

Effekt af græs- og majsensilage andel på klimaaftryk fra mælkeproduktion

Rådgivningsnotat fra DCA – National Center for Fødevarer og Jordbrug

Af *D.N. Brask-Pedersen¹, M. Lamminen¹, L. Mogensen², A.L.F. Hellwing¹, M. Johansen¹, P. Lund¹, M. Larsen¹, M.R. Weisbjerg¹ og C.F. Børsting¹*

¹ *Institut for Husdyrvidenskab*

² *Institut for Agroøkologi*

Datablad

Titel:	Effekt af græs- og majsensilage andel på klimaaftryk fra mælkeproduktion
Forfatter(e):	Videnskabelig assistent Dorte Niss Brask-Pedersen ¹ , Post.doc Marjukka Lamminen ¹ , Lektor Lisbeth Mogensen ² , Akademisk medarbejder Anne-Louise Frydendahl Hellwing ¹ , Postdoc Marianne Johansen ¹ , Professor Peter Lund ¹ , Seniorforsker Mogens Larsen ¹ , Professor Martin Riis Weisbjerg ¹ og Seniorrådgiver Christian Friis Børsting ¹ , ¹ Institut for Husdyrvidenskab, ² Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
Fagfællebedømmelse:	Seniorforsker Troels Kristensen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Klaus Horsted, DCA Centerenheden, Aarhus Universitet
Rekvirent:	Fødevarestyrelsen
Dato for bestilling/levering:	10.02.2017 / 05.07.2021
Journalnummer:	2019-760-001131
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet under ID nr. 21-H3-04-01 "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2021-2024".
Kommentarer til besvarelse:	Notatet præsenterer resultater, som ved notatets udgivelse ikke har været i eksternt peer review eller er publiceret andre steder. Ved en evt. senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Citeres som:	Brask-Pedersen, D.N., Lamminen, M., Mogensen, L., Hellwing, A.L.F., Johansen, M., Lund, P., Larsen, M., Weisbjerg, M.R. og Børsting, C.F. 2021. Effekt af græs- og majsensilage andel på klimaaftryk fra mælkeproduktion. 17 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 05.07.2021.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Introduktion

Kvægproduktion er ledsaget af en udledning af drivhusgasser, primært lattergas fra dyrkning af foderafgrøder og metan fra foderets omsætning i vommen (Bellarby et al. 2013). Metanproduktionen i vommen hos kvæg er et naturligt biprodukt under den mikrobielle nedbrydningen af næringsstoffer i foderet, og der har gennem flere år været stort fokus på at finde løsninger, der kan reducere denne metanproduktion. Metanproduktionen pr. ko afhænger især af foderoptagelsen og produktionsniveauet, men varierer også alt efter fodersammensætning og -kvalitet, og mange forsøg har undersøgt mulighederne for at reducere metanproduktionen via ændringer i foderrationen (Beauchemin et al. 2008; Brask et al. 2013). Der er dog en risiko for at overse andre faktorer, hvis der alene fokuseres på metanproduktionen fra vommen, i bestræbelserne på at reducere udledningen af drivhusgasser fra mælkeproduktionen. F.eks. kan en given fodringsstrategi til reduktion af enterisk metan i vommen føre til en øget klimapåvirkning fra produktionen af foderet. Derfor bør hele produktkæden inddrages; fra dyrkning, høst og forarbejdning af foderet, og til omsætning i dyret og effekten på emissionen fra husdyrgødningen når den klimamæssige effekt af et givent fodringstiltag skal vurderes. Flere forsøg har vist, at foderrationer til malkekøer indeholdende en stor andel majsensilage sammenlignet med græsensilage kan være med til at reducere metanproduktionen hos køer (Brask et al. 2013, van Gastelen et al. 2015). Generelt giver dyrkningen af majsensilage en relativ lav udledning af drivhusgasser, også sammenlignet med dyrkningen af græsensilage, dog vil majsdyrkningen forårsage, at der frigives kulstof fra jordpuljen, mens der indlejres kulstof, når der dyrkes græsensilage (Mogensen et al., 2018).

Formålet med projektet var at undersøge effekten af fordelingen mellem kløvergræs- og majsensilage i foderrationen på metanproduktion hos køerne og efterfølgende estimere det forhold mellem kløvergræs- og majsensilage, som vil lede til det mindste klimaaftryk, når klimabidraget fra hele produktionskæden medtages.

Dette notat afgrænses til alene at se på klimaeffekter af ændret grovfoderforsyning hos malkekøer. Andre miljøeffekter f.eks. relateret til omsætning af kvælstof og fosfor, risiko for udvaskning og potentiel eutrofiering kunne være relevante at undersøge, men er ikke adresseret i dette notat jvf opgavebeskrivelsen.

Materiale og metode

Fire køer, som var vom- og tarmfistulerede, indgik i forsøget. Ved forsøgets start var køerne i gennemsnit 363±423 dage efter kælvning. De producerede 25,9±5,3 kg mælk/dag. Den ene ko var noget senere i laktationsperioden (997 dage) sammenlignet med de andre køer (gennemsnit 152 dage). Det blev vurderet, at koen kunne anvendes, da mælkeydelsen på denne ko var meget stabil forud for forsøget (18,4 kg/dag), og selvom ydelsen var lavere end hos de andre køer i forsøget (28,3 kg/dag). I løbet af forsøget faldt mælkeydelsen dog markant hos denne ene ko, dog uden at foderindtaget faldt tilsvarende. Derfor blev en femte ko taget med ind i forsøget i de sidste to perioder. Mælkeydelsen fra den lavtydende ko er udeladt i dataopgørelsen, da forskellen blev for stor i forhold til de andre køer. Dette betyder, at der er 14 observationer for mælkeparametrene i forsøget, mens der for de øvrige parametre er 18 observationer i alt.

Køerne blev fordelt og anvendt i et balanceret 4 × 4 romerkvadrat forsøg med 4 perioder á 21 dage. I forsøget var der 4 behandlinger, som varierede i forholdet mellem majsensilage og 1. slæt kløvergræsensilage (100:0, 67:33, 33:67, 0:100 på tørstofbasis). Derudover blev der tilsat hvede og rapsskrå, og andelen af disse varierede mellem de 4 rationer for delvis at udligne forskellen i råprotein-

og stivelsesindholdet mellem græs- og majsensilagen. Foderrationerne blev udfodret som TMR (total mixed rations), hvor der var en fast grovfoderandel på 70 % af tørstof.

Sammensætningen af de forskellige rationer er vist i tabel 1, mens næringsstofsammensætningen er vist i tabel 2. Køerne blev foderet efter ædelyst 2 gange dagligt. Køerne var opstaldet i bindestald, og malket 2 gange dagligt. Til bestemmelse af fordøjelighed af foderrationen blev køerne tildelt kromoxid og titandioxid som markør. De to markører blev tildelt direkte i vommen dagligt på dag 0-16 inden for hver periode. Prøver fra vommen, duodenum, ileum og fæces blev opsamlet på dag 12-16 i hver periode. Metan- og kuldioxidproduktion blev målt i respirationskamre på dag 16-21 for hver ko.

Klimaaftrykket fra dyrkning af de enkelte fodermidler blev beregnet ved brug af metoden beskrevet i Mogensen et al. (2014, 2018). Foderets klimaaftryk blev beregnet under antagelse af gennemsnitlige udbytter af majs, kløvergræs, hvede og rapsfrø i Danmark og gennemsnitlig input af kunstgødning (Mogensen et al., 2018). For kløvergræs- og majs til ensilage blev der endvidere lavet en følsomhedsberegning for hhv. forbedret og forringet effektivitet i marken, hvor markudbyttet blev antaget hhv. forøget eller formindsket med 20% uden at der blev ændret i andre faktorer, f.eks. input af gødning. I den anvendte metode er det valgt at holde klimabidrag fra anvendelse af husdyrgødning adskilt fra klimabidrag fra produktion af foder. Der er derfor i beregningerne antaget, at dyrkning af de enkelte fodermidler er baseret udelukkende på brug af husdyrgødning. Alle emissioner fra brug af husdyrgødning, der overstiger dem fra brug af samme mængde handelsgødningsækvivalenter medtages under selve kvægproduktionen. Kvægproduktionen godskrives samtidig, at den producerer plantetilgængeligt kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødningen (Mogensen et al., 2014, 2018).

Beregninger af det samlede klimaaftryk pr. ko for de fire fodringsstrategier var baseret på metoden beskrevet af Morgensen et al. (2015, 2016) og under følgende forudsætninger: Køerne er opstaldet i sengebåsestald med fastgulv (mest almindelig form for opstaldning i DK), og der blev antaget samme energiforbrug i stalden pr. ko pr. dag (Mogensen et al., 2015). Det daglige foderoptag og udskillelse af enterisk metan blev baseret på forsøgsresultaterne.

Klimabidrag fra ændringer i jordens kulstofpulje (Jordpulje C) som følge af foderdyrkning og anvendelse af husdyrgødning er beregnet baseret på metoden af Petersen et al. (2013). Klimabidrag fra ændring i arealanvendelsen og afskovning (Land Use Change = LUC) er medtaget med to forskellige metoder, der pt anvendes til at forsøge at medregne dette klimabidrag i landbrugsproduktionens samlede klimabidrag. Hhv. indirekte land use change (iLUC), hvor man antager, at al arealanvendelse medfører pres på arealet, og at alle dyrkede afgrøder er ansvarlig for, at der sker skovrydning et eller andet sted i verden. Klimabidraget fra iLUC er beregnet med metoden af Audsley et al. (2009). Direkte land use change (dLUC) indregnes kun for fodermidler, der dyrkes i lande, hvor der pt sker skovrydning f.eks. sojaskrå fra Brasilien og Argentina og palmeoile fra Malaysia og Indonesien. Klimabidraget fra dLUC er beregnet med metoden af PAS2050 (BSI, 2008) og Blonk (2013).

Der anvendes følgende funktionelle enheder, hvor klimabidraget fra foder udtrykkes dels pr. kg tørstof (TS) af de enkelte foderemner og dels pr. kg TS af de fire TMR rationer. Det samlede klimabidrag pr. forsøgsko udtrykkes dels pr. foderdag pr. lakterende ko i forsøget og dels pr. kg tørstofindtag pr. dag og pr. kg EKM produceret i forsøget.

Resultater

Foderrationernes sammensætning og næringsstofindhold er vist i tabel 1. Den kemiske sammensætning af de enkelte fodermidler er vist i tabel 2. Foderrationen med majsensilage som eneste grovfoderkilde (0:100) havde højest koncentration af organisk stof, NDF og stivelse, og lavest koncentrationen af råprotein. Tørstofindtag og indtag af næringsstoffer er vist i tabel 3. Foderoptagelsen var i gennemsnit $19,1 \pm 1,9$ kg TS pr. dag. Når kørerne fik tildelt rationen baseret på majsensilage (0:100) var TS indtaget signifikat højere sammenlignet med rationen baseret på græsensilage. Det samme gjorde sig gældende for indtaget af organisk stof, NDF og stivelse.

Tabel 1. Sammensætning og næringsstofindhold af TMR foderrationerne anvendt i forsøget (gennemsnit \pm standardafvigelse)

Fodermiddel (% af ts, medmindre andet er noteret)	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof			
	100:0	67:33	33:67	0:100
Sammensætning af TMR				
Kløvergræsensilage	70	46,7	23,3	0
Majsensilage	0	23,3	46,7	70
Valset hvede	18	12	6	0
Rapskage	4	10	16	22
Sojaskrå	5	5	5	5
Natriumbicarbonat	0,95	0,95	0,95	0,95
Mineraler	1,1	1,1	1,1	1,1
A, D, E vitaminer	0,2	0,2	0,2	0,2
Fedt supplement	0,75	0,75	0,75	0,75
<i>n</i> ¹	4	4	4	4
Kemisk sammensætning				
Org.stof	91,1 \pm 0,27	92,3 \pm 0,15	93,6 \pm 0,27	94,7 \pm 0,02
NDF	29,4 \pm 0,52	30,5 \pm 0,65	31,2 \pm 0,58	33,0 \pm 0,17
ADL	0,149 \pm 0,0069	0,160 \pm 0,0382	0,211 \pm 0,0079	0,251 \pm 0,0106
Råprotein	18,3 \pm 0,32	17,6 \pm 0,32	16,9 \pm 0,60	15,9 \pm 0,09
Stivelse	9,38 \pm 0,984	13,9 \pm 0,65	19,7 \pm 1,30	23,4 \pm 0,58
Sukker	3,74 \pm 0,816	3,02 \pm 0,452	2,82 \pm 0,446	2,35 \pm 0,109
Råfedt	3,75 \pm 0,474	3,73 \pm 0,156	3,73 \pm 0,235	3,60 \pm 0,150
FK org.stof ²	81,4 \pm 0,32	79,2 \pm 0,38	77,4 \pm 0,15	75,8 \pm 0,23
NE _L , MJ/kg ts ³	6,70	6,70	6,69	6,67
AAT, g/MJ af NE _L ⁴	14,3	15,1	15,8	16,4

¹Antal af prøver analyseret.

²*In vivo* org.stof fordøjelighed beregnet som $4,10 + 0,959 \times \textit{in vitro}$ org.stof fordøjelighed (%) for TMR (Møller et al., 1989).

³Planlagt NE_L, beregnet i NorFor ifølge metode af Volden (2011).

⁴Planlagt AAT, beregnet i NorFor ifølge metode af Volden (2011).

Tabel 2. Kemisk sammensætning af fodermidlerne anvendt i forsøget (gennemsnit ± standardafvigelse)

Fodermiddel (% af ts, medmindre andet er noteret)	Kløvergræs-ensilage ¹	Majs-ensilage ²	Valset hvede	Rapskage	Kraftfoder fullmix ³
<i>n</i> ⁴	2	2	1	1	1
Ts, %	32,3±1,82	32,6±0,40	94,9	96,3	97,1
Org.stof	90,9±0,62	97,4±0,08	98,5	92,7	79,1
Råprotein	19,1±2,63	7,68±0,287	11,0	37,7	34,9
NDF	37,4±1,95	35,0±3,64	10,7	28,5	11,8
ADL	1,40±0,236	1,46±0,222	0,965	8,15	2,74
Stivelse	ND	33,7±1,33	65,4	1,10	0,740
Råfedt	3,12±0,162	2,90±0,148	2,32	3,32	9,37
FK org.stof ⁵	78,7±1,84	75,7±0,14	96,7	84,1	92,6

¹ I tørstof: 10,4% af mælkesyre, 2,70% af eddikesyre, 0,002% af propionsyre, smørsyre ikke detekteret, 7,15% af N er NH₃-N, pH 3,99.

² I tørstof: 8,22% af mælkesyre, 1,79% af eddikesyre, 0,019% propionsyre, smørsyre ikke detekteret, 8,87% af N er NH₃-N, pH 3,68.

³ Indeholder rapskage (33,3% af ts), sojaskrå (41,7% af ts), mineraler (Vm 3 Grøn, Vilofoss, Fredericia, Danmark; 9,17% af ts), natriumbicarbonat (7,92% af ts), fedt supplement (Lipitec Bovi 85, Ringe, Danmark; 6,25% af ts), og A, D og E vitaminer premix (Suplex ADE/Selen Grøn, Vilofoss; 1,67% af ts).

⁴ Antal af prøver analyseret.⁵ *In vivo* org.stof fordøjelighed beregnet som $4,10 + 0,959 \times \text{in vitro org.stof fordøjelighed (\%)} \text{ for ensilager (Volden 2011)}$ og som $5,38 + 0,867 \times \text{enzymatisk fordøjelighed af org.stof (\%)} \text{ for kraftfoder (Weisbjerg and Hvelplund, 1993)}$.

Tabel 3. Effekten af forholdet mellem kløvergræsensilage og majsensilage på næringsstof- og energiindtag hos lakterende malkekøer⁵.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof				SEM ²	Signifikans ¹			
	100:0	67:33	33:67	0:100		Beh	Græs vs. Majs	Lin	Kva
<i>n</i> ³	5	5	4	4					
Indtag, kg/d									
TS	18,1	19,2	20,4	20,4	1,11	0,06	0,02	0,01	0,31
Org.stof	16,4	17,7	19,1	19,3	1,02	0,02	<0,01	<0,01	0,31
NDF	5,30	5,88	6,37	6,71	0,350	0,01	<0,01	<0,01	0,51
ADL	0,270	0,314	0,429	0,506	0,026	<0,01	<0,01	<0,01	0,31
Stivelse	1,70	2,68	3,95	4,69	0,169	<0,01	<0,01	<0,01	0,30
Sukker	0,678	0,580	0,578	0,483	0,042	0,01	<0,01	<0,01	0,96
Råprotein	3,32	3,37	3,47	3,28	0,200	0,55	0,75	0,94	0,22
Råfedt	0,659	0,717	0,741	0,717	0,048	0,54	0,34	0,31	0,33
AA indtag, g/d									
∑ Essentielle AA	970	1222	1265	1253	155	0,36	0,16	0,16	0,33
∑ Total AA ⁴	2690	2756	2838	2763	163	0,60	0,51	0,40	0,37

¹ P-værdi for effekt af behandling (Beh), fuldstændig substitution af kløvergræsensilage (100:0) med majsensilage (0:100) (Græs vs. Majs), og linear (Lin) og kvadratisk (Kva) respons på substitution af kløvergræsensilage med majsensilage.

² SEM (standard error of the mean)

³ Antal observationer anvendt i den statistiske analyse.

⁴ Summen af essentielle AA + summen af ikke-essentielle AA.

⁵ Data blev analyseret ved brug af Mixed-procedure SAS 9.4 version (Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA). Følgende model blev anvendt: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + D_k + E_{ijkl}$, hvor Y er den afhængige variabel, μ er gennemsnit, A er effekten af dyr (tilfældig effekt), P er effekten af periode (fixed effekt), D er effekten af foderration (fixed effekt), og E er den tilfældige residual.

Foderrationen havde kun lille effekt på den tilsyneladende vomfordøjelighed af de forskellige næringsstoffer (tabel 4). Når køerne blev fodret med rationen baseret på majsensilage (0:100) var der en højere vomfordøjelighed af stivelse sammenlignet med rationen baseret på græsensilage (100:0). Det er værd at bemærke, at der ikke blev fundet en effekt af foderration på NDF fordøjeligheden i vommen hos køerne. Der blev fundet en effekt af behandling på fordøjelighed af stivelse i vommen og i hele fordøjelsessystemet. Samtidig blev der fundet en effekt af behandling på fordøjeligheden af protein i tyndtarmen.

Table 4. Effekten af forholdet mellem kløvergræsensilage og majsensilage på tilsyneladende fordøjelighed af næringsstoffer ved duodenum, ileum og i fæces hos lakterende malkekøer⁷.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof				SEM ²	Signifikans ¹			
	100:0	67:33	33:67	0:100		Beh	Græs vs. Majs	Lin	Kva
<i>n</i> ³	5	5	4	4					
Tilsyneladende fordøjelighed i vommen									
Org.stof	0,365	0,369	0,408	0,417	0,0572	0,85	0,50	0,43	0,98
NDF ⁴	0,577	0,624	0,605	0,655	0,0741	0,89	0,46	0,52	0,98
NDF ⁵	0,565	0,670	0,593	0,693	0,0778	0,59	0,26	0,38	0,98
Råprotein	-0,123	-0,213	-0,161	-0,288	0,0984	0,59	0,22	0,29	0,83
Stivelse	0,760	0,840	0,897	0,913	0,0386	0,04	0,01	0,01	0,33
Tilsyneladende fordøjelighed i tyndtarm									
Org.stof	0,517	0,594	0,535	0,586	0,0340	0,18	0,12	0,26	0,64
Råprotein	0,687	0,731	0,715	0,724	0,0121	0,04	0,03	0,06	0,10
Stivelse	0,949	0,972	0,954	0,984	0,0194	0,20	0,07	0,14	0,78
Tilsyneladende fordøjelighed i tyktarm									
Org.stof	0,069	-0,019	0,038	0,058	0,0334	0,26	0,82	0,86	0,13
NDF	0,047	-0,023	0,044	0,029	0,0502	0,70	0,81	0,84	0,59
Råprotein	0,093	-0,042	0,039	0,071	0,0268	0,01	0,47	0,89	<0,01
Stivelse	-0,368	-2,631	-0,252	0,944	1,7115	0,49	0,58	0,42	0,35
Tilsyneladende fordøjelighed i hele fordøjelsessystemet									
Org.stof	0,718	0,738	0,734	0,768	0,0354	0,75	0,31	0,35	0,83
NDF	0,582	0,664	0,608	0,711	0,0822	0,68	0,29	0,38	0,90
Råprotein	0,685	0,662	0,681	0,661	0,0317	0,82	0,50	0,64	0,96
Stivelse	0,987	0,992	0,996	0,997	0,0018	0,01	<0,01	<0,01	0,32
Mikrobiel syntese i vommen, kg/d									
Tørstof	2,81	3,32	3,37	3,87	0,267	0,06	0,01	0,01	0,97
Råprotein	1,58	1,84	1,80	1,95	0,158	0,24	0,07	0,09	0,65
Mikrobiel syntese effektivitet ⁶									
	0,153	0,166	0,162	0,176	0,0119	0,32	0,09	0,13	0,92

¹ P-værdi for effekt af behandling (Beh), fuldstændig substitution af kløvergræsensilage (100:0) med majsensilage (0:100) (Græs vs. Majs), og lineær (Lin) og kvadratisk (Kva) respons på substitution af kløvergræsensilage med majsensilage.

² SEM (standard error of the mean)

³ Antal observationer anvendt i den statistiske analyse.

⁴ Beregnet ud fra NDF flow ved duodenum.

⁵ Beregnet ud fra NDF flow ved ileum.

⁶ g protein pr. kg sandefordøjet org.stof i vommen.

⁷ Data blev analyseret ved brug af Mixed-procedure SAS 9.4 version (Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA). Følgende model blev anvendt: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + D_k + E_{ijkl}$, hvor Y er den afhængige variabel, μ er gennemsnit, A er effekten af dyr (tilfældig effekt), P er effekten af periode (fixed effekt), D er effekten af foderration (fixed effekt), og E er den tilfældige residual.

Mælkeydelse og mælkesammensætningen er vist i tabel 5. Data fra den meget lavt ydende ko er ikke medtaget i mælkeedataene. Foderrationerne havde en tendens til at påvirke mælke-, protein og laktoseydelse hos køerne, men der blev ikke fundet nogen signifikant forskel på foderrationerne 100:0 og 0:100. Det anvendte forsøgsdesign er ikke egnet til vurdering af behandlingsmæssige effekter på mælkeproduktionen qua det lave antal dyr i forsøget.

Tabel 5. Effekten af forholdet mellem kløvergræsensilage og majsensilage på mælkeproduktion, sammensætning af mælk og fodereffektivitet til mælkeproduktion hos lakterende malkekøer.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof				SEM ²	Signifikans ¹			
	100:0	67:33	33:67	0:100		Beh	Græs vs. Majs	Lin	Kva
<i>n</i> ³	4	4	3	3					
Mælkeydelse									
Mælk, kg/d	32,6	32,8	35,3	32,6	5,24	0,08	0,97	0,41	0,05
EKM, kg/d	30,3	30,9	33,8	30,3	4,63	0,12	0,99	0,50	0,06
Fedt, g/d	1,163	1,194	1,318	1,160	193,7	0,22	0,96	0,63	0,11
Protein, g/d	1,006	1,022	1,116	1,004	126,2	0,08	0,94	0,46	0,04
Laktose, g/d	1,551	1,567	1,676	1,556	248,7	0,09	0,90	0,37	0,06
Mælkesammen-sætning									
Fedt, %	3,57	3,62	3,76	3,55	0,139	0,58	0,86	0,91	0,28
Protein, %	3,14	3,16	3,20	3,13	0,154	0,38	0,82	0,93	0,14
Laktose, %	4,76	4,77	4,75	4,78	0,032	0,74	0,59	0,79	0,55
EKM/ts indtag	1,63	1,54	1,60	1,48	0,139	0,24	0,09	0,15	0,77

¹ P-værdi for effekt af behandling (Beh), fuldstændig substitution af kløvergræsensilage (100:0) med majsensilage (0:100) (Græs vs. Majs), og lineær (Lin) og kvadratisk (Kva) respons på substitution af kløvergræsensilage med majsensilage.

² SEM (standard error of the mean).

³ Antal observationer anvendt i den statistiske analyse

⁴ Data blev analyseret ved brug af Mixed-procedure SAS 9.4 version (Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA). Følgende model blev anvendt: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + D_k + E_{ijkl}$, hvor Y er den afhængige variabel, μ er gennemsnit, A er effekten af dyr (tilfældig effekt), P er effekten af periode (fixed effekt), D er effekten af foderration (fixed effekt), og E er den tilfældige residual.

Den totale koncentration af flygtige fedtsyre (VFA) i vommen var højest ved foderrationen baseret på græsensilage (100:0) (tabel 6), og denne koncentration faldt lineært, når andelen af majsensilage blev øget i foderrationen. Der blev fundet effekt af foderration på enkelte af de individuelle VFA'er, men det er værd at bemærke, at der ikke var effekt på den molære andel af propionsyre på trods af den højere vomfordøjelighed af stivelse når indholdet af majsensilage blev øget. Metanproduktionen var i gennemsnit på 560 ± 58 L/dag. Der blev fundet en tendens til en kvadratisk effekt, hvor metanproduktionen pr. dag var højest ved foderrationerne 67:33 og 33:67 (tabel 6). For metanproduktionen pr. kg TS indtag var der et lineært fald, når majsandelen blev øget i rationerne. Metanproduktionen (L/kg TS) varierede fra 30,7 L/kg TS på rationen baseret alene på kløvergræsensilage som grovfoder til 26,2 L/kg TS for rationen baseret alene på majsensilage som grovfoder.

Tabel 7 viser input og output for de enkelte fodermidler og klimaaftryk for fodermidlerne når de er klar til udfodring. Klimaaftrykket for de 4 foderrationer anvendt i forsøget er vist i tabel 8. Klimaaftrykket er numerisk højere i rationen baseret på majsensilage (0:100), når kulstofpuljen i jorden tages med i beregningerne, mens klimaaftrykket er lavest i rationen baseret på majsensilage, når kulstofpuljen i jorden ikke er inddraget.

1

Tabel 6. Effekten af forholdet mellem kløvergræsensilage og majsensilage på forgæringen i vommen og metanproduktionen hos lakterende malkekøer¹⁰.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof				SEM ²	Signifikans ¹				
	100:0	67:33	33:67	0:100		Beh	Beh×Tid	Græs vs. Majs	Lin	Kva
<i>n</i> ³	5	5	4	4						
pH	6,46	6,48	6,47	6,42	0,043	0,72	0,55	0,48	0,46	0,37
NH ₃ -N, mmol/L	8,46	7,72	7,71	7,44	0,551	0,55	0,59	0,18	0,20	0,66
Glukose, mmol/L	0,430	0,484	0,756	1,19	0,0444	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
L-Mælkesyre, mmol/L	0,406	0,718	1,12	0,558	0,3268	0,44	0,31	0,73	0,54	0,17
VFA total, mmol/L	123	117	115	113	2,2	0,01	0,60	<0,01	<0,01	0,38
Molære proportion, mmol/mol										
Eddikesyre	593	607	613	600	4,27	0,01	0,97	0,22	0,14	0,003
Propionsyre	218	216	217	226	4,7	0,43	0,75	0,26	0,25	0,22
Smørsyre	136	126	120	126	2,30	<0,01	0,99	<0,01	<0,01	<0,01
Isobutansyre ⁴	0,982(9,76)	0,974(9,49)	0,945(8,91)	0,943(8,85)	0,0107	0,01	0,02	0,01	0,002	0,73
Valerinsyre	20,0	18,1	17,1	15,8	0,37	<0,01	0,74	<0,01	<0,01	0,39
Isovalerinsyre	16,8	18,2	17,9	17,6	1,48	0,91	0,01	0,73	0,77	0,56
Caproate ⁵	33,8 (5,62)	35,9 (5,75)	40,3 (6,19)	39,9 (6,04)	0,525	0,83	0,70	0,48	0,40	0,84
Molære forhold										
Eddikesyre/propionsyre	2,75	2,85	2,84	2,69	0,073	0,35	0,91	0,57	0,56	0,09
(Eddikesyre+Smørsyre)/propionsyre	3,38	3,44	3,39	3,25	0,090	0,51	0,88	0,33	0,30	0,27
CH ₄										
L/d	555	581	596	544	30,9	0,22		0,67	0,84	0,05
L/kg TSindtag ⁶	30,7	29,4	28,4	26,2	1,63	0,09		0,02	0,02	0,67
L/kg EKM ^{6,7}	19,4	21,4	19,7	18,5	1,66	0,35		0,56	0,40	0,20
% of GE indtag	6,73	6,36	6,04	5,51	0,362	0,04		0,01	0,01	0,77
L/kg total fordøjet org.stof ⁴	1,67(47,9)	1,63(43,4)	1,62(41,5)	1,55(36,3)	0,038	0,18		0,04	0,04	0,70
L/kg total fordøjet NDF ⁴	2,27(211)	2,17(151)	2,19(160)	2,06(116)	0,084	0,38		0,10	0,13	0,86
L/kg vom fordøjet org.stof	127	89,7	75,4	68,9	37,75	0,65		0,28	0,27	0,66
L/kg vom fordøjet NDF ^{4,8}	2,27(205)	2,19(159)	2,19(157)	2,09(128)	0,078	0,46		0,13	0,15	0,91
L/kg vom fordøjet NDF ^{4,9}	2,29(208)	2,18(153)	2,21(165)	2,07(121)	0,071	0,25		0,06	0,08	0,86
CO ₂ , L/d	6,580	6,907	6,984	6,862	399,8	0,37		0,27	0,26	0,21
CH ₄ /CO ₂	0,085	0,084	0,086	0,080	0,0023	0,04		0,02	0,05	0,04

¹ P-værdi for effekt af behandling (Beh), interaktionen mellem prøveudtagningstid på døgnnet og behandling (Beh × Tid), fuldstændig substitution af kløvergræsensilage (100:0) med majsensilage (0:100) (Græs vs. Majs), og lineær (Lin) og kvadratisk (Kva) respons på substitution af kløvergræsensilage med majsensilage.

² SEM (standard error of the mean).

³ Antal observationer anvendt i den statistiske analyse.

⁴ Logaritme transformation for parametrene isobutansyre, CH₄/total fordøjet org.stof, CH₄/total fordøjet NDF og CH₄/vom fordøjet NDF, de ikke transformerede værdier er vist i parentes under de transformerede værdier.

⁵ Squared transformation of caproate, de ikke transformerede værdier er vist i parentes under de transformerede værdier.

⁶ Mælkeydelse og tørstofindtag fra perioden i kammer er anvendt.

⁷ Data fra den lavt ydende ko er ikke anvendt, dermed bliver der *n*=4 for behandlingerne 100:0 og 67:33, mens *n*=3 for behandlingerne 33:67 og 0:100.

⁸ Beregnet ud fra flow af NDF ved duodenum.

⁹ Beregnet ud fra flow af NDF ved ileum.

¹⁰ Data blev analyseret ved brug af Mixed-procedure SAS 9.4 version (Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA). Følgende model blev anvendt: $Y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + D_k + E_{ijkl}$, hvor *Y* er den afhængige variabel, μ er gennemsnit, *A* er effekten af dyr (tilfældig effekt), *P* er effekten af periode (fixed effekt), *D* er effekten af foderration (fixed effekt), og *E* er den tilfældige residual

14 **Tabel 7.** Input og output pr. produceret type af fodermiddel og klimaaftryk pr. kg tørstof fodermiddel klar til opfodring.

Fodermiddel	Kløvergræsensilage ^{1,2}			Majsensilage ^{1,2}			Valset hvede ²	Rapsfrø ²	Rapskage ²	Soja ⁶	Sojaskrå ⁶
	Udbytter	Lav	Gns.	Høj	Lav	Gns.					
Input											
Kg N		192			143		149		166		0
Kg P/ha		32			9		10		26		22
Kg K/ha		172			137		8		82		0
Output											
Kg ts/ha	6479	8099	9718	7927	9909	11891	6190	3360		2219	
Halm, kg ts/ha		-			-		3405	3024		3715	
Halm høstet% ^{1,3}		-			-		58	21		0	
Klimaaftryk (CF), g CO₂-eq./kg TS											
Vækst	519	411	340	344	271	223	459	855	422	279	214
Forarbejdning	0	0	0	0	0	0	8	0	17	0	69
Transport	0	0	0	0	0	0	13	64	71	371	348
Total CF	519	411	340	344	271	223	480	920	510	650	632
Jordpulje af C	-37	-82	-112	134	98	73	-1	112	44	168	129
iLUC ⁴	221	177	147	180	144	120	224	421	209	564	432
dLUC ⁵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5272	4085
CF inkl. jord C	482	329	228	478	369	296	479	1031	554	818	760
CF inkl. jord C og iLUC	703	506	375	658	513	416	703	1453	763	1382	1193
CF inkl. jord C og dLUC	482	329	228	478	369	296	479	1031	554	6090	4845
Arealanvendelse, m ² /kg TS	1,54	1,23	1,03	1,26	1,01	0,84	1,57	2,94	1,46	3,94	3,02

¹Gennemsnitlig (Gns.) markudbytter fra Mogensen et al. (2018). Der er anvendt sensitivitet effect på 20% lavere udbytter (Lav) og 20 % højere udbytter (Høj) – forudsat at input var samme som ved gennemsnitligt udbytte.

²Input output data baseret på Mogensen et al. (2018)

³Pr. afgrøde – Gennemsnitlig mængde halm høstet i Danmark

⁴Indirect land use change

⁵Direct land use change

⁶Data er hovedsageligt baseret på Agri-footprint (Zeist et al., 2012).

23 **Tabel 8.** Foderrationernes klimaaftryk (CF), g CO₂-eq./kg TS udfodret af de fire TMR rationer (sammensætning af TMR
24 rationerne er vist i tabel 1). Gennemsnitlig udbytte er anvendt for både kløvergræs- og majsensilage (Relative til TMR 100:0).

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof							
	100:0		67:33		33:67		0:100	
	Relativ	Relativ til 100:0	Relativ	Relativ til 100:0	Relativ	Relativ til 100:0	Relativ	Relativ til 100:0
CF	448	(100)	418	(93)	387	(86)	356	(79)
Jordpulje C	-35	100	9	-26	54	-154	99	-283
iLUC ¹	196	100	187	95	178	91	170	87
dLUC ²	214	100	214	100	214	100	214	100
CF inkl., jord C	413	100	427	103	441	107	454	110
CF inkl. jord C og iLUC	609	100	614	101	619	102	624	102
CF inkl. jord C og dLUC	627	100	641	102	655	104	669	107
Arealanvendelse, m ² /kg TS	1,36	100	1,31	96	1,25	92	1,19	88

¹Indirect land use change

²Direct land use change

28
29 Når afgrødernes udbytter tages i betragtning, og der regnes på situationer, hvor udbyttet er højt
30 i græs (+20% i forhold til gennemsnitligt udbytte i DK) og lavt i majsensilage (-20% i forhold
31 til gennemsnitligt udbytte i DK), så vil klimaaftrykket blive 55% højere i rationer, hvor
32 majsensilage er eneste grovfoderkilde (0:100) sammenlignet med rationer, hvor græsensilage
33 er eneste grovfoderkilde (100:0) (tabel 9). Modsatte situation er gældende, når majsudbyttet er
34 højt (+20 % i forhold til gennemsnitligt udbytte i DK) og græsudbyttet er lavt (-20 % i forhold
35 til gennemsnitligt udbytte i DK) her bliver klimaaftrykket 29% højere i rationer hvor

36 græsensilage er eneste grovfoderkilde (100:0) sammenlignet med rationer, hvor majsensilage
 37 er eneste grovfoderkilde (0:100) (tabel 10).

38

39 **Tabel 9.** Foderrationernes klimaaftryk (CF), g CO₂-eq./kg TS udfodret af de fire TMR rationer (sammensætning af TMR
 40 rationerne er vist i tabel 1). Højt udbytte er anvendt for kløvergræsensilage og lavt udbytte er anvendt for majsensilage.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof			
	100:0	67:33	33:67	0:100
CF	399	401	404	407
Jordpulje C	-56	4	64	124
iLUC ¹	175	181	188	195
dLUC ²	214	214	214	214
CF inkl., jord C	342	405	468	531
CF inkl. jord C og iLUC	517	586	656	726
CF inkl. jord C og dLUC	557	619	682	745
Arealanvendelse, m ² /kg TS	1,22	1,27	1,32	1,36

41 ¹Indirect land use change

42 ²Direct land use change

43

44 **Tabel 10.** Foderrationernes klimaaftryk (CF), g CO₂-eq./kg TS udfodret af de fire TMR rationer (sammensætning af TMR
 45 rationerne er vist i tabel 1). Lavt udbytte er anvendt for kløvergræsensilage og højt udbytte er anvendt for majsensilage.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof			
	100:0	67:33	33:67	0:100
CF	524	457	389	322
Jordpulje C	-4	24	53	81
iLUC ¹	227	202	178	153
dLUC ²	214	214	214	214
CF inkl., jord C	520	481	442	403
CF inkl. jord C og iLUC	746	683	620	556
CF inkl. jord C og dLUC	734	696	656	618
Arealanvendelse, m ² /kg TS	1,58	1,41	1,24	1,07

47 ¹Indirect land use change

48 ²Direct land use change

49

50 Det samlede klimaaftryk (fra foderproduktionen, enterisk metan fra køerne og
 51 klimagasudledning fra gødningsproduktionen) blev beregnet pr. ko pr. dag og udtrykt pr. kg
 52 tørstofoptag. Disse beregninger inddrager resultaterne fra forsøget med køerne, herunder
 53 metanproduktionen fra forsøget omregnet til CO₂-ækv. Der anvendes foderoptagelse og
 54 mælke-data fra dag 16-21 (kammerperioden). Det ses, at det totale klimaaftryk (når bidrag fra
 55 kulstofpuljen i jorden ikke inddrages) er lavest, når køerne fodres med rationen baseret på
 56 majsensilage (tabel 11 og 12). Dette udjævnes dog delvist, når ændringer i kulstofpuljen i
 57 jorden tages med i beregningerne. Dog er der stadig det laveste klimaaftryk pr. kg tørstofindtag
 58 ved foderrationen baseret på majsensilage (0:100). Ovenstående beregninger er lavet med
 59 gennemsnitlige danske udbytter i græs og majs (Mogensen et al., 2018). Så snart udbytterne i
 60 enten majs eller græs varieres ændres resultaterne. Når græsudbyttet er højt og majsudbyttet er
 61 lavt bliver klimaaftrykket (når kulstofpuljen i jorden medregnes) 9% højere, når køerne fodres
 62 med rationen baseret på majs (0:100) sammenlignet med rationen baseret på græs (100:0) (figur
 63 1). Det modstatter billede ses, når græsudbyttet er lavt og majsudbyttet er højt, her bliver
 64 klimaaftrykket 17 % højere, når køerne fodret med rationen baseret på græs (100:0)
 65 sammenlignet med rationen baseret på majs (0:100) (figur 1). Dette tyder på, at afgrøde
 66 udbytte-relationen på en given kvægbedrifter er en meget vigtig faktor for det samlede
 67 klimaaftryk fra en kvægproduktion og en meget vigtig faktor mht. det optimale forhold mellem
 68 græsensilage og majsensilage i en foderration til malkekøer.

69 Tabel 13 viser klimaaftrykket pr. kg EKM produceret i forsøget. Det totale klimaaftryk uden
 70 hensyntagen til kulstofpuljen i jorden er lavest når kørerne fodres med rationen baseret på
 71 majsensilage (0:100). Hvis jordstofpuljen af kul medregnes bliver klimaaftrykket pr. kg EKM
 72 produceret lavest ved fodring med rationen baseret på kløvergræsensilage (100:0). Mælke
 73 data skal dog anvendes med forsigtighed, da der typisk er stor variation mellem dyrene og da
 74 antallet af dyr er lille (5 stk.), vil dette have indflydelse på resultaterne.

75 **Table 11**, Input-output pr. foderdag pr. lakterende malkeko fra forsøget, og det resulterende klimaaftryk pr. ko pr. dag, kg
 76 CO₂-eq.

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof			
	100:0	67:33	33:67	0:100
Input and output				
Kg TS indtag pr. dag	18,3	19,9	20,9	20,6
Mælk, kg EKM pr. dag	31,6	30,9	32,1	30,4
N i gødning ekskl. dyr, kg	0,337	0,364	0,361	0,332
CH ₄ , kg	0,402	0,419	0,425	0,386
Klimaaftryk, kg CO ₂ eq/ko/dag				
Foder	8,20	8,31	8,08	7,33
Enterisk CH ₄ ¹	10,06	10,47	10,62	9,66
Gødningsmanagement	1,45	1,59	1,62	1,62
Energi	1,38	1,38	1,38	1,38
Total CF	21,09	21,75	21,70	19,99
Jordpulje C	-0,65	0,1	1,13	2,03
iLUC ²	3,58	3,69	3,73	3,50
dLUC ³	3,92	4,22	4,48	4,42
CF inkl. jord C	20,4	21,9	22,8	22,0
CF inkl. jord C og iLUC	24,0	25,5	26,6	25,5
CF inkl. jord C og dLUC	24,4	26,1	27,3	26,4
Arealanvendelse, m ² /kg TS	25,0	26,0	26,1	24,5

77 ¹1 kg CH₄ = 25 CO₂-eq

78 ²Indirect land use change.

79 ³Direct land use change.

80
81
82 **Table 12**. Det samlede klimaaftryk pr. ko, udtrykt pr. kg tørstofindtag pr. dag, g CO₂-eq. (Relativ i forhold til TMR 100:0,
83 som sættes til 100%)

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof							
	100:0		67:33		33:67		0:100	
	Relativ		Relativ til		Relativ til		Relativ til	
		100:0		100:0		100:0		100:0
Foder	448	100	418	93	387	86	356	79
Enterisk CH ₄ ¹	550	100	526	96	508	92	469	85
Gødningsmanagement	79	100	80	101	78	99	79	100
Energi	75	100	69	92	66	88	67	89
Total CF	1152	100	1093	95	1038	90	970	84
Jordpulje C	-35	100	5	-14	54	-154	99	-283
iLUC ²	196	100	185	94	178	91	170	87
dLUC ³	214	100	212	99	214	100	214	100
CF inkl. jord C	1117	100	1098	98	1092	98	1069	96
CF inkl. jord C og iLUC	1313	100	1283	98	1271	97	1239	94
CF inkl. jord C og dLUC	1331	100	1310	98	1307	98	1283	96
Arealanvendelse, m ² /kg TS	1,36	100	1,31	96	1,25	92	1,19	88

84 ¹1 kg CH₄ = 25 CO₂-eq

85 ²Indirect land use change.

86 ³Direct land use change.

87

88

89

90

91

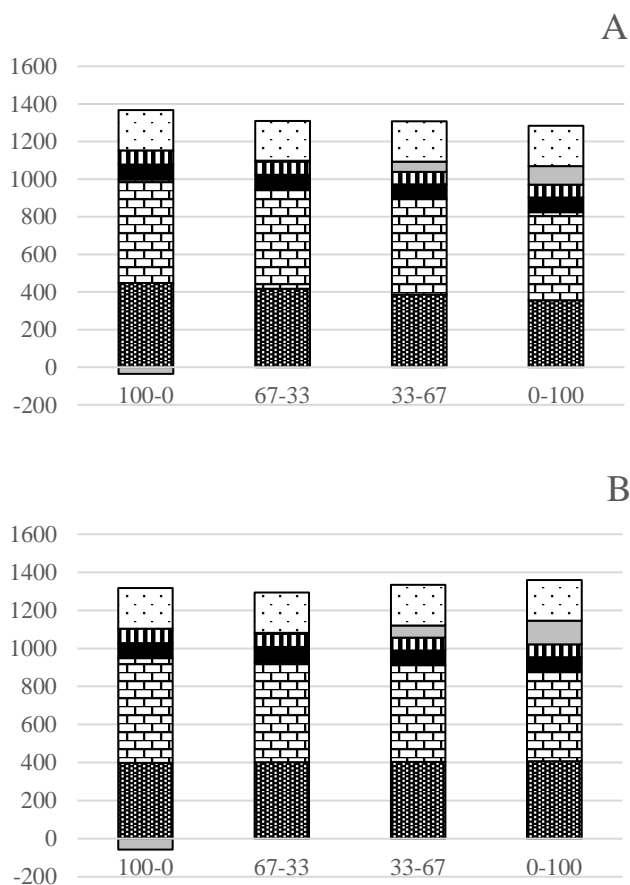
92 **Tabel 13.** Det samlede klimaaftryk pr. ko, udtrykt pr. kg EKM produceret i forsøget, g CO₂-eq (al emission tildelt mælk)
 93 (Relativ i forhold til TMR 100:0, som sættes til 100%)

	Forholdet mellem kløvergræs- og majsensilage i tørstof							
	100:0		67:33		33:67		0:100	
		Relativ til 100:0		Relativ til 100:0		Relativ til 100:0		Relativ til 100:0
Foder	260	100	269	103	252	97	241	93
Enterisk CH ₄ ¹	318	100	339	107	331	104	318	100
Gødningsmanagement	46	100	51	111	50	109	53	115
Energi	44	100	45	102	43	98	45	102
Total CF	667	100	704	106	676	101	658	99
Jordpulje C	-21	100	3	-14	35	-167	67	-319
iLUC ²	113	100	119	105	116	103	115	102
dLUC ³	124	100	137	110	140	113	145	117
CF inkl. jord C	647	100	707	109	711	110	724	112
CF inkl. jord C og iLUC	760	100	827	109	828	109	840	111
CF inkl. jord C og dLUC	771	100	844	109	851	110	870	113
Arealanvendelse, m ² /kg TS	0,79	100	0,84	106	0,81	103	0,81	103

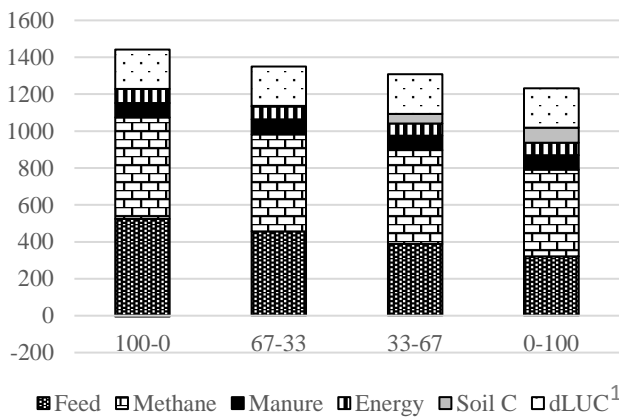
94 ¹1 kg CH₄ = 25 CO₂-eq
 95 ² Indirect land use change.
 96 ³Direct land use change.

97

98



C



Figur 1. Det samlede klimaaftryk pr. ko, udtrykt pr. kg tørstofindtag, g CO₂-eq. Effekt af forskellige udbytter af kløvergræs- og majsensilage. A) Gennemsnitlige udbytter, B) Høj udbytte af kløvergræsensilage (+20%) og lav udbytte af majsensilage (-20%), C) Høj udbytte af majsensilage (+20%) og lav udbytte af græsensilage (-20%).

¹Direct land use change.

99

100 Diskussion

101 I forsøget blev kørerne fodret efter ædelyst, hvilket betyder at der altid var foder tilgængeligt for
 102 kørerne, og tørstofindtaget bliver anset for at være den vigtigste faktor, der påvirker
 103 metanproduktionen. Der er i andre forsøg fundet en signifikant positiv sammenhæng mellem
 104 tørstofoptagelse og produktion af metan pr. dag, hvilket understreger, at foderoptagelse, og
 105 dermed mængden af fermenterbart stof tilgængelig for mikrobiel omsætning i vommen, er den
 106 vigtigste faktor for metanproduktionens størrelse (Niu et al. 2018). Forsøget viste, at når
 107 andelen af majsensilage i rationen blev øget, så faldt metanproduktionen udtrykt som L/kg
 108 tørstofindtag, og dette stemmer fint overens med andre forsøg (Hart et al. 2015; van Gastelen
 109 et al. 2015). Dette fald i produktionen af metan menes at være forbundet til et højere
 110 stivelsesoptag og stivelsesforgæring i vommen i de majsbaserede rationer. Metanproduktionen
 111 er relateret til mængden af tilgængeligt hydrogen i vommen (Janssen 2010), og når fibre
 112 erstattes med stivelse i foderrationen øges produktionen af propionsyre på bekostning af
 113 eddikesyre. Dannelsen af propionsyre forbruger brint, mens dannelsen af eddikesyre danner
 114 brint. Så øget andel af propionsyre øger forbruget af brint, som ellers kunne anvendes til syntese
 115 af metanogenese. I forsøget havde foderrationerne 33:67 og 0:100 den højeste andel af både
 116 stivelse og NDF sammenlignet med de to andre rationer (græs-baseret rationer). Dette kan være
 117 forklaringen på, at der i forsøget blev fundet en kurveliniær effekt på metanproduktionen.

118 Når majsandelen blev øget i rationerne faldt metan produktionen som % af bruttoenergi
 119 indtaget. Andelen af bruttoenergi indtaget tabt som metan var i gennemsnit 6,08 % i forsøget.
 120 Dette stemmer godt overens med interkontinentale gennemsnit (6,0 %) og er lidt lavere end det
 121 europæiske gennemsnit (6,4 %) som blev rapporteret af Niu et al. (2018). Hele kæden i
 122 mælkeproduktionen skal betragtes, dvs. fra dyrkning af foder, til opfodring og omsætning i
 123 dyrene, for at vurdere, hvad der vil være optimalt i forhold til at reducere det samlede
 124 klimaaftryk fra mælkeproduktionen.

125 Sammenlignes majsensilage kontra kløvergræsensilage, så er det vigtigt at inddrage
 126 klimabidraget fra ændringer i kulstofpuljen i jorden i beregningerne. Når dette bidrag fra

127 kulstofpuljen ikke medregnes, så har dyrkning af majs et lavere klimaaftryk pr. kg TS foder
128 sammenlignet med dyrkning af græs, hvorimod græsset har det laveste klimaaftryk, når
129 ændringer i kulstofpuljen i jorden medregnes. Tager man højde for både kulstof i jord og iLUC
130 er klimaaftrykket pr. kg TS for græs- og majsensilage stort set ens ved de gennemsnitlige
131 udbytter (Tabel 7). Det skyldes det højere udbytte pr. ha i majs og dermed mindre arealforbrug
132 og mindre iLUC, da iLUC er direkte korreleret til arealforbruget. Typisk medregnes bidraget
133 fra iLUC dog ikke. Ifølge PEF (de fælles europæiske guidelines) anbefales at medtage dLUC
134 frem for iLUC. At medtage dLUC giver ikke anledning til forskel mellem de 4 TMR, da der
135 indgår samme andel af sojaskrå i alle 4 TMR, og sojaskrå er det eneste foderemne med bidrag
136 af dLUC (Tabel 8).

137 Baseret på den samlede effekt af køernes enteriske metanproduktion målt i forsøget og den
138 beregnede udledning fra foderproduktionen ved gennemsnitlige udbytter, så er klimaaftrykket
139 4 % lavere, når kørerne blev foderet med den majsbaserede ration (0:100) sammenlignet med
140 den græs-baserede ration (100:0). Billedet ændrer sig dog, når udbyttet af henholdsvis majs- og
141 græsensilage ændres. I situationer hvor udbyttet af græsensilage er højt og majsudbyttet er lavt,
142 vil klimaaftrykket være betydeligt lavere, når kørerne fodres med den græs-baserede ration
143 (100:0) sammenlignet med den majs-baserede ration (0:100). Disse beregninger viser
144 vigtigheden af at se klimapåvirkningen i en større sammenhæng og ikke kun fokusere på
145 foderemner, der kan reducere metanproduktionen i kørerne. Det er essentielt, at
146 klimapåvirkning fra produktionen af foderet også tages med i beregningerne. Samtidig viser
147 resultaterne, at klimaaftrykket er meget påvirkelig af hvilke forudsætninger, der anvendes i
148 forhold til f.eks. udbytterelationer mellem græs og majs, og dermed også hvilke vilkår og
149 muligheder, der er på den enkelte bedrift.

150 Konklusion

151 Forsøget viste, at når fodringen ændres fra en kløvergræs-baseret ration til en majs-baseret ration
152 så reduceres den enteriske produktion af metan i vommen. Tørstofindtaget hos kørerne blev
153 øget, når majsandelen blev højere i rationen, og metanproduktionen pr. kg tørstofindtag var
154 numerisk lavest ved rationen, der kun var baseret på majsensilage. Når klimaaftrykket beregnes
155 for produktkæden viste beregningerne ved gennemsnitlige udbytter af majs- og græsensilage,
156 at klimaaftrykket (CO₂-ækvivalenter) var lavest pr. kg tørstofindtag ved den majs-baserede
157 fodring, men at ændringer i forholdet mellem græs- og majsudbyttet pr. ha havde en markant
158 effekt på det optimale forhold mellem græsensilage og majsensilage i rationen, når
159 klimaaftrykket fra mælkeproduktionen skal vurderes.

160

161 Kildeliste

162 Audsley E., Brander M, Chatterton, J, Murphy-Bokern D, Webster C & Williams A (2009):
163 How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system
164 and the scope for to reduction them by 2050. Published by Food Climate Research Network
165 (FCRN) and WWF-UK. 80 pp

166 Beauchemin, K. A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T. A. McAllister. 2008. Nutritional
167 management for enteric methane abatement: A review. Aust. J. Exp. Agric. 48:21–27.
168 <https://doi.org/10.1071/EA07199>

- 169 Bellarby, J., R. Tirado, A. Leip, F. Weiss, J.P. Lesschen and P. Smith. 2013. Livestock
170 greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology* 19:3-18
- 171 Blonk, 2013. Direct Land use change assessment tool, version 2013.1. Blonk Consultants,
172 Gouda. 2013. Brask, M., P. Lund, A.L.F. Hellwing, M. Poulsen and M.R. Weisbjerg. 2013.
173 Enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in dairy cows fed different
174 forages with and without rapeseed fat supplementation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 184:67-79.
175 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.006>
- 176 BSI. 2008. PAS2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas
177 emissions of goods and services.
- 178 Hart, K.J., J.A. Huntington, R.G. Wilkinson, C.G. Bartram and L.A. Sinclair. 2015. The
179 influence of grass silage-to-maize silage ratio and concentrate composition on methane
180 emissions, performance and milk composition of dairy cows. *Anim.* 9: 983-991.
181 <https://doi.org/10.1017/S1751731115000208>
- 182 Janssen, P. H. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation
183 balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Anim. Feed*
184 *Sci. Technol.* 160:1-22.
- 185 Niu, M., E. Kebreab, A.N. Hristov, J. Oh, C. Arndt, A. Bannink, A.R. Bayat, A.F. Brito, T.
186 Boland, D. Casper, L.A. Crompton, J. Dijkstra, M.A. Eugène, P.C. Garnsworthy, M.N. Haque,
187 A.L.F. Hellwing, P. Huhtanen, M. Kreuzer, B. Kuhla, P. Lund, J. Madsen, C. Martin, S.C.
188 McClelland, M. McGee, P.J. Moate, S. Muetzel, C. Muñoz, P. O’Kielly, N. Peiren, C.K.
189 Reynolds, A. Schwarm, K.J. Shingfield, T.M. Storlien, M.R. Weisbjerg, D.R. Yáñez-Ruiz and
190 Z. Yu. 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using
191 an intercontinental database. *Glob. Change Biol.* 24: 3368-3389.
- 192 Mogensen L, Kristensen T, Nguyen TLT, Knudsen MT, & Hermansen JE (2014): Carbon
193 footprint of cattle feeds – a method to include contribution from soil carbon changes. *J. Cleaner*
194 *Prod.* 73, 40-51.
- 195 Mogensen L, Kristensen T, Nielsen NI, Spleth P, Henriksson M, Swensson C, Hessle A &
196 Vestergaard M (2015): Productivity and greenhouse gas emissions from beef production
197 systems in Denmark and Sweden. *Livest. Sci.* 174, 126-143.
- 198 Mogensen L, Nguyen TLT, Madsen NT, Pontoppidan O, Preda T & Hermansen JE (2016):
199 Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the
200 slaughtering stage: input and output. *J. Cleaner Prod.*, 133, 284-293.
- 201 Mogensen L, Knudsen MT, Dorca-Preda T, Nielsen NI, Kristensen IS, & Kristensen T (2018):
202 Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg – metode og tabelværdier.
203 [DCA rapport nr. 116, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.](https://web.agrsci.dk/djfpublikation/)
204 [129 pp. http://web.agrsci.dk/djfpublikation/](https://web.agrsci.dk/djfpublikation/)
- 205 Møller, E., P.E. Andersen and N. Witt. 1989. En sammenligning af *in vitro* opløselighed og
206 *in vivo* fordøjelighed af organisk stof i grovfoder. 13. Beretning fra Fællesudvalget for
207 Statens Planteavl, og Husdyrsbrugsforsøg, Danmark.
- 208 Petersen BM, Knudsen MT, Hermansen JE & Halberg N (2013): An approach to include soil
209 carbon changes in the life cycle assessments. *J. Clean. Prod.* 52, 217-224.

210 Weisbjerg, M. R. and T. Hvelplund. 1993. Bestemmelse af nettoenergiindhold (FEK) i råvarer
211 og kraftfoderblandinger. Forskningsrapport nr. 3. Statens Husdyrbrugsforsøg, Tjele,
212 Denmark. Van Gastelen, S., E.C. Antunes-Fernandes, K.A. Hettinga, G. Klop, S.J.J. Alferink,
213 W.H. Hendriks and J. Dijkstra. 2015. Enteric methane production, rumen volatile fatty acid
214 concentrations, and milk fatty acid composition in lactating Holstein-Friesian cows fed grass
215 silage- or corn silage-based diets. J. Dairy Sci. 98: 1915-1927.
216 <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8552>

217 Volden, H. 2011. NorFor—The Nordic Feed Evaluation System. EAAP publication no. 130.
218 Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236