

Betydning af reduceret N-tilførsel til korn i Danmark for drivhusgasudledningen

John E Hermansen, Lisbeth Mogensen og Teodora Preda,

Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

Jannick Schmidt og Randi Dalgaard

2.-0 LCA Consultants

Indhold

1. Indledning	2
2. Materiale og metoder.....	2
2.1. Data grundlag vedrørende N-gødsning og udbytter	2
2.2. Beregning af drivhusgasudledning ved dansk produceret korn ved livscyklusvurdering.....	4
2.3. Beregning af drivhusgasudledning ved dansk kornproduktion efter national opgørelse	4
2.4. Beregning af drivhusgasudledning som følge af ændret arealanvendelse udenfor Danmark ved reduceret kornproduktion i Danmark.	5
3. Resultater.....	7
3.1 Udledning af drivhusgasser ved produktion af vinterhvede og vårbyg i Danmark ved reduceret N tilførsel (LCA)	7
3.2. Betydning af reduceret emissions-koefficient for lattergas	9
3.3. Udledning af drivhusgasser ved produktion af vinterhvede og vårbyg i Danmark ved reduceret N tilførsel efter nationale opgørelsesprincipper.....	9
3.4. Drivhusgasudledning udenfor Danmark ved en kompensatorisk produktion af foderenheder og protein.....	10
4. Konklusion	11
5. Appendiks	12
6. Litteraturliste	14

1. Indledning

Som et led i projektet 'optimering af klimaindsatsen i markbruget', der gennemføres ved SEGES, er det aftalt, at AGRO i samspil med LCA 2.0 undersøger betydningen af reduceret N tilførsel til korn for den opnåede klimaeffekt. Her tænkes både på drivhusgasudledningen pr kg korn produceret i Danmark gennem en livscyklusvurdering, og på de indirekte effekter af, at en nedgang i kornproduktionen både i mængde og proteinindhold skal erstattes af en tilsvarende korn- og proteinproduktion andre steder i verden, altså betydningen for den globale udledning af drivhusgas. For den danske kornproduktion - isoleret set - skelnes endvidere mellem effekter beregnet efter livscyklusvurdering metoden, hvor alle emissioner i kæden inklusion produktion af input medtages, og hvor der alene ses på de emissionerne, der finder sted i Danmark.

2. Materiale og metoder

2.1. Data grundlag vedrørende N-gødsning og udbytter

SEGES har i notat af september 2017 (SEGES, 2017) beskrevet betydningen af at reducere N tilførsel med 5,10 og 15 % i forhold til normtilførsel på vårbyg og vinterhvede fordelt på jordtyper for

- Tilførsel af N per ha
- Bortførsel af P og K per ha
- Udbytte per ha
- Proteinindhold i kornet
- N- udvaskningen per ha

Disse oplysninger danner grundlag for livscyklusvurderingen.

Tabel 2.1 viser et uddrag af disse forudsætninger.

Tabel 2.1 Udbytte i vårbyg og vinterhvede ved reduceret N tilførsel på forskellig jordtype

Jord typer	Vårbyg				Vinterhvede				Korn*			
	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
JB 1+ JB 3												
areal, 1000 ha	55	55	55	55	16,6	16,6	16,6	16,6	71,9	71,9	71,9	71,9
udbytte, kg per ha	4400	4310	4200	4100	4900	4800	4680	4530	4515	4423	4311	4199
udbytte, SFU per ha	4156	4071	3967	3872	5018	4916	4793	4639	4355	4266	4157	4049
udbytte, kg protein per ha	524	509	487	472	524	504	487	462	524	508	487	469
JB 2+ JB 4 (+ JB 10-12)												
areal, 1000 ha	190	190	190	190	172	172	172	172	362	362	362	362
udbytte, kg per ha	5100	5010	4900	4800	6300	6200	6070	5920	5670	5575	5456	5332
udbytte, SFU per ha	4817	4732	4628	4533	6452	6349	6216	6063	5594	5500	5382	5260
udbytte, kg protein per ha	607	591	568	552	674	651	631	604	639	620	5983	577
JB 1-4 vandet												
areal, 1000 ha	119	119	119	119	36	36	36	36	154	154	154	154
udbytte, kg per ha	5600	5510	5400	5300	6700	6600	6470	6230	5854	5762	5647	5515
udbytte, SFU per ha	5289	5204	5100	5006	6861	6759	6626	6380	5652	5563	5452	5323
udbytte, kg protein per ha	666	650	626	610	717	693	673	635	678	660	637	616
JB 5+ JB 6												
areal, 1000 ha	162	162	162	162	228	228	228	228	389	389	389	389
udbytte, kg per ha	6300	6210	6100	6000	8100	7980	7820	7640	7352	7245	7106	6959
udbytte, SFU per ha	5950	5865	5761	5667	8295	8172	8008	7824	7321	7214	7075	6928
udbytte, kg protein per ha	750	733	708	690	867	838	805	779	818	794	765	742
JB 7+ JB 8 (JB 7-9)												
areal, 1000 ha	52	52	52	52	66,7	66,7	66,7	66,7	119	119	119	119
udbytte, kg per ha	6700	6610	6500	6400	8600	8470	8300	8090	7768	7656	7512	7350
udbytte, SFU per ha	6328	6243	6139	6044	8807	8674	8500	8285	7722	7609	7466	7304
udbytte, kg protein per ha	797	773	7754	730	920	889	855	817	866	839	811	779
JB 11												
areal, 1000 ha	20	20	20	20	10	10	10	10	30	30	30	30
udbytte, kg per ha	5100	5010	4900	4800	6300	6200	6070	5920	5510	5416	5299	5182
udbytte, SFU per ha	4817	4732	4628	4533	6452	6349	6216	6063	5375	5284	5170	5055
udbytte, kg protein per ha	607	591	568	552	674	651	631	604	630	612	590	570
Total												
areal, 1000 ha	597	597	597	597	529	529	529	529	1126	1126	1126	1126
udbytte, 1000 t korn	3343	3289	3223	3164	3884	3824	3746	3653	7227	7113	6970	6817
udbytte, mill. SFU	3157	3106	3044	2988	3977	3916	3837	3741	7134	7023	6881	6729
udbytte, 1000 t protein	398	388	374	363	416	402	387	372	813	789	761	735

*Arealvægtet gennemsnit for vårbyg og vinterhvede

2.2. Beregning af drivhusgasudledning ved dansk produceret korn ved livscyklusvurdering

Ved livscyklusvurdering inkluderes den miljømæssige betydning af alle input faktorer (både deres fremstilling og anvendelse) i forhold til det punkt i kæden hvor evalueringen foretages. I denne opgørelse bregnes effekterne i forhold til det tidspunkt, hvor kornet forlader marken ved høst.

Ved beregning af udledning af drivhusgasser er der medtaget følgende forhold: emissioner ved produktion og transport af gødningsstofferne N, P og K samt kalk og pesticider, produktion af diesel og smøreolie, lattergas fra marken fra gødning og kalkning samt afgrøderester, samt indirekte lattergas-emissioner som følge af ammoniakfordampning og nitratudvaskning. De anvendte emissionskoefficienter fremgår af appendiks 6.1

Emissionskoefficienten for ammoniak er baseret på de nationale estimater (Mikkelsen et al., (2011), Gyldenkerne & Albrechtsen, (2008)), mens N- udvaskningen er estimeret ved NLES 4 modellen. Anvendelsen af N, P og K, pesticider, kalk samt elektricitet til vanding er som angivet i SEGES (2017). Det direkte dieselforbrug til markarbejde er baseret på antal og typer af markoperationer fra 'Budgetkalkulerne' for dyrkning af specifikke afgrøder (Anonym, 2011) og mængden af dieselforbrug til hver operation fra Dalgaard et al. (2002).

Afgrøderester ved kornproduktionen inkluderer mængden af overjordiske afgrøderester såvel som underjordiske afgrøderester beregnet efter parametrene fra modellen C-tool (Taghizadeh-Toosi et al., 2014). N-indholdet er antaget at være 0,75% i overjordiske og 1,58 % i underjordiske afgrøderester.

Udledningen af lattergas fra kornproduktionen er forbundet med en betydelig usikkerhed og det antages ofte, at emissionskoefficienten som angivet af IPCC ligger i den højere ende af hvad der er situationen under tempererede forhold. Derfor er beregningerne også foretaget med en reduceret (50%) emissionskoefficient.

Klimabidraget fra ændringer i jordpulje kulstof ved de forskellige produktioner af korn blev også inkluderet i beregningerne, men er vist særskilt, da det ikke altid er almindeligt at inkludere denne del. Betydningen af ændringen for drivhusgaseffekten blev beregnet efter Petersen et al. (2013), hvor det er vist at effekten andrager ca. 10 % af den mængde kulstof der årligt tilføres jorden i afgrøderester (beregnet som CO₂ ækvivalenter). Mængden af afgrøderester blev beregnet på samme måde som for beregning af lattergasemissionen (Taghizadeh-Toosi et al. 2014), men er skaleret til kulstofinputtet fra hvedeproduktion, som tidligere er vist svarende til den typiske tilførsel under danske forhold (Mogensen et al., 2014).

2.3. Beregning af drivhusgasudledning ved dansk kornproduktion efter national opgørelse

Ved beregning af udledningen af drivhusgasser efter de nationale opgørelsesprincipper er ekskludret emissioner knyttet til fremstilling og transport af gødningsstoffer (NPK), pesticider og diesel, da disse foregår udenfor Danmark. Endvidere blev mængden af afgrøderester beregnet efter IPCC metoden (modsat efter C-TOOL). IPCC beregner mængden af afgrøderester efter en ligning (Tabel 11.2; IPCC 2006) og antager et N indhold på 0,6 % for overjordiske afgrøderester og på 0,9

henholdsvis 1,4 % for underjordiske afgrøderester for vinterhvede og byg, respektive, hvilket er et lavere niveau end vi har brugt ved livscyklusvurderingen.

2.4. Beregning af drivhusgasudledning som følge af ændret arealanvendelse udenfor Danmark ved reduceret kornproduktion i Danmark.

En nedgang i produktionen af korn i Danmark vil medføre, at den manglende protein og energi til bl.a. foder bliver erstattet af afgrøder, som er dyrket i andre dele af verden. Disse afgrøders miljøpåvirkning skal også indregnes for at give et retvisende billede af konsekvenserne af ændret produktion i Danmark. Det antages således, at den globale efterspørgsel på foderafgrøder er uændret ved ændret produktion i Danmark. Den samlede miljøpåvirkning ved ændret produktion i Danmark kan således beregnes som summen af reducerede emissioner i Danmark (pga. reduceret gødning/produktion) og stigning i emissioner udenfor Danmark (pga. af øget dyrkning af afgrøder), hvor der regnes med, at den samlede fodermængde er konstant. Den øgede produktion udenfor Danmark er forbundet med et øget arealforbrug, som også er forbundet med emissioner. Denne mekanisme benævnes indirect land use changes (iLUC), og emissioner herfra er medregnet i beregningerne.

Foder udgøres af to hovedkomponenter: protein og energi, og der sørges i beregningerne for, at begge disse komponenter udgør en nul sum. Nærværende afsnit beskriver hvorledes de udenlandske påvirkede afgrøder er identificeret, samt hvorledes emissionerne er beregnet til en ændring i hhv. efterspørgsel på ren foderenergi (regnet som skandinaviske foderenheder, SFU) og ren protein (regnet som råprotein).

I beregningsmodellen følges princippet om, at der kan opstilles et særskilt marked hhv. protein og foderenergi. Da markederne skal repræsentere de faktiske konsekvenser ved at ændre på efterspørgslen på hhv. protein og energi, så skal de mest sandsynlige afgrøder/fodertyper, som vil respondere på en ændring i efterspørgsel, for hhv. protein og energi identificeres. Mixet af afgrøder/fodertyper, som vil respondere ved en ændring i efterspørgsel, kaldes hhv. de marginale protein- og energifodertyper. Hvert af de to markeder har input af de marginale fodertyper. Den marginale fodertype for foderenergi er korn, og den marginale fodertype for protein er sojaskrå (Schmidt 2015). Markederne for foderprotein- og energi er globale (Schmidt 2015).

Da proteinfodertyper også indeholder noget energi, vil markedet for ren protein have et biproduktoutput af energi. Dette linkes til markedet for foderenergi. Ligeledes har langt de fleste energifodertyper også et indhold af protein, og derfor har markedet for energi et biproduktoutput af protein, som linkes til markedet for protein. Ovenstående links skaber et loop situation, hvor efterspørgsel på protein fortrænger lidt energi, som fortrænger lidt protein, som igen fortrænger lidt energi etc. Beregningsmæssigt kan dette løses ved to ligninger med to ubekendte (Schmidt og Weidema 2008).

Afgrødetyperne og deres oprindelsesland for de marginale foderprotein- og energityper er identificeret ud fra produktionsdata fra FAOSTAT (2017). Ifølge FAOSTAT (2017) var de tre mest anvendte kraftfoderafgrøder på globalt plan i 2013 majs, hvede og byg. Alle tre bliver dyrket i mange

lande, og for at identificere de lande, som primært vil respondere på en øget efterspørgsel på verdensmarkedet, er produktionsøgningen for alle lande beregnet ved lineær regression i perioden 2012-2016. De marginale producenter/lande for hver afgrøde er identificeret ud fra, hvor meget de enkelte lande har øget produktionen 2012-2016. Dette er i overensstemmelse med den generelle fremgangsmåde til at identificere marginale leverandører i LCA (Weidema et al. 2009, Weidema 2003).

Da det er for omfattende at beregne miljøpåvirkning fra alle de kornafgrøder, som har produktionsfremgang, er det valgt kun at fokusere på de fire mest betydningsfulde, som tilsammen står for 52% af den årlige produktionsstigning i perioden 2012-2016. Som vist i tabel 2.2, er majs dyrket i USA den afgrøde, som har haft den største årlige produktionsstigning. Herefter følger russisk hvede, argentinsk majs og ukrainsk hvede. Den procentvise fordeling, som er præsenteret i kolonnen yderst til højre er anvendt til at beregne den gennemsnitlige marginale kornafgrøde. Omregningen fra korn til SFU er baseret på Møller et al. (2005). Ved brug af samme fremgangsprocedure er det beregnet, at sojabønner i USA og Brasilien er dem, som primært responderer på ændringer i efterspørgsel af protein på verdensmarkedet.

Tabel 2.2 Afgrøder og produktionslande som responderer på ændringer i efterspørgsel på foderenergi (kornafgrøder) og foderprotein (proteinafgrøder).

Afgrøde, land	Årlig produktionsstigning (2012-2016)		Procentvis fordeling
	Mængde	Enhed	
<u>Kornafgrøder</u>			
Majs, USA	23.206	Mio. SFU per år	60,7%
Hvede, Rusland	8.315	Mio. SFU per år	21,7%
Majs, Argentina	4.152	Mio. SFU per år	10,9%
Hvede, Ukraine	2.564	Mio. SFU per år	6,70%
<u>Protein afgrøder</u>			
Sojabønner, USA	8.440	Mio. tons per år	52,4%
Sojabønner, Brasilien	7.664	Mio. tons per år	47,6%

For hver af de seks afgrøder i tabel 2.2 er der udarbejdet livscyklusopgørelser, hvoraf der fremgår mængden af inputs (fx gødning, diesel, arealforbrug, vanding), outputs (høstudbytter) og emissioner (N_2O , CO_2 , NO_x , NH_3 , NO_3^-).

Tilførte gødningsmængder per hektar for hver afgrøde i landene nævnt i tabel 2.2 er beregnet ved en topdown tilgang, hvor det samlede gødningsforbrug i de relevante lande for 2014 (IFA 2017) er fordelt på landbrugsarealet. Fordelingen er afgrødespecifik, og er udført ved at anvende afgrødespecifikke arealer fra FAOSTAT (2017) fra de enkelte lande. For at tage højde for at nogle afgrøder har større gødningsbehov end andre, er der for hver af de relevante lande beregnet en afgrødespecifik fordelingsnøgle ved brug af data fra IFA (2002). Dieselforbruget er baseret på Cederberg et al. (2009) og vanding er fra ecoinvent Centre (2016). Høstudbytterne er fra 2016 og er

beregnet ved regression af udbyttedata fra FAOSTAT (2017) for 2012-2016. Emissioner er beregnet i henhold til IPCC (2006) tier 1, hvor der tages højde for afgrødespecifikke udbytter, gødningsinput og afgrøderester, hvorudfra der opstilles en detaljeret N-balance.

Produktion af sojaprotein (sojaskrå) i sojamøllen samproduceres med et biprodukt af sojaolie. Når der kommer mere sojaolie ud på verdensmarkedet, vil produktionen af den marginale olie, palmeolie, falde (Schmidt 2015). Herved påvirkes palmeoliesystemet også ved ændringer i efterspørgsel på protein, og indgår som et vigtigt element i beregningerne. Alle anvendte data for palmeolie er fra Schmidt (2015). Tilsvarende medfører en øget efterspørgsel af foderenergi øget produktion af protein, da korn også indeholder protein. Derfor er også korns livscyklus forbundet med produktionen af soja, og dermed palmeolie. Sammenhængende mellem livscykluser for protein, olie og energi er beskrevet detaljeret i Dalgaard et al. (2008) og Schmidt og Weidema (2008).

En ændring i efterspørgsel på foderprotein og –energi, betyder ændring i produktion af de marginale fodertyper og tilhørende afgrøder. Dette kræver en tilsvarende mængde øget landbrugsland. Ændringer i efterspørgslen på land kan imødekommes på to måder: 1) inddragelse af ikke-dyrket land (dette er primært afskovning i tropiske egne: Brasilien, Sydøst Asien og Afrika), og 2) intensivisering af allerede dyrket land (Schmidt et al. 2015). Disse effekter benævnes indirect land use changes (iLUC). iLUC er forbundet med drivhusgasemissioner. Når der afskoves arealer frigøres det kulstof, der tidligere var bundet i træerne og jorden, som CO₂. År der intensiveres er dette oftest forbundet med et øget input af gødning. Dette er forbundet med bl.a. N₂O emissioner. Emissioner forbundet med iLUC er beregnet i henhold til IPCC (2006) og den generelle modellering af iLUC følger metoden i Schmidt et al. (2015).

3. Resultater

3.1 Udledning af drivhusgasser ved produktion af vinterhvede og vårbyg i Danmark ved reduceret N tilførsel (LCA)

Tabel 3.1 viser den beregnede udledning af drivhusgasser ved produktion af vårbyg og vinterhvede i Danmark vægtet efter produktionen på forskellige jordtyper. Appendiks 6.3 viser beregningerne pr jordtype. Reduceret N tilførsel betyder en svagt faldende udledning af drivhusgasser per ha og per kg korn produceret. Samtidig er der en mindre kulstofindlejring i jorden med faldende N tilførsel hvilket delvis modvirker den førnævnte effekt, således at resultatet for det vægtede gennemsnit af vårbyg og vinterhvede er næsten ens per kg korn produceret, uafhængig af N tilførsel. Omvendt stiger arealforbruget per kg korn med faldende udbytter, naturligt nok.

Tabel 3.1. N-tilførsel, udbytte, drivhusgasudledning og arealforbrug ved dansk produktion af vårbyg og vinterhvede, per ha og per kg korn

Reduktion i N	Vårbyg				Vinterhvede				Korn ¹⁾			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
N tilførsel, kg N per ha	147	140	133	125	191	181	172	162	168	159	151	143
Udbytte, kg per ha	5599	5509	5399	5299	7348	7236	7088	6912	6420	6320	6192	6056
Udbytte, kg råprotein per ha	666	649	626	609	786	760	733	704	723	701	676	653
Drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2222	2156	2088	2021	2790	2704	2617	2525	2489	2413	2336	2258
Drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	402	397	393	387	385	379	374	370	394	388	384	379
<i>Emission ved ændret kulstof i jord,</i> Jordbidrag g CO ₂ ækv.. per kg ²⁾	81	86	91	97	-26	-23	-19	-13	31	35	40	45
I alt, g CO ₂ ækv.. per kg	483	483	484	484	359	356	355	357	425	423	424	424
Arealforbrug, m ² per kg	1,81	1,84	1,88	1,92	1,39	1,41	1,44	1,48	1,61	1,64	1,68	1,71

1) Arealvægtet gennemsnit af vårbyg og vinterhvede

2) Al halm antages nedmuldet

Den samlede effekt ved det aktuelle areal med vårbyg og vinterhvede fremgår af tabel 3.2 og i tabel 3.3 er vist det ændrede arealforbrug og proteinindhold per kg korn ved faldende N tilførsel, der er af betydning for at vurdere de globale effekter.

Tabel 3.2 Samlet dansk udbytte og udledning af drivhusgasser ved reduceret N- norm til vårbyg og vinterhvede

Reduktion i N	Vårbyg				Vinterhvede				Korn*			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Udbytte, 1000 t korn	3343	3289	3223	3164	3884	3824	3746	3653	7227	7113	6970	6817
Udbytte, 1000 t protein	398	388	374	363	416	402	387	372	813	789	761	735
Drivhusgasser, 1000 t CO ₂ ækv.	1327	1287	1247	1207	1475	1429	1383	1335	2802	2716	2630	2541
Bidrag fra ændret kulstof i jord, 1000 t CO ₂ ækv.	272	282	295	306	-102	-89	-71	-49	170	193	224	257
Drivhusgasser incl ændret kulstof i jord, 1000 t CO ₂ ækv..	1599	1569	1542	1513	1373	1341	1313	1286	2972	2909	2854	2798

Tabel 3.3 Ændret arealforbrug og proteinindhold pr kg produceret vårbyg og vinterhvede ved reduceret N tilførsel, per kg korn

Reduktion i N	Vårbyg				Vinterhvede				Korn*			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Arealforbrug, m ² per kg	0	0,03	0,07	0,11	0	0,02	0,05	0,09	0	0,03	0,07	0,10
Protein, g per kg	0	-1	-3	-4	0	-2	-4	-5	01	-1	-3	-4

3.2. Betydning af reduceret emissions-koefficient for lattergas

Tabel 3.4 viser udledningen af drivhusgasser ved en antaget reduceret emissions koefficient for lattergas. Der fås en markant lavere udledning af drivhusgasser ved den lavere emissions koefficient – af størrelsesorden 30 %, men det ændrer ikke forholdet ved normal og reduceret N-tilførsel i væsentlig omfang.

Tabel 3.4 Udledning af drivhusgasser for dansk produceret vårbyg eller vinterhvede ved anvendelse af IPCC's emissionskoefficient for N₂O eller 50% lavere emissionskoefficient

Reduktion i N tilførsel	IPCC N ₂ O koefficient		Lav N ₂ O koefficient	
	0 %	15 %	0 %	15 %
kg CO ₂ ækv. per ha	2489	2258	1760	1604
g CO ₂ ækv. per kg korn	394	379	279	270
1000 ton CO ₂ ækv. i alt hele arealet	2802	2541	1981	1806

3.3. Udledning af drivhusgasser ved produktion af vinterhvede og vårbyg i Danmark ved reduceret N tilførsel efter nationale opgørelsesprincipper

Tabel 3.5 viser udledningen af drivhusgasser ved dansk vårbyg og vinterhvedeproduktion, når der alene ses på udledningerne i Danmark. Her er ikke regnet med ændringer i jordpuljen, da det ikke indgår i den national opgørelse. Udledningen af drivhusgas pr kg korn er stort set ikke påvirket af gødningstilførslen. Det er samme billede der ses ved en livscyklusvurdering, hvor ændringer i jordpuljen medtages.

Tabel 3.5. Drivhusgasudledning ved dansk produktion af vårbyg og vinterhvede beregnet efter national opgørelse

Reduktion i N	Vårbyg				Vinterhvede				Korn*			
	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %	0 %	5 %	10 %	15 %
Drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	1364	1321	1277	1233	1650	1595	1537	147	1498	1450	1399	1348
Drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	247	243	240	236	227	223	219	216	238	234	230	227

*Arealvægtet gennemsnit af vårbyg og vinterhvede

3.4. Drivhusgasudledning udenfor Danmark ved en kompensatorisk produktion af foderenheder og protein.

Resultaterne for foderenergi og -protein er præsenteret i tabel 3.6. Som nævnt indeholder foderenheder protein og proteinfodermidler indeholder foderenheder. For at kunne vurdere effekterne hver for sig er beregnet nettoeffekten af henholdsvis efterspørgsels efter foderenheder og protein. Et øget forbrug af foderenergi øger udledninger af drivhusgasser, hvorimod et øget forbrug af foderprotein reducerer udledningen. Den negative udledning skyldes, at palmeolieproduktionen i Malaysia og Indonesien reduceres, da palmolie fortrænges af sojaolie.

Tabel 3.6 Resultater for drivhusgasudledning fra produktion af foderenergi og –protein uden for Danmark for henholdsvis energi (foderenheder) og protein.

Produkt	Drivhusgasudledning
Foderenergi	0,718 kg CO ₂ -ækvivalenter per SFU
Foderprotein	-1,967 kg CO ₂ -ækvivalenter per kg protein

I tabel 3.7 er vist de beregnede effekter for den samlede udledning af drivhusgasser ved dansk produktion af vårbyg og vinterhvede med og uden inklusion af de globale sideeffekter ved reduceret dansk produktion.

Tabel 3.7 Produktion af foderenheder og råprotein samt udledning af drivhusgasser ved den danske produktion af vårbyg og vinterhvede med og uden beregning af globale effekter af ændret produktion

Reduktion i N	0 %	5 %	10 %	15 %
Udbytte, 1000 foderenheder	7158	7045	6902	6751
Udbytte, 1000 t protein	813	789	761	735
Drivhusgasser incl ændret kulstof i jord, 1000 t CO ₂ ækv..	2972	2909	2854	2798
Indirekte globale effekter, 1000 t CO ₂ ækv	0	34	82	140
I alt, 1000 t CO ₂ ækv	2972	2943	2936	2938

Det fremgår af Tabel 3.7 at mens udledninger af drivhusgasser vurderet ved en livscyklusvurdering reduceres ved en reduktion den danske produktion som følge af reduceret N tilførsel, betyder den øgede efterspørgsel efter foder andre steder i verden at den samlede klimaeffekt er stort set uændret.

4. Konklusion

Reduceret N-tilførsel til vårbyg og vinterhvede betyder en svagt faldende udledning af drivhusgasser per ha og per kg korn produceret. Samtidig er der en mindre kulstofindlejring i jorden med faldende N-tilførsel, hvilket delvis modvirker den førnævnte effekt, således at resultatet for det vægtede gennemsnit af vårbyg og vinterhvede er at udledningen af drivhusgas per kg produceret korn er uændret ved reduceret N-tilførsel.

Der fås en markant lavere udledning af drivhusgasser pr kg korn, hvis emissionskoefficienten for lattergas halveres – af størrelsesorden 30 % - men det ændrer ikke forholdet mellem normal og reduceret N-tilførsel i væsentlig omfang.

Ses alene på udledninger i Danmark ved dansk vårbyg og vinterhvedeproduktion er udledningen af drivhusgas pr kg korn stort set ikke påvirket af ændring i gødningstilførslen. Her er ikke regnet med ændringer i jordpuljen, da det ikke indgår i den national opgørelse. Dvs. der fås samme billede, som der ses ved en livscyklusvurdering, hvor ændringer i jordpuljen medtages.

Ændret (her reduceret) produktion i Danmark vil under antagelse af samme efterspørgsel betyde øget produktion andre steder i verden. Typisk indeholder fodermidler både energi og protein. For at kunne vurdere effekterne hver for sig er nettoeffekten beregnet af henholdsvis efterspørgsel efter foderenheder (energi uden protein) og efter protein. Et øget forbrug af foderenergi øger udledninger af drivhusgasser, hvorimod et øget forbrug af foderprotein reducerer udledningen (

Udledninger af drivhusgasser, vurderet ved en livscyklusvurdering uden hensyn til de afledte globale effekter, reduceres ved en reduktion i den danske produktion som følge af reduceret N-tilførsel. Omvendt betyder den øgede efterspørgsel efter foder andre steder i verden, at den samlede klimaeffekt er stort set uændret.

5. Appendiks

Tabel A6.1 Assumptions regarding LCA modelling

I. Factors used for estimation of emissions related to crop production			
Emission source	Unit	Amount	Reference
Application of mineral fertiliser	kg N ₂ O per kg N	0,01	IPCC, 2006
Application of lime	kg CO ₂ per kg	0,44	IPCC, 2006
Crop residues	kg N ₂ O per kg N	0,01	IPCC, 2006
Indirect emission from ammonia	kg N ₂ O per kg N	0,01	IPCC, 2006
Indirect emission from leaching	kg N ₂ O per kg N	0,0075	IPCC, 2006
II. Quantification of environmental impact of inputs used in crop production			
Type of input	Unit	GWP, kg CO ₂ eq.	Reference
<i>Transport</i>			
ship, overseas transport	tkm	0,011	Agri-footprint, 2015
ship, inland transport	tkm	0,045	Agri-footprint, 2015
lorry, >20 t	tkm	0,1	Agri-footprint, 2015
lorry, 10-20 t	tkm	0,254	Agri-footprint, 2015
lorry, <10 t	tkm	0,37	Agri-footprint, 2015
train, Europe	tkm	0,052	Ecoinvent 3, 2013
train, rest of the world	tkm	0,047	Ecoinvent 3, 2013
<i>Fertilizer and other input</i>			
N fertiliser (CAN)	kg N	6,616	Agri-footprint, 2015
N fertiliser (AN) (Yara)	kg N	3,19	Elsgaard, 2015
P fertiliser (P2O5)	kg P	0,71	LowCVP, 2004
K fertiliser (K2O)	kg K	0,46	LowCVP, 2004
lime (CaCO ₃)	kg CaCO ₃	0,032	Agri-footprint 1
pesticides, unspecified	kg	5,37	Elsgaard, 2015
seed	kg	0,37825	Værdier for bygkerne
<i>Energy</i>			
diesel	l	3,36	Agri-footprint, 2015
oil	l	3,36	Agri-footprint, 2015
heat (oil or other not natural gas)	MJ	0,093	Ecoinvent, 2013
electricity DK	kWh	0,561	Ecoinvent, 2013
<i>Characterization factors</i>			
N ₂ O	kg	265	IPCC, 2013
CH ₄	kg	25,5	IPCC, 2013

Appendiks A6.2 Udledning af drivhusgasser fra dyrkning af korn

Jord typer	Vårbyg				Vinterbyg				Korn*			
	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
JB 1+ JB 3												
N tilførsel, kg N per ha	144	137	130	122	167	159	150	142	149	142	134	127
drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2158	2091	2026	1952	2455	2378	2295	2214	2226	2157	2088	2012
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	490	485	482	476	501	495	490	489	493	488	484	479
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	148	155	164	172	68	75	82	93	130	137	145	154
JB 2+ JB 4												
N tilførsel, kg N per ha	139	132	125	118	173	164	156	147	155	147	140	132
drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2152	2088	2024	1959	2604	2523	2447	2361	2367	2295	2225	2150
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	422	417	413	408	413	407	403	399	418	412	408	404
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	103	108	115	121	2	6	11	17	55	60	65	72
JB 1-4 irrigated												
N tilførsel, kg N per ha	162	154	146	138	194	184	175	165	169	161	152	144
drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2434	2360	2285	2213	2879	2787	2697	2596	2537	2458	2380	2302
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	435	428	423	418	430	422	417	417	433	427	422	417
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	77	82	87	92	-11	-8	-4	5	57	61	66	72
JB 5+ JB 6												
N tilførsel, kg N per ha	147	140	132	125	200	190	180	170	178	169	160	151
drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2184	2123	2054	1990	2893	2806	2712	2620	2598	2522	2439	2358
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	347	342	337	332	357	352	347	343	353	348	343	338
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	49	52	56	60	-49	-46	-42	-38	-8	-5	-2	3
JB 7+ JB 8												
N tilførsel, kg N per ha	153	144	137	129	213	202	192	181	187	177	168	158
drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2192	2117	2055	1984	2980	2885	2790	2688	2635	2549	2468	2380
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	327	320	316	310	347	341	336	332	338	332	327	323
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	35	38	41	45	-59	-57	-53	-49	-18	-15	-12	-8
JB 11												
N tilførsel, kg N per ha	139	132	125	118	173	164	156	147	151	143	136	128
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	430	424	420	415	419	412	408	404	426	420	416	411
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	103	108	115	121	2	6	11	17	69	73	79	85
Vægtet gennemsnit												
N tilførsel, kg N per ha	147	140	133	125	191	181	172	162	168	159	151	143
drivhusgasser, kg CO ₂ ækv. per ha	2222	2156	2088	2021	2790	2704	2617	2525	2489	2413	2336	2258
drivhusgasser, g CO ₂ ækv. per kg	402	397	393	387	385	379	374	370	394	388	384	379
C i jord, g CO ₂ eq. per kg	81	86	91	97	-26	-23	-19	-13	31	35	40	45
arealforbrug, m ² per kg	1,81	1,84	1,88	1,92	1,39	1,41	1,44	1,48	1,61	1,64	1,68	1,71

6. Litteraturliste

Anonym, 2011. Budgetkalkuler. Landbrugsinfo, SEGES. Online:

<https://www.landbrugsinfo.dk/oekonomi/budgetkalkuler/sider/startside.aspx>

Agri-footprint, 2015. Description of data. V1.0. on-line at:

<http://www.agri-footprint.com/assets/Agri-Footprint-Part2-Descriptionofdata-Version1.0.pdf>

Cederberg, C., Sonesson, U., Henriksson, M., Sund, V., Davis, J., (2009). Greenhouse Gas Emissions from Swedish Production of Meat, Milk and Eggs 1990 and 2005. ISBN 978-91-7290-284-8. SIK Report No 793.

Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue W (2008). LCA of soybean meal. International journal of LCA (13(3) 240-254.

Dalgaard, T., Dalgaard, R., Nielsen, A.H. 2002. Energiforbrug på økologiske og konventionelle landbrug. Grøn Viden. Markbrug nr. 260. Danmarks JordbrugsForskning. Online at: <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/djfpdf/gvm260.pdf>

Ecoinvent Centre, 2013. Ecoinvent database v 3. www.ecoinvent.ch

Ecoinvent Centre (2016), ecoinvent data v3.3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen

Elsgaard, L., 2015. *Greenhouse gas emissions from cultivation of winter wheat and winter rapeseed for biofuels.* Available at: http://pure.au.dk/portal/files/90330359/VE_report_revised_update_2015_revised_28_07_submitted.pdf

FAOSTAT (2017), FAOSTAT Agriculture Data, Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO).<http://faostat.fao.org/> (Accessed October 2017)

Gyldenkærne, S., Albrektsen, R., 2008. Revurdering af ammoniakemissionen 2003-2007. Baggrundsnotat til vandmiljøplan III. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Denmark.

IFA (2002). Fertilizer use by crop. Fifth edition. International Fertilizer Industry Association. International Fertilizer Development Center. International Potash Institute. Phosphate and Potash Institute. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Available online at: http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/ess_test_folder/Publications/Agrienvironmental/FU_BC5thEditioncomplete.pdf

- IFA (2017).** International Fertilizer Industry Association. <http://ifadata.fertilizer.org/ucSearch.aspx> (Accessed October 2017)
- IPCC. (2006).** *N2O Emissions From Managed Soils, and CO2 Emissions From Lime and Urea application. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.* Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf
- IPCC (2006).** 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K (eds). IGES, Japan. Available online at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> (Accessed December 2017)
- IPCC. 2013.** Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Wetlands. Available online at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/home/wetlands.html>
- LowCVP, 2004.** Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat. A Report by the LowCVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group. FWG-P-04-024.
- Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016.** *Vejledning om gødsknings- og harmoniregler -Planperioden 1. august 2016 til 31. juli 2017.* København.
- Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R. og Gyldenkærne, S., 2011.** Danish emission inventory for agriculture. Inventories 1985 - 2009. See <http://www.dmu.dk/Pub/FR810.pdf> . National Environmental Research Institute. 810: 1-140.
- Mogensen, L., Kristensen, T., Nguyen, T.L.T., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., 2014.** Method for calculating carbon footprint of cattle feeds – including contribution from soil carbon changes and use of cattle manure.
- Møller J, Thøgersen R, Hellehøj M, Weisberg M R, Søgaard K and Hvelplund T (2005),** Fodermiddeltabel 2005 – Sammensætning og foderværdi af fodermidler til kvæg. Rapport nr. 112 Dansk Kvæg. Danmark.
- Petersen, B.M., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., Halberg, N., 2013.** An approach to include soil carbon changes in the life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production.* 52, 217-224.
- Schmidt J (2017).** Life cycle assessment of palm oil at United Plantations Berhad 2017, results for 2004-2016. United Plantations Berhad, Teluk Intan, Malaysia. Available online at: www.LCA-net.com (Accessed December 2017)
- Schmidt J (2015).** Life cycle assessment of five vegetable oils. *Journal of cleaner production* 87, 130-138.

Schmidt J, Weidema B P, Brandão M (2015). A framework for modelling indirect land use changes in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 99:230-238.

Schmidt J, Weidema B P (2008). Shift in the marginal supply of vegetable oil. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13(3):235- 239

SEGES, 2017. Udlledning af klimagasser fra dyrkning af korn

Taghizadeh-Toosi, A., Christensen, B. T., Hutchings, N. J., Vejlin, J., Kätterer, T., Glendining, M. og Olesen, J. E., 2014. C-TOOL – A soil carbon model and its parameterisation. *Ecological modelling* 292: 11-25.

Weidema B (2003). Market Information in life cycle assessment, Environmental Project No. 863. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen

Weidema B P, Ekvall T, Heijungs R (2009). Guidelines for applications of deepened and broadened LCA. Deliverable D18 of work package 5 of the CALCAS project. Available online at: <https://lca-net.com/publications/show/guidelines-applications-deepened-broadened-lca/>