

VIRKEMIDLER TIL AT REDUCERE **AFGRØDERS KLIMAAFTRYK**

VURDERING AF POTENTIELLE KLIMAEFFEKTER PÅ DANSKE
AFGRØDER VED IMPLEMENTERING AF DEN NYESTE VIDEN



VIRKEMIDLER TIL AT REDUCERE AFGRØDERS KLIMAAFTRYK
- VURDERING AF POTENTIELLE KLIMAEFFEKTER PÅ DANSKE
AFGRØDER VED IMPLEMENTERING AF DEN NYESTE VIDEN
Projektnr.: 108484 - 2024

Udgivet af

SEGES Innovation P/S
Agro Food Park 15, Skejby
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000
Segesinnovation.dk

Forfattere

Finn Udesen, SEGES Innovation
Alberto Maresca, SEGES Innovation
Benita Hyltdgaard, SEGES Innovation
Andreas Jensen, SEGES Innovation
Lars Villadsgaard Toft, SEGES Innovation
Franziska Petra Eller, SEGES Innovation
Nicolaj Ingemann Nielsen, SEGES Innovation
Claus Saabye Erichsen, DAKOFO
Alice Thoft Christensen, SEGES Innovation

Redaktion

Finn Udesen, SEGES Innovation
Peter Langborg Wejse, SEGES Innovation
Anna Emilie Angelo Thiis, SEGES Innovation

Kontakt

Finn Udesen, SEGES Innovation
Center for Klima & Bæredygtighed
+45 20 86 28 69

Forsidefoto

SEGES Innovation P/S

1. udgave
December 2024

Denne publikation må kopieres efter aftale med SEGES.

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

RESUME

De nuværende emissionsfaktorer for direkte udledning af lattergas er 1 % af det tildelte kvælstof (N) i marken. Fremtidige emissionsfaktorer i Danmark forventes at være 0,3 % for handelsgødning og 1,17 % for husdyrgødning, hvilket vil reducere den direkte lattergasudledning med 26,5 %. Nitrifikationshæmmere kan yderligere reducere lattergasemissionen med omkring 40 % fra ammonium gødning, svarende til 0,5-1,95 kg CO₂e pr. kg N tilført marken. Nitrifikationshæmmere er endnu ikke fuldt dokumenteret under danske forhold og kræver godkendelse som klimavirkemiddel. De virker ved at bremse mikroorganismer, der omdanner ammonium til nitrat, hvilket reducerer dannelsen af lattergas. Klimaeffekten afhænger af mængden af tilført gødning og kræver systematisk registrering af brugen for at kunne indgå i produktets klimaaftryk. Biokul fremstilles ved pyrolyse, hvor biomasse omdannes til biokul og pyrolysegas, som kan bruges som grøn energi. Biokul indeholder stabilt kulstof, der har en meget lang nedbrydningsperiode, hvilket gør det effektivt som klimavirkemiddel. Klimaeffekten af biokul varierer, da det ikke nødvendigvis tilføres hvert år. Der mangler retningslinjer for, hvordan klimaeffekten kan fordeles over flere år eller marker. Det forventes, at Product Environmental Footprint (PEF) vil udgive retningslinjer, når biokul-produktionen når et vist niveau. For at biokul kan indgå i produktets klimaaftryk kræves en officiel registrering af udbringningssted, mængde og kulstofindhold. Certifikater fra European Biochar Certificate (EBC) kan bruges som supplerende dokumentation.

Grøn ammoniumnitrat, fremstillet ved brug af grøn strøm til at producere brint, har et betydeligt lavere klimaaftryk sammenlignet med traditionelt fremstillet grå ammoniumnitrat, hvor brintkilden er naturgas. Klimaaftrykket for grøn ammoniumnitrat er ca. 70 % lavere. For eksempel reduceres klimapåvirkningen med 334 kg CO₂e pr. ha ved brug af 100 kg kvælstof pr. ha i form af grøn ammoniumnitrat. Grøn N kan nemt erstatte grå N uden ændringer i landbrugspraksis, hvilket gør det simpelt at implementere. Ved at bruge grøn N opnås en reduktion i klimabelastningen ved planteproduktion, som kan beregnes ved at sammenligne klimaaftrykket fra begge typer gødning i et livscyklusperspektiv.

Den globale klimakrise har øget fokus på bæredygtige praksisser i landbruget, hvor landmænd spiller en vigtig rolle i at reducere drivhusgasemissioner. Ændring af naturarealer til dyrkede arealer og dyrkning af kulstofrige jorde bidrager betydeligt til CO₂-udledninger. Derfor er brugen af certificeret soja og palmeolie vigtige for at reducere klimaaftrykket fra foder og animalske produkter.

Finansieringen af klimavirkemidler sker bl.a. med klimakreditter, som tillader virksomheder og enkeltpersoner at kompensere for deres CO₂-udledninger. For at udstede klimakreditter skal CO₂-reduktionen dokumenteres og verificeres af en tredjepart. Klimakreditter kan indregnes i produktaftrykket, men skal rapporteres separat inden for værdikæden.

EU's sojapolitik, the EU Deforestation-Free Regulation (EUDR), skal sikre, at soja importeret til EU ikke bidrager til skovrydning. I Danmark har man endvidere frivillige brancheaftaler, der kræver brugen af ansvarlig soja. Certificeret soja kan for nuværende ikke umiddelbart indregnes i foderets klimaaftryk, idet der mangler retningslinjer for fuld fritagelse fra dLUC. For palmeolie er det vigtigt at finde erstatninger som solikkeolie eller rapsolie for at reducere GHG-aftrykket.

Indhold

1	INDLEDNING	4
2	UDGANGSPUNKT FOR BEREGNING AF VIRKEMIDLERNES EFFEKTER PÅ AFGRØDERNES KLIMAAFTRYK	4
3	KLIMAVIRKEMIDLER TIL REDUKTION AF AFGRØDERS KLIMAAFTRYK.....	5
3.1	NITRIFIKATIONSHÆMMERE OG NYE EMISSIONSFAKTORER FOR DIREKTE LATTERGAS	5
	<i>Virkemidlets klimaeffekt pr. ha.....</i>	<i>6</i>
	<i>Forudsætninger for at virkemidlet kan indgå i produktets klimaaftryk.....</i>	<i>7</i>
3.2	BIOKUL.....	7
	<i>Virkemidlets klimaeffekt pr. ha.....</i>	<i>7</i>
	<i>Forudsætninger for at virkemidlet kan indgå i produktets klimaaftryk.....</i>	<i>8</i>
3.3	GRØN N.....	8
	<i>Hvordan kan grøn gødning indgå i produktets klimaaftryk?.....</i>	<i>9</i>
	<i>Virkemidlets klimaeffekt pr. ha.....</i>	<i>9</i>
4	AFGRØDERNES KLIMAAFTRYK VED INDREGNING AF VIRKEMIDLERNE	9
4.1	FORUDSÆTNINGER FOR VURDERING AF VIRKEMIDLERNES EFFEKT PÅ AFGRØDERNE KLIMAAFTRYK.....	10
5	RESULTATER	10
6	KLIMAAFTRYK PÅ MÆLK.....	11
	13	
7	KLIMAKREDITTER OG CERTIFICERET FODER.....	13
7.1	KØB OG SALG AF KLIMAKREDITTER	13
	<i>Køb og salg af klimakreditter påvirker produktaftrykket.....</i>	<i>14</i>
	<i>Konklusion.....</i>	<i>14</i>
7.2	CERTIFICERET SOJA OG PALMEOLIE.....	14
8	KONKLUSIONER.....	16
9	REFERENCER.....	16

1 INDLEDNING

I takt med den stigende globale opmærksomhed på klimaforandringer og behovet for bæredygtige løsninger er det afgørende at undersøge mulighederne for at reducere klimaaftrykket fra danske afgrøder. Denne undersøgelse fokuserer på at identificere effektive strategier til at minimere udledningen af drivhusgasser fra planteproduktionen i Danmark. For importerede foderråvarer, såsom soja og palmolie, er der lagt vægt på certificeringer, der sikrer, at produktionen ikke bidrager til skovfældning og andre arealomlægninger, som er store kilder til klimagasser. De store CO₂-udledninger fra danske lavbundslande er ligeledes et resultat af arealomlægninger.

Ved at analysere de direkte og indirekte emissioner fra forskellige typer gødning og afgrøder samt ved at anvende nye emissionsfaktorer kan vi opnå en mere præcis vurdering af klimaaftrykket. Dette giver os mulighed for at sammenligne og evaluere forskellige klimavirkemidler, såsom nitrifikationshæmmere, grøngødning og biokul, samt deres potentiale til at reducere udledningen af drivhusgasser. Effekten af arealomlægninger (LUC) måles ved at udlade arealer med LUC-effekt. Målet er at udvikle en mere bæredygtig landbrugspraksis, der kan bidrage til Danmarks klimamål og samtidig sikre en effektiv og ansvarlig fødevarereproduktion.

2 UDGANGSPUNKT FOR BEREKNING AF VIRKEMIDLERNES EFFEKTER PÅ AFGRØDERNES KLIMAAFTRYK

Der er alene set på mulighederne for at reducere danske afgrøders klimaaftryk. For importerede foderråvarer er der fokuseret på certificering af soja og palmolie med henblik på at undgå klimagasser fra arealomlægninger, hovedsagelig skovfældning og tørstofrige jorde.

Der er udelukkende fokuseret på reduktioner af klimagasser. Der er ikke foretaget nogen vurdering af eventuelle påvirkninger af alle øvrige impact-faktorer, der er en del af PEF (Product Environment Footprint). Ifølge klimafremskrivningen 2024 er den kvælstof, vi anvender i Danmark, fordelt med 50 % fra husdyrgødning og 50 % fra mineralsk gødning. Denne fordeling passer på nogle afgrøder som byg og rug, hvorimod der anvendes mere mineralsk gødning end husdyrgødning til f.eks. hvede og betydelig mere husdyrgødning end mineralsk gødning til f.eks. majs. De beregnede effekter af direkte og indirekte drivhusgasser er derfor ikke helt præcise for nogle råvarer. For foderblandinger til grise og fjerkræ, der består af flere afgrøder, vil den samlede effekt være rimelig præcis. For kvæg, hvor grovfoder udgør en stor andel af det samlede foder, vil der være en mindre afvigelse. Da organisk gødning udgør over halvdelen af det samlede gødningsforbrug til grovfoderproduktion, vil direkte emission af lattergas være lidt større end det beregnede, hvorimod den indirekte lattergas fra handelsgødning vil være lidt mindre.

De beregnede effekter har taget udgangspunkt i Agri-footprint 6,3 (AFP6.3.), der er anvendt som baseline. I AFP6.3 er der anvendt en emissionsfaktor på 1 % for direkte lattergas. I Danmark forventer vi i nær fremtid at kunne anvende danske emissionsfaktorer. For at tage højde for dette er de nye emissionsfaktorer for direkte lattergas, som er på 0,3 % for mineralsk gødning og 1,17 % for organisk gødning, anvendt i stedet for den nuværende 1 %. Den nye vægtede emissionsfaktor er i gennemsnit 0,735 %, når det antages, at organisk og mineralsk gødning har en 50/50 % fordeling. Dermed er der beregnet en ny baseline, som de tre testede klimavirkemidler (nitrifikationshæmmere, grøn gødning og biokul) er sat i forhold til.

Virkemidlerne påvirker helt forskellige udledningskilder. Nitrifikationshæmmere reducerer den direkte CO₂, grøn N reducerer den indirekte CO₂, idet klimagasudledninger sker der, hvor gødningen produceres, og

biokul øger CO₂-lagringen i jorden. Da effekterne påvirker forskellige udledningsskilder, er de helt uafhængige af hinanden og kan derfor lægges sammen uden korrektioner.

Virkemidlernes nominelle affekter er omregnet til reduktionsprocenter i forhold til baseline. Reduktionsprocenterne er derefter fratrukket klimaaftrykket på de enkelte afgrøder i SEGES Klimafoderdatabase. Dermed fremkommer nye klimaaftryk på afgrøderne, som er anvendt til at beregne klimaaftrykket på standardfoderblandinger, der beregner produkternes klimaaftryk. Virkemidlerne er endnu ikke anerkendte og kan dermed ikke umiddelbart indregnes i hverken det territoriale klimaaftryk eller på produktaftrykket. For især biokul kan det blive en kompliceret proces, idet biokuls klimateffekt vil afhænge af biomassens oprindelse og fremstillingsprocessen.

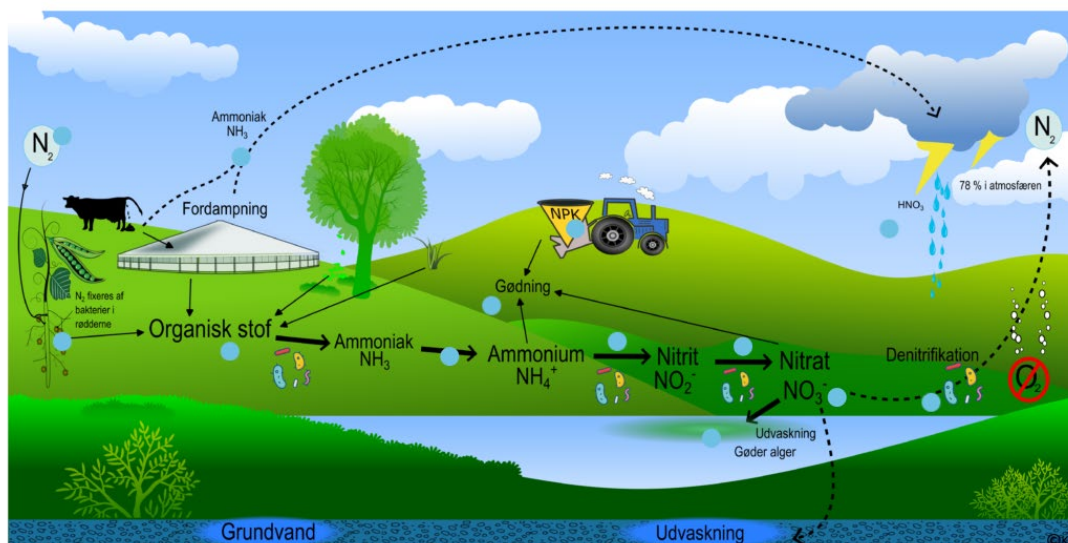
3 KLIMAVIRKEMIDLER TIL REDUKTION AF AFGRØDERS KLIMAAFTRYK

Afgrødernes klimaaftryk kan reduceres af forskellige veje. Dyrkningsaftrykket består hovedsagelig af lattergas, langsigtet kulstofbinding samt omdannelse af kulstof fra træ og tørvejorde. Drivmidler og maskiner udgør en meget lille andel af danske afgrøders klimaaftryk. Kvælstof omdannes ved nitrifikation og denitrifikation til lattergas. Der er direkte sammenhæng mellem mængden af kvælstof og mængden af lattergas. Produktion af kvælstof kræver meget store energimængder. Grøn energi kan dermed være med til at reducere CO₂-udledningen. Langtidsbinding af kulstof kan opnås ved pyrolyse, hvor kulstoffet bliver utilgængeligt i mere end 100 år. Kulstofbinding via biomasse i jorden f.eks. ved regenerativ dyrkning er ikke medtaget i denne rapport. Klimateffekterne fra arealomlægninger såsom kulstofudledninger fra træfældning og dyrkning af kulstofrige jorde indgår i scenarieberegninger i notatet om animalske produkters klimaaftryk. I det følgende gennemgås effekten af nye emissionsfaktorer for direkte lattergas, anvendelse af nitrifikationshæmmere, biokul fra halm samt grøn-N.

3.1 Nitrifikationshæmmere og nye emissionsfaktorer for direkte lattergas

De nuværende emissionsfaktorer for direkte udledning af lattergas er 1 % af den tildelte N i marken. For fremtiden forventes det, at vi i Danmark kan anvende nye emissionsfaktorer for handelsgødning på 0,3 % og for husdyrgødning 1,17 %. Forholdet mellem husdyrgødning og handelsgødning får dermed indflydelse på afgrødens klimaaftryk fra lattergas, idet det varierer dels mellem afgrødetyper og dels mellem planteavlsbedrifter og husdyrbedrifter. Ifølge klimafremskrivning 2024 tildeles der lige meget kvælstof fra handelsgødning og husdyrgødning. Den vægtede nye emissionsfaktor på landsplan bliver dermed 0,735 % svarende til en reduktion på 26,5 %-points i den direkte lattergasudledning.

Lattergasemissionen kan reduceres med omkring 40 % ved anvendelse af nitrifikationshæmmere, hvilket betyder en reduktion i lattergasudledning på 0,5 og 1,95 kg CO₂e pr. kg N tilført ved brug af de foreslåede nye emissionsfaktorer for hhv. handels- og husdyrgødning. Nitrifikationshæmmere er endnu ikke medregnet i den nationale opgørelse, og der mangler en dokumenteret effekt under danske forhold, før de kan implementeres fuldt ud som klimavirkemiddel. Processerne i jorden ved tilførsel af N ses af figuren nedenfor. Anvendelse af nitrifikationshæmmere forsinket eller hæmmer bakterierne i at omdanne ammonium N til nitrat. Nitrat øger risikoen for udvaskning og denitrifikation, som øger lattergasudledningen.



Figur 1. Nitrogenkredsløbet – planter kan kun optage N som nitrat (NO_3^-) og ammonium (NH_4^+).

Kilde: www.biologividen.dk

Når gødning med tilsat nitrifikationshæmmere bringes ud på marken, har det en direkte effekt på den mark og den afgrøde, hvor gødningen er tildelt. Klimaeffekten ved af bruge nitrifikationshæmmere kan derfor umiddelbart tilskrives den afgrøde, der vokser på marken, og dermed indgå i produktets klimaaftryk, når brugen af nitrifikationshæmmere ved gødskningen dokumenteres (Christensen, 2024).

Virkemidlets klimaeffekt pr. ha

Klimaeffekten af nitrifikationshæmmere kan relateres til gødningen tilsat nitrifikationshæmmere og er dermed afhængig af, hvor meget gødning der tildeles. Da nitrifikationshæmmere direkte blandes i gødningen, er det hensigtsmæssigt at udregne en klimaeffekt pr. kg N tilført. I Tabel 1 ses reduktionspotentialet for nitrifikationshæmmere opgjort pr. kg kvælstof, som tilføres marken. Der er regnet på klimaeffekten af nitrifikationshæmmere, når der regnes med både den nuværende emissionsfaktor for lattergas, men også de foreslåede nye differentierede emissionsfaktorer for handels- og husdyrgødning.

Tabel 1. Effekt af nye emissionsfaktorer og nitrifikationshæmmere.

EMMISSIONSFAKTOR	EF (%)	N ₂ O-EMISSION VED 1 KG N (KG CO ₂ E/KG N)	REDUKTION VED BRUG AF NITRIFIKATIONSHÆMMERE (KG CO ₂ E/KG N)
Nuværende	1	4,16	1,67
Ny handelsgødning	0,3	1,25	0,5
Ny husdyrgødning	1,17	4,87	1,95

Klimaeffekten pr. ha vil variere, alt efter hvor meget kvælstof der tilføres marken. Ved en tilførsel af 180 kg kvælstof, hvor der tildeles hhv. 90 kg handels- og husdyrgødning, vil klimaeffekten være ca. 240 kg CO₂e ved brug af den nuværende emissionsfaktor og ca. 200 kg CO₂e ved brug af de nye differentierede emissionsfaktorer. Der er her antaget en ammoniumandel i handelsgødningen på 60 %.

Forudsætninger for at virkemidlet kan indgå i produktets klimaaftryk

For at klimaeffekten af nitrifikationshæmmere kan indregnes i produktets klimaaftryk, kræver det godkendelse som klimavirkemiddel med en dokumenteret effekt under danske forhold. Denne proces er i gang, men det vides endnu ikke, hvornår nitrifikationshæmmere kan indregnes i f.eks. den nationale opgørelse.

Det kræves derudover, at gødningsmængden til den specifikke mark og specifikke afgrøde dokumenteres, da klimaeffekten er afhængig af gødningsmængden. Det kræver dermed, at landmændene begynder at registrere brug af nitrifikationshæmmere systematisk i markstyringsprogrammerne.

3.2 Biokul

Biokul fremstilles ved pyrolyse, som er en lovende teknologi, hvor man i et pyrolyseanlæg kan forkulle biomasse fra landbruget til biokul og samtidig levere grøn energi i form af pyrolysegas. Biokulproduktet, som skabes ved pyrolyseprocessen, indeholder store mængder stabilt kulstof, der nedbrydes til CO₂ meget langsommere end de biomasser, biokullet produceres fra. Det gør biokulproduktion anvendelig som klimavirkemiddel.

Klimaeffekten fra kulstoflagring i biokul adskiller sig fra andre aktiviteter, der foregår i forbindelse med dyrkning af afgrøder i marken. Det skyldes, at tilførslen af biokul muligvis vil ske med flere års mellemrum frem for at være noget, landmanden gør hvert år og derfor naturligt tilskrives årets afgrøde.

Hvis der går flere år mellem tilførsel af biokul, vil klimaaftrykket på landmandens udbytte derfor potentielt variere meget mellem år, hvor der tilføres biokul, og år, hvor der ikke tilføres biokul. Der er på nuværende tidspunkt ikke nogen retningslinjer, som beskriver, om klimaeffekten af biokul kan fordeles over flere år og derfor kan fordeles mellem flere års udbytter, eller om klimaeffekten kan fordeles ud på flere af bedriftens marker, end der spredes biokul på.

Det forventes, at Product Environmental Footprint (PEF) vil udgive retningslinjer for indregning af klimaeffekten fra spredning af biokul på udbytter, når produktionen af biokul når et vist niveau.

Virkemidlets klimaeffekt pr. ha

Indtil der er udviklet guidelines for, hvordan biokul kan udbringes på marken, anvendes en teoretisk model, der tager udgangspunkt i, hvor meget biomasse i form af halm, der er til rådighed fra kornproduktion. Ved at forudsætte at halmen anvendes til produktion af biokul, og denne biokul bringes tilbage til marken, hvor halmen kommer fra, kan der beregnes en nettoeffekt på kornets klimaaftryk ved at indregne den øgede kulstoflagring fra biokul i kornets klimaaftryk. Biokul er en porøs masse, som det ses af billedet.



Figur 2.

Kilde: Videnskab.DK

Biokul kan spredes på marken ved hjælp af en gødningsspreder, som sikrer en jævn fordeling over et stort område. Biokul kan blandes med organisk eller mineralsk gødning og derefter udbringes sammen med gødningen eller indarbejdes direkte i jorden ved hjælp af plove eller harver, hvilket hjælper med at forbedre jordens struktur og frugtbarhed.

Ved beregning af kulstoflagring fra halmens biokul er det forudsat, at 29 % af halmen bliver til biokul, og at biokul indeholder 64 % kulstof, hvoraf 89 % af kulstoffet er stabilt over 100 år.

Hvis det f.eks. forudsættes, at kornudbyttet er 7.469 kg fra hvede, og halmudbyttet er 3.142 kg ser et eksempel på CO₂e-effekten pr. ha således ud:

$$1 \text{ kg halm} = 290 \text{ g biokul} \times 0,64 = 185,6 \text{ g C} \times 0,89 = 165,2 \text{ g C} = 550 \text{ g CO}_2\text{e}$$

$$3.142 \text{ kg halm} = 1728 \text{ kg CO}_2\text{/Ha} = 231 \text{ g CO}_2 \text{ per kg hvede}$$

Den del af dyrkningsaftrykket, der fordeles i LCA-analysen til halmen, modregnes effekten fra biokul for at få den effektive effekt på kornets klimaaftryk.

Forudsætninger for at virkemidlet kan indgå i produktets klimaaftryk

Der er endnu ikke klare retningslinjer for indregning af klimaeffekten af biokul i afgrødens produktaftryk. En forudsætning for, at klimavirkemidlet, biokul, kan indgå i klimaaftrykket, er, at der er en officiel registrering af udbringningsstedet samt mængden og kulstofindholdet i biokullet (f.eks. fra EBC-certifikat), for at klima-effekten kan beregnes. Hvis der ikke er et certifikat, vil der være behov for flere oplysninger om biokul-produktet, herunder informationer om oprindelsesbiomassen, pyrolyseprocessen m.v.

Det forventes, at Product Environmental Footprint (PEF) vil udgive retningslinjer for indregning af klimaeffekten fra tilførsel af biokul på markens udbytte, når produktionen af biokul når et vist niveau. Der er således ikke endnu tilstrækkelig dokumentation for, at biokullets kulstofindhold kan indregnes direkte i afgrødernes klimaaftryk, men certifikater udstedt af European Biochar Certificate (EBC) kan anvendes som supplerende oplysning til afgrødens klimaaftryk (Hyldgaard, 2024).

3.3 Grøn N

Aftrykket for fremstillingen af grøn ammoniumnitrat baseret på grøn ammoniak, hvor der bruges grøn strøm til at producere brint, er sammenlignet med aftrykket for fremstillingen af grå ammoniumnitrat, som det foregår i dag, hvor brintkilden til ammoniaksyntesen er naturgas. Det reducerede aftryk fra grøn ammoniumnitrat er omsat til aftryk pr. ha og kg kerneudbytte vha. antagelser om gødningstildeling pr. ha og udbytter pr. ha for udvalgte afgrøder.

Produktionens klimagas aftryk af 1 kg grønt ammoniumnitrat reduceres under ovenstående antagelse med ca. 70 % i forhold til traditionelt fremstillet grå ammoniak. Ved et forbrug af 100 kg kvælstof pr. ha i form af ammoniumnitrat nedsættes klimapåvirkningen med 334 kg CO₂-ækv., hvilket svarer til en reduktion pr. kg kerneudbytte mellem 41 og 81 g for udvalgte typiske afgrøder og udbytter.

Da kvælstofgødning fremstillet af brint fra elektrolyse har samme egenskaber som de nuværende gødningsprodukter, er der ingen umiddelbare landbrugsfaglige barrierer for at anvende grøn i stedet for grå gødning i marken ift. i dag. Det vil derfor være simpelt at implementere brugen af grøn gødning i stedet for grå, da det ikke kræver ændringer i den nuværende dyrkningspraksis.

Hvordan kan grøn gødning indgå i produktets klimaaftryk?

Udledningen fra produktionen af udbragt gødning er en del af afgrødernes Scope 3-udledninger for foderproduktion. Ved at indkøbe gødning med et mindre produktionsaftryk opnås en reduktion i klimabelastningen fra foderproduktion.

For at beregne effekten af at indkøbe grøn gødning i stedet for grå gødning er klimaaftrykket fra begge produkter sammenlignet i et livscyklusperspektiv. Sammenligningen er foretaget pr. kg N i form af ammoniumnitrat, som er det primære indholdsstof i de mest solgte gødningsblandinger herhjemme baseret på Landbrugsstyrelsen seneste statistik over gødningshandel (Landbrugsstyrelsen, 2023).

Tabel 2. Aftrykket af grå og grøn ammoniumnitrat (NH₄NO₃).

	GRØN AMMONIUMNITRAT, 33,5 % N	GRÅ AMMONIUMNITRAT, 33,5 % N
Kg CO ₂ -ækv. pr. kg gødning	0,49	1,61
Kg CO ₂ -ækv. pr. kg N	1,46	4,81

Pr. 100 kg ammoniumnitrat findes 33,5 kg N.

Virkemidlets klimaeffekt pr. ha

Effekten af at bruge grøn gødning i stedet for grå gødning afhænger af gødningsforbruget pr. ha. Jo højere kvælstofdeling, jo større vil den absolutte reduktion i klimaaftrykket være. Dette er eksemplificeret for forskellige gødningsforbrug pr. ha i Tabel 3 (Jensen, 2024).

Tabel 3. Reduktion af klimagasser pr. ha ved brug af grøn N i stedet for grå N.

HANDELSGØDNINGSFORBRUG, KG N/HA	PRODUKTIONSAFTRYK, GRØN GØDNING, KG CO ₂ E/HA	PRODUKTIONSAFTRYK, GRÅ GØDNING, KG CO ₂ E/HA	KLIMAREDUKTION, KG CO ₂ E/HA
50	72,7	239,7	167,0
100	145,4	479,5	334,1
150	218,1	719,2	501,1

4 AFGRØDERNES KLIMAAFTRYK VED INDREGNING AF VIRKEMIDLERNE

Virkemidlernes effekt på udvalgte afgrøders klimaaftryk er vurderet på basis af generiske aktivitetsdata, fra Agri-footprint 6.3 (AFP6.3) og de ovenfor anførte klimaeffekter. De udvalgte afgrøder og deres klimaaftryk er vist i Tabel 5a og 5b. Alle datasæt for korn og bælgeplanter er i overensstemmelse med den metode, der anvendes af GFLI- og AFP6.3-databaserne, bortset fra vedvarende græs, som kommer fra DCA-rapport 116. I første fase blev de nye emissionsfaktorer for direkte lattergas indregnet i afgrødernes klimaaftryk. Det nye klimaaftryk blev anvendt som baseline for de øvrige virkemidler. Baggrunden for den valgte metode var, at de nye emissionsfaktorer forhåbentlig bliver en realitet i nær fremtid, hvorimod biokul og grøn gødning først bliver en realitet om nogle år.

4.1 Forudsætninger for vurdering af virkemidlernes effekt på afgrøderne klimaaftryk

Beregning af virkemidlernes effekter er foretaget på basis af simple modeller, der ikke tager hensyn til alle afledte effekter. Virkemidlerne er ikke tilgængelig i LCA-databaserne, hvorfor der er anvendt tilnærmede LCA-modellering. Derudover blev der ved modelleringen af virkemidlerne anvendt nedenstående forenklinger.

- Følgende antagelse er gjort: mineralsk N og organisk N tilføres lige store mængder på marken (50 % : 50 %).
- Mængderne af inputmaterialer, der er anvendt til at modellere det enkelte afgrøde, er ikke opdateret, hvilket betyder en potentiel under-/overvurdering af opstrøms påvirkninger, hvilket generelt set har en forholdsvis lille betydning for klimaaftrykket.
- Direkte N₂O-emissioner blev ajourført på grundlag af de nye forventede nationale emissionsfaktorer, mens indirekte N₂O-emissioner blev genberegnet i henhold til GFLI-databasens metode og AFP6.3.
- Nitrifikationshæmmere er kun tilsat husdyrgødning. Med en EF på 0,3 % for mineralsk gødning, hvoraf blot en andel er ammoniumgødning, er anvendelse af nitrifikationshæmmere ikke økonomisk relevant set i sammenhæng med den forventede effekt.
- Effekten af grøn N er beregnet på den del af mineralsk gødning, der kun indeholder N. Det er ikke umiddelbart muligt at adskille klimaaffekter mellem de forskellige næringsstoffer, som en gødningsblanding består af (N, P, K osv.).
- Alle virkemidler er relateret til dyrkningsaftrykket pr. ha. De anvendte udbytter pr. ha har afgørende betydning for afgrødernes klimaaftryk.

5 RESULTATER

Tabel 4 viser de nominelle reduktionseffekter for hvert virkemiddel.

- **EF** viser effekten af de nye emissionsfaktorer for direkte lattergas. EF blev brugt som baseline for de øvrige virkemidler.
- **NIH** viser effekten af nitrifikationshæmmere under forudsætning af, at de reducerer direkte lattergas med 40 % ved tilsætning af husdyrgødning.
- **Biokul** viser effekten af at tilbageføre den biokul, der kan fremstilles af markens halm (ved at bruge de fjernede mængder halm som rapporteret i Agri Footprint). Forholdet mellem kærneudbytte og halm har betydning for den klimamæssige effekt.
- **Grøn-N** viser effekten af, at kvælstoffet fremstilles med grøn energi. Effekten er beregnet som en tilnærmet værdi og ud fra en vurdering af, hvor stor andelen af gødningen der kan komme fra ren kvælstofgødning.

Tabel 4. Virkemidlernes reduktion af afgrødernes klimaaftryk. Resultaterne er udtrykt som kg CO₂e-reduktion pr. kg afgrøde.

AFGRØDE/KG CO ₂ E-REDUKTION PR. KG AFGRØDE	EF	NIH	BIOKUL	GRØN-N
Byg	0,024	0,022	0,129	0,011
Rug	0,021	0,018	0,188	0,011
Hvede	0,024	0,023	0,146	0,011
Græs	0,004	0,004	n.a	0,002
Græsensilage	0,017	0,007	n.a	0,005
Majsensilage	0,005	0,007	n.a	0,005
Permanent græs	0,001	0,002	n.a	0,002

Virkemidlernes effekter i Tabel 4 er overført til afgrødernes klimaaftryk i Tabel 5. Som baseline anvendes afgrødernes klimaaftryk i SEGES Klimafoderdatabase. De nominelle effekter i Tabel 5a er omregnet til relative effekter, som er anvendt til at reducere afgrødernes klimaaftryk i SEGES Klimafoderdatabase. Grovfodermidlerne findes ikke i SEGES Klimafoderdatabase. Som baseline anvendes klimaaftrykket fra DCA Rapport 116, Mogensen et al. (2018).

Tabel 5. Afgrødernes klimaaftryk med virkemidler.

AFGRØDE/KG CO ₂ E PR. KG AFGRØDE	SEGES KLIMADATABAS E	SEGES + EF	SEGES+EF+NIH+ GRØN N	SEGES+EF+NIH +BIOKUL+ GRØN N
Byg, 85 % TS	0,542	0,518	0,486	0,359
Rug, 85 % TS	0,478	0,457	0,428	0,243
Hvede, 85 % TS	0,468	0,444	0,411	0,267
Græs, 18 % TS	0,085	0,081	0,075	n.a
Græsensilage, 35,2 % TS	0,166	0,153	0,142	n.a
Majsensilage, 34,7 % TS	0,102	0,098	0,086	n.a
Permanent græs, 18 % TS	0,033	0,032	0,028	n.a

6 KLIMAAFTRYK PÅ MÆLK

Bovaer® skal gives til køerne dagligt og kontinuerligt for at opnå maksimal effekt. Effekten reduceres, hvis køerne er på græs, da de ikke får Bovaer® hele tiden. Ved døgnafgræsning er effekten meget begrænset, men ved delvis afgræsning kan en mindre reduktion i metan udledning opnås. I Danmark, hvor køerne

typisk græsser seks-otte timer dagligt, kan Bovaer® stadig reducere metan udledningen, hvis det blandes i fuldfoderet, som køerne får i stalden.

Bovaer® tilsættes mineralblandingen og gives via fuldfoderet. Den optimale dosis er 60 mg/kg tørstof pr. ko pr. dag, hvilket næsten maksimerer enterisk metan reduktionen uden at påvirke foderoptagelse og mælkeproduktion negativt. Effekten af Bovaer® er veldokumenteret og afhænger af dosis, tildelingsmetode, rations sammensætning og fodringsmanagement.

Danske undersøgelser viser, at en dosis på 60 mg 3NOP/kg tørstof (TS) kan reducere den enteriske metan udledningen med ca. 30 %, hvilket stemmer overens med resultater fra både danske og hollandske forsøg. Beregninger i foderværktøjet DMS NorFor viser også, at højere doser af Bovaer® (90 mg/kg TS) kan øge reduktionen til 32 %.

Fedt i foderet kan bruges både i konventionelle og økologiske kvægbrug, men det er kun beregnet for økologiske malkekøer, da kombinationen af fedt og Bovaer® ikke giver en ekstra klimaeffekt. Det er bedst at fordele fedtet jævnt over døgnnet, hvilket er nemmest med fuldfoder. Ved døgnafgræsning er dette svært, men ved delvis afgræsning kan det lade sig gøre. Dog bør man ikke give mere end 40 g rapsfrø-fedtsyrer pr. dag, da det kan reducere køernes foderoptagelse og produktion.

Danske og internationale forsøg med rapsfrø har fundet reduktioner i metanemissionen ved fodring med rapsfrø på ca. 4 % pr. 10 g ekstra fedtsyrer pr. kg TS-optag (Mogensen et al., 2018). Konventionelle malkekøer fodres i forvejen med ca. 35 g fedtsyrer pr. kg TS (jf. SEGES Innovations foderkontroller), og økologiske malkekøer med 25 g fedtsyrer pr. kg TS i vinterhalvåret. Hos økologiske malkekøer er det forudsat, at der regnes på at øge fedtsyreniveauet fra 25 g til 40 g fedtsyre. Den forventede effekt af Bovaer ses af Tabel 6 (Nielsen, 2024).

Tabel 6. Effekten af Bovaer-dosis (0, 60 og 90 mg/kg TS) på koens metanudskillelse og den procentvise reduktion i metanudskillelse.

Fodermiddel	Enhed	Øre/kg	*Tildelt	*Tildelt	*Tildelt
Vårbyg	Kg TS	150,0	2,6	2,5	2,5
Rapsskråfoder, 4% fedt	Kg TS	200,0	2,1	2,0	2,0
Rapskagefoder, 10,5% fedt	Kg TS	220,0	3,0	3,0	3,0
Majsensilage, middel FK	Kg TS	34,6	10,3	10,4	10,4
2. slæt kløvergræsensilage	Kg TS	46,0	4,0	4,0	4,0
Bovaer10®	Gr TS	18625,0	0	13	20

Rationsparameter	Enhed	Opt.	Tildelt	Tildelt	Tildelt
Pris	kr./dag	<input type="checkbox"/>	31,80	34,21	35,40
Foderoptagelse	kg TS/d	<input type="checkbox"/>	22,0	21,9	21,9
Kraftfoder	kg TS/d	<input type="checkbox"/>	7,6	7,6	7,5
Energibalance	%	<input checked="" type="checkbox"/>	100,0	100,0	100,0
Råprotein	g/kg TS	<input checked="" type="checkbox"/>	157	157	157
AAT til mælk	g/MJ	<input checked="" type="checkbox"/>	15,0	15,0	15,0
PBV	g/kg TS	<input checked="" type="checkbox"/>	12	12	13
Fedtsyrer	g/kg TS	<input checked="" type="checkbox"/>	27	27	27
NDF	g/kg TS	<input type="checkbox"/>	331	331	331
Stivelse	g/kg TS	<input type="checkbox"/>	223	223	223
Fylde i alt	FV	<input checked="" type="checkbox"/>	8,31	8,32	8,32
Klimaaftryk foderdyrkning	kg/dag	<input type="checkbox"/>	7,0	7,0	6,9
Metan (g/dag)	g/dag	<input type="checkbox"/>	485	349	329
3-NOP	mg/kg T	<input type="checkbox"/>	0	60	90
Metan reduktion	%	<input type="checkbox"/>	0	-28	-32
Klimaaftryk dyr+foder+jord	g/kg EK	<input type="checkbox"/>	784	670	654

7 KLIMAKREDITTER OG CERTIFICERET FODER

Den globale klimakrise har medført øget opmærksomhed på bæredygtige praksisser på tværs af forskellige sektorer. I landbruget spiller landmænd en afgørende rolle i at mindske drivhusgasemissioner.

Ændring af naturarealer især regnskov til dyrkede arealer samt dyrkning af kulstofrige jorde er dermed kommet i fokus på grund af disse arealers store bidrag til CO₂-udledninger. Certificeret soja og palmeolie samt udfasning af kulstofrige jorde spiller derfor en afgørende rolle i at mindske foderets klimaaftryk og derved igennem de animalske produkter klimaaftryk.

I takt med at klimaforandringerne intensiveres, bliver det stadig vigtigere at finde løsninger, der kan reducere vores miljøpåvirkning. Klimakreditter og certificeret soja og palmeolie er vigtige redskaber i denne indsats. Klimakreditter gør det muligt for virksomheder og enkeltpersoner at kompensere for deres CO₂-udledning ved at investere i projekter, der reducerer eller fjerner drivhusgasser fra atmosfæren. Disse projekter kan omfatte alt fra skovrejsning til landbrugets CO₂e-reduktioner.

7.1 Køb og salg af klimakreditter

For at kunne udstede en klimakredit eller et klimacertifikat skal bestemte betingelser være opfyldt. Tiltaget, der skal generere klimakreditten, skal dokumenteres og verificeres af en uvidlig tredjepart, for at sikre at reduktionen i drivhusgasser er reel og kan måles. Tiltaget skal medføre en ekstra klimareduktion, som ikke ville være sket uden projektet. Dette kan f.eks. være skovrejsning, regenerativ landbrugspraksis, afbrænding af metan fra gylletanke eller brugen af Bovaer. Eksempler, der måske kan danne grundlaget for udstedelse af klimakreditter i fremtiden.

Landmanden eller virksomheden skal overholde specifikke procedurer og krav, som fastsættes af certificeringsorganet. Landmanden bliver dermed bundet til at overholde nogle procedure- og krav til dokumentation, som man ikke kan ændre på. Der vil være en langsigtet forpligtelse til at opretholde de underskrevne betingelser, som typisk er på tre til ti år. Disse betingelser sikrer, at klimakreditter og klimacertifikater er troværdige og effektive værktøjer i kampen mod klimaforandringer.

Køb og salg af klimakreditter påvirker produktaftrykket

Køb og salg af klimakreditter påvirker produktaftrykket eller klimaftrykket på et produkt, idet den solgte klimaeffekt ikke kan indregnes i bedriftens produkter men i stedet i bedriftens klimaaftryk. Køb af klimakreditter kan indregnes i bedriftens produkter men ikke i bedriftens klimaaftryk. For mere uddybende konsekvenser ved køb og salg af klimakreditter, samt hvordan de påvirker produkternes klimaaftryk, henvises der til Maresca og Hyldgaard (2024). Procesforløbet for udstedelse af en klimakredit ses af Figur 3.



Figur 3. Procesforløbet for en klimakredit.

Konklusion

Klimakreditter giver landmændene mulighed for at opnå en indtjening ved implementering af klimatiltag, så implementering af klimatiltag bliver økonomisk realiserbart. Men det udelukker samtidig muligheden for at indregne klimaeffekten i produkternes klimaaftryk.

Brugen af klimakreditter er generelt tilladt i opgørelser af produktaftryk, men skal rapporteres separat fra opgørelsen af udledninger af klimagasser inden for værdikæden. Både GHG-protokollen og EF-metoden er enige om, at klimakreditterne ikke bør allokere direkte til specifikke produkter, og at klimaeffekten skal rapporteres separat.

7.2 Certificeret soja og palmeolie

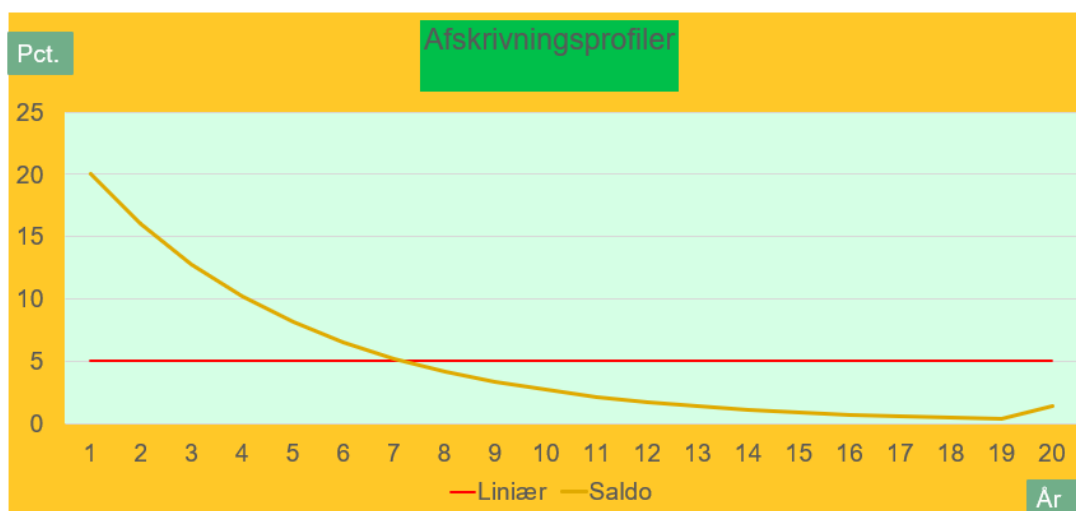
EU's sojapolitik er en del af den bredere EU-forordning mod global skovrydning og skovforringelse, kendt som EUDR (EU Deforestation-Free Regulation). Denne forordning har til formål at sikre, at specifikke råvarer, herunder soja, der importeres til eller handles inden for EU, ikke bidrager til skovrydning eller skovforringelse. Forordningen forventes at træde i kraft i 2026 og forpligter virksomheder til at sikre, at en række råvarer og produkter herunder soja, ikke har ledt til skovrydning og skovforringelse efter den 31. december 2020.

I Danmark er der indgået frivillige brancheaftaler mellem foderbranchen og de forskellige animalske sektorer. Her er bl.a. krav om ansvarlig soja med reference til FEFAC's Soy Sourcing Guideline (SSG), endvidere er der en bred anvendelse af palmeolie under RSPO-ordningen. Der er pt. 23 forskellige schemes, som er positivt benchmarket i forhold til SSG. Udover brancheaftalerne i foderbranchen har en række aktører i fødevarerbranchen valgt i tillæg hertil at anvende RSPO- samt RTRS-certifikater for at dække det samlede forbrug af soja og palmeprodukter i Danmark.

Når sojas klimaaftryk ikke belastes af CO₂ fra afskovning (dLUC), er klimaaftrykket ca. seks gange mindre. Pt. findes der ikke retningslinjer for, hvilke krav der skal være opfyldt, for at certificeret soja kan fritages helt eller delvist for dLUC, I henhold til PEF kan dLUC udelades af LCA-beregningen, når sojaprodukter kommer fra arealer, der har været afskovningsfri i 20 år. En regel, der i praksis betyder, at LUC først kan udelades i fra LCA i 2041.

Science Based Target anbefaler deres medlemmer at overholde deres guideline for Forest, Land and Agriculture (SBTI FLAG) model, der ligeledes stiller krav om at anvende certificeret soja.

Reduktion af emissioner fra skovrydning er en af de højeste prioriteter på tværs af FLAG-de karboniseringsveje. For at opnå en hurtigere udfasning af LUC-klimabidraget foreslår SBTi en anden afskrivningsmetode. Det kunne f.eks. være en saldometode i stedet for en lineær metode, som vist i Figur 4.



Figur 4. Afskrivningsprofiler for lineær- og saldoafskrivninger.

Kilde: Egne beregninger

I princippet burde saldoen for CO₂ fra afskovningsfri arealer opgøres én gang årligt. Datoen, for at arealerne kan indgå i puljen for afskovningsfri, er fastsat til den 31. december 2020. Dette medfører, at arealerne, der har været afskovningsfri mere end 20 år, i teorien burde øges med 5 % årligt. En lineær afskrivning af en fastlåst pulje giver dermed ikke mening. En saldoafskrivningsmetode vil være mere retvisende for arealernes udledning. Puljen, der ikke opfylder afskovningskravet, øger til gængæld deres udledning årligt, hvis der kommer nye arealer ind i puljen. Beslutningen om en fast dato for afskovningsfri arealer medfører, at arealer, som er afskovningsfri efter den 31. december 2020, aldrig kan komme med i puljen af afskovningsfrie arealer. Dermed er der ikke noget incitament til at stoppe afskovning, da det ikke vil medføre nogen statusændring, såfremt arealet er afskovet efter 31. december 2020. Hvis der ikke er nogen prisdifferentiering mellem soja fra afskovningsfrie arealer og arealer, der er afskovet, vil der heller ikke være noget incitament til at reducere afskovning.

Tilsvarende for soja er der lignende certificeringer af palmeolie (RSPO). For palmeolie er det dog i højere grad afbrænding af humus fra lavbundsjord, der bidrager til palmoliens høje GHG-aftryk. For palmeolie er opgaven at finde erstatninger som f.eks. solsikkeolie eller rapsolie, som ikke er belastet af LUC (Udesen og Erichsen, 2024).

8 KONKLUSIONER

Resultaterne i denne rapport giver et første estimat af effekterne af den potentielle implementering af den nyeste viden om lattergasemissioner fra landbrugsmarker og andre udvalgte foranstaltninger til at reducere afgrødernes globale opvarmningspotentiale (GWP).

Ved at anvende nye emissionsfaktorer for direkte lattergas, nitrifikationshæmmere, biokul og grønt kvælstof kan klimaaftrykket for afgrøder som byg, rug og hvede reduceres markant. Beregningerne er baseret på simple modeller og generiske aktivitetsdata, og resultaterne viser, at den samlede effekt af disse virkemidler kan føre til væsentlige reduktioner i CO₂e-udledninger pr. kg afgrøde. For eksempel kan klimaaftrykket for hvede reduceres fra 0,468 kg CO₂e/kg til 0,267 kg CO₂e/kg ved brug af alle virkemidler. Afgrødernes klimaeffekt er afgørende for foderblandingerens klimaeffekt der udgør den største andel af grises og fjerkræes klimagas udledninger. For malkekøernes vedkommende er reduktion af enterisk metan afgørende og derfor er tilsætningsstoffer til kørne foder som kan hæmme udviklingen af metan afgørende for mælkens klimaaftryk.

9 REFERENCER

- Arla Foods. (2024). *Arla vil købe RTRS-certifikater til at dække al soja i kvægfoder*. <https://www.arla.dk/om-arla/nyheder/2014/pressrelease/arla-vil-koebe-rtrs-certifikater-til-at-daekke-al-soja-i-kvaegfoder-963901/>
- Christensen, A.T. (2024). *Nitrifikationshæmmere*. Notat. https://projekt.seges.dk/-/media/segessinovation/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug-2024/108484/kb_24_108484_ap1_nitrifikationshaemmere_notat.ashx
- Hyltdgaard, B. (2024). *Biokul*. Notat. https://projekt.seges.dk/-/media/segessinovation/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug-2024/108484/kb_24_108484_ap1_biokul_notat.ashx
- Jensen, A. (2024). *Grøn gødning*. Notat. https://projekt.seges.dk/-/media/segessinovation/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug-2024/108484/kb_24_108484_ap1_groen_godning_notat.ashx
- Landbrugsstyrelsen. (2023). *Rapport over solgt gødning. Planperioden 2021/2022*. https://lbst.dk/Media/638526570401379537/Danamrks_salg_af_handelsgoedning_2021_2022.pdf
- Maresca, A. og Hyltdgaard, B. (2024). *Klimakreditter i landbruget*. Notat. https://projekt.seges.dk/-/media/segessinovation/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug-2024/108484/kb_24_108484_ap1_klimakreditter_i_landbruget_indregnet_klimaaftryk_paa_foder_notat.ashx
- Mogensen, L., Knudsen, M.T., Dorca-Preda, T., Nielsen, N.I., Kristensen, I.S og Kristensen, T. (2018). *Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg – metode og tabelværdier*. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Aarhus Universitet. Rapport 116. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport116.pdf>
- Nielsen, N.I. (2024). *Klimaaftryk på mælk*. Notat. https://projekt.seges.dk/-/media/segessinovation/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug-2024/108484/kb_24_108484_ap4_klimaaftryk_paa_maelk_notat.ashx

- Udesen, F. og Erichsen, C.S. (2024). *Certificeret soja og palmeolie*. Notat. https://projekt.seges.dk/-/media/segessinnovation/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug-2024/108484/kb_24_108484_ap1_certificeret_soja_og_palmeolie_notat.ashx
- Science Based Targets, Forest, Land and Agriculture (FLAG). <https://sciencebasedtargets.org/sectors/forest-land-and-agriculture>

SEGES Innovation P/S
Agro Food Park 15
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000
info@seges.dk
seges.dk

SEGES
INNOVATION