å.; SEGES, u.å.) suppleret med fagfællebedømt videnskabelig litteratur (for grønne ærter er der dog tale om upublicerede data, da normerne ikke dækker disse (Peixoto et al., under udarbejdelse), og alle kilderne er vurderet til at repræsentere de mest aktuelle og pålidelige data, der er til rådighed. Det overordnede formål med *CIRKULÆR*-modellen er således at evaluere forskelle i ressourceforbrug, produktion og miljøpåvirkning mellem forskellige scenarier i et generisk "gennemsnit"-år.

2.2.3 Forklaring til modellens forudsætninger

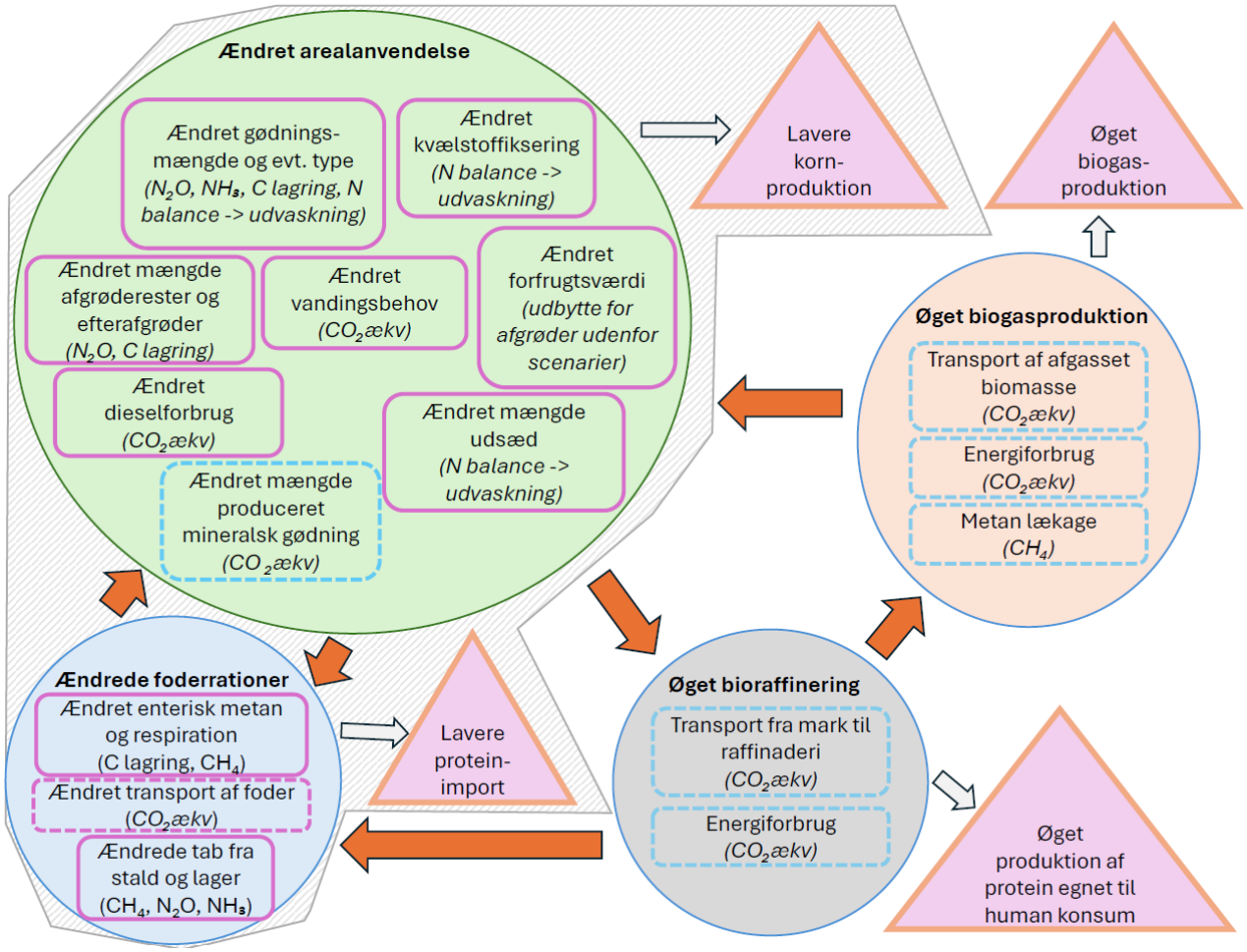
Referencescenariet er en tilnærmet efterligning af Danmarks landbrugsproduktion, som den er nu. Afgrødefordelingen beror på et gennemsnit over årene 2018-2022. Efterafgrødearealet og husdyrholdet beror på et udtræk fra 2021. Der ændres ikke på husdyrholdet mellem de alternative delscenarier for kløvergræs, lucerne og hestebønner, hvorfor det menes tilstrækkeligt, at det repræsenteres af et udtræk fra 2021.

Modellens afgrænsning omfatter dyrkningen (herunder energi til vanding og emissioner fra kalkning), emissioner fra kulstofrige jorde klassificeret med jordbonitet 11 (JB 11), emissioner fra husdyrhold, emissioner fra anvendte teknologier samt emissioner fra gødningsopbevaring og udbringning. Der medregnes energiforbrug til de nævnte omfattede kategorier, men kun energiindhold til dyrkning (herunder også udbringning af kalk og gødning) og husdyrhold (herunder også transport af hjemmedyrket foder) medregnes til landbrugsemissionerne.

Landbrugsemissioner

I det landbrugsrelaterede forbrug af energi er inkluderet energi til markoperationer, vanding, intern transport, energi brugt i stalde og indengårdsmekanisering samt tørring af de afgrøder, som fodres op eller forarbejdes i modellen. I stald- og lagertab indgår enterisk metan, emissioner fra stalde samt emissioner fra gødningsopbevaring. I emissioner fra gødskning med mere indgår emissioner fra udbringning, den direkte ammoniakemission fra afgrøder samt lattergas fra omsætningen af afgrøderester. I de viste resultater indgår ikke en eventuel ændring i produceret energi fra halmvarme; tørring af afgrøder, der ikke anvendes i modellen; samt emissioner forbundet med importerede produkter. Transport til og fra teknologier såsom

biogas og pyrolyse medregnes ikke til landbrugsemissionerne. Lækage af metan fra biogasanlæg medregnes heller ikke til landbrugsemissioner.



***Figur 2.1**. Modelafgrænsning: afgrænsning af aktiviteter, input og output, der bidrager til de rapporterede ændringer mellem referencescenariet og de alternative delscenarier, hvor korndyrkning erstattes af øget dyrkning med afgrøder målrettet proteinproduktion*

Note: Cirklerne angiver forskellige delberegninger i modellen og de ændrede klima- og miljøpåvirkninger, som de giver anledning til. I cirklerne er angivet typen af ændringer i bokse. De lilla bokse er landbrugsemissioner, og de blå stiplede bokse er ikke-landbrugsemissioner (som er listet særskilt i resultaterne). En enkelt kasse er lilla og skraveret og indeholder både landbrugs- og ikke-landbrugsemissioner, da traktortransport af korn til foder er en landbrugsemission i *CIRKULÆR*, hvorimod lastbiltransport ikke er det. Trekanterne indeholder ændringer i producerede mængder produkter. Orange pile angiver biomasseflows, og grå pile angiver konsekvenser for produktion. Det gråskraverede område gælder for hestebønnedelscenariet, og hele figuren gælder for delscenarierne for de grønne afgrøder (kløvergræs og lucerne).
Kilde: Egen fremstilling.

Ikke-landbrugsemissioner

Dette inkluderer forbruget af energi til transport af produkter, der forlader landbruget og indkøbes (dog ikke transport af importeret foder) samt forbruget af energi til forarbejdning og proces, for eksempel energiforbruget på en oliemølle eller et biogasanlæg. Der regnes med en procent lækage af det samlede udvundne metan fra biogas. Emissioner fra produktion med mere af gødning dækker over kvælstof-, fosfor-

og kaliumgødning, hvor værdierne 6.600 CO_2æ pr. kg N, 3.600 CO_2æ pr. kg P og 700 gCO_2æ pr. kg K er anvendt i tråd med de anvendte værdier i Mogensen et al. (2018).

Høstede afgrøder, som ikke behandles af nogen teknologier, forudsættes af modellen efterladt i marken. Det vil sige, at der ikke medregnes nogen transport eller forarbejdning af for eksempel det korn, der er i overskud, når modellen er kørt til ende. For forarbejdede produkter, som ikke anvendes yderligere i modellen, gælder tilsvarende, at de forbliver på fabrikken, og at der ikke inkluderes yderligere emissioner. Et eksempel kunne være det hvide protein fra bioraffinering, som forbliver på raffinaderiet. Modellen beregner derudover også transport og energi til teknologier, lækagetab fra biogas, emissioner fra dyrkning, forarbejdning og transport af importerede produkter samt produktion af mineralsk gødning. Der medregnes ikke drivhusgasemissioner fra importerede produkter i denne besvarelses brug af *CIRKULÆR*. Dette er undgået for, at der ikke skal opstå dobbelttælling af den lavere import af soja. Vi estimerer dog særskilt emissioner forbundet med produktion af gødning. Figur 2.1 ovenfor viser en oversigt over de inkluderede emissioner, der bidrager til forskellen mellem referencescenariet og de alternative delscenarier i nærværende besvarelse.

CIRKULÆR angiver en mængde CO_2æ for hvert delscenarie (en ha med den "nye" afgrøde i stedet for korn), og dertil beregnes ændringerne i produktionen og importen (trekanterne). Disse ændringer i produktion og import skal herefter omregnes til CO_2æ, da dette ikke sker i *CIRKULÆR*. I denne besvarelse er der især fokus på sojaimport, men for at få retvisende resultater er det tilsvarende vigtigt at omregne den manglende kornproduktion og den øgede biogasproduktion til CO_2æ. Ændringen af produktionen af protein til humant konsum er dog så beskeden, at det må betragtes som rimeligt at se bort fra denne. Det skal også nævnes her, at bidraget fra *Ændrede foderrationer* (jævnfør figur 2.1) er beskedent (bortset fra den ændrede proteinimport), men at der er små bidrag herfra i *CIRKULÆR*, når foderrationerne sammensættes på en ny måde.

Kulstofberegningen er baseret på et 20-årigt perspektiv og forklaret nærmere i Thers et al. (2024). Det skal nævnes, at det er første gang, DCA, AU, bruger denne specifikke metode til at inkludere kulstoflagring i en besvarelse. Der er andre måder at beregne kulstoflagring på, og man bør derfor i udgangspunktet benytte resultaterne uden kulstoflagring og dertil se den beregnede kulstoflagring som et udtryk for, om det specifikke alternative scenarie vil føre til mindsket eller øget kulstoflagring i forhold til referencescenariet.

2.2.4 Brug af *CIRKULÆR*'s resultater i denne besvarelse

Det er i forbindelse med denne besvarelse besluttet at reducere antallet af scenarier til tre afgrødetyper, nemlig kløvergræs som repræsentant for kvælstofgødskede grønne afgrøder, lucerne som repræsentant for ikke-kvælstofgødskede grønne afgrøder og hestebønner som repræsentant for bælgfrugter høstet til modenhed. Resultaterne for de tre afgrødetyper repræsenteres i denne besvarelse af et gennemsnit af resultaterne fra tre jordtypekategorier, nemlig uvandet grovsand, vandet sandjord og lerjord (tabel 2.2).

Tabel 2.2. *Beskrivelse af de delscenarier, der ligger til grund for nærværende besvarelse, og som udgør et udvalg af scenarierne fra Thers et al. (2024)*

A	
1	Konventionelt proteinkløvergræs til bioraffinering. Pulpen går til biogas. Brunsaften udbringes uden afgasning. JB 1+3.
3	Konventionelt proteinkløvergræs til bioraffinering. Pulpen går til biogas. Brunsaften udbringes uden afgasning. Vandet JB 1-4.
5	Konventionelt proteinkløvergræs til bioraffinering. Pulpen går til biogas. Brunsaften udbringes uden afgasning. JB 7+8+9.
B	
12	Konventionel lucerne til bioraffinering. Pulpen går til biogas. Brunsaften udbringes uden afgasning. JB 1+3.
13	Konventionel lucerne til bioraffinering. Pulpen går til biogas. Brunsaften udbringes uden afgasning. Vandet JB 1-4.
14	Konventionel lucerne til bioraffinering. Pulpen går til biogas. Brunsaften udbringes uden afgasning. JB 7+8+9.
C	
25	Konventionelle hestebønner til modenhed til foderformål efterfulgt af vintersæd. JB 1+3.
26	Konventionelle hestebønner til modenhed til foderformål efterfulgt af vintersæd. Vandet JB 1-4.
27	Konventionelle hestebønner til modenhed til foderformål efterfulgt af vintersæd. JB 7+8+9.

Note: Nummereringen af de udvalgte scenarier er bibeholdt fra den originale tabel fra Thers et al. (2024), hvorfor nummereringen ikke er fortløbende.
Kilde: Egen fremstilling baseret på Thers et al. (2024).

Scenarierne, der ligger til grund for resultaterne, er vist i ovenstående tabel 2.2. Nummereringen af de udvalgte scenarier er bibeholdt fra den originale tabel, hvorfor nummereringen ikke er fortløbende. I det følgende er resultaterne fra de tre jordtypekategorier for hver afgrøde omregnet til et gennemsnit, så der for hvert delscenarie kun er ét resultat (henholdsvis 1, 3 og 5 (herefter delscenarie A); 12, 13 og 14 (herefter delscenarie B); 25, 26 og 27 (herefter delscenarie C)).

Der er i nærværende besvarelse sket en genberegning af resultaterne ved brug af AR5 (IPCC, 2014b), som betyder, at metan og lattergas er omregnet til CO_2æ ved faktorerne 28 og 265, hvor der i Thers et al. (2024) blev anvendt AR4-faktorerne 25 og 298. Derudover er der ved genberegningen fundet to uoverensstemmelser, som nu er rettet. Der kan derfor forekomme afvigelser i resultaterne i forhold til Thers et al. (2024).

I delscenarierne medfører ændringerne en anderledes arealanvendelse, i og med at korn udgår, og en af de tre proteinafgrøder træder ind på det samme areal (se figur 2.1). Det medfører dels ændrede input og maskinoperationer, som igen medfører ændrede emissioner af drivhusgasser.

Hertil kommer beskedne bidrag til ændrede emissioner fra ændringer i sammensætningen af foderrationer til husdyrholdet. For delscenarierne med grønne afgrøder kommer desuden signifikante bidrag fra bioraffinering samt bioafgasning af den opståede pulp fra bioraffineringsprocessen. Især den relativt store mængde af kulstof høstet i de grønne afgrøder, som tilbageføres til markerne via plantegylle, bidrager til en ekstra kulstoflagring i disse scenarier.

Modellens opregnede drivhusgasemissioner inddeles i landbrugsemissioner og ikke-landbrugsemissioner. De beregnede ikke-landbrugsemissioner kan være udledt i Danmark eller et andet land alt efter, hvor for eksempel den mineralske gødning er produceret. Drivhusgasemissionerne fra ovenstående udvalgte delscenarier vil her i besvarelsen blive brugt som sammenligningsgrundlag for sparede emissioner ved mindre import af soja.

Det skal understreges, at de valgte delscenarier er konkret definerede ved for eksempel, at græspulpen afgasses før udbringning på marken, hvorimod brunsaften fra bioraffinering ikke afgasses (de er beskrevet mere detaljeret i Thers et al. (2024)). Hvis pulpen i stedet var brugt til kvægfoder eller komposteret, ville det give andre resultater. Ligeledes kunne man have valgt et andet udbytteniveau for de grønne afgrøder med en lavere kvælstofgødskning for kløvergræssets vedkommende. Delscenarierne er defineret på baggrund af forfatternes bedste bud på, hvordan en udvidet proteinproduktion i Danmark kunne komme til at se ud. Endelig skal det nævnes, at kulstoflagring kan beregnes på forskellige måder, og at denne besvarelse derfor indeholder resultater både med og uden kulstoflagring, så man særskilt kan se, hvad denne faktor betyder for det samlede resultat.

Den fortrængte danske produktion af korn antages marginalt at være halvt vinterhvede og halvt vårbyg. Det manglende korn antages herefter at blive produceret i andre europæiske lande. Vi antager, at produktionen flytter til Tyskland, Frankrig og Storbritannien, da de er de største producenter af byg og hvede i Europa (eksklusive Rusland og Ukraine) og samtidig eksportører af hvede og byg til de samme lande, som Danmark eksporterer til (FAOSTAT, 2024; Danmarks Statistik, 2024b). Klimaaftrykket herfra udregnes på baggrund af data fra *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) og CarbonCloud (2024) samt emissioner fra hvede- og bygproduktion i relevante lande (FAOSTAT, 2024; Danmarks Statistik, 2024b), så de samlede konsekvenser af omlægningerne af produktionen kan skitseres.

3. Analyse og resultater

Aske Skovmand Bosselmann, Olivia Frandsen, Henrik Thers, Uffe Jørgensen

Dette afsnit skal præsentere resultater for klimaaftrykket i scenarierne med henholdsvis 15 og 30 procent reduceret sojaimport til foder og en tilsvarende øget dansk produktion af enten kløvergræs, lucerne eller hestebønner. Da der er anvendt forskellige metoder til beregning af disse klimaaftryk, er der ikke udført en endelig beregning af det samlede klimaregnskab. Resultaterne kan derfor kun fungere som brede indikatorer, der peger i retning af en potentiel positiv eller negativ udvikling i klimaregnskabet. Formålet med disse indikatorer er at give en overordnet forståelse af, hvordan ændringer i landbrugspraksis og importmønstre kan påvirke det samlede klimaaftryk.

3.1 Klimaaftryk for danskimporteret soja til foder

Aske Skovmand Bosselmann, Olivia Frandsen

Tabel 3.1 viser udledningen af klimagasser i forbindelse med Danmarks import fra Brasilien, henholdsvis fra Cerrado og traditionelle områder; Argentina; USA og Canada; samt resten af verden. Emissionsfaktorerne for livscyklusvurderingen, inklusive dLUC, er baseret på nyere empiriske kilder og benytter økonomisk allokering af udledninger fra sojabønneproduktionen til henholdsvis sojaskrå og sojaolie. Den største samlede emissionsfaktor er 2,426 tons CO_2æ for 1 ton sojaskrå fra sojabønner produceret i Cerrado-staterne, hvor dLUC fra konvertering af skov- og græssavanne til landbrug udgør den største enkelte emissionsfaktor. Brasilien uden for Cerrado og Argentina har sammenlignelige emissionsfaktorer, mens sojabønner fra USA er forbundet med den laveste emissionsfaktor, primært på grund af positiv lagring af kulstof i landbrugsområderne. De samlede udledninger fra Danmarks sojaimport er ved denne fremgangsmåde på 2.210.267 tons CO_2æ. Hvis der i stedet for økonomisk allokering benyttes masseallokering af udledninger til henholdsvis sojaolie og sojaskrå, er den samlede udledning fra importen af sojaskrå til Danmark på 2.506.602

tons CO_2æ, omkring 13 procent højere. Dette skyldes, at sojaolien qua en højere kilopris end sojaskrå allokeres en større andel af udledningerne fra landbrugsproduktionen og fra forarbejdningen ved brug af økonomisk allokering end ved masseallokering.

Tabel 3.1. *Klimaaftryk forbundet med sojaskrå i forbindelse med arealomlægning, primær produktion, forarbejdning og transport målt i CO_2æ*

	Enhed	Brasilien (traditionel)	Brasilien (Cerrado)	Argentina/ Paraguay (Pampas)	USA og Canada	Resten af verden
Arealomlægning (dLUC) og C i jord	Emissionsfaktor	0,587	1,539	0,744	-0,052	0,204
Primær produktion (landbrug)	Emissionsfaktor	0,298	0,298	0,281	0,375	0,419
Lokal transport (lastbil og/eller tog)	Emissionsfaktor	0,060	0,181	0,060	0,008	0,058
Forarbejdning af bønner til sojaskrå	Emissionsfaktor	0,126	0,120	0,095	0,101	0,146
Transport til Danmark	Emissionsfaktor	0,288	0,288	0,257	0,251	0,173
I alt	Emissionsfaktor	1,360	2,426	1,437	0,684	0,999
Danmarks import af sojaskrå	Ton	448.234	436.859	108.289	268.111	201.909
Samlet udledning	Ton CO_2æ	609.786	1.059.802	155.603	183.275	201.800
Danmarks totale udledninger	Ton CO_2æ			2.210.267		

Note: Emissionsfaktorerne er fra nyere empiriske studier. I de anvendte kilder er kulstofændringer medregnet i dLUC, bortset fra *Resten af verden*, hvor vi har medregnet kulstofændringerne i dLUC med data fra Mogensen et al. (2018). Der er anvendt økonomisk allokering for sojabønner til sojaskrå.
Kilde: Egen fremstilling baseret på data fra CarbonCloud (2024), US EPA (2024), Escobar et al. (2020), Garofalo et al. (2022), Mogensen et al. (2018) og Sustainable Solutions Corporation (2024).

Tabel 3.2. viser de samlede udledninger forbundet med Danmarks import af sojaskrå med udgangspunkt i fremgangsmåden og data fra *Den Store Klimadatabase*. Emissionsfaktorerne er som tidligere beskrevet baseret på en række dataark og er her samlet i processerne svarende til livscyklusvurderingen. Vi har anvendt emissionsfaktorer for iLUC, sojabønneproduktion og transport til Europa specifikt for fire regioner: Brasilien, Argentina og Paraguay, USA og resten af verden. De andre forhold, herunder lokal transport, forarbejdning af sojabønner til skrå samt transport i Danmark er tilknyttet ens emissionsfaktorer, uanset hvor sojaskrå er produceret.

Den totale emissionsfaktor for sojaskrå er højest for Brasilien (0,632) og resten af verden (0,691), hvilket skyldes høje udledninger fra iLUC, som er baseret på primærproduktiviteten i de pågældende lande sammenlignet med det globale gennemsnit og på udbyttet af sojabønner. Den højere udledning i den primære produktion i Brasilien skyldes hovedsageligt mere intensiv brug af gødning. De samlede udledninger af drivhusgasser estimeres her til 789.211 tons CO_2æ for den danske import af sojaskrå. Dette er væsentligt lavere end i tabel 3.1, hvor dLUC er medtaget, og A-LCA med økonomisk allokering er benyttet. Dette skyldes, at palmeolie, som fortrænges af produktionen af biproduktet sojaolie, har et stort klimaaftryk. Palmeolie er referencen, da det er den største og hurtigst vækstende vegetabilske olie. Antog man i stedet, at sojaolien fortrænger rapsolie, ville den negative udledning fra den fortrængte vegetabilske olie være på omtrent

halvdelen, og de samlede emissioner fra den danske import af sojaskrå ville stige med omkring en million tons CO_2æ. Dette viser, hvor stor en rolle antagelser om afledte effekter og systemafgrænsning har.

Tabel 3.2. *Klimaaftryk forbundet med sojaskrå i forbindelse med arealforskydning, primær produktion, forarbejdning og transport fordelt på Danmarks tre største sojaeksportører og målt i CO_2-æ*

	Enhed	Brasilien	Argentina, Paraguay	USA	Resten af verden
Arealforskydning (global iLUC)	Emissionsfaktor	0,867	0,579	0,489	0,957
Primær produktion (landbrug)	Emissionsfaktor	0,539	0,497	0,502	0,501
Lokal transport (lastbil)	Emissionsfaktor	0,264	0,264	0,264	0,264
Forarbejdning af bønner til sojaskrå	Emissionsfaktor	0,001	0,001	0,001	0,001
Transport til Europa (skib)	Emissionsfaktor	0,148	0,179	0,132	0,155
Transport til/i Danmark (lastbil)	Emissionsfaktor	0,055	0,055	0,055	0,055
Fortrængt palmeolie og PFAD fra sojaolie	Emissionsfaktor	-1,242	-1,242	-1,242	-1,242
I alt	Emissionsfaktor	0,632	0,334	0,201	0,691
Dansk import af sojaskrå	Tons	885.093	108.289	268.111	201.909
Samlet udledning	Tons CO_2æ	559.570	36.133	53.959	139.549
Danmarks totale udledninger	Tons CO_2æ	789.211			

Note: Det er ikke angivet, om ændringer i kulstoflagrene er medregnet.
Kilde: Egen fremstilling baseret på data fra Concito (2021)

Ud fra vores estimater ligger de samlede udledninger forbundet med den danske import af 1.463.402 tons sojaskrå i udfaldsrummet 789.211 til 2.210.267 tons CO_2æ afhængigt af fremgangsmåde og antagelser for livcyklusvurderingen. Selv det høje estimat på lidt over 2 mio. tons CO_2æ er væsentligt lavere end de 6.156.400 tons CO_2æ. for Danmarks import i 2018 estimeret af Callesen og Bosselmann (2020), hvor dLUC også blev anvendt. Foruden en lavere import i 2023 skyldes den store forskel langt overvejende, at vi her i besvarelsen har taget udgangspunkt i sojaproducerende kommuner i Brasilien uden afskovning af hensyn til EUDR-antagelsen. Dermed er udledningerne fra ændringer i arealforbrug lavere. Callesen og Bosselmann (2020) estimerede også de samlede udledninger, når dLUC blev erstattet af en global iLUC (i samme klasse som anvendt i *Den Store Klimadatabase*) med en antagelse om afskovningsfri import. Dette resulterede i, at den samlede udledning faldt til 1.748.652 tons CO_2æ. Dette er stadig væsentligt højere end estimeret i denne besvarelse ved brug af C-LCA og iLUC, hvilket skyldes antagelsen om fortrængning af palmeolie.

3.2 Klimaaftryk for dansk dyrkede proteinafgrøder til foder

Henrik Thers, Uffe Jørgensen

I delcenarie A, hvor korn udskiftes med kløvergræs til bioraffinering, estimerer *CIRKULÆR*-modellen for det første en stigning i udledningen af drivhusgasser (metan, lattergas og CO_2 fra fossilt energiforbrug) i forhold til referencescenariet og for det andet en stor stigning i kulstofbindingen i jorden (og dermed en stor binding af CO_2), svarende til en samlet reduktion i de landbrugsrelaterede drivhusgasemissioner med kulstofbinding. Omlægning til kløvergræs estimeres således til en reduktion i de samlede landbrugsrelaterede udledninger på omkring 4.400 kg CO_2æ pr. ha pr. år (tabel 3.3). Stigningen i de landbrugsrelaterede udledninger (uden kulstofbinding) er generelt domineret af opbevaring og anvendelse af "plantegylle" bestående af græs- og

kløverbiomasse efter proteinraffinering og afgasning med et lille bidrag fra øget brændstof- og øvrig direkte energiforbrug på landbrugsdriften. Årsagen til dette er, at *CIRKULÆR* antager, at plantegyllen returneres til markerne og erstatter en tilsvarende mængde mineralsk N-gødskning (efter den relevante udnyttelsesprocent er taget i betragtning). Dette skaber en helt ny pulje af organisk gødning og dermed direkte emissioner under opbevaring. Dertil kommer en lille stigning i drivhusgasemissioner i form af indirekte N_2O-emissioner forårsaget af lidt højere ammoniakfordampning i forbindelse med udbringning af plantegyllen sammenlignet med mineralsk N-gødskning. Øgede udledninger på marken modvirkes delvis af et fald i indirekte lattergasudledninger på grund af reduceret kvælstofoverskud (-udvaskning), det vil sige lavere N_2O-udledninger i vandområder forårsaget af lavere N-belastninger fra landbruget. Dette skyldes til dels en reduktion i kvoten for N-gødning til den følgende afgrøde (på grund af indregning af eftervirkningen fra kløvergræsset), hvis denne er for eksempel korn, hvilket er antaget hvor muligt, samt at der indregnes en kvælstoflagring fastsat til 10 procent af kulstoflagringen.

CIRKULÆR estimerer, at en udskiftning af korn med kløvergræs vil resultere i en betydelig stigning i kulstofbindingen i jorden beregnet som den tilbageværende andel efter 20 år (jævnfør tabel 3.3), det vil sige kulstof, der indbygges i organisk stof i jorden i det pågældende år, og som forbliver bundet i jorden i 20 år. Denne stigning i kulstofbindingen er relateret til den høje produktion af biomasse under jorden i kløvergræs samt udskiftningen af mineralsk gødning med kulstofholdig plantegødning. Endelig resulterer delscenariet i et tab af kornproduktion (5.800 kg tørstof pr. ha pr. år) som funktion af en reduktion i det samlede areal, der dyrkes med korn, samt en reduktion i importen af sojalignende protein i størrelsesordenen 1.300 kg råprotein pr. ha pr. år og i en øget energiproduktion i form af biogas på omkring 109.000 MJ pr. ha pr. år (tabel 3.4).

Delscenarie B, hvor korn udskiftes med lucerne til bioraffinering af biomasse, ligner meget delscenariet med kløvergræs. Ligesom for kløvergræs produceres store mængder af plantegylle efter bioraffinering og afgasning af lucernebiomasse ifølge *CIRKULÆR*. Dette forårsager betydelige nye drivhusgasemissioner på grund af både lagring og udbringning af plantegyllen. Til gengæld er den beregnede drivhusgasudledning fra gødningstilførsel i lucerne samlet set lavere end i kløvergræs, da lucerne er 100 procent forsynet med kvælstof via kvælstoffiksering og derfor ikke tildeles mineralsk N-gødning, hvilket medfører lavere direkte og indirekte lattergasemissioner. Hertil kommer, at der som for kløvergræs sker en reduktion i kvoten for N-gødning til den følgende afgrøde (på grund af indregning af eftervirkningen fra lucernen), hvis denne er for eksempel korn, hvilket er antaget hvor muligt. Ligesom for kløvergræs beregner *CIRKULÆR* en betydelig stigning i kulstoflagring i jord på grund af udbringning af den nye kulstofholdige plantegylle samt på grund af den øgede underjordiske biomasseproduktion. Dette resulterer i en estimeret samlet reduktion i landbrugsrelaterede emissioner ved udskiftning af korn med lucerne på godt 3.000 kg CO_2æ pr. ha pr. år. For lucerne beregner modellen en erstatning af importeret soja med bioraffineret lucerneprotein på cirka 1.500 kg råprotein pr. ha pr. år med en minimal ændring på import af rapskage samt en biogasproduktion svarende til cirka 100.000 MJ pr. udskiftet ha pr. år og en reduceret kornproduktion på 6.300 kg tørstof pr. ha pr. år.

I delscenarie C, hvor korn udskiftes med hestebønner til modenhed, viser *CIRKULÆR*-beregningerne en reduktion i landbrugsemissionerne uden kulstofbinding på cirka 1.200 kg CO_2æ pr. ha pr. år. Inklusive kulstofbinding er reduktionen på cirka 700 kg CO_2æ pr. ha pr. år. Mekanismerne for disse reduktioner er på sin vis modsatte delscenarierne med grønne afgrøder, det vil sige, at der er en lavere udledning af drivhusgasser fra landbrug uden inkludering af kulstoflagring sammenlignet med referencescenariet, som så modvirkes af lavere kulstofbinding i jorden.

Tabel 3.3. *Ændrede drivhusgasemissioner pr. ha alternativ afgrøde i forhold til korn*

Del-scenarie	Landbrugsemissioner				Samlet	Kulstof lagring	Balance
	Energi	Stald og lagertab	Emissioner fra gødskning m.m.	Indirekte N_2O fra NO_3-udvaskning	Landbrugs-emissioner i alt	C lagret i 20 år	Landbrugs-emissioner med C lagring
	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ
A	254	1.347	856	-666	1.792	6.196	-4.404
B	211	1.268	-312	137	1.303	4.595	-3.292
C	-11	-6	-984	-202	-1.203	-545	-658

Note: Tabellen svarer til tabel 3.5 i Thers et al., (2024), men blot for de tre scenarier, der er relevante for denne besvarelse. Desuden er AR5 benyttet, det vil sige, at der er omregnet fra metan og lattergas til CO_2æ ved brug af faktorerne 28 og 265. A: kløvergræs, B: lucerne, C: hestebønner. Positive værdier angiver mere af emissionen/lagringen i forhold til referencen (og omvendt for negative værdier). Resultaterne i tabellen fremkommer ved at trække værdierne fra referencescenariet fra delscenariet. Det vil sige, at hvis delscenariets værdi for en given kategori er større end værdien i referencescenariet, vil resultatet være en positiv forskel, og hvis omvendt en negativ forskel.

Udskiftning af korn med hestebønner til modenhed skønnes at medføre små ændringer i udledninger af drivhusgasser fra stalden og i forbindelse med lagring af gylle og energiforbrug til markoperationer. Dette skyldes hovedsageligt, at hestebønner fodres direkte til dyr og derfor ikke producerer raffinerings- eller afgasningsrester, samt at mængden af planterester efter hestebønner er sammenlignelig med korn. Det er også grunden til, at biogasproduktionen i dette delscenarie er beregnet til at være nul. Samtidig forventes udledninger i forbindelse med gødskning at være betydeligt lavere med hestebønner sammenlignet med referencescenariet, i størrelsesordenen 1.000 kg CO_2æ pr. ha pr. år. Dette skyldes, at hestebønner er N-fikserende afgrøder uden N-gødskning, hvilket reducerer både direkte og indirekte lattergasudledninger. Det lave gødningsbehov i hestebønner kombineret med eftervirkningseffekten, der tilskriver højere udbytter på den efterfølgende afgrøde samt en kvotereduktion, er også årsag til en forventet reduktion i N-udvaskning og ammoniakemissioner.

På den anden side anslås kulstofbindingen i jorden at være cirka 500 kg CO_2æ pr. ha pr. år lavere end i referencescenariet, da hestebønner ikke producerer nogen plantegylle, der kan returneres til markerne, samt at der er færre afgrøderester sammenlignet med korn. Endelig forventes delscenariet med hestebønner at medføre et fald i kornproduktionen på cirka 4.000 kg tørstof pr. ha pr. år. I modsætning til bioraffineret protein fra kløvergræs erstatter hestebønner importeret rapskage i stedet for soja i *CIRKULÆR*-modellen, hvorfor det fører til en reduceret import af rapskage (cirka 1.200 kg råprotein pr. ha pr. år), men en lidt større import af soja (cirka 100 kg råprotein pr. ha pr. år på grund af modellens optimering af foderrationer). Da ændringer i importen er opgjort i kg råprotein, kan tallene for soja og rapskage lægges sammen for at finde den samlede ændring i sojaimporten. Der er ikke inkluderet energi til forarbejdning eller tørring af hestebønner i modellen ud over den, der er afsat til indengårdsmekanisering pr. dyr, som for eksempel dækker energi til kornvalse og kværn.

Tabel 3.4. *Ændret miljøpåvirkning og produktion/import pr. ha alternativ afgrøde i forhold til korn*

Del-scenarie	Miljø		Ændring i import		Ændring i produktion		
	Ammoniak-udledning	Nitrat-udvaskning	Rapskage	Soja	Protein til human konsum	Korn	Biogas
	Kg N	Kg N	Kg RP	Kg RP	Kg RP	Kg TS	MJ
A	15	-145	-7	-1.312	35	-5.801	109.237
B	4	30	-1	-1.506	33	-6.304	102.849
C	-7	-44	-1.155	106	0	-4.168	-3

Note: Tabellen er svarende til tabel 3.6 i Thers et al. (2024), men blot for de tre relevante scenarier. A: kløvergræs, B: lucerne, C: hestebønner. Positive værdier angiver mere af miljøtabet/importen/produktionen i forhold til referencen (og omvendt for negative værdier). TS = Tørstof. RP = Råprotein. Resultaterne fremkommer ved at trække værdierne fra referencescenariet fra delscenariet. Det vil sige, at hvis delscenariets værdi for en given kategori er større end værdien i referencescenariet, så vil resultatet være en positiv forskel og hvis omvendt en negativ forskel.

Ud over de landbrugsrelaterede emissioner er de største bidragydere til den totale mængde ændret CO_2æ i produktionskæden energiforbrug uden for landbruget, lækagetab fra biogasanlæg og produktion af mineralsk N-, P- og K-gødning, hvilket vises i tabel 3.5. Den totale ændring i CO_2æ for et delscenarie skal ikke ses som et eksakt tal, men som en indikation af, hvad vej emissionerne vil ændre sig (stige eller falde), samt en indikation af størrelsesordenen. Det skal understreges, at kulstoflagring og konsekvensen af mindre produceret korn og mere produceret biogas ikke er indregnet i de viste tal i tabel 3.5.

Kløvergræsdelscenariet giver den største stigning i samlet CO_2æ, hvilket foruden landbrugsemissionerne især skyldes emissionen fra produktion af yderligere mineralsk kvælstofgødning. Lækage af metan fra biogasanlæggene bidrager med et positivt bidrag i de delscenarier, der inkluderer øget biogasproduktion. For lucerne gælder det meste af ovenstående, men lucernedelscenariet medfører en lavere eller tilnærmelsesvist uændret gødningsimport (P og K), som giver et betydeligt negativt bidrag fra gødningsproduktion. For hestebønner til modenhed opnås et samlet negativt bidrag af CO_2æ (lavere emission end referencesituationen) på grund af mindre gødningsimport, samt at der i modsætning til delscenarierne for kløvergræs og lucerne ikke opstår en plantegylle med tilhørende emissioner.

Tabel 3.5. *Ændring i samlet drivhusgasudledning (både landbrugs- og ikke-landbrugsemissioner, dog uden kulstoflagring) samt bidrag fra de tre mest betydende ikke-landbrugskategorier for delscenarier pr. ha alternativ afgrøde i forhold til korn*

Delscenarie	Total	Energi ikke-landbrug	Lækage af biogas	Produktion af gødning
	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ	Kg CO_2æ
A Kløvergræs	3.774	1.298	562	79
B Lucerne	1.124	1.178	529	-1.895
C Hestebønner	-2.289	55	0	-1.137

Note: Tabellen svarer til tabel 3.7 i Thers et al., (2024), men blot for de tre relevante scenarier. Desuden er AR5 benyttet, det vil sige, at der er omregnet fra metan og lattergas til CO_2æ ved brug af faktorerne 28 og 265. Positive værdier angiver mere af miljøtabet/importen/produktionen i forhold til referencescenariet (og omvendt for negative værdier). Resultaterne fremkommer ved at trække værdierne fra referencescenariet fra det alternative delscenarie. Det vil sige, at hvis det alternative scenaries værdi for en given kategori er større end værdien i referencescenariet, så vil resultatet være en positiv forskel og hvis omvendt en negativ forskel.

3.3 Samlet oversigt over klimaaftryk for en reduceret import af sojaskrå og en tilsvarende øget dansk produktion af proteinafgrøder

Aske Skovmand Bosselmann, Henrik Thers, Uffe Jørgensen, Olivia Frandsen

Nedenstående tabel 3.6 giver et overblik over drivhusgasudledningerne med udgangspunkt i de præsenterede resultater for de to scenarier for en reduceret import af sojaskrå og en tilsvarende øget produktion af protein fra enten kløvergræs, lucerne eller hestebønner. Herudover tilføjes drivhusgasudledningen for en merproduktion af hvede og byg i andre lande i Europa svarende til reduktionen i den danske produktion som resultat af en arealomlægning fra korn til foderprotein (se detaljer i bilag E).

Drivhusgasudledningen for import af sojaskrå angives ved den nuværende import med landbrugsproduktion og forarbejdning til sojaskrå samt transport til Danmark. Drivhusgasudledningen angives ligeledes ved en reduceret import af soja på henholdsvis 15 og 30 procent. Udledninger vises ved anvendelse af A-LCA og dLUC, jævnfør tabel 3.1, og ved anvendelse af C-LCA og iLUC, jævnfør tabel 3.2. For førstnævnte leder en reduktion i sojaimporten på 15 procent til en reduktion i udledninger på 331.540 tons CO_2æ, svarende til *forskellen mellem de samlede udledninger for den fulde import i 2023 og for 85 procent af importen i 2023.* Anvendes i stedet C-LCA og iLUC, er reduktionen i udledninger i scenariet på 15 procent på 118.382 tons som resultat af *en fremtidig reduceret efterspørgsel efter sojaskrå på 219.510 tons* (15 procent af 2023-importen). Ordlyden i kursiv er væsentlig her, da den afspejler situationen, der betragtes ved LCA-fremgangsmåden. Det skal her bemærkes, at det kun er udledningen beregnet ved brug af A-LCA og dLUC, som kan sammenlignes med tidligere beregninger præsenteret i notater fra IFRO (for eksempel Bosselmann og Callesen, 2020) og i Energistyrelsens globale afregning, hvor sidstnævnte alene fokuserer på udledninger fra ændringer i arealanvendelsen (Energistyrelsen, 2022).

For den danske produktion af henholdsvis kløvergræs, lucerne og hestebønner beregnes arealbehovet ved at antage, at reduktionen i råprotein fra sojaskrå kan erstattes af råprotein fra en af de tre øgede danske proteinafgrøder, jævnfør tabel 3.4. Flere studier har vist, at det er muligt at erstatte soja med lokale danskproducerede proteinkilder uden negative effekter på tilvækst eller sensorisk kvalitet, og at en udskiftning på 15-30 procent ikke bør være problematisk (Hansen et al., 2021; Stødkilde-Jørgensen et al., 2023).

Tabel 3.6. *Drivhusgasudledninger for scenarier for reduceret import af sojaskrå på henholdsvis 15 og 30 procent og en tilsvarende øget produktion af dansk foderprotein fra enten kløvergræs, lucerne eller hestebønner i denne forbindelse*

Scenarier for dansk sojaimport og proteinproduktion		Nuværende sojaimport og aftryk	Ændring ved 15 % reduceret sojaimport	Ændring ved 30 % reduceret sojaimport
Sojaskrå	Import 2023, tons	1.463.402	-219.510	-439.021
	Arealforbrug, ha	655.738	-98.361	-196.721
	Råprotein, tons	684.872	-102.731	-205.462
	Globalt klimaaftryk ved iLUC, tons CO_2æ	789.211	-118.382	-236.763
	Globalt klimaaftryk ved dLUC, tons CO_2æ	2.210.267	-331.540	-663.080
Kløver-græs	Arealbehov i Danmark, når soja erstattes, ha		77.885	155.771
	Danmarks landbrugsemissioner, tons CO_2æ		139.571	279.141
	Kulstoflagring i jorden (optag), tons CO_2æ		-482.578	-965.156
	Produktionens klimaaftryk, tons CO_2æ		-235.759	-471.518
	Fortrængt korn, globalt klimaaftryk, tons CO_2æ		235.652	471.303
Lucerne	Arealbehov, når soja erstattes, ha		68.169	136.338
	Danmarks landbrugsemissioner, tons CO_2æ		88.824	177.649
	Kulstoflagring i jorden (optag), tons CO_2æ		-313.237	-626.474
	Produktionens klimaaftryk, tons CO_2æ		-273.290	-546.580
	Fortrængt korn, globalt klimaaftryk, tons CO_2æ		224.138	448.276
Heste-bønner	Arealbehov, når soja erstattes, ha		97.932	195.864
	Danmarks landbrugsemissioner, tons CO_2æ		-117.812	-235.625
	Kulstoflagring i jorden (udledning), tons CO_2æ		53.373	106.746
	Produktionens klimaaftryk, tons CO_2æ		-170.402	-340.804
	Fortrængt korn, globalt klimaaftryk, tons CO_2æ		212.894	425.789

Note: Sojaskrås klimaaftryk ved C-LCA/iLUC er baseret på tabel 3.2 og ved A-LCA/dLUC på tabel 3.1. Det antages, at reduceret import af sojaråprotein erstattes 1:1 med de danske proteiner. Danmarks landbrugsemissioner ved danske øgede proteinproduktioner er baseret på tabel 3.3, og produktionens samlede klimaaftryk er baseret på tabel 3.5, inklusive C-lagring og eksklusive biogas. Klimaaftryk for fortrængt korn (hvede og byg) er baseret på A-LCA beskrevet i bilag E. Kulstofoptag og negative udledninger har negativt fortegn.

Med udgangspunkt i arealbehovet og emissionsfaktorer pr. ha som angivet i tabel 3.3 og 3.5 beregnes i tabel 3.6 ovenfor Danmarks landbrugsemissioner, som her består af energiforbrug i landbruget, stald- og lagertab, emissioner fra gødskning med mere og indirekte N_2O fra NO_3-udvaskning. På samme måde beregnes den samlede C-lagring i jorden og det samlede klimaaftryk for produktionen af de tre proteinkilder for de to scenarier for henholdsvis 15 og 30 procent reduceret sojaimport. Produktionens samlede klimaaftryk består her af landbrugsemissioner, C-lagring, produktion af gødning og energiforbrug til transport med mere. For hvert scenarie beregnes også drivhusgasudledningen for udenlandsk merproduktion af hvede og byg som erstatning for kornproduktionen, som proteinafgrøderne erstatter herhjemme (se detaljer i bilag E). Dette er udtryk for en systemudvidelse til indirekte ændringer i arealanvendelse andre steder. Disse udledninger medtages ikke i eksempelvis EU's Product Environmental Footprint (PEF) (EC, 2021) og Greenhouse Gas Protocol (2011), men udregnes her for at belyse størrelsen af udledningerne ved denne systemudvidelse.

Negative tal i tabel 3.6 svarer til nettoreducerede udledninger eller optag af C i jorden sammenlignet med referencescenariet.

Ændringer i drivhusgasudledninger ved brug af biogas som erstatning for naturgas præsenteres særskilt i tabel 3.7. Der er tale om en forenklet beregning baseret på en antagelse om, at ekstra dyrkning af grønne afgrøder til protein er koblet med øget biogasproduktion, jævnfør de konkrete delscenarier i afsnit 3.2. Produktion af biogas praktiseres af de to kommercielle anlæg i Danmark, men fiberfraktionen fra forarbejdning af kløvergræs og lucerne til protein kunne også anvendes som foder eller bruges til produktion af materialer. I begge tilfælde ville det også medføre en fortrængning af en drivhusgasudledende produktion. Som angivet i tabel 3.7 er der tale om en væsentlig fortrængning af drivhusgasudledninger fra naturgas, når denne erstattes af den producerede biogas, som i sin afbrænding antages at være CO_2-neutral. Biogas fra forarbejdning af kløvergræs fra 77.885 ha, svarende til arealet, der er nødvendigt for at erstatte 15 procent af sojaimporten med kløverprotein, fortrænger drivhusgasudledninger fra naturgas på 425.021 tons CO_2æ. Der tages her højde for metanudledning i forbindelse med lækage af biogas under forarbejdningen.

Tabel 3.7. *Fortrængte emissioner ved erstatning af naturgas med biogas fra produktion af danske proteiner*

Delscenarie for dansk proteinproduktion	Biogas pr. ha MJ pr. ha	Fortrængt naturgas Tons CO_2æ pr. ha	Lækage af biogas Tons CO_2æ pr. ha	Fortrængte emissioner ved 15 % reduceret sojaimport Tons CO_2æ	Fortrængte emissioner ved 30 % reduceret sojaimport Tons CO_2æ
Kløvergræs	109.237	6,019	0,562	425.021	850.041
Lucerne	102.849	5,667	0,529	350.253	700.506
Hestebønner	-3	Ignoreres	0	-	-

Note: Beregningen fra MJ biogas til fortrængt naturgas forudsætter, at 1 kg naturgas indeholder 49 MJ, og at det udleder 2,7 kg CO_2 ved forbrænding. Der udledes også drivhusgasser fra indvinding og processering af naturgas samt processering af biogas (opgradering). Disse emissioner er ikke medtaget i beregningen, bortset fra energiforbrug i biogasanlægget, der er medtaget i tabel 3.5 som energiforbrug fra ikke-landbrug. Samlede fortrængte emissioner er baseret på arealer i tabel 3.6.

3.3.1 To eksempler på beregning af erstatning af sojaskrå

Grundet forskelle i metoder, antagelser og systemafgrænsning er det ikke muligt at beregne et samlet facit for de globale og nationale drivhusgasudledninger ved en ændring fra importeret sojaskrå til danskproduceret grønt protein. I stedet hjælpes læseren med eksempler på opstilling af udledninger fra de enkelte komponenter beskrevet i dette notat, når visse metoder og antagelser vælges for en given situation, hvor der skelnes mellem det globale klimaaftryk og Danmarks klimaaftryk. Danmarks klimaaftryk refererer her til udledninger for aktiviteter i Danmark, uanset om de tilhører landbruget eller andre sektorer, hvilket betyder, at energiforbrug til transport er medtaget, og at produktion af gødning ikke er medtaget. Tabel 3.8. viser forskellige udledninger for to eksempler. Eksempel 1 består af 15 procent reduceret import af sojaskrå med 1) anvendelse af A-LCA og dLUC til beregning af udledninger herfra, 2) erstatning af soja med kløvergræs med samlede udledninger fra landbrugsproduktion og forarbejdning af kløvergræs inklusive C-lagring i jorden, energiforbrug i transport og produktion af gødning, 3) fortrængning af korn til andre europæiske lande ved A-LCA og dLUC og 4) erstatning af naturgas med biogas. I eksempel 2 erstattes 15 procent af importeret sojaskrå ligeledes med kløvergræs, men der gøres brug af C-LCA og iLUC for soja alene, og

eksemplet forholder sig udelukkende til landbrugsemissioner uden C-lagring. Udledninger under hver af de to eksempler kan ikke summeres, men giver et indblik i størrelsesforholdene for udledninger under de valgte antagelser med mere.

Tabel 3.8. *Udledninger fra processer i to beskrevne eksempler, hvor import af sojaskrå erstattes af kløvergræs, med udvalgte metoder og antagelser*

Processer i eksempel 1	Globalt klimaaftryk Tons CO_2æ	Danmarks klimaaftryk Tons CO_2æ
15 % reduceret import af sojaskrå, A-LCA og dLUC	-331.540	
Produktion af kløvergræs, samlet klimaaftryk med C-lagring	-235.759	-229.606
Fortrængning af kornproduktion til udlandet, A-LCA og dLUC	235.652	
Fortrængning af naturgas med biogas (forbrænding)	-425.021	-425.021
Processer i eksempel 2		
15 % reduceret import af sojaskrå, C-LCA og iLUC	-118.382	
Produktion af kløvergræs, kun landbrugsemissioner	139.571	139.571

Note: Eksempler er beskrevet i brødtekst. Klimaaftryk refererer til ændringer i forhold til den nuværende situation.

Tabellerne præsenteret i afsnit 3.3 giver som skrevet ikke mulighed for at vise et entydigt facit for det globale og det nationale klimaaftryk ved erstatning af soja med danskproducerede proteiner. Dette kan uden tvivl være ganske forvirrende, endda frustrerende, men baggrunden for det er en væsentlig del af konklusionen i dette notat, nemlig at vurdering af klimaaftryk for ændringer i globale værdikæder i høj grad beror på valg af metode, antagelser og systemafgrænsning. Der er ikke konsensus i den videnskabelige litteratur angående disse valg, og derfor har vi vist resultater fra forskellige metoder for en reduceret sojaimport samt resultater for forskellige afgrænsninger af produktionssystemer. Hvis man ønsker gentagne vurderinger, der kan sammenlignes, og hvor deres udvikling følges over tid, kan man med fordel udvælge én fremgangsmåde, én række af antagelser for afledte effekter og valg af enten allokering eller systemudvidelse samt en defineret systemafgrænsning og fremover anvende disse for alle globale og nationale aktiviteter og deres drivhusgasudledninger. Dette er for eksempel tilfældet i de harmoniserede retningslinjer fra EU's PEF (EC, 2021) og Greenhouse Gas Protocol (2011), som begge inkluderer brugen af dLUC, men ikke iLUC, da sidstnævnte er forbundet med for stor usikkerhed (EC, 2021; Mogensen et al., 2020).

4. Metode for de nationale opgørelser

Mette Hjorth Mikkelsen, Steen Gyldenkærne

DCE er ansvarlig for at udarbejde og indrapportere den nationale emissionsopgørelse for drivhusgasser til EU og til FN's rammekonvention om klimaændringer (UNFCCC) på vegne af Miljøministeriet samt Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. Indrapporteringen sker en gang årligt i form af et specifikt dataformat kaldet Common Reporting Format (CRF) samt en dokumentationsrapport, *National Inventory Report* (NIR), med en beskrivelse af datagrundlaget og de anvendte metoder for beregningen. Den seneste afrapporterede NIR afleveret i foråret 2024, hvor emissionen er opgjort frem til år 2022, og således er opgørelsen opgjort to år bagud (Nielsen et al., 2024). Beregningsmetoder og afrapportering skal følge internationalt vedtagne retningslinjer under UNFCCC, som henviser til *2006 IPCC Guidelines* (IPCC, 2006) og *2014 Wetlands Supplement* (IPCC, 2014a). Som supplement er der for afrapporteringen fra 2024 IPCC's *2019 Refinement* (IPCC, 2019), som indeholder en opdatering for nogle af emissionskilderne. IPCC's retningslinjer omfatter en

konkret beskrivelse af de metoder, som skal anvendes til beregningen af emissioner baseret på en række standardfaktorer. Dog anvendes der i beregningen en række nationale data, fordi det er vurderet, at disse i højere grad afspejler de faktiske drifts-, jord- og klimaforhold i Danmark end IPCC-standardfaktorer.

Opgørelserne til UNFCCC er opdelt i fem overordnede sektorer: energi (herunder transport), industrielle processer og produktanvendelse, landbrug, arealanvendelse (LULUCF - Land Use, Land-Use Change and Forestry) og affald. Adskillelsen mellem sektorerne er ikke nødvendigvis logiske i forhold til den praktiske drift inden for landbrugsområdet. For eksempel hører emissioner fra landbrugsaktiviteter som kørsel med landbrugsmaskiner, opvarmning af landbrugsbygninger og energiproduktionen fra biogasanlæg under energisektoren. Det er også vigtigt at pointere, at den nationale emissionsopgørelse alene tager højde for forholdene i Danmark, og således tages der i opgørelsen ikke højde for emissionen fra importerede varer som for eksempel sojaprodukter til foder eller emissioner knyttet til produktionen af handelsgødning. Ligeledes tages der heller ikke i opgørelsen højde for eksporterede produkter som for eksempel svinekød og mælkepulver. IPCC's retningslinjer tilskriver således, at den nationale opgørelse er relateret til de emissioner, der kan tilskrives den produktion, der sker i Danmark, uafhængigt af den eksport og import af produkter, som foregår. Det betyder også, at rammesætningen for en beregning baseret på en LCA-tilgang er væsentlig anderledes end den, som anvendes i den nationale opgørelse.

Tabel 4.1. *Emissionskilder i landbrugssektoren*

Navn på udledningskilde	Drivhusgas og evt. bemærkning
Husdyrs fordøjelse	CH_4
Håndtering af husdyrgødning (stald + lager)	CH_4, N_2O
Handelsgødning	N_2O
Husdyrgødning udbragt	N_2O
Slam	N_2O
Øvrige organiske N-gødninger	N_2O, industrislam og N fra bioforgasset biomasse
Urin og gødning afsat af græssende dyr	N_2O
Afgrøderester	N_2O
Mineralisering	N_2O, nettomineralisering af kvælstof fra tab af organisk stof i landbrugsjord
Dyrkning af organisk jord	N_2O, fra organiske landbrugsjorde opgjort i LULUCF
Atmosfærisk deposition af NH_3 og NO_x	N_2O-, NH_3- og NO_x-emissioner fra gødningshåndtering i stald/lager og fra udbragt N
Kvælstofudvaskning og afstrømning	N_2O
Afbrænding af halm og afgrøderester	N_2O, CH_4
Kalkning	CO_2
Urea	CO_2
Øvrige mineralske kulstofholdige gødninger	CO_2

Kilde: Egen fremstilling baseret på IPCC-retningslinjer (IPCC, 2006; IPCC, 2019)

Tabel 4.1 ovenfor viser de emissionskilder der er medtaget i landbrugssektoren. Landbrugssektoren omfatter emissioner fra husdyrproduktionen og fra dyrkning af landbrugsjord. I relation til husdyrproduktion opgøres emissionen af metan (CH_4) fra husdyrenes fordøjelsesproces samt CH_4 og lattergas (N_2O) fra håndtering af husdyrgødning i stald og lager. Fra dyrkning af landbrugsjorden opgøres direkte N_2O-emissioner fra udbragt handels- og husdyrgødning, græssende dyr, afgrøderester samt indirekte N_2O-emissioner fra udvaskning og

atmosfærisk deposition. Dertil kommer CO_2-emissioner fra kalkning og kulstofholdige handelsgødninger samt N_2O- og CH_4-emissioner fra afbrænding af afgrøderester.

LULUCF-sektoren omfatter både udledninger og optag af drivhusgasser som et samlet nettoregnskab over de årlige ændringer i kulstofpuljerne, både kulstof i den levende og døde biomasse (se tabel 4.2). Opgørelsen, baseret på IPCC-retningslinjer, er bygget op omkring kendskab til, hvordan Danmarks areal fordeler sig imellem seks definerede arealklasser, omdriftsareal, permanente græsarealer, skov, vådområder, befæstede arealer (by og infrastruktur) og øvrige arealer. Sidstnævnte dækker over klitter, sten med videre, som ikke antages at have ændringer i kulstofpuljerne. Hvert år laves der et kort, som er en væg-til-væg opgørelse over, hvordan arealanvendelsen fordeler sig – den såkaldte arealmatrice.

Scenarierne med en reduktion i import af soja og en tilsvarende øget produktion af proteinafgrøder i Danmark vil berøre emissionskilder på tværs af både landbrugs- og LULUCF-sektoren, da de har betydning for både kvælstof- og kulstoftilførslen til jorden. I de følgende afsnit beskrives det, hvordan en reduktion i import af soja vil påvirke beregningen for henholdsvis landbrugs- og LULUCF-sektoren.

***Tabel 4.2**. Emissionskilder i LULUCF-sektoren*

Navn på udledningskilde	Drivhusgas og evt. bemærkning
Skov	CO_2, C-ændringer i levende og død biomasse og jord, inkl. arealomlægning til *Skov*
Landbrugsarealer	CO_2, C-ændringer i biomasse og mineraljord under arealomlægning til *Landbrugsareal*
Vådområder	CO_2, inkl. områder under arealomlægning til *Vådområder*
By- og infrastruktur	CO_2, C-ændringer i biomasse og jord under arealomlægning til *By- og infrastruktur*
Græsarealer	CO_2, C-ændringer i biomasse og mineraljord under arealomlægning til *Græsarealer*
Øvrige arealer	Omfatter klitter, sten med mere. Her antages ingen ændringer for C.

4.1 Konsekvens for landbrugssektoren ved en reduktion i import af soja

En øget dansk produktion af bælgsæd og proteinafgrøder som følge af en reduktion i import af soja vil betyde en ændring i sammensætningen af afgrøder, hvilket vil påvirke beregningen af N_2O-emission fra afgrøderester, fra anvendelsen af handelsgødning og fra kvælstofudvaskningen til rodzone, vandløb og hav.

N_2O-emissionen beregnes med en IPCC-standardfaktor på 0,01 kg N_2O-N pr. kg N i afgrøderesterne. I IPCC-retningslinjer (IPCC, 2019) er der angivet et beregningsgrundlag for 24 overordnede afgrødekategorier. N-indholdet i afgrøderesterne beregnes på baggrund af høstudbyttet og IPCC- standardfaktoren for forholdet mellem det høstede udbytte og N-indholdet af de afgrøderester, der efterlades på jorden efter høst. Desuden er der i beregningen taget højde for sædskifte, det vil sige, om afgrøden er etårig eller flerårig. I beregningen anvendes nationale data for høstudbytte, tørstofindhold og høstning af halm/top. Således afhænger N_2O-emissionen af N-indholdet, som varierer fra afgrøde til afgrøde og også mellem årene. Hestebønner og soja vil begge høre under samme kategori, *Beans and pulses*, mens lucerne har sin egen kategori ligesom græs/kløver. Dog skelnes der i beregningen mellem græs/kløver i omdrift og uden for omdrift, fordi der i beregningen tages højde for, hvor ofte der sker en omløjning på arealet. I den seneste nationale opgørelse er N-indholdet i afgrøderester for *Beans and pulses* opgjort til 44 kg N pr. ha, mens lucerne og kløvergræs i

omdrift er estimeret til henholdsvis 70 kg N og 75 kg N pr. ha. Afgrøderesterne i kornarealer varierer mellem 55 og79 kg N pr. ha. Dog er N-indholdet i vinterhvede højere, svarende til 110 kg N pr. ha. Konsekvensen af øget dyrkning af bælgsæd og proteinafgrøder i Danmark i beregningen af N_2Oemissionen vil således afhænge af, hvad der tidligere blev dyrket på disse arealer.

Beregning af N_2O-emissionen fra udbringning af gødning på marken er direkte afhængig af mængden af N, der udbringes. Såfremt øget dyrkning af bælgsæd og proteinafgrøder vil betyde en reduktion i N-gødskningen, vil dette medføre et fald i N_2O-emissionen fra udbragt gødning og omvendt for et øget N-gødskningsbehov. Ligeledes er beregningen af N_2O-emissionen fra N-udvaskning også direkte knyttet op mod mængden af N udbragt på landbrugsjorden. Det skal dog pointeres, at den nationale emissionsopgørelse af beregningen af N-udvaskningen er baseret på data fra NOVANA - Det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen.

Såfremt scenariet med reduktion i importen af soja medfører ændringer i malkekvægs fodersammensætning, kan dette påvirke beregningen af CH_4-emissionen fra dyrenes fordøjelse. I den nationale opgørelse anvendes en metandannelsesfaktor, Ym, som beregnes af AU's Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab. Ym-faktoren er baseret på det gennemsnitlige foderindtag.

4.2 Konsekvens for LULUCF-sektoren ved en reduktion i import af soja

Den nationale drivhusopgørelse for landbrugsarealer for levende biomasse er baseret på, at mængden af levende over- og underjordisk biomasse er en konstant, som er uafhængig af afgrødesammensætningen. Den nuværende konstant er baseret på den maksimale mængde af biomasse stående på en mark for et gennemsnitskornsædskifte og høstudbytterne for perioden 2000-2009 lige før høst (Nielsen et al, 2024). Denne tilgang er i overensstemmelse med IPCC's retningslinjer (IPCC, 2006, 2019). Udskiftning af en kornafgrøde med en græs-/bælgsædsafgrøde vil med den nuværende metode ikke medføre ændringer i vurderingen af mængden af levende biomasse. DCE overvejer i øjeblikket, om der skal laves en mere differentieret tilgang til biomasseopgørelsen med flere afgrøder og årlige opdateringer, men der er ikke taget beslutning om dette endnu.

For ændringer i jordpuljen anvendes en kombination af faste udledningsestimater for organiske jorder og en dynamisk modellering med *C-TOOL* for mineraljorder. Erstatning af en kornafgrøde med en græsafgrøde/bælgsæd på en organisk jord vil fremover ikke medføre ændringer i udledningsestimatet pr. ha, da disse afgrødetyper har de samme udledningsestimater pr. ha. Når der skrives "fremover", skyldes det, at der i senest afleverede opgørelse til UNFCCC og EU i 2024 (Nielsen et al., 2024) skelnes mellem udledningerne fra henholdsvis korn og græs på de organiske jorder. Dette vil blive ændret i den opgørelse, som sker i 2025, som følge af en omlægning af metoden, som anvendes for organiske jorder.

For mineraljorder, hvor de fleste arealer med kløvergræs og bælgsæd må formodes at blive placeret, vil effekten ved erstatning af en kornafgrøde med en bælgsæd medføre en mindre kulstoflagring, fordi bælgsædens bidrag til jordpuljen fra efterladte planterester og rødder er lille i forhold til en kornafgrøde. Ved en vurdering af kornafgrødens bidrag til C-puljen i jorden tages der hensyn til efterspørgslen efter halm. Efterspørgslen efter halm forventes at være konstant. Derfor vil en subsidiering af korn med bælgsæd fjerne al den producerede halm på arealet og kun efterlade stub og rødder som input til C-puljen i modsætning til et vedvarende kornareal, hvor den producerede halmmængde betragtes som overskudshalm og derfor returneres til jordens C-pulje.

En subsidiering af korn med kløvergræs i omdrift vil øge C-inputtet til jorden, fordi en kornafgrøde inklusive halm har et generelt mindre C-input til jorden end en kløvergræsafgrøde. Kløvergræsafgrøden vil have et årligt input på 8,7 tons C pr. ha i *C-TOOL*-modelleringen i modsætning til en mindre mængde fra en kornafgrøde på 4-6 tons C pr. ha afhængig af afgrøde. De 4-7 tons C pr. ha varierer ud fra naturgivne forhold og kornafgrøde. Af denne mængde vil cirka 1,4 tons C stamme fra halm. Subsidiering af korn med kløvergræs vil samtidig mindske C-inputtet fra efterafgrøder, fordi dette ikke vil være muligt i det pågældende sædskifte. C-inputtet fra én efterafgrøde er opgjort til 2,2 tons C pr. ha. Effekten af en substituering fra korn til kløvergræs vil reducere efterafgrødekravet/efterafgrødearealet. Denne effekt vil variere mellem områder som følge af, at kravet til efterafgrøder er betinget af N-udvaskningen i det pågældende område.

N_2O-udledningen vil være påvirket af, hvilke afgrøder der vælges. Hvor kornet erstattes af en bælgsædsafgrøde, vil der ske en reduktion i den direkte N_2O udledning som følge af et mindre handelsgødningsforbrug. Ændringen sker i handelsgødningsforbruget som følge af, at husdyrgødningsmængden ikke forventes at blive påvirket af en ændring i afgrødesammensætningen. Ved subsidiering til en kløvergræsafgrøde forventes det, at handelsgødningsforbruget vil stige fra de nuværende gennemsnitlige gødningsnormer på 140-200 kg N pr. ha til 250-300 kg N pr. ha.

Som følge af de mangeartede forhold, som har indflydelse på drivhusgasudledningen, er der ikke foretaget konkrete beregninger for de forskellige substitutioner.

5. Diskussion af metoder, antagelser og resultater

5.1 Udregning af klimaaftryk for sojaimport

Aske Skovmand Bosselmann, Olivia Frandsen

På baggrund af data fra nylige studier og databaser, som præsenteret i tabel 3.1, beregnes de samlede udledninger fra Danmarks import af sojaskrå i 2023 til 2.210.267 tons CO_2æ. Denne beregning er baseret på anvendelsen af A-LCA-metoden og inkluderer dLUC samt økonomisk allokering. Ved denne tilgang tildeles sojaskrå 68 procent af de samlede udledninger fra produktionen af soja baseret på værdien af henholdsvis sojaolie og sojaskrå. Desuden er det antaget, at importen overholder EUDR og derfor ikke har medført afskovning siden 2020. Bosselmann og Callesen (2020) estimerede Danmarks samlede importrelaterede udledninger fra sojaskrå i 2018 til 6.156.400 tons CO_2æ, når dLUC var inkluderet. Dette var ligeledes på baggrund af empiriske studier fra tilgængelige kilder i 2020. Flere faktorer er medvirkende til den betydelige variation i resultaterne. For det første anvender Bosselmann og Callesen (2020) en masseallokering på 78,7 procent til sojaskrå, hvor vi i vores analyse har benyttet en økonomisk allokering på 68 procent. Valget af allokeringsmetode er velkendt for at have indflydelse på resultatet af LCA-analyser, men som beskrevet i afsnit 2.1 er forskellene for sojaskrå relativt små.

En anden forskel skyldes et fald i den danske import af sojaskrå. Fra 2018, som er året, Bosselmann og Callesen (2020) refererer til, til 2023 er importen af sojaskrå faldet med cirka 150.000 tons. Samtidig er der sket en ændring i oprindelsen af Danmarks sojaimport henimod mindre import fra Sydamerika og en større import fra USA, hvor produktionen af sojabønner har færre udledninger sammenlignet med Sydamerika. Dette er grundet, at det meste soja i USA oprinder fra etablerede landbrugsområder, som har lavere udledninger sammenlignet med sydamerikansk produktion, som er forbundet med konvertering af naturlig vegetation. Den tredje og største årsag er dog, at vi i dette notat antager, at produktionen af soja overholder

EUDR og derfor ikke har medført konvertering af skovområder efter 2020. Vi har i dette notat så vidt muligt ekskluderet områder med skovdække for at sikre, at afskovning ikke har fundet sted i forbindelse med sojaproduktionen. Det har en væsentlig betydning for de samlede udledninger i en dLUC-betragtning, at sojaproduktionen ikke har fundet sted i tidligere skovområder. Det medfører, at vores resultater undervurderer de faktiske udledninger fra sojaproduktionen, selvom denne lever op til EUDR. Skovkonvertering i dLUC inddrager typisk konvertering de seneste 20 år, hvor udledningen fra rydning og afbrænding fordeles over en 20-årig periode. Det vil sige, at skovrydning i en årrække før den 31. december 2020, hvilket er i overensstemmelse med EUDR, stadig skal tælles med. Bosselmann og Callesen (2020) inkluderer udledninger for soja produceret i tidligere skove, hvilket medfører, at udledninger for skovrydning medtages i dLUC, hvorfor deres emissionsfaktorer for arealanvendelse i Sydamerika er væsentlig højere.

Blandt de primære forskelle på C-LCA-metoden anvendt i *Den Store Klimadatabase* og i A-LCA-metoden anvendt i de empiriske studier og databaser er, at C-LCA forsøger at inddrage alle typer af udledninger fra en ændring i efterspørgsel, inklusive udledninger fra produktion af maskiner, bygninger og endda uddannelse af medarbejdere. Disse udledninger er dog for en afgrødeproduktion så små, at de praktisk taget bliver ubetydelige i det store regnestykke (Schmidt, 2024). Dermed bliver forskellen på en C-LCA og A-LCA ofte begrænset til forskellen på iLUC og dLUC, systemudvidelse versus allokering, samt, hvilken data der er brugt til at estimere blandt andet brug af kvælstofgødning. Til sidstnævnte benytter CarbonCloud (2024) FAOSTAT-data fra 2022, mens *Den Store Klimadatabase* (Concito,2021) ligeledes bruger FAOSTAT-data, men fra 2020. Som eksempel er forskellen i udledninger fra produktionen af europæisk hvede og byg, som rapporteret af henholdsvis CarbonCloud og *Den Store Klimadatabase*, hovedsageligt relateret til forskelle i udledninger fra arealanvendelse og lattergas.

Anvendelse af økonomisk allokering i A-LCA og systemudvidelse i C-LCA, herunder specifikt antagelsen om, at sojaolie erstatter og fortrænger palmeolie, er den største enkeltstående årsag til forskellen på de to udregninger i denne besvarelse. Som tidligere beskrevet ville en antagelse under C-LCA-metoden om, at sojaolie erstatter rapsolie i stedet for palmeolie, føre til væsentligt højere samlede emissionsfaktorer for sojaskrå. I tabel3.2 ville den samlede emissionsfaktor for sojaskrå fra Brasilien for eksempel blive fordoblet. Omvendt, hvis klimaaftrykket for palmeolieproduktion var 20 procent højere end angivet i *Den Store Klimadatabase*, ville den samlede emissionsfaktor i tabel 3.2 for sojaskrå fra USA blive negativ. Med andre ord ville forbrug af mere sojaskrå være positivt for klimaet, hvilket umiddelbart virker kontraintuitivt, men er et resultat af beregningsmetoden under antagelse af systemudvidelse. Dette illustrerer endnu engang, hvilke roller antagelser og systemafgrænsning har i LCA beregninger.

Et sidste væsentligt diskussionspunkt er, at EUDR først implementeres pr. den 30. december 2024 – eventuelt med 12 måneders ekstra indfasning, som diskuteres i skrivende stund – og i begyndelsen kun vil gælde for større virksomheder. Denne gradvise implementering gør det uklart, hvordan mindre virksomheder vil påvirkes. Det kan potentielt betyde, at der vil være en overgangsperiode, hvor det danske marked stadig vil modtage soja fra områder med risiko for afskovning, da fuld overholdelse af forordningen endnu ikke vil være gældende for alle aktører. Derudover er det centralt at bemærke, at der på nuværende tidspunkt mangler entydige indikatorer, der kan fastslå, om den nuværende sojaimport stammer fra områder påvirket af skovrydning. Selvom EUDR sigter mod at skabe gennemsigtighed og bæredygtighed i forsyningskæderne, er det uklart, hvordan håndhævelse og kontrol vil foregå i praksis, samt om de nødvendige sporingsmekanismer vil være tilstrækkeligt udviklet til at sikre, at alle relevante aktører overholder de nye krav. Heraf kommer behovet for den nuværende diskussion af en udskydelse. Samlet set kan EUDR være et vigtigt skridt mod

forsyningskæder afkoblet skovrydning, men der er flere udfordringer forbundet med at sikre en effektiv implementering og håndhævelse samt med at måle de reelle klimaeffekter af sojaimporten i overensstemmelse med forordningen.

5.2 *CIRKULÆR*'s resultater

Henrik Thers, Uffe Jørgensen

På baggrund af de beregnede delscenarier fører øget dyrkning af proteinafgrøder i Danmark til udledning af flere drivhusgasser for de to delscenarier med grønne afgrøder og færre drivhusgasser for delscenariet med hestebønner til modenhed. For alle tre delscenarier er der i tillæg til CO_2æ beregnet ammoniakfordampning og nitratoverskud, ændringer i sojaimporten og kornproduktionen/eksporten samt ændringer i kulstoflagringen. For de grønne afgrøder er der i tilgift en produktion af biogas. Besvarelsen her skal komme med et bud på ændringen i drivhusgasemissionerne ved at importere mindre soja og som en følge af et skifte fra korn til proteinafgrøder ved at eksportere mindre korn. Omregningen af den producerede biogas sker ved en simpel fortrængning af naturgas. Ændringen af kulstof i de mineralske jorde hører til landbrugsemissionerne og udgør i beregningerne et afgørende element for opgørelserne af nettodrivhusgasudledningen ved proteinproduktion i dansk landbrug, som opgjort med *CIRKULÆR*-modellen.

Kulstoflagring kan regnes på mange måder. Her er det den mængde af det tilførte kulstof, som er tilbage i jorden efter 20 år, der indregnes. Beregningerne er baseret på *C-TOOL*, og der er differentieret mellem forskellige kulstoftyper, hvilket for eksempel giver en højere andel af lagret kulstof for input af afgasset plantegylle end for kulstof i ikke-afgasset plantebiomasse, fordi førstnævnte antages at have en langsommere nedbrydning i jorden. Til gengæld er en andel af kulstoffet i det afgassede materiale blevet omsat ved afgasningen. Denne metode er så vidt vides ikke tidligere anvendt i denne form for systembetragtninger. Det vurderes dog, at metoden giver et mere retvisende resultat, end hvis der ikke differentieres mellem kulstoftyper, når det gælder beregning af kulstoflagring (Hansen et al., 2020).

Forskellen i kulstoflagringen mellem delscenarierne vurderes at være reel, uanset om der lagres i absolutte mængder eller ikke, da kulstof, som tilføres jorden, vil blive i jorden et antal af år, og dette er ifølge *C-TOOL* stort set uafhængigt af jordens kulstofindhold i forvejen. I *CIRKULÆR* forudsættes en kobling til N-lagring ved forholdet 10:1 (C:N), så en tiendedel af den beregnede kulstoflagring svarer til kvælstoflagringen. Men her skal det nævnes, at N-lagringen kun finder sted, indtil en ny ligevægt for jordens kulstofindhold indtræffer. Herefter vil et eventuelt øget kulstofinput ikke længere bidrage med en kvælstoflagring i forhold til basisscenariet på trods af et fortsat kulstofinput. Det betyder, at der ved et ekstra kulstofinput til jorden sker en ændret kulstoflagring (men måske ikke nettolagring), også efter 20 år, hvorimod N-lagringen ophører, når en ny ligevægt opnås efter omtrentligt 20 år på trods af en fortsat uændret tilførsel af C (og N) til jorden. Samtidig øges jordens frugtbarhed og dermed de potentielle udbytter, hvilket ikke er medregnet.

Beregningen af nitratudvaskningen i *CIRKULÆR* beror på en balancetilgang og en afsluttende kobling til kvælstoflagring/mineralisering på baggrund af den beregnede kulstoflagring og C:N-forholdet 10:1. Det betyder, at metodevalget for kulstoflagring og den medfølgende indvirkning på resultatet også påvirker modellens estimering af nitratudvaskningen. Da den valgte metode for beregning af kulstoflagring resulterer i en forholdsvist høj lagring, så vil effekten på nitratudvaskningen også gå forholdsvist meget i en reducerende retning sammenlignet med et metodevalg for kulstoflagring, der medfører en lavere kulstof- og dermed kvælstoflagring. Det er dog vurderingen, at et 20-årigt perspektiv for kulstoflagring vil være mere retvisende

for kvælstoflagringen og dermed for N-overskuddet i de første 20 år end et for eksempel 100-årigt tidsperspektiv.

Produktionen af biogas er ligesom de andre ændringer i import/produktion (soja og korn) ikke omregnet til CO_2æ i modellen *CIRKULÆR*. Man kan gøre dette ved at lade biogassen substituere fossil naturgas. Da der i *CIRKULÆR* er tale om ikke-opgraderet gas, vil det ikke være rimeligt at sammenligne med naturgas, der er af almindelig kvalitet og klar til brug i for eksempel kraftværker. Men man kan lave en forsimplet substitution ved blot at fortrænge den direkte CO_2, som udledes, når naturgas brændes af, fordi biogassen er CO_2-neutral og derfor kan brændes af uden at udlede klimagasser i beregningsteknisk forstand. Hvis 1 kg naturgas sættes til 49 MJ, samt at 1 kg naturgas udleder 2,7 kg CO_2æ ved afbrænding, så svarer bidraget fra den fortrængte naturgas i kløvergræsdelscenariet og lucernedelscenariet til henholdsvis 6.000 og 5.700 kg CO_2æ pr. ha. Dette er ganske markante størrelser, som vil påvirke den samlede drivhusgasbalance, hvis de inkluderes.

Den inkluderede kløvergræsafgrøde er højtydende og er valgt, fordi den repræsenterer et realistisk bud på en fremtidig afgrøde, hvor græsarten er strandsvingel eller rajsvingel, der har højere udbytter end almindelig rajgræs, som normalt anvendes til fodergræs. I bioraffineringsanlægget forudsættes ekstraktion af 55 procent af proteinindholdet til foderbrug, hvilket er mere, end de kommercielle anlæg opnår i dag, men som forsøg har vist, at det er muligt at opnå. Yderligere neddeling af græsset før ekstraktion af protein kan øge udbyttet, men det er en afvejning af omkostninger og gevinster herved. I tilfælde af at den forudsatte ekstraktionseffektivitet ikke kan opnås, vil der skulle dyrkes flere ha med grønne afgrøder for at dække den lavere sojaimport. Hvis de kommercielle anlæg for eksempel ender med at anvende den halve ekstraktionseffektivitet, vil arealbehovet være det dobbelte. Herudover vil der være en række afledte effekter, hvoraf en øget mængde af plantegylle og derfor mere tab af N ved udbringning er blandt de væsentligste. Herudover vil der også blive en højere biogasproduktion og et mindre behov for tilførsel af handelsgødning sammenlignet med de nuværende resultater.

5.3 *CIRKULÆR*: forskelle til DCE's nationale opgørelse

Henrik Thers, H., Uffe Jørgensen, U.

Det er vigtigt at understrege, at *CIRKULÆR* ikke er sat i verden for at lave nationale opgørelser. Der er to vigtige årsager til, at *CIRKULÆR* adskiller sig fra at lave en national opgørelse. For det første er *CIRKULÆR* lavet til at kunne sammenligne scenarier, hvilket vil sige, at der skal være en referencesituation. På denne måde kan *CIRKULÆR* komme med et bud på konsekvensen af en kompliceret systemændring i landbruget, og man kan dykke ned i tallene og få en forklaring på de fremkomne ændringer i for eksempel udledningen af CO_2æ. *CIRKULÆR* forudsætter stabile systemer, som hver især er uændrede over en årrække, og der tages derfor udgangspunkt i gennemsnitsbetragtninger. I virkeligheden er hvert år forskelligt – selv i et relativt stabilt system. I den nationale opgørelse er beregningen for et givent år baseret på arealanvendelsen og husdyrproduktionen det pågældende år og reflekterer derfor årsvariationerne, hvilket ikke er tilfældet i *CIRKULÆR*. For det andet er *CIRKULÆR* er lavet til at udtale sig om fremtidige systemændringer. Det vil sige, at den information og de beregninger, som *CIRKULÆR* lægger til grund for et scenarie, beror på et datainput, der på en hensigtsmæssig måde kan beskrive fremtidens produktionssystem. Som eksempel kan det nævnes, at handelsgødningsforbruget i *CIRKULÆR* beregnes ud fra afgrødevalg, normgødskning, produktion af husdyrgødning og andre organiske gødninger samt overførsel af organiske gødninger fra det konventionelle til det økologiske system. Den nationale opgørelse kan lave et statistisk udtræk og på den måde anvende den

faktiske mængde for et specifikt år. På tilsvarende vis er beregningerne i *CIRKULÆR* og i den nationale opgørelse væsensforskellige i mange andre sammenhænge.

Herunder er der forsøgt redegjort for, hvorvidt de ændringer i et landbrugssystem, som medfører en beregnet ændret udledning af CO_2æ i CIRKULÆR, også ville blive medtaget i den nationale opgørelse. Det er gjort fra *CIRKULÆR*'s perspektiv, og DCE beskriver i afsnit 3.4, hvordan den nationale opgørelse beregner drivhusgasemissioner fra landbruget.

I forhold til kulstoflagring benytter *CIRKULÆR C-TOOL* (Taghizadeh-Toosi et al., 2014), og ifølge denne model lagres input af kulstof i mineralske jorde lige længe i jorden uafhængigt af mængden af kulstof i forvejen (som til gengæld er afgørende og tages i betragtning i *C-TOOL*, når balancen mellem kulstof i jord og atmosfære beregnes). I en livscyklusanalyse ville man derfor kunne anvende metoden fra *CIRKULÆR* principielt for ethvert antal år. Hvis man også ønsker at forholde sig til balancen af kulstof mellem jorden og atmosfære (CO_2), skal det også tages i betragtning, at det kulstof, der tilføres jorden, løbende respireres og kommer op af jorden igen som CO_2. I *CIRKULÆR* anvendes en forholdsvist kort tidshorisont på 20 år for beregning af kulstoflagring, hvilket giver en høj lagring. Til gengæld må det forventes, at den beregnede årlige kulstoflagring kun kan fortsætte i en relativ kort årrække, som også kunne være i størrelsesordenen 20 år (kan være 20-100 år). Herefter vil det stadig gavne klimaet at tilføre jorden kulstof, men balancen mellem kulstof i jorden og i atmosfæren vil ikke ændre sig væsentligt længere, og den nationale opgørelse vil derfor principielt ikke kunne indregne en kulstoflagring ud over denne tidshorisont. Herudover er beregningen af kulstofinput fra afgrøderne meget betydende for resultatet. *CIRKULÆR* anvender allometriske koefficienter listet i tilknytning til *C-TOOL*. De allometriske koefficienter angiver kulstofinput fra for eksempel afgrøderester og rødder i forhold til de høstede udbytter. Det vil sige, at inputtet af kulstof stiger med udbyttet. Den nationale opgørelse anvender en kombination af udbytteafhængige allometriske koefficienter og faste faktorer og er derfor i mindre grad koblet til direkte til udbytteniveauet.

Lattergastab fra stalde fra organiske gødninger beror i *CIRKULÆR* generelt på det danske normsystem, hvor den nationale opgørelse i højere grad beror på IPCC-værdier. For N_2O fra lager af organiske gødninger benytter *CIRKULÆR* samme IPCC-emissionsfaktorer, som den nationale opgørelse gør.

Emissionsfaktoren for ammoniaktab fra mineralsk kvælstofgødning, der leder til indirekte lattergastab, er i *CIRKULÆR* taget direkte fra den nationale opgørelses beregning af gennemsnittet på baggrund af de anvendte gødningstyper. Ammoniaktab fra udbringning af husdyrgødning beror ligeledes på gennemsnitsbetragtninger for de forskellige husdyrgødningstyper beregnet af DCE, hvor ammoniaktab fra stalde i CIRKULÆR beror på det danske normsystem.

Der bruges samme emissionsfaktor for lattergas (1 procent af N) for udbragt gødning, planterester og ammoniaktab (indirekte lattergastab) og tilnærmelsesvis samme emissionsfaktor for kvælstof udvasket som nitrat i *CIRKULÆR* og den nationale opgørelse. *CIRKULÆR* bruger en kvælstofbalancetilgang til estimeringen af nitratudvaskning, hvor den nationale opgørelse bruger NOVANA-data. Mineraliseret/lagret kvælstof fra/i jordpuljen medtages i både den nationale opgørelse og i *CIRKULÆR* og er koblet til ændringerne i jordens kulstofpulje, men beregningen af dette sker ikke på samme måde.

Lækage fra biogasanlæg er i *CIRKULÆR* forudsat at være en procent af den samlede gasproduktion, hvor DCE forudsætter et højere niveau for lækagetab. Dog forholder DCE sig ikke til en fremtidig større produktion af biogas baseret på grøn biomasse, hvilket er det, *CIRKULÆR* beregner konsekvensen af.

Energiforbruget i landbruget opgøres ikke som en landbrugsemission i den nationale opgørelse, men det medtages i *CIRKULÆR*, for eksempel diesel til markoperationer, stalde og indengårdsmekanisering.

Referencer

Bosselmann, A. S., & Callesen, G. E. (2020). Ændringer i drivhusgasudledninger fra arealanvendelse som følge af dansk import af afskovningsfri soja og palmeolie. Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi. IFRO Udredning Nr. 2020/16. https://curis.ku.dk/ws/portalfiles/portal/243860957/IFRO_Udredning_2020_16.pdf

Børsting, C. F., Hellwing, A. L. F., Sørensen, M. T., Lund, P., van der Heide, M., Møller, S. H., Kai, P., Nyord, T., Aaes, O., Clausen, E., Tybirk, P., Holm, M., Hansen, M .N., Jensen, H. B., & Bækgaard, H., (2021). Normtal for husdyrgødning. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Landbrug. DCA Rapport nr. 191.https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport191.pdf

Callesen, G. E., Gylling, M., & Bosselmann, A. S. (2020). Den danske import af soja 2017-2018: Hvor store arealer beslaglægger den i producentlandene, og hvor stor andel af den importerede soja anvendes til svine- og mælkeproduktion? Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi. IFRO Udredning Nr. 2020/03. https://curis.ku.dk/ws/portalfiles/portal/236266436/IFRO_Udredning_2020_03.pdf

CarbonCloud. (2024). Soybean meal. https://apps.carboncloud.com/climatehub/product-reports/id/117445633181

Castanheira, É. G., & Freire, F. (2013). Greenhouse gas assessment of soybean production: Implications of land use change and different cultivation systems. Journal of Cleaner Production, 54, 49–60. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026

Concito (2021). Den store Klimadatabase: Version 1.1. https://denstoreklimadatabase.dk/

Danmarks Statistik. (2024a). FODER1:Foderforbruget efter fodermiddel, oprindelse og enhed. https://www.statistikbanken.dk/FODER1

Danmarks Statistik. (2024b). KN8Y: Im- og eksport KN (EU Kombineret nomenklatur) efter im- og eksport, varer, land og enhed. https://www.statistikbanken.dk/KN8Y

Dreoni, I., Matthews, Z., & Schaafsma, M. (2022). The impacts of soy production on multi-dimensional well-being and ecosystem services: A systematic review. Journal of Cleaner Production, 335, 130182. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130182

EC (2021). Commission recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. European Commission. Official Journal of the European Union, European Commission. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021H2279

Energistyrelsen (2022). Global afrapportering 2022 (GA22): Danmarks import og forbrug af soja. Baggrundsnotat nr. 9. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/9._baggrundsnotat_-_import_og_forbrug_af_soja.pdf

Escobar, N., Tizado, E. J., zu Ermgassen, E. K. H. J., Löfgren, P., Börner, J., & Godar, J. (2020). Spatially-explicit footprints of agricultural commodities: Mapping carbon emissions embodied in Brazil's soy exports. Global Environmental Change, 62, 102067. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102067

Eurostat. (2024). EU trade since 1988 by HS2-4-6 and CN8. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ds-045409__custom_12570095/default/table

FAOSTAT (2024). Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization Statistics. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Frandsen, O., Bosselmann, A. S., Hansen, H. O., & Hasler, B. (2023). Grønne proteinkilder til foderstoffer. Københavns Universitet, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi. IFRO Udredning Nr. 2023/07. https://curis.ku.dk/ws/portalfiles/portal/340104307/IFRO_Udredning_2023_07.pdf

Garofalo, D. F. T., Novaes, R. M. L., Pazianotto, R. A. A., Maciel, V. G., Brandão, M., Shimbo, J. Z., & Folegatti-Matsuura, M. I. S. (2022). Land-use change CO2 emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil. Journal of Cleaner Production, 364, 132549. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132549

Garrett, R. D., Levy, S. A., Gollnow, F., Hodel, L., & Rueda, X. (2021). Have food supply chain policies improved forest conservation and rural livelihoods? A systematic review. Environmental Research Letters, 16(3), 033002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe0ed

Greenhouse Gas Protocol (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf

Hansen, J. H., Hamelin, L., Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J. E., & Wenzel, H. (2020). Agricultural residues bioenergy potential that sustain soil carbon depends on energy conversion pathways. Global Change Biology Bioenergy, 12(11), 1002-1013. https://doi.org/10.1111/gcbb.12733

Hansen N. P., Johansen M., Wiking L., Larsen M., Lund P., Larsen T., & Weisbjerg, M.R. (2021). Fava beans can substitute soybean meal and rapeseed meal as protein source in diets for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 104(5), 5508-5521. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19577

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

IPCC (2014a). 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. (red.). Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Switzerland. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf

IPCC (2014b). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri & L.A. Meyer (red.). Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

IPCC (2019). 2019 Refinement to 2006 IPCC Guidelines for National Green-house Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html

Landbrugsstyrelsen (2019). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2019 til 31. juli 2020. https://www.ft.dk/samling/20191/almdel/mof/spm/390/svar/1629898/2143391.pdf

Landbrugsstyrelsen (2020). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2020 til 31. juli 2021. https://lbst.dk/Media/638530101417300356/Vejledning_om_goedsknings-_og_harmoniregler_2020_2021.pdf

Lathuilliere, M. (2022). Argentina: The overlooked hub of South American soy. Trase. https://trase.earth/insights/argentina-the-overlooked-hub-of-south-american-soy

Miljøministeriet. (2023). EU-forordningen mod global skovrydning og skovforringelse (EUDR). https://mst.dk/erhverv/skovbrug/eu-forordningen-mod-global-skovrydning-og-skovforringelse-eudr/

Mogensen, L., Trydeman Knudsen, M., Dorca-Preda, T., Nielsen, N. I., Kristensen, I. S., & Kristensen, T. (2018). Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg – metode og tabelværdier. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Landbrug. DCA Rapport nr. 116. https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport116.pdf

Mogensen, L., Trydeman Knudsen, M., Hashemi, F., Jensen, A., & Kristensen, T. (2020). Vidensyntese om livscyklusvurderinger og klimaeffektivitet i landbrugssektoren. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Landbrug. DCA Rapport nr. 200. https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport200.pdf

National Agricultural Statistics Service. (2024). CroplandCROS. https://croplandcros.scinet.usda.gov/

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H. G., Levin, L., Callisen, L. W., Andersen, T. A., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, I., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S. B., Baunbæk, L., & Hansen, M. G. (2024). Denmark's National Inventory Report 2024. Emission Inventories 1990-2022 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy. Scientific Report No. 494. https://dce2.au.dk/pub/SR494.pdf

NorFor (u.å.). https://www.norfor.info/

Parajuli, R., Langford, Q., Tong, D., Moberg, E., & Thoma, G. (2022). Measuring and Mitigating GHGs: Soy. Markets Institute, World Wildlife Fund. https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/4a8ktqu76j_soy_final.pdf

Peixoto, L., Enggrob, K.L., Martins, J.T., Rasmussen, J., & De Notaris, C. (under udarbejdelse). Grain legumes combined with cover crops secure positive residual N effects in food production systems.

Reis, T., & Moro, Y. P: (2022). Connecting exports of Brazilian soy to deforestation. Trase. https://doi.org/10.48650/S8VZ-1033

Schmidt, J. H., Weideman, B. P., & Brandao, M. (2015). A framework for modelling indirect land use changes in Life Cycle Assessment. Journal of Cleaner Production, 99, 230-238. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.013

Schmidt, J., Merciai, S., Eliassen, J., Serena, L., Muñoz, I., & Lindberg, J. (2024). The Big Climate Database: Version 1.2: Methodology report. https://denstoreklimadatabase.dk/files/media/document/Methodology_report_The_Big_Climate_Database_20240920_0.pdf

SEGES (u.å.). LandbrugsInfo. https://www.landbrugsinfo.dk/

Statista. (2024). Major soybean producing U.S. states from 2019 to 2023. https://www.statista.com/statistics/192076/top-10-soybean-producing-us-states/

Stødkilde-Jørgensen, L., Mogensen, L., Bache, J. K., Ambye-Jensen, M., Vinther, J., & Jensen, S. K. (2023). Local protein sources for growing-finishing pigs and their effects on pig performance, sensory quality and climate impact of the produced pork. Livestock Science, 267, 105128. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105128

Sustainable Solutions Corporation. (2024). Life Cycle Assessment of U.S. Soybeans, Soybean Meal, and Soy Oil. https://www.nopa.org/wp-content/uploads/2024/02/2024-US-Soy-LCA-Study_PEER-REVIEW-FINAL.pdf

Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B. T., Hutchings, N.J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M. & Olesen, J. E. (2014). C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. Ecological Modelling, 292, 11-25. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.016

Thers, H., Dalsgaard, T., Jensen, S., Mendanha, T., Rasmussen, J., Uldall-Jessen, L., Odgaard, M., Vélez, J., Thorsøe, M., Stone, T., Mäenpää, M., Enggrob, K., Martins, J., Peixoto, L., & Jørgensen, U, (2024). Klima- og miljøeffekter ved øget dyrkning af bælgsæd/proteinafgrøder. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Landbrug. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. https://pure.au.dk/ws/portalfiles/portal/383184752/Notat_get_produktion_af_proteinafgr_der_2606_2024.pdf

Trase. (2022a). Argentina Soy (2019) – Trade volume (t) by Province of production. Argentina Soy (2019) – Trade volume (t) by Province of production. https://trase.earth/explore/supply-chain/argentina/soy?chartType=sankey&year=2019&indicator=volume&dimension=region_production_1&dimension=port&dimension=exporter_group&dimension=country_of_destination&hideDomestic=false

Trase. (2022b). Brazil Soy flows (2020) -Trade volume. https://trase.earth/explore/supply-chain/brazil/soy?chartType=sankey&year=2020&indicator=volume&dimension=region_production_1&dimension=exporter_group&dimension=importer_group&dimension=country_of_import&hideDomestic=false

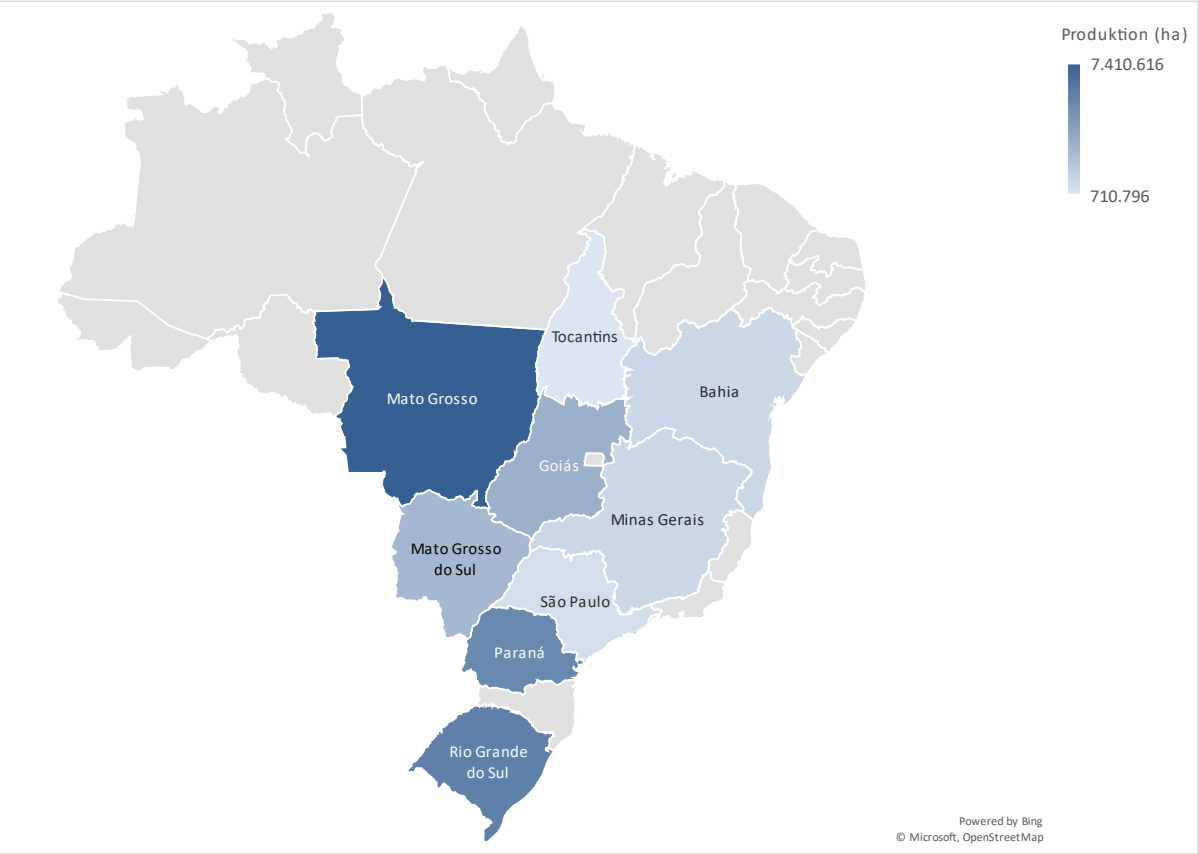
UN Comtrade. (u.å.). UN Comtrade Database. United Nations Comtrade. https://comtradeplus.un.org/

University of Missouri. (2024). Soybean facts and Figures. University of Missouri. https://extension.missouri.edu/programs/soybean/soybean-facts-and-figures%20World%20Population

US EPA. (2024). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2022. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-04/us-ghg-inventory-2024-main-text_04-18-2024.pdf

World Population Review. (2024). Soybean Production by State 2023. https://worldpopulationreview.com/state-rankings/soybean-production-by-state

Bilag A. Brasiliens arealanvendelse og sojaproduktion



Figur A1. *Brasiliens sojaproduktionsområder i 2020 fordelt mellem stater og målt i ha*

Kilde: Egen fremstilling baseret på data fra Trase (2022b).

Tabel A1. *Danmarks, Tysklands og Hollands sojaimport fra Brasilien i 2020 fordelt mellem produktionsstater og målt i tons*

	Danmark		Tyskland		Holland	
Staters eksport	Tons	Procent	Tons	Procent	Tons	Procent
Mato Grosso	69.932	28	197.809	13	1.217.993	31
Rio Grande do Sul (Pampa)	63.368	25	201.254	13	542.198	14
Parana	42.816	17	156.201	10	515.113	13
Minas Gerais	35.712	14	20.552	1	79.839	2
Goias (Cerrado)	26.342	11	96.866	6	182.409	5
Andre	11.290	5	364.584	24	581.721	15
Ukendt	0	0	454.850	30	846.902	21
I alt	249.460	100	1.492.116	100	3.966.175	100

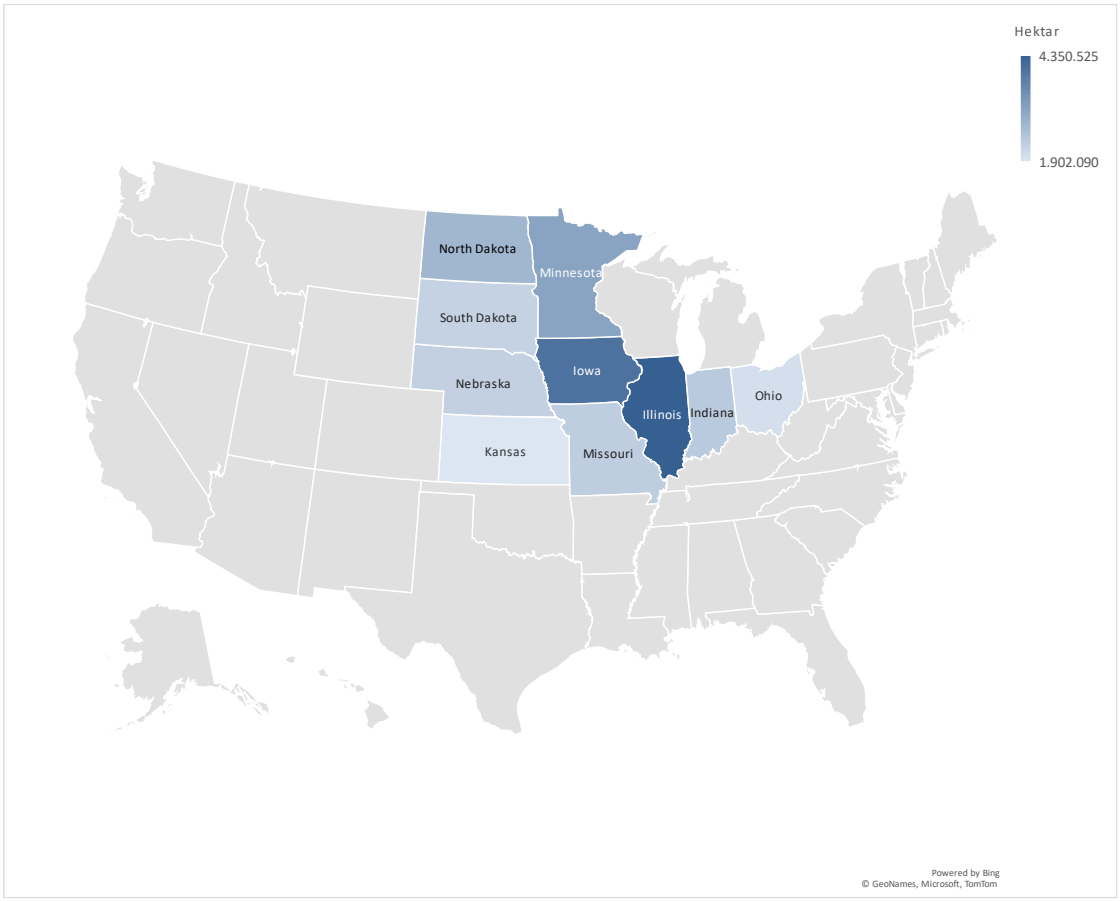
Kilde: Trase (2022b)

Brasilien er verdens største sojaproducent og -eksportør. Ifølge Trase (2022b) producerede Brasilien i 2022 næsten 135 mio. tons soja, hvoraf 105 mio. tons blev eksporteret.

Figur A1 ovenfor illustrerer Brasiliens sojaarealer opdelt mellem ni produktionsstater i 2020. Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná og Goiás er de fire stater med den største sojaproduktion (Trase, 2022b). Det er væsentligt at understrege, at en betydelig del af Brasiliens produktion er uidentificeret, hvilket er markeret med gråt i figur A1. Desuden skal det bemærkes, at dataene stammer fra 2020 og muligvis har ændret sig siden, hvilket kan resultere i et mindre præcist billede af den aktuelle situation for Brasiliens sojaproduktion. Tabel A1 præsenterer de stater, hvorfra Danmark, Tyskland og Holland importerede soja i 2020. Da Tyskland og Holland står for henholdsvis 24 og 11 procent af Danmarks sojaimport, er det relevant at identificere oprindelsen af sojaen, som disse to lande importerer. De største eksportstater er i høj grad de samme som de største produktionsstater, nemlig Mato Grosso, Rio Grande do Sul og Paraná.

Bilag B. USA's arealanvendelse og sojaproduktion

USA er verdens næststørste sojaproducent og Danmarks næststørste eksportør heraf. Ifølge Statista (2024) blev der i 2023 produceret omkring 4,16 mia. bushels sojabønner i USA, hvilket svarer til cirka 113,152 mio. tons. Produktionen har været jævnt stigende siden 2001, hvor den lå på omkring 2,9 mia. bushels (78,88 mio. tons). Dog var der et fald på næsten 106 mio. bushels fra 2022 til 2023. De førende sojabønneproducerende stater er Illinois, Iowa, Minnesota, Indiana og Ohio, som illustreret på figur B1.



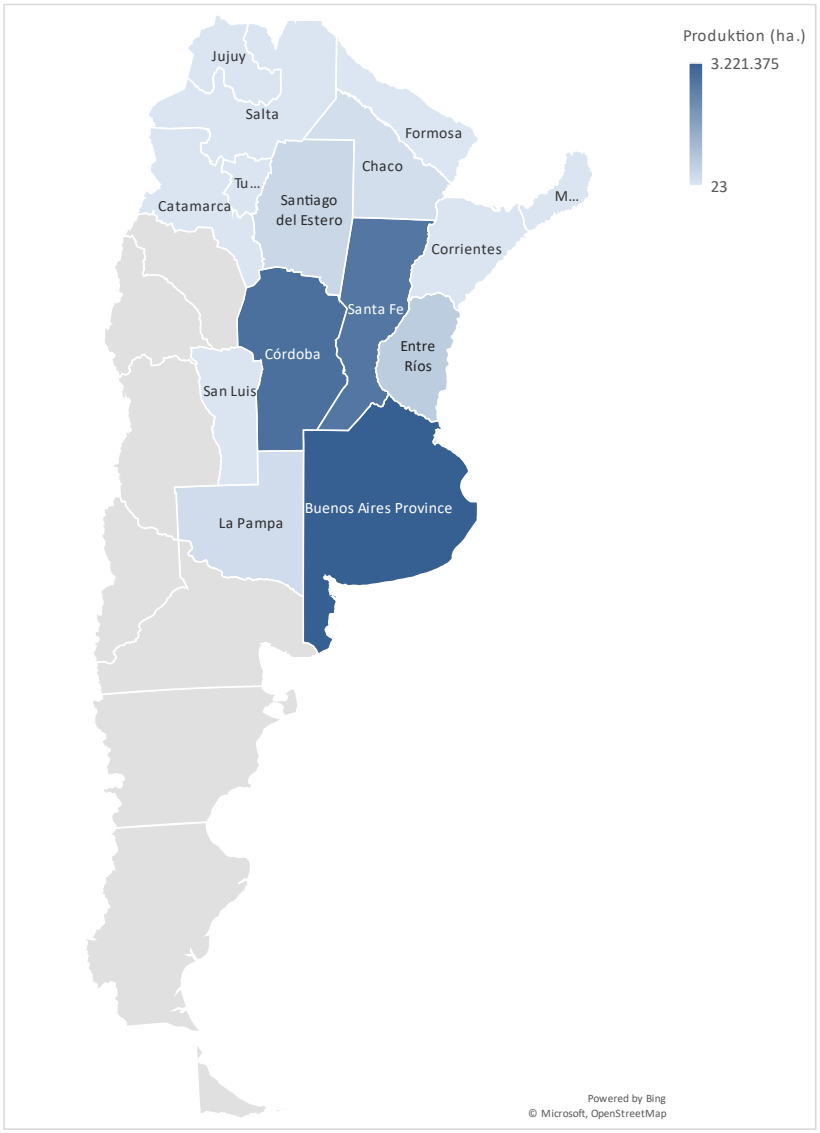
Figur B1. *De ti største sojaproducerende stater i USA målt i ha areal*

Kilde. Egen fremstilling baseret på data fra University of Missouri (2024).

Den største sojaproduktion findes i det øvre Midtvesten, hvor mere end 80 procent af USA's samlede sojabønneproduktion finder sted (National Agricultural Statistics Service, 2024). Denne region bidrager generelt væsentligt til den samlede landbrugsproduktion, da den drager fordel af en kombination af gunstige klimaforhold, frugtbar jord og en veletableret landbrugsinfrastruktur, som understøtter storskaladyrkning af blandt andet sojabønner (World Population Review, 2024). Storskalaproduktion af sojabønner i USA begyndte først i det 20. århundrede. På trods af den hurtige vækst i sojaproduktionen kan der argumenteres for, at der ikke har været betydelige ændringer i arealanvendelsen, hvor naturområder er blevet omdannet til landbrug. Udvidelsen af sojabønnearealet har primært erstattet andre landbrugssystemer, ofte ved at implementere rotationssystemer med en 50-50 majs-sojabønne-rotation (Statista, 2024)

Bilag C. Argentinas arealanvendelse og sojaproduktion

Argentina er Danmarks tredjestørste eksportør i 2023. Der har været et fald i Danmarks import fra Argentina fra 504.797 tons i 2020 til 91.412 tons i 2023 målt i sojaskrå. Trods dette fald er Argentina fortsat en førende producent og eksportør af sojaskrå, primært til EU. Mellem 2015 og 2019 eksporterede Argentina over 200 mio. tons, hvoraf 67 procent var sojaskrå. Argentina spiller også en vigtig rolle i Sydamerikas landbrugsforsyningskæder med en stor forarbejdningsindustri, der kan knuse 62 mio. tons sojabønner årligt til sojaskrå, -mel og -olie, som eksporteres til foder, madolie og biodiesel. Dette betyder, at Argentina også importerer betydelige mængder soja fra andre sydamerikanske lande (Lathuilliere, 2022).



Figur C1. *Argentinas sojaproduktionsområder i 2020 fordelt mellem stater og målt i ha*

Kilde: Egen fremstilling baseret på data fra Trase (2022a).

Tabel C1. *Danmarks import af soja i 2019 fordelt mellem produktionsprovinser i Argentina*

Eksportprovinser i Argentina	Danmarks import, tons	Procent
Cordoba	137.409	35
Santa Fe	102.413	26
Buenos Aires	63.372	16
Santiago Del Estero	14.860	4
Entre Rios	12.825	3
La Pampa	5.915	2
Chaco	3.684	1
San Luis	520	0
Ukendt	47.908	12
i alt	388.908	100

Kilde: Trase (2022a).

Cordoba, Santa Fe og Buenos Aires er de tre provinser, som står for langt største delen af sojadyrkning (sammenlagt 86 procent af Argentinas sojaproduktion) samt eksporten til Danmark (Trase, 2022a). Det er vigtigt at fremhæve, at dataene er fra 2019. Dertil har der været en nedgang i Argentinas produktion og eksport af soja. Derfor forventes det, at tallene er faldet siden. Dog kan figur C1 og tabel C1 stadig give en indikator for, hvilke områder Danmarks importeret soja kommer fra. Dertil viser tabel C1 også, at 12 procent af den eksporterede soja fra Argentina er ukendt.

Bilag D. Emissionsfaktorer fra kilder

Tabel D1. *Emissionsfaktorer for hvert led i sojaskrås livscyklus samt referencer*

CO_2æ (tons pr. ton sojaprodukt)	Brasilien (Cerrado)	Brasilien (traditionel)	Argentina/Para-guay	USA/Canada	Resten af verden
dLUC	1,789	0,683	0,865	-0,06	0,069
Kilde	Garofalo et al. (2022)	Garofalo et al. (2022)	Garofalo et al. (2022)	US EPA (2024)	CarbonCloud (2024)
Primær produktion	0,347	0,347	0,327	0,436	0,487
Kilde	CarbonCloud (2024)	CarbonCloud (2024)	CarbonCloud (2024)	CarbonCloud (2024)	CarbonCloud (2024)
Lokal transport	0,210	0,070	0,070	0,009	0,067
Kilde	Escobar (2020)	Escobar (2020)	Escobar (2020)	Sustainable Solutions Corporation (2024)	CarbonCloud (2024)
Forarbejdning	0,140	0,147	0,110	0,118	0,170
Kilde	Escobar (2020)	Escobar (2020)	Escobar (2020)	Sustainable Solutions Corporation (2024)	Parajuli et al. (2022)
Transport til Danmark	0,288	0,288	0,257	0,251	0,173
Kilde	Mogensen et al. (2018)	Mogensen et al. (2018)	Mogensen et al. (2018)	Mogensen et al. (2018)	Mogensen et al. (2018)

Note: dLUC står for arealændringer. Primærproduktion omfatter alle udledninger fra landbruget. Forarbejdning refererer til processen, hvor sojabønner omdannes til sojaskrå, hvilket antages at foregå i produktionslandet. Transporten til Danmark refererer til skibstransporten af sojaskrå.

Bilag E. Emissioner forbundet med byg og hvede i udlandet

En dansk produktion af foderproteiner vil kræve et væsentligt landbrugsareal i Danmark, som dermed ikke kan anvendes til det eksisterende formål. Mens *CIRKULÆR* anvender hvede som marginalafgrøden, som proteinafgrøderne erstatter, antager vi her, at en udvidelse af proteinafgrøder i større skala vil erstatte vinterhvede og vårbyg i lige andele. Da Danmark eksporterer en stor del af den nuværende kornproduktion, vil en arealændring til proteinafgrøder betyde mindre eksport. En afledt effekt heraf er, at den fortrængte hvede og byg produceres andetsteds. I relation til den øgede proteinafgrødeproduktion i Danmark er dette en indirekte ændring i arealanvendelse, da det er ændringer, som sker uden for det system (produktionen af afgrøder i Danmark), som undersøges. Af denne grund medtages emissioner herfra ikke i eksempelvis PEF (EC, 2021) og Greenhouse Gas Protocol (2011.). Af hensyn til en beskrivelse af et udvidet system, hvor indirekte ændringer medtages, udregner vi her emissionerne relateret til den fortrængte hvede og byg. Med udgangspunkt i handelsdata fra Danmarks Statistik (2024b) og produktionsdata fra FAOSTAT (2024) antager vi her, at produktionen af hvede og byg flytter til Tyskland, Frankrig og Storbritannien. I tabel E1 nedenfor vises klimaaftrykket for den fortrængte danske produktion af byg og hvede, som rykkes til udlandet, baseret på emissionsfaktorer fra *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) og CarbonCloud (2024). Førstnævnte anvender en C-LCA og iLUC og er udtryk for ændringen i efterspørgsel i de tre lande, mens sidstnævnte anvender en A-LCA og dLUC og er udtryk for klimaaftrykket for den absolutte merproduktion baseret på retrospektive emissionsfaktorer. Numerisk er emissionsfaktorerne for C-LCA de højeste, og forskellen består hovedsageligt i brugen af iLUC fremfor dLUC og forskelle i udledning af lattergas fra landbruget, formentlig grundet forskellige antagelser om gødskningsniveauet i de to databaser. Ændringer i international transport med mere er ikke medtaget i udregningerne i tabel E1.

Tabel E1. *Globale klimaaftryk ved kornproduktion flyttet ud af Danmark*

Delscenarie for dansk proteinproduktion		Ved 15 % reduceret sojaimport	Ved 30 % reduceret sojaimport
Kløvergræs	Korn arealreduktion i Danmark, ha	77.885	155.771
	Kornproduktion flyttet ud af Danmark, tons TS	451.813	903.626
	A-LCA globalt klimaaftryk, tons CO_2æ	235.652	471.303
	C-LCA globalt klimaaftryk, tons CO_2æ	430.286	860.571
Lucerne	Korn arealreduktion i Danmark, ha	68.169	136.338
	Kornproduktion flyttet ud af Danmark, tons TS	429.738	859.476
	A-LCA globalt klimaaftryk, tons CO_2æ	224.138	448.276
	C-LCA globalt klimaaftryk, tons CO_2æ	409.262	818.524
Hestebønner	Korn arealreduktion i Danmark, ha	97.932	195.864
	Kornproduktion flyttet ud af Danmark, tons TS	408.181	816.362
	A-LCA globalt klimaaftryk, tons CO_2æ	212.894	425.789
	C-LCA globalt klimaaftryk, tons CO_2æ	388.733	777.465

Note: Det antages, at de danske proteinafgrøder fortrænger byg og hvede ligeligt, og at produktionen flytter til Tyskland, Frankrig og Storbritannien i lige andele. Emissionsfaktorer for C-LCA og A-LCA er fra henholdsvis *Den Store Klimadatabase* (Concito, 2021) og CarbonCloud (2024). Emissionen for A-LCA er anvendt i tabel 3.6. TS = tørstof.