

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for biovitenskap
Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap



2024

ISBN: 978-82-575-2153-0

Klimatiltak i husdyrproduksjon

Delrapport 2 fra prosjektet:

Kunnskapsgrunnlag for utslipps-reduksjoner i jordbruket

- sett i sammenheng med tilpasning, klimarisiko og matsikkerhet

Laila Aass¹, Bente Aspehølen Åby¹, Vibeke Lind²

¹) NMBU; ²) NIBIO



FORORD

I forkant av forhandlingene mellom regjeringen, Norges Bondelag og Norsk Bonde- og Småbrukarlag om klimaavtalen for jordbruket, utarbeidet NMBU og NIBIO i 2018 to rapporter som kunnskapsgrunnlag for Norges Bondelag. NMBU utredet «Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren», mens NIBIO utredet tiltak knyttet til planteproduksjon og tiltak som faller inn mellom husdyr og planteproduksjon; «Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk - kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter».

Kunnskapsgrunnlaget for NMBU-rapporten var i all hovedsak basert på norsk forskning fra perioden 2014 – 2018, samt resultater fra internasjonale vitenskapelige artikler. I denne perioden hadde forskningsprosjekter innenfor jordbruk til dels andre formål enn å se på aktuelle tiltak for klimagassreduksjoner fra jordbruket, og resultatene var ikke nødvendigvis spisset direkte mot disse kunnskapsbehovene. I etterkant av inngåelse av klimaavtalen i 2019 om utslippsreduksjoner 2021-2030 har det blitt startet opp en rekke nye prosjekter mer spesifikt rettet mot disse problemstillingene både i forskningsinstitusjoner og i regi av jordbrukets egne organisasjoner. Disse har generert ny kunnskap som ble vurdert å være nyttige for både jordbrukets organisasjoner og forvaltningen å få samlet i en ny kunnskapsoppdatering. Dette for å få et grunnlag for å vurdere tidligere forslag til tiltak, og identifisere nye for å nå klimamålene i avtalen fram mot 2030. Ettersom en revidering av Landbrukets klimaplan også var planlagt i løpet av 2023/2024, tok Norges Bondelag høsten 2022 initiativ til en ny kunnskapsoppdatering gjennom et nytt utredningsprosjekt.

Prosjektsøknaden (Midler til utredninger og forprosjekt med oppstart i 2023 -Landbruksdirektoratet) ble innvilget 31.10.2022. Prosjektet «Oppdatering av kunnskapsgrunnlag for utslippsreduksjoner i jordbruket sett i sammenheng med tilpasning, klimarisiko og matsikkerhet» har vært et samarbeid mellom NIBIO og NMBU, med Lillian Øygarden (NIBIO) som prosjektleder. Prosjektet har vært finansiert av Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (2022/68231, Agros 204874), med varighet 01.01.2023-31.12.2023.

Resultater fra prosjektet foreligger nå som tre delrapporter:

Delrapport 1: Klimatiltak i planteproduksjon (NIBIO RAPPORT 10(37)2024, ISBN 978-82-17-03487-2)

Delrapport 2: Klimatiltak i husdyrproduksjon (NMBU)

Delrapport 3: Klimatiltak og matsikkerhet – synergi eller mistilpasning (NIBIO RAPPORT 10(38)2024, ISBN 978-82-17-03488-9)

Delrapport 2 beskriver mulige tiltak for å oppnå reduksjon av klimagasser fra norsk husdyrproduksjon, basert på faglige vurderinger av norske forskningsresultater, vitenskapelige artikler og statistikker i perioden 2018-2023. Kunnskapsoppdateringen i denne rapporten har vært gjennomført ved Institutt for husdyr og akvakulturvitenskap (IHA), Fakultet for biovitenskap. Gjennom arbeidet har forfatterne, i tillegg til fagstoff fra egen forskning og vitenskapelige artikler, fått god hjelp til å innhente ulike former for faglig dokumentasjon om prosjekresultater fra en rekke aktører. Innenfor rammene av dette oppdraget har vi valgt ut resultater fra de mest sentrale kunnskapskildene som grunnlag for denne rapporten. Gjennomgang av fagstoffet og skrivearbeid er i all hovedsak utført av Bente Aspeholen Åby og Laila Aass, med viktige tekstbidrag fra Vibeke Lind (NIBIO).

Vi vil rette en stor takk for hjelp og bidrag fra kollegaer ved IHA (Ingjerd Dønnem, Margrete Eknæs, Angela Schwarm); Geno (E. H. Krogsti, B. Heringstad, K.A. Bakke); Norsvin (tekstbidrag; E. Gjerlaug

Enger, I. Ranberg); og NSG (J.Jakobsen), og en særlig takk til prosjektleder Lillian Øygarden i NIBIO for godt samarbeid og god prosjektledelse. Forsidefoto: L.Aass

NMBU, Ås, 12.03.2024



Laila Aass
Forsker



Bente Aspehølen Åby
Forsker



Vibeke Lind
Forsker



Gro Steine
Instituttleder

Tiltak	Påvirkning /effekt på klimagasser	Beregning Effekt /år	Effekt 2021- 2030	Inngår i klimagass-Regnskapet ja /nei /indirekte	Kommentarer Forutsetninger, usikkerheter
Husdyrproduksjon					
Avlsarbeid					
Direkte avl for redusert metanproduksjon- storfe	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til storfe	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt	Tidligst mot slutten av avtaleperioden.	Nei	Effekt vil være avhengig av arvegrad på metanproduksjon, vektlegging i avlsmålet og genetiske sammenhenger med andre avlsmåleegenskaper.
Avl for økt føreffektivitet- storfe	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til melkeku	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt	Tidligst mot slutten av avtaleperioden.	Nei	Effekt vil være avhengig av arvegrad, vektlegging i avlsmålet og genetiske sammenhenger med andre avlsmåleegenskaper.
Avl for tilvekst- storfe	Reduserte klimagassutslipp totalt og per kg slakt	Ikke tallfestet	I hele perioden pga. kontinuerlig avlsarbeid.	Ja	Totaleffekt avhengig av vektlegging i avlsmålet. Slaktealder og -vekt er aktivitetsdata i NIR. Økt tilvekst gir lavere slaktealder (forutsatt samme slaktevekt) og dermed lavere utslipp.
Direkte avl for redusert metanproduksjon- småfe	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til småfe	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt	Tidligst mot slutten av avtaleperioden.	Nei	Effekt vil være avhengig av arvegrad på metanproduksjon, vektlegging i avlsmålet og genetiske sammenhenger med andre avlsmåleegenskaper.
Avl for økt føreffektivitet- svin	Reduserte klimagasser	Inntil 0,8 % reduksjon per år	I hele perioden pga. kontinuerlig avlsarbeid	Ja	Avlsarbeidet kan påvirke NIR om det påvirker aktivitetsdata (antall dyr, arealbruk etc.). Beregningene er utført av Norsvin og inkluderer avlsfremgang basert på nåværende avlsmål.
Avl for økt nitrogeneffektivitet- svin	Reduserte lystgassutslipp fra svinegjødse	Ikke mulig å tallfeste på	Dagens seleksjon for føreffektivitet fører til bedre N-	Ja	Økt nitrogeneffektivitet kan redusere nitrogenutskillelse (Nex), som inngår i NIR for å beregne lystgassutslipp. Effekt på Nex

		nåværende tidspunkt.	effektivitet. N-effektivitet vurderes inkl. i avlsarbeidet til Norsvin innen 2026.		må dokumenteres. Hvis økt N-effektivitet gjør at norskandelen i fôrrasjonen økes kan dette ha effekter på arealbehov og lystgassutslipp fra planteproduksjon.
Klimarådgivning på gårdsnivå	Reduserte utslipp per kg produserte enhet og totale klimagassutslipp i det nasjonale regnskapet.	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt.	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt.	Ja/indirekte	Beregnet teoretisk effekt vil være avhengig av forutsetninger. Effekt av klimarådgivning er avhengig av stor oppslutning om Klimakalkulatoren og økte registreringer i husdyrkontrollene og andre datakilder. Tiltak som fører til endring i aktivitetsdata (for eksempel bruk av mineralgjødsel) vil inngå i NIR. Kan også ha effekter i andre sektorer (for eksempel bruk av drivstoff som gir endring i utslipp beregnet i energisektoren).
Ammeku					
Økt mordyreffektivitet	Reduserte utslipp per kg slakt.	6-9% reduksjon i utslipp per kg slakt.	Ikke beregnet for perioden.	Ja	Beregnet utslippsreduksjon forutsetter at antall mordyr holdes konstant og at den dårligste 1/3 forbedrer seg til gjennomsnittet. Kan påvirke NIR grunnet endring i aktivitetsdata (antall dyr, areal, mineralgjødsel). Ved konstant innenlandsk slakteproduksjon vil totalutslippene gå ned.
Økt tilvekst- okser	Reduserte utslipp per kg slakt.	3-6% reduksjon i utslipp per kg slakt.	Ikke beregnet for perioden.	Ja	Beregnet utslippsreduksjon forutsetter at antall mordyr holdes konstant og at den dårligste 1/3 forbedrer seg til gjennomsnittet. Vil påvirke NIR gjennom metanlikningene for ungdyr.

Sau					
Økt mordyreffektivitet	Reduserte utslipp per kg slakt.	4-5% reduksjon i utslipp per kg slakt.	Ikke beregnet for perioden	Ja	Påvirker aktivitetsdata (antall lam).
Økt tilvekst- lam	Reduserte utslipp per kg slakt.	5% reduksjon i utslipp per kg slakt.	Ikke beregnet for perioden.	Ja	Økt slaktevekt vil øke beregnet utslippsfaktor for enterisk metan.
Svin					
SPF (Spesifikk patogen frie besetninger)	Reduserte utslipp per kg slakt.	7% reduksjon i utslipp per kg slakt.	Ikke beregnet for perioden.	Ja	Kan påvirke aktivitetsdata (antall dyr pga lavere dødelighet). Beregnet av NORSVIN
Tilsetningsstoffer	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til drøvtyggere.			Nei	Teknisk løsning for inkludering i NIR foreligger. Effekt under norske forhold må dokumenteres. Dette er en målsetning i MetanHub-prosjektet og burde foreligge i 2027. Effekt kan være avhengig av flere forhold (bla dose, omfang av bruk, kommersiell løsning på tildeling på beite).
Agolin Ruminant	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til drøvtyggere.	10% reduksjon i daglig metanproduksjon og per kg melk.	Tatt i bruk i FKs Formel-sortiment.	Ne.	Dokumentasjon under norske forhold mangler. Effekt hos sau er ukjent.
Bovaer® (3-NOP)	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til drøvtyggere.	15-30% reduksjon i daglig metanproduksjon.	Tidligst fra 2027	Nei	Foreløpig anslag for effekt under norske forhold. Utprøves i MetanHub-prosjektet.
Biokull	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til drøvtyggere.	-	-	-	Sannsynligvis ingen effekt.
Makroalger	Redusert metanproduksjon fra fordøyelsen til drøvtyggere.	-	-	-	Ingen effekt av stortare og fjørhinne i norske forsøk. Asparagopsis taxiformis har vist effekt på metanproduksjon i utenlandske forsøk, men med inkonsekvente effekter på helse,

					produksjon og funn av bromoform i kjøtt og melk. Bromoform er potensielt kreftfremkallende for mennesker.
Økt grovfôrkvalitet					
Melkeku	Redusert metanproduksjon fra fordøyelse, effekt på produksjonsresultater (reduerte utslipp per kg produkt).	Ikke beregnet.	Ikke beregnet.	Ja.	Effekt av grovfôrkvalitet hensyntas Indirekte via likninger for BE og Ym for melkeku. Ikke inkludert for ungdyr.
Sau	Redusert metanproduksjon fra fordøyelse, effekt på produksjonsegenskaper (reduerte utslipp per kg produkt).	Ikke beregnet.	Ikke beregnet.	Nei.	For sau brukes en fast Ym-faktor for å beregne metanproduksjon i NIR. Ikke aktuelt i alle perioder (for eksempel lavdirektighet).
Beite- storfe	Redusert metanproduksjon fra fordøyelse.	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt.	Ikke beregnet.	Nei.	Teknisk løsning i det nasjonale utslippsregnskapet foreligger for storfe. Mer kunnskap basert på metanmålinger av storfe på beite innen 2027. Trenger aktivitetsdata for beite ved inkludering i NIR.
Beite- sau	Redusert metanproduksjon fra fordøyelse ved høy beitekvalitet.	Ikke mulig å tallfeste på nåværende tidspunkt.	Ikke beregnet.	Nei.	Teknisk løsning i det nasjonale utslippsregnskapet foreligger for sau.

BE=Bruttoenergi inntak, Ym=metankonverteringsfaktor, % av BE som tapes som metan; NIR: National Inventory Report, det nasjonale utslippsregnskapet.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	12
1. Innledning.....	21
2. Metodikk for beregning av utslipp av klimagasser.....	23
2.1. Modeller for beregning av klimagassutslipp	23
2.1.1 LCA analyser	23
2.1.2 Gårdsmodeller	24
2.1.3 Nasjonalt utslippsregnskap	26
2.2 Utslippsvektfaktorer	27
2.2.1 GWP	27
2.2.2 GTP	27
2.2.3 Sammenlikning av GWP of GTP	27
2.2.4 GWP*	28
3. Utviklingen i husdyrproduksjon, utslipp av klimagasser og befolkningsvekst 1990-2023	29
3.1 Utvikling i husdyrproduksjonene -dyretall og produksjon	29
3.1.1 Antall drøvtyggere	29
3.1.2 Produksjon av melk	30
3.1.3 Produksjon av slakt.....	30
3.2. Utvikling i klimagassutslipp fra jordbrukssektoren	32
3.2.1. Totale årlige utslipp	32
3.2.2. Klimagassutslipp per innbygger.....	33
4. Status husdyrproduksjonene 2023.....	36
4.1. Kombinert melk- og kjøttproduksjon	36
4.1.1. Avlsmål og avlsarbeid i kombinert melk- og kjøttproduksjon.....	36
4.2. Ammekuproduksjonen	39
4.2.1. Avlsmål og avlsarbeid i ammekuproduksjonen.....	39
4.3. Saueproduksjonen.....	41
4.3.1 Avlsmål og avlsarbeid i saueproduksjonen	41
4.4. Svineproduksjonen	43
4.4.1. Avlsmål og avlsarbeid i svineproduksjonen.....	43
4.4.2. Avlsmessig framgang i svineproduksjonen	44
5. Potensialet for reduksjon av klimagasser fra norske husdyr gjennom husdyravl.....	46
5.1. Direkte avl for reduserte metanutslipp og økt føreffektivitet melkeku.....	46
5.1.1. Geno prosjekt «High-Tech fjøs»	46
5.1.2 Geno prosjekt «Føreffektivitet melkeku»	48

5.1.3. Potensialet for å inkludere daglig metanutslipp og fôrutnyttelse i avlsarbeidet med NRF	50
5.2 Avl for reduserte metanutslipp fra sau	50
5.2.1 Mobile klimakamre	50
5.2.2 SMARTER-prosjektet	51
5.2.3 Metanutslipp fra sau og geit	51
5.2.4 Grass To Gas: raseforskjeller i metanproduksjon	52
5.2.5 Sustain Sheep	53
5.3 Avl for økt nitrogener effektivitet hos gris	53
6. Effekter av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp med klimarådgiving på gårdsnivå basert på HolosNor gårdsmodeller	56
6.1 HolosNor	56
6.1.1 Klimagassutslipp fra norsk melk- og storfekjøttproduksjon	56
6.2 HolosNorBeef	59
6.2.1. Klimagassutslipp fra ammekuproduksjonen	60
6.2.2. Variasjon i klimagassutslipp fra norske ammekubesetninger	60
6.2.3. Klimaeffekter av tiltak på gårder med ammeku	61
6.3 HolosNorSheep	63
6.3.1 Klimagassutslipp fra norsk saueproduksjon	63
6.3.2 Klimagassutslipp og utslippintensiteter for saueproduksjon i ulike geografiske regioner	63
6.3.3 Pilotstudiet av Klimakalkulatoren for sau	65
6.3.4 Tiltak på gårdsnivå for reduserte klimagassutslipp fra saueproduksjon	66
6.4 HolosNorPork	68
6.4.1 Beregninger av klimagassutslipp fra svinproduksjonen	69
6.5. HolosNorEgg og HolosNorChicken	69
7. Tilsetningsstoffer i fôret	70
7.1 Agolin Ruminant	70
7.2. 3-NOP (Bovaer®)	71
7.2.1 Utfordringer med 3-NOP	71
7.3 Nitrat	72
7.4 Biokull	72
7.5 Kombinasjon av ulike tilsetningsstoffer	73
7.6 Makroalger	73
7.7 MetanHUB	74
8. Effekt av grovfôr kvalitet på metanproduksjon	75
8.1 Klimagrovfôr	75
8.2 Effekt av grovfôr kvalitet på metanproduksjon fra sau	77

8.3 Effekt av økt grovfôr kvalitet, botanisk sammensetning og agronomiske tiltak på klimagassutslipp i melk- og storfekjøttproduksjon	78
8.4 Effekt av beite på metanproduksjon	80
8.4.1 Metanbeite- forprosjekt	80
8.4.2 Ammeku på beite - kjøttproduksjon og metanutslipp-forprosjekt	81
8.4.3 MethanePasture	81
8.4.3 Effekt av beite kvalitet på metanproduksjon hos sau	81
Oversikt over forskningsprosjekter	83
8. Referanser	84

Sammendrag

Denne rapporten er en oppdatering av kunnskapsgrunnlaget i rapporten «Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren», (Aass og Åby, 2018). Ettersom en stor del av norsk forskningsaktivitet innenfor husdyrproduksjon og klimagassutslipp er rettet mot drøvtyggere, har dette temaet fått stor plass i rapporten. Rapporten fokuserer i hovedsak på tiltak knyttet til husdyrene og det som skjer innenfor gårdsgrinda. Tiltak knyttet til gjødselhåndtering og agronomiske tiltak er ikke inkludert, det vises her til NIBIO, Delrapport 1 (Tiltak i planteproduksjon).

Kapittel 1

Klimagassutslipp fra husdyr (per kg produkt av melk eller kjøtt) bestemmes av dyras produktivitet. Prinsippet er: «Jo lenger dyret lever uten å produsere noe, desto mer utslipp totalt og per enhet produkt fra dyret». En suboptimal produksjon kan bl.a. være knyttet til sykdom, tap av/lavt antall avkom, lav tilvekst og lav melkeproduksjon, eller generelt dårlig dyrevelferd. Lav produktivitet har sine årsaker både i produksjonsstyring og husdyrgenetikk. I mange tilfeller vil det bli en økonomisk gevinst av å optimalisere husdyrproduksjonen på gården.

Kapittel 2

Det eksisterer mange ulike metoder for å beregne klimagassutslipp fra jordbruksproduksjon. Variasjonen i utslippstall som presenteres kan være forvirrende. Kapittel 2 beskriver derfor likheter og forskjeller mellom metodene, og hva som kan være årsakene til forskjeller mellom tallene som presenteres. I det samme kapitlet har vi også med en beskrivelse av og forklaringer rundt ulike utslippsvektfaktorer (GWP, GTP, GWP*) som benyttes for å beregne akkumulert strålingspådriv over ulike tidsperioder.

Kapittel 3

Ifølge Klimaavtalen mellom jordbruket og staten skal det rapporteres på utslippsregnskap for jordbruket jevnlig i løpet av avtaleperioden. Årlige utslipp fra hvert land regnes i forhold til utslippene i 1990, som også er startåret for beregningene i det nasjonale utslippsregnskapet. I perioden fra 1990 og fram til nå har det foregått store strukturelle endringer i jordbruket, og store endringer i både forbruksmønster og folketal. Alt dette har hatt både direkte og indirekte effekter på klimagassutslipp fra jordbruket i perioden. Det har også hatt effekter på utviklingen i Norges selvforsyningssevne og matsikkerhet.

Tall for utvikling i husdyrproduksjonene viser store endringer i dyretall og produksjonsnivåer. Mens antall melkekyr er redusert med 40 % i perioden, har antall ammekyr økt med nærmere 100 000 kyr. Fra 2002 og til nå har det vært en nedadgående trend (11 %) i antall søyer, mens antall melkegeiter er halvert siden 1990. Produksjonen av kumelk har i hovedsak vært stabil på 1500 mil. liter i årene mellom 2000 – 2018, men meierileveransen viser en nedgang på ca. 22 % siden 1990. De siste fem årene har melkeleveransene generelt vært nedadgående.

Produksjonen av svineslakt (tonn) har vært størst i hele perioden, og var 133 000 tonn i 2022. Kyllingproduksjonen har vært i kraftig økning hele perioden, og passerte storfekjøttproduksjonen allerede i 2008. Sistnevnte har, likhet med produksjon av sau/lam, i grove trekk holdt seg konstant i gjennomsnitt (hhv. 86 000 og 25 000 tonn per år), til tross for at mordyrtalet har gått ned i begge produksjoner.

Utslippene fra jordbruket utgjorde 4,6 mill. tonn CO₂-ekv. i 2022. For hele perioden 1990-2022 er utslippene fra jordbruket redusert med 6,8 %. Tallene for enkeltår viser imidlertid at utslippene ble redusert med 10 % fra 1990 til 2010, fra 4,9 til 4,4 mill. tonn CO₂-ekv. Dette før de igjen økte fram mot

2021 til 4,6 mill. tonn under opptrapping av ammekuproduksjonen, noe dempet av nedgang i antall melkekyr.

I en slik opptrappingsperiode vil forholdet mellom antall ungdyr relativt til antallet mordyr være høyere enn i en stabil situasjon. Økt antall ungdyr vil bidra til høyere utslipp, som gir utslag i det nasjonale utslippsregnskapet (endring i aktivitetsdata). Det har ikke vært vesentlig økning i norsk storfekjøttproduksjon i denne perioden, til tross for økningen i utslipp.

Det nasjonale utslippsregnskapet følger regelverk i Parisavtalen fra 2015 og retningslinjer fra FNs klimapanel IPCC. Kun utslipp fra hvert lands territorium som skal tas med i regnskapet, dvs. at maten vi importerer ikke blir regnskapsført som utslipp i Norge. Utslippene i hvert enkelt land påvirkes av folkemengden. Hver enkelt innbygger bidrar til utslipp fra forbruk i flere sektorer. Befolkningsvekst i et land kan derfor gjøre det vanskeligere å oppnå klimamålene. Dette gjelder særlig for matproduksjonen, og dermed utslippene fra jordbruket.

Antall innbyggere i Norge har økt med nærmere 1,3 millioner siden 1990, og øker videre. Fordeles de totale utslippene fra jordbruket per år i perioden 1990-2022 på antall innbyggere per år i samme periode, har utslippene fra norsk jordbruk gått kontinuerlig ned fra 1,2 til 0,8 tonn CO₂-ekv. per person, en reduksjon på nærmere 30 %.

Ettersom produksjonen av både melk og storfekjøtt har vært tilnærmet konstant i samme periode, kan nedgangen i utslipp per innbygger ikke tolkes på annen måte enn at mat fra husdyrprodukter basert på norske grovfôrarealer er erstattet av import med utslipp i andre land. Dette bekreftes av statistikker for import av meieriprodukter og kjøtt i perioden 1989-2022.

Befolkningsveksten forkludrer Stortingets målsetting om økt norsk matproduksjon, matsikkerhet og beredskap, dersom husdyrproduksjoner som utnytter norske grovfôrressurser skal reduseres som det viktigste klimatiltaket i jordbruket. Jordbrukets samlede utslipp må sees i sammenheng med økt folketall, som gir økt etterspørsel etter mat. Skal den maten i større grad være norsk, må måltall for utslippsreduksjoner vurderes på annen måte, for eksempel som reduserte utslipp per enhet produkt, som vil gjenspeiles i reduserte utslipp fra norsk matproduksjon per innbygger.

Kapittel 4

Husdyrprodukter utgjør en betydelig andel av norsk matforsyning og -produksjon. Med bakgrunn i at landbrukets klimaplan for 2021-2030 skal revideres våren 2024, var det i denne rapporten naturlig å ta utgangspunkt i status for husdyrproduksjonene i 2023 i arbeidet med å vurdere nye tiltak for å nå avtalens klimamål.

Den norske melkepopulasjonen består av omtrent 90 % reinrasa NRF (Norsk Rødt Fe). I 1990 utgjorde renraset NRF slakt nærmere 95 % av alt storfeslakt, i 2022 var dette redusert til noe under 60 %. Likevel bidrar kombinert melk/kjøttproduksjon fortsatt med den klart største andelen av norsk storfekjøtt. Utviklingen i melkeytelse per ku viser en langvarig og ubrutt trend i økt melkeytelse per årsku etter 2000, med en foreløpig topp i 2020, og en svak reduksjon de tre siste årene. Avlsarbeidet med NRF hatt stor betydning for reduksjon av utslipp fra jordbruket over mange tiår i det nasjonale utslippsregnskapet. Effekten har vært særlig synlig i form av kontinuerlig redusert melkeutall, kombinert med samme volum meierileveranse av melk, men også som følge av avl for økt slaktilvekst. Avlsarbeidet med NRF er basert på individdata som samles inn i Kukontrollen, data som er helt avgjørende for avlsarbeidet.

Avlsarbeid kan ha reell effekt på utslipp av klimagasser i et langsiktig perspektiv. Valg av egenskaper i avlsmålet og relativ vektlegging er avgjørende. Avlsmålet for NRF justeres med jevne mellomrom. Per

nå omfatter avlsmålet 11 egenskapsgrupper, der egenskaper knyttet til melkeproduksjonen og helse har høyest vektlegging. Trenden over år viser særlig stor framgang for disse egenskapene. Vektleggingen av kjøttproduksjonsegenskapene ble kraftig redusert i 2009 etter ønske fra eierne, og har vist en negativ effekt i respons som har vedvart etter dette. Redusert vektlegging på kjøttproduksjon i NRF er uheldig fordi dette kan bidra til økte klimagassutslipp fra denne næringen. Dette får også effekt i det nasjonale utslippsregnskapet (NIR), fordi slaktevekt og -alder inngår direkte i beregninger av metanutslipp fra ungdyr i regnskapet.

Avlsarbeidet med kjøttfe (ammeku) driftes av TYR. Avlsarbeidet med kjøttfe er basert på individdata i Storfekjøttkontrollen (SFK). Et stort antall ulike raser er registrert i SFK, men nasjonalt avlsarbeid drives kun på kjøttferasene Aberdeen Angus, Charolais, Hereford, Kjøttsimmental og Limousin.

Testplasser for ungoxer på fenotypeteststasjonen på Staur fordeles rasene etter en fordelingsnøkkel. Testen skal gi grunnlag for uttak av seminokser til avl, basert på ulike registreringer (bl.a. grovfôropptak og tilvekst). Data i SFK fra besetningene er grunnlag for beregninger av avlsverdier knyttet til mordyr og kalv/ungdyr. Det beregnes avlsverdier for grupper av slike egenskaper som summeres opp til en samlet avlsverdi. Kalven er eneste produkt i ammekuproduksjonen. Tall fra SFK viser at kalvetapet fortsatt er for høyt i de fem rasene. Samlet tap av kalv fram til avvenning var i gjennomsnitt opp mot 8 % i 2022, men med variasjon, helt opp til over 20 % tap av kalv per år. Slike tall illustrerer en tydelig redusert produksjonseffektivitet.

Avlsframgangen for hver av de fem rasene begrenses av at antall dyr som bidrar i aktivt avlsarbeid er lavt. Lav deltakelse i avlsarbeidet gjenspeiles i mangelfull registrering av individdata i SFK, som er en forutsetning for å sikre avlsmessig framgang for slakteproduksjon i de fem rasene. Kalvens fødselsvekt, vekt ved 200 dg. (avvenningsvekt) og 365-dg vekt er viktige mål på ungdyrets vekst fram mot slaktning eller som rekrutteringskvice, og samtidig nært knyttet til både produsentøkonomi og klimagassutslipp på gårdsnivå. Som for NRF slaktedyr inngår slaktealder og slaktevekt direkte inn i metanlikningene i det nasjonale utslippsregnskapet (NIR).

Ammekunæringen har ekspandert mye det siste tiåret for å dekke opp redusert kjøttproduksjon fra melkeku. Det er behov for å optimalisere effektiviteten i denne produksjonen gjennom bedre produksjonsstyring og avlsarbeid. Beregninger viser at gjennomsnittlige avlsverdier for rasene stort sett har ligget konstant rundt 100 de siste 20 årene, som tilsvarer liten/ingen avlsframgang. Pålitelige avlsverdier og genetisk framgang er avhengig av et størst mulig og representativt datamateriale som grunnlag for beregningene. Tallene fra SFK viser at dette fortsatt er et kritisk punkt i avlsarbeidet med kjøttfe, og derved også for avlsarbeidets bidrag til reduserte klimagassutslipp.

Antall sau har gått noe ned siden 2018. Avlsarbeidet med sau driftes av NSG, og det er nasjonalt avlsarbeid på fire raser basert på data i Sauekontrollen: Norsk kvit sau, Spælsau (kvit og farga), Sjeviotsau og Pelssau. Det beregnes avlsverdier for enkeltegenskaper som summeres i en samlet avlsverdi (O-indeks). De ulike rasene har ulik vektlegging av de ulike egenskapene. Avlsmålet for sau reflekterer at det produseres både slakt og ull i kombinasjon, men hovedtyngden ligger på tilvekst/slakteegenskapene og morevne. Det er positiv genetisk trend for mange viktige egenskaper, slik som lammetall og slaktevekt.

Svineavl har gjennom mange tiår hatt en avlsstruktur der reinavl i mor- og farraser drives systematisk for å oppnå krysningsfrodighet (heterosis) for å oppnå vitale smågris (krysningsavkom). Avlsprogrammet til Topigs Norsvin er basert på mor- og farlinjer. Slaktegrisen er en krysning mellom tre raser (Norsvin Landsvin; morraser); Topigs Yorkshire og Norsvin Duroc; begge farraser). Krysningpurker etter Landsvin og Yorkshire (TN70 purker) krysses videre med Duroc råner. Avkommene blir er en tre-rase krysning slaktegris.

Bruk av tre raser i slaktegrisproduksjonen betyr at man kan variere både hvilke egenskaper og hvilken vektlegging man skal ha for disse i avlsmålene for hver enkelt rase. Moregenskaper vektlegges høyt i morlinje raser, mens produksjonsegenskaper vektlegges høyere i farrasen. Avlsarbeidet drives i en pyramidestruktur, med foredlingsbesetninger øverst som oppformerer hhv. Norsvin Landsvin purker og Norsvin Duroc råner. TNT70 purkene produseres i oppformeringsbesetninger, neste nivå i pyramiden. Disse formidles videre for kryssing med Duroc farrase hos smågris- og spesialiserte slaktegrisprodusenter. Beregninger fra Norsvin har vist at 14 egenskaper i avls programmet har direkte effekt på reduksjon av utslipp gjennom redusert totalt fôrforbruk og lavere produksjon av husdyrgjødsel. Flere av disse egenskapene har vist en betydelig fremgang de seinere år.

I perioden 2014-2022 er det for Landsvin beregnet en avlsframgang som tilsvarer 1,7 flere avvendte grisunger hovedsakelig som følge av lavere dødelighet. For Duroc er det i hovedsak økt fôreffektivitet som bidrar til lavere totalt fôrforbruk. Avlsarbeidet er beregnet å ha gitt en forbedring i total fôreffektivitet på om lag 18 kg redusert fôrforbruk per slaktegris i perioden 2014-2022. Norsvin forventer at avlsframgangen fortsetter i årene fremover. Avlsframgangen i total fôreffektivitet er estimert å gi en reduksjon på oppimot 0,8 % reduserte klimagassutslipp per år videre.

Kapittel 5

Avlsarbeid for reduserte klimagassutslipp kan drives via to innfallsvinkler; 1) direkte seleksjon for redusert utslipp og 2) indirekte seleksjon på egenskaper som har arvelig sammenheng med utslipp (f.eks fôrutnyttelse). Samtidig må følgende forutsetninger være oppfylt: 1) egenskapen må kunne måles nøyaktig, 2) egenskapen må være arvelig, 3) arvelige sammenhenger med andre viktige egenskaper i avlsmålet må være kjent og ikke i sterk konflikt med disse.

Geno har to pågående prosjekter med mål å redusere klimagassutslipp fra storfe. I prosjektet «High-Tech fjøs» benyttes målingsutstyr (GreenFeed) for daglig utslipp av metan fra melkekyr. Tilsvarende metanmålinger utføres også på fenotypeteststasjonen på Øyer. Resultater fra prosjektet (sept. 2023) viser at GreenFeed er en robust og god teknologi for slike målinger. Foreløpige beregninger tilsier et potensiale for avlsarbeid. Arvegraden ble beregnet til 0,34. På teststasjonen til Geno for ungdokser viser resultater tilsvarende mulighet for å drive avl for reduserte metanutslipp på ungdyr.

Formålet med Genos andre prosjekt «Seleksjon for forbedret fôreffektivitet hos Norsk Rødt Fe (NRF)» er å vurdere mulighet for avlsarbeid for fôreffektivitet hos melkeku. Grovfôrkar med veieceller formåliger av daglig grovfôropptak og GF stasjoner er installert i fjøs med melkeku. Målinger av daglig melkeytelse, daglig fôropptak, grovfôr kvalitet, kuas vektutvikling og utslipp av metan i samtid på samme individ vil gi unike data om de biologiske koblingene mellom produksjon, fôreffektivitet og klimagassutslipp. Det foreligger (per aug. 2023) noen foreløpige resultater basert på ca. 550 NRF kyr. Analysene bekrefter at målemetodikken for daglig grovfôropptak er robust og pålitelig ved bruk på et stort antall dyr med gjentatte målinger.

De foreløpige resultatene fra begge prosjekter bekrefter at kriterium 1 og 2 er oppfylt. Det gjenstår at resultatene opprettholdes når mer data foreligger, og at genetiske sammenhenger mellom metanutslipp og andre viktige egenskaper ikke viser seg å være uønskede (kriterium nr 3).

Resultatene fra GENOs prosjekter illustrerer at det er en nær sammenheng mellom høyt produksjonsnivå (melkeytelse eller tilvekst på okser), daglig fôropptak og daglig metan utslipp fra vom. Fôreffektivitet, dvs. evne til å omsette opptatt fôr til produksjon og egne kroppsbehov ressurreffektivt, er en kompleks biologisk egenskap. Dette gjelder særlig drøvtyggere, som har et fordøyelsessystem styrt av et stort mangfold av mikroorganismer. Kyr med god fôrutnyttelse er kjennetegnet ved at de har et lavere fôrbehov enn forventet i forhold til andre kyr, sammenliknet ved samme melkeytelse.

Man kan da tenke seg at dette igjen vil gi utslag i reduserte daglige metan utslipp. Det er ikke enkelt å definere en målbar egenskap som kan identifisere individene med slike egenskaper i avlsarbeidet. Det gjenstår mye arbeid før det kan konkluderes endelig fra disse prosjektene.

NSG har anskaffet ti såkalte Portable Accumulation Chambers (mobile klimakamre) for å måle produksjon av enterisk metan (CH_4) fra sau og geit under norske forhold. Klimakammerne er bygget inn i skapet på en lastebil, som gir mulighet for å reise rundt til gårder i hele landet, selv på vinteren hvor gassmålinger ellers ikke ville fungert. Det har til nå blitt målt konsentrasjonen av O_2 , CO_2 og CH_4 på litt over 6000 NKS søyer gjennom SMARTER-prosjektet. De fleste søyene er i tillegg gentestet, som muliggjør genomisk seleksjon. Levendevekt og fôropptak er korreksjonsfaktorer inn i de genetiske analysene. Det er ikke mulig å måle individuelt fôropptak i felt, men gassmålingene for CH_4 og CO_2 utslipp er brukt som et mål for fôropptak (pseudo fôropptak), pga. høy sammenheng mellom fôropptak og CO_2 -utslipp. De estimerte arvegradene for metanutslipp per time korrigert for vekt og metanutslipp per time korrigert for pseudo fôropptak viser at det er mulig å avle for reduserte metanutslipp hos NKS. De genetiske sammenhengene mellom de to metanegenskapene egenskapene inkludert i dagens avlsmål er også undersøkt. Metanutslipp korrigert for vekt ser ut til å være ugunstig korrelert til morsevne for tilvekstegenskapene, mens metanutslipp korrigert for pseudo fôropptak hadde sammenhenger nær null til egenskapene i avlsmålet. Den siste egenskapen er dermed en aktuell egenskap å inkludere i avlsarbeidet.

Fôr er den viktigste variable kostnaden i svineproduksjon og fôrproduksjon er den viktigste kilden til klimagassutslipp. Fôreffektivitet har vært fokusert i avlsopplegget på svin lenge, men kan muligens videreutvikles til å inkludere utnyttelsen av spesifikke næringsstoffer, slik som nitrogen. Økt nitrogeneffektivitet kan potensielt har flere effekter relatert til klimagassutslipp: redusert behov for råprotein i fôret, økt norskandelen i fôret og lavere nitrogenutskillelse i gjødsel. Norsvin har beregnet arvegraden på nitrogenfordøyelse, samt undersøkt genetiske sammenhenger til andre viktige egenskaper i avlsmålet (fôrforbruk fra 40 til 120 kg, dager fra 40 til 120 kg, muskeldybde ved 100 kg og spekkdybde ved 100 kg), basert på data Duroc-råner som har stått på råneteststasjonen Delta. Arvegrader for fordøyelighet av nitrogen og råfett ble beregnet til hhv. 0,20 og 0,22. Dette er en middels høy arvegrad, som indikerer potensiale for å avle for høyere nitrogen- og fetteffektivitet. De genetiske korrelasjonene viste at råner med lavt fôropptak har høy utnyttelse av tørrstoff, organisk stoff, fett og nitrogen. I tillegg har råner med liten spekkdybde (dvs. magrere dyr), bedre utnyttelse av nitrogen. Den genetiske sammenhengen mellom fôrforbruk og nitrogeneffektivitet viste at dagens avlsarbeid for økt fôreffektivitet også bidrar til økt nitrogeneffektivitet.

Kapittel 6

Gårdsmodellen for norsk kombinert melk- og storfekjøttproduksjon (HolosNor) beskriver en typisk norsk melkeproduksjon med innefôring surfôr/kraftfôr. Modellen inkluderer oppdrett av ungdyr til påsett og slakt. Her vises resultater fra en studie av 30 norske bruk med melk/kjøtt produksjon spredt over hele landet, basert på data fra driftsgranskingene.

I HolosNor modellen fordeles klimagassutslippene på melk og slakt (allokering). Resultatene viste stor variasjon i totale klimagassutslipp mellom de 30 brukene, særlig fra metan, gjødselhåndtering og innkjøp av kraftfôr. Metanutslipp fra vom var den største enkeltkilden. Summen av metan og lystgass tap fra gjødsel og jord utgjorde nesten like mye. At disse kan være en større utslippskilde per kg produkt enn metan fra vom, illustrerer at riktig bruk av husdyr- og mineralgjødsel kan være viktig for å redusere utslipp på gårdsnivå. Resultatene viser også at det kan være mye å hente på å gjøre tiltak for å redusere klimagassutslipp fra storfekjøttproduksjonen.

HolosNor har også vært brukt for å se på klimaeffekter på tilgang på fôr, gårdsøkonomi og grovfôr kvalitet som ikke er presentert her. I en masteroppgave ble HolosNor benyttet for å studere variasjon i klimagassutslipp fra seks gårder med kombinert melk/kjøtt produksjon innenfor samme distrikt i Nordland. Gårdene var ulike i driftsopplegg og fjøssystemer, mens det naturgitte geografiske grunnlaget for drifta var likt. Resultatene viste at besetningsstørrelse og fjøssystemer har liten betydning for klimagassutslippene under ellers like naturgitte forhold. Melkeytelse per ku var ikke avgjørende for utslipp per kg melk fra disse gårdene. Det var andre faktorer som påvirket klimagassutslipp fra disse gårdene. Dette peker på at driftsstyring/management kan være det viktigste å fokusere under klimarådgiving på gårdsnivå.

Gårdsmodellen HolosNorBeef ble utviklet for å beregne nivå og variasjon i utslipp av klimagasser fra ammekuproduksjon under norske forhold. HolosNorBeef er utviklet basert på de samme prinsippene som HolosNor, og gir en beregning på gårdens netto klimagassutslipp.

De første resultatene fra beregninger med HolosNorBeef ble presentert i Kap. 5.2 i forrige rapport. Nye resultater fra analyser med denne gårdsmodellen foreligger. Modellen har blant annet vært benyttet til å beregne CO₂ utslipp per kg slakt på rundt 30 bruk med ammeku spredt over hele landet. Det var stor variasjon mellom gårdene i utslipp per kg slakt, men også i bidrag fra de ulike enkelkindene. Både gjødselbehandling og -lagring og bruk av energikilder er viktige fokusområder i tillegg til dyrene. Hver enkelt gård har sitt unike potensiale for å redusere utslipp. Geografisk beliggenhet og lokalt ressursgrunnlag påvirker mulighetsrommet for reduserte utslipp.

Gårdsmodellene kan også benyttes til å synliggjøre effekter av tiltak knyttet til driftsstyringen av dyra i besetningen. I årsmeldingene til Storfekjøttkontrollen (SFK) gjengis produksjonsresultater fra gruppert i kategorier «dårligste, midtre og beste» 1/3 av besetningene. HolosNorBeef ble brukt for å se på klimaeffekter av å forbedre tre økonomisk viktige egenskaper i ammekuproduksjonen; 1) kalvedødelighet, 2) ant. levende kalver per årsku og 3) slaktilvekst på ungdyr. I tillegg ble det også sett på klimaeffekten av å kombinere forbedringer for alle de tre egenskapene samlet. Egenskap 1) og 2) gir økt produktivitet per ku, mens 3) gir innsparinger i daglig metanutslipp. Økt produktivitet kan utnyttes på flere måter; 1) redusere ant. kyr/konstant slaktevolum, eller 2) beholde alle kyr/økt slaktevolum. I denne analysen ble alternativ 2) valgt. Resultatene viste at forbedringer i besetningen fra «dårligste» til «midtre» nivå reduserte utslippene i CO₂-ekv./kg slakt med omtrent 7 % i egenskap 1), 6 % for egenskap 2) og 6,5 % for egenskap 3), når de ble forbedret enkeltvis. Ved forbedring av alle tre egenskaper sammen ble samlede utslipp fra besetningen redusert med 18 %.

Disse resultatene var basert på reelle data fra norsk ammekuproduksjon. I praksis bør man kunne forvente at produksjonsresultatene kan forbedres fra «dårlig» til «midtre» nivå med forbedret produksjonsstyring. Optimalisering av dyreholdet på gårdsnivå kan altså bidra til å redusere klimagassutslipp av enterisk metan. Dette vil også synliggjøres i det nasjonale utslippsregnskapet.

Resultatene illustrerer betydningen klimarådgiving på gårdsnivå, og at dette kan bidra til betydelige reduksjoner i klimagassutslipp. For at rådgivingen skal fungere slik i praksis, må det må registreres gode individdata i besetningen over tid. Dette er en forutsetning for at bonden og klimarådgiveren sammen skal kunne identifisere forbedringspunkter i produksjonen.

HolosNorSheep er utviklet for å beregne klimagassutslipp fra norsk saueproduksjon, og klimagassutslipp fordeles per produserte enhet av slakt og ull. Modellen har blitt testet ut i en pilotstudie hvor det ble gjort beregninger på 38 sauebruk (data fra 2019-2021; 68 beregninger totalt) spredt ut over hele landet. Det var stor variasjon i viktige input parametere, både for produksjonsresultater og bruk av innsatsfaktorer. Gjennomsnittlig utslippsintensiteter per kg produsert slakt og ull var henholdsvis 20.4 ±4 og 22.2 ±6.7 kg CO₂-ekvivalenter per kg. Variasjonen per

kg slakt var fra 11 til 30 kg CO₂-ekv. HolosNorSheep har også blitt brukt til å beregne effekten av forbedret mordyreffektivitet hvor tre alternative scenarier ble sammenliknet med en baseline: 1) økt antall avvente lam per søye; 2) økt tilvekst hos lam og økte slaktevekter; 3) en kombinasjon av de to forannevnte tiltakene. Effekten av de to tiltakene var en reduksjon på mellom 4,4 og 4,7%, mens en kombinasjon av tiltakene reduserte utslippsintensitetene med over 9%. Økt reproduksjon per søye, tilvekst per lam og slaktevekter er dermed teoretisk effektive tiltak for å redusere klimagassutslipp i norsk saueproduksjon.

HolosNorPork modellen er i likhet med de øvrige HolosNor modellene dynamisk og inneholder de samme utslippskildene. Modellen har blitt benyttet til å beregne klimagassutslipp fra svineproduksjonen. Utslipp fra produksjon av fôr bidro mest til utslippene, (81 % av totale utslipp), fulgt av dyrerelaterte utslipp (15 % av totale utslipp). Estimerte utslipp fra andre kilder utgjorde 4 % av totale utslipp. Beregninger med modellen har estimert at utslipp fra svin utgjør 5 % av de årlige utslippene fra norsk jordbruk når produksjon av norske fôrråvarer er inkludert. Videre er det i likhet med i andre husdyrproduksjoner vist at det er stor forskjell mellom besetninger i utslipp. Her ble det beregnet en betydelig forskjell i utslipp per kg slakt (15 %) mellom den svakeste og sterkeste gruppen av svineprodusenter, samt at opplegging til SPF kan gi en klimagevinst i utslippsreduksjon på 11 - 15 % etter omleggingen.

Det er også utviklet HolosNor-modeller for fjørfe (HolosNorEgg og HolosNorChicken). Modell for kalkun (HolosNorTurkey) er under utvikling.

Kapittel 7

Det har blitt gjort betydelig forskning på tilsetningsstoffer siden 2018, både nasjonalt og internasjonalt. Fokuset i denne rapporten har vært på 3-NOP (Bovaer®), Agolin Ruminant, biokull og makroalger.

Agolin Ruminant (blanding av planteekstrakter fra urter og krydder som inneholder ulike essensielle oljer) har vært inkludert i Felleskjøpet sitt Formel Sortiment siden 2018. En litteratur gjennomgang fra 2020 viste at en tilvenningsperiode på 4 uker er nødvendig for å få betydelig effekt av Agolin, og at AR øker melkeytelsen (+3,6%), fett og proteinkorrigert melk (+4,1%) og fôreffektivitet (+4,4%). Langtidseffekten på metanproduksjon er også betydelig, både per dag (-9,9%), per kg tørrstoff (-12,9%) og per kg proteinkorrigert melk (-9,9%). En må imidlertid tolke resultatene på metanproduksjon med forsiktighet da estimatene er basert på relativt få studier. Effekten av Agolin Ruminant under norske forhold må også dokumenteres.

3-Nitrooxypropanol (3-NOP, markedsføres under merkenavnet Bovaer®) er et kjemisk stoff utviklet av det sveitsiske firmaet DSM Nutritional Products. 3-NOP har blitt testet ut på melkekyr, kjøttfe og sau og har gitt konsekvente reduksjoner i metanproduksjon i langtidsforsøk. 3-NOP fikk i november 2021 positiv vurdering av Den europeiske myndighet for næringsmiddeltrygghet (EFSA), hvor det ble vurdert som trygt for dyrehelse, folkehelse og miljø, og ble deretter godkjent til melkekyr og avlskyr i EU i 2022. Etter en høringsrunde i 2022 ble 3-NOP også godkjent i Norge. Effekten med 3-NOP reduseres med høyt innhold av grovfôr og fiber i rasjonen, noe som gjør at potensialet for utslippsreduksjoner sannsynligvis er noe lavere under norske forhold, og potensialet under norske forhold må undersøkes. Per nå er det ingen løsning for hvordan 3-NOP kan tildeles på beite, men den lange innefôringsperioden i Norge gjør at man likevel vil ha god effekt av 3-NOP.

Biokull fremstilles ved pyrolyse (oppvarming av biomassen ved høy temperatur med begrenset tilgang på oksygen). Denne prosessen hindrer at materialet brenner opp og gjør at innholdet av karbon er høyt, samt at det gjør det veldig motstandsdyktig mot biologisk nedbryting. I teorien kan biokull redusere metanproduksjon gjennom å absorbere hydrogen (elektronakseptor), og effekt på

metanproduksjon er vist i flere *in vitro* forsøk (på reagensglass). Tilsvarende effekt er imidlertid ikke funnet i dyreforsøk, også norske forsøk, og det er mest sannsynlig ingen effekt av biokull på metanproduksjon.

Makroalger har fått økt fokus som mulig metanhemmer etter funnet at den røde arten *Asparagopsis taxiformis* kan redusere produksjonen av enterisk metan. Det aktive stoffet i *Asparagopsis* er imidlertid bromoform, som er klassifisert som potensielt kreftfremkallende hos mennesker. Tildeling av *Asparagopsis* er forbundet med inkonsekvente resultater for helse og produksjon hos dyrene og funn av bromoform i produkter som kjøtt og melk. I Norge er effekten av rest-råstoff etter alginat produksjon fra stortare, samt fjørhinne testet i forsøk med sau. Resultatene med alginat viste en viss reduksjon av enterisk metan de første par månedene, men effekten avtok over tid, sannsynligvis på grunn av mikobenes evne til å tilpasse seg ulike dietter. Det ble ikke funnet noen effekt av fjørhinne på enterisk metanproduksjon hos sau.

Prosjektet MetanHUB skal teste metanhemmere under norske forhold, på melkekyr, ammeku, okser, kviger, melkegeit og sau, hvor det skal undersøkes effekt på metanutslipp, fôropptak, tilvekst, melkeproduksjon, fôreffektivitet, fruktbarhet, dyrehelse og ernæringsmessig kvalitet av melk og kjøtt. Det er foreløpig en utfordring at tilsetningsstoffer ikke uten videre kan inkluderes i det nasjonale utslippsregnskapet. Det vil si at effekten må dokumenteres under norske forhold, som er en viktig leveranse fra MetanHub-prosjektet

Kapittel 8

Grovfôr kvalitet er relevant for metanproduksjon fra drøvtyggere. *In-vitro* forsøk har vist at metanproduksjon har høy sammenheng med innhold av NDF (neutral detergent fiber; fiberfraksjonen i surfôret), vannløselig karbohydrater (sukkerforbindelser i surfôret, WSC) og ufordøyelig NDF, iNDF). Surfôr med høyt innhold av WSC ga høy CH₄-produksjon, mens surfôr med høyt innhold av NDF og iNDF resulterte i lavere CH₄-produksjon. Økt grovfôr kvalitet, for eksempel ved å høste tidligere (lavere innhold av NDF og iNDF) eller endring av botanisk sammensetning (bruk av arter med høyere innhold av sukkerforbindelser, for eksempel raigras) vil dermed sannsynligvis resultere i høyere metanproduksjon enn seint høstet grovfôr, med høyt innhold av NDF. Videre er det funnet høyere CH₄ produksjon var treslåttsystem grunnet lavere innhold av NDF og iNDF, sammenliknet med et toslåttsystem. Raigras har også blitt funnet å ha høyere CH₄ produksjon sammenliknet med Timotei, sannsynligvis relatert til ulikt NDF-innhold. En kan imidlertid ikke kun basere valget av grovfôr kvalitet på hva som gir lav metanproduksjon i *in vitro* studier. Det må også gjennomføres fôringsforsøk hvor det registreres produksjonsresultater og fôropptak, i tillegg til metanmålinger. Det er sannsynlig at surfôr som gir lav CH₄-produksjon (lavt innhold av WSC og høyt innhold av NDF og iNDF) vil gi lavere fôropptak og lavere produksjonsresultater i melk og kjøttproduksjon under praktiske forhold, og dermed økte utslippsintensiteter (CH₄-produksjon per kg melk eller kg tilvekst).

Søyer som ble tilbudt fritilgang av surfôr av to kvaliteter (veldig tidlig høstet og gjennomsnittlig høstet) hadde høyere fôropptak og dermed høyere metanproduksjon for det veldig tidlig høstede surfôret. Når det ble korrigert for fôropptak var metanproduksjon lavere for det veldig tidlig høstede surfôret.

Før en konkluderer angående grovfôr kvalitet må nettoeffekten på de totale klimagassutslippene på gårdsnivå undersøkes, herunder effekten på avlingsmengde, karbonbalanse i jord, bruk av mineralgjødsel og drivstoff og produksjonsresultater, samt effekt på økonomi. HolosNor-modellen har blitt brukt til å sammenlikne slåttsystem (to vs. tre slåtter), botanisk sammensetning, (høyt og lavt innslag av kløver), agronomi (økt avling med samme N-gjødsling) og ytelsesnivået per ku på klimagassutslipp, både per kg produkt og totalt, arealbehov til eng og korn og forbruk av mineralgjødsel.

Det kan være grunn til å tro at drøvtyggere har lavere metanproduksjon på beite sammenliknet med innefôring med surfôr, men det trengs mer kunnskap. Det har blitt utført to forprosjekter både på melkeku og ammeku for å lage protokoller for å måle metanproduksjon på beite med GreenFeed. Effekten av beiting på metanproduksjon skal undersøkes nærmere i prosjektet MethanePasture. Forsøk med sau har vist at metanproduksjonen øker med nedadgående beitekvalitet (økt utviklingstrinn).

1. Innledning

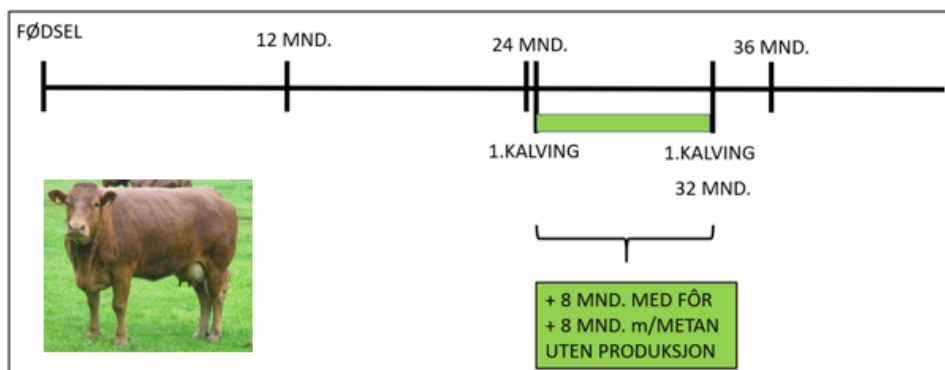
1.1. Utslippene fra dyra- hva påvirker?

Metan (CH_4) fra vomfordøyelsen hos drøvtyggere er den største kilden til utslipp fra norsk jordbruk slik det beregnes i Norges nasjonale utslippsregnskap (NIR). Selv om nyere forskning har synliggjort at metan fra drøvtyggere ikke bidrar vesentlig til global oppvarming så lenge antallet mordyr holdes konstant, tilsier krav fra FNs klimapanel IPCC til beregninger av utslipp i de nasjonale utslippsregnskapene at faktoren GWP100 (globalt oppvarmingspotensial av metan i et hundreårsperspektiv) skal benyttes. Ettersom en del tiltak på gårdsnivå for å redusere metan vil kunne synliggjøres i det nasjonale utslippsregnskapet, er det uansett fornuftig for jordbruket som næring å ha fokus på metanutslipp på hvert enkelt bruk. I mange tilfeller vil det også bli en økonomisk gevinst av å optimalisere husdyrproduksjonen på gården.

Utslippene per kg produkt av melk eller kjøtt bestemmes av dyras produktivitet. Prinsippet er: «Jo lenger dyret lever uten å produsere noe, desto mer utslipp totalt og per enhet produkt fra dyret». En suboptimal produksjon kan være knyttet til sykdom, tap av/lavt antall avkom, lav tilvekst, lav melkeproduksjon, dårlig fôr kvalitet eller mangelfull fôring, høy alder før dyret settes inn i produksjonen, eller generelt dårlig dyrevelferd. Årsakene til lav produktivitet er sammensatte og har særlig med produksjonsstyring å gjøre (fôring, stell, husdyrmiljø osv.), men husdyrgenetikk spiller også en viktig rolle.

Det grunnleggende prinsippet for å redusere klimagassutslipp fra husdyr gjennom avlsarbeid eller forbedringer i produksjonsstyring (management) er at dyret skal produsere optimalt gjennom livsløpet. Med begrepet «optimalt» menes at dyrets kapasitet for produksjon skal tilpasses slik at gode livsbetingelser og god dyrevelferd sikres. Når dette er ivaretatt oppnår man lavest mulig utslipp fra dyret. Høyt produksjonspress for maksimal ytelse øker risikoen for det motsatte. Jo flere uproduktive dager dyret har, og jo lavere produktivitet per levedag, desto høyere klimagassutslipp pr kg produkt (utslippsintensitet). Dette fordi dyret produserer metan fra fordøyelsen selv om produksjonen er lav eller fraværende. Eksempler på suboptimal produksjon som fører til økte utslipp (forsinket produksjonsstart på mordyr og høy slaktealder) er vist i Figur 1.1 og 1.2.

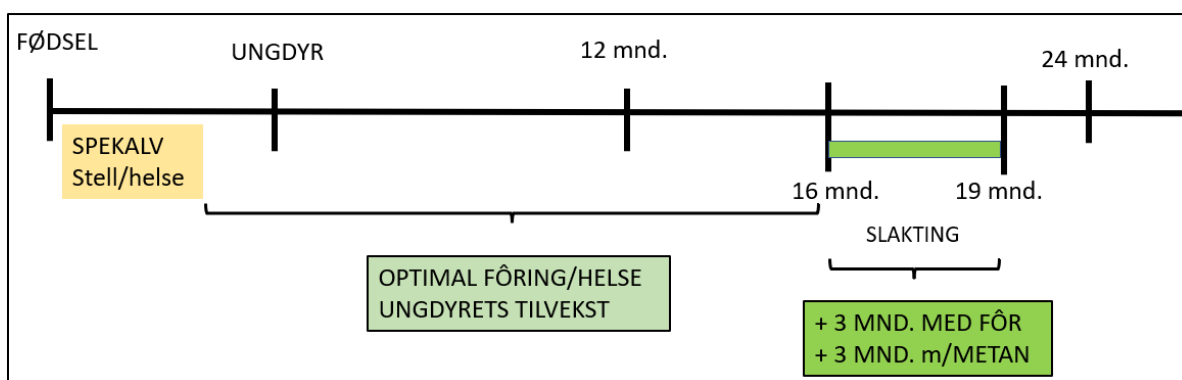
Tall fra Kukontrollen (TINE, 2022) viser at melkekyr får sin første kalv ved drøyt 2 års alder (25,6 mnd). Optimal «innkalvingsalder» er særlig viktig for økonomien i melkeproduksjonen, og er i stor grad bestemt av et godt oppdrett med tilpasset fôrstyrke, som gjør kvigene fysiologisk godt rustet til å gjennomgå en kalving. Når det gjelder ammekyr viser data fra Storfekjøttkontrollen (Animalia, 2022b) at alderen på kviger kan bli opp mot 3 år eller mer ved første kalving (Figur 1.1.)



Figur 1.1. Forsinket innkalvingsalder som følge av suboptimalt oppdrett av kviger vil føre til økte daglige utslipp av metan og økt fôrfôrbruk uten utbytte i produksjon.

Figur 1.1 illustrerer hvordan forsinket innkalvingsalder som følge av suboptimalt oppdrett bidrar til økte utslipp. Betydningen av et godt oppdrett, enten det gjelder kviger til påsett eller dyr til slakteproduksjon, er også avgjørende for å sikre både god økonomi og lavere utslipp fra produksjonen. Dette påvirker både innkalvingsalder på kviger og slaktealder og -vekt på okser.

Tidslinja i Figur 1.2. illustrerer sammenhengen mellom de ulike fasene i produksjonen som er generell for begge storfeproduksjoner. Godt stell og god helse for å unngå tap av kalv er grunnlaget for videre produksjon enten det gjelder kviger til påsett eller okser til slakteproduksjon. Mens kalveperioden legger grunnlaget, er utviklingen videre like viktig. Ungdyrets vekstkapasitet er da på sitt høyeste, og det er mye å hente på å følge opp med godt grovfôr og/eller beiter. Tall fra husdyrkontrollene viser at slaktetidspunkt for okser kan strekke seg mot 18-19 mnd. eller mer, noe som i mange tilfeller kunne vært unngått med bedre tilpasset fôring. En unødvendig forlengelse av oppdrettet på grunn av for svak fôring gir både ekstra fôrforbruk og dager med utslipp av metan, som bidrar til høyere utslipp pr. kg slakt fra dyret.



Figur 1.2. Viktige faktorer for å unngå økte utslipp fra slakteproduksjon er å unngå kalvetap, sikre god kalvehelse, ungdyrhelse og optimal fôring gjennom hele vekstperioden fram til slakting.

2. Metodikk for beregning av utslipp av klimagasser

Hensikten med dette kapitlet er å gi en samlet oversikt av likheter og forskjeller mellom de ulike metodene som benyttes for å beregne klimagassutslipp fra matproduksjon, dvs. LCA-modeller, gårdsmodeller og nasjonalt utslippsregnskap, samt de ulike utslippsvektfaktorene som benyttes for å sammenlikne utslipp av ulike klimagasser.

2.1. Modeller for beregning av klimagassutslipp

2.1.1 LCA analyser

LCA (Life Cycle Assessment, livsløpsanalyse) er en ISO standardisert, vitenskapelig metode med formål å beregne ulike former for miljøeffekter fra menneskelig virksomhet. Flere miljøfaktorer kan inngå i analysene, ikke bare for produksjonsprosessen innenfor virksomheten, men også fra råvareproduksjon av innsatsfaktorer både innenlands og fra land disse varene importeres fra. LCA kan benyttes i alle økonomiske sektorer, og det er utviklet LCA software (f.eks. SimaPro) som forenkler analysearbeidet.

LCA ble opprinnelig utviklet for bruk i industriproduksjon, men bestilles nå i økende omfang av blant annet matvareindustri eller -kjeder for å beregne miljøfotavtrykket til matvarer. Dette skaper utfordringer, ettersom biologiske varer som mat produseres under stor variasjon i naturgitte betingelser innen både land og mellom geografiske regioner på kloden. Dette til stor forskjell fra fabrikkproduserte varer som f.eks. tannbørster eller biler.

Utgangspunktet for LCA analyser av råvarer av mat tar oftest utgangspunkt i gårdsbruk med valgt produksjonsform (f.eks. korn, tomater, svin- eller storfekjøtt). Alle forutsetninger (input-data) for å beskrive gården hentes fra ulike databaser (f.eks. SSB eller husdyrkontroller). Utslippsfaktorer for innsatsmidler i produksjonen hentes fra LCA-databaser (f.eks. Ecoinvent). Med en innledende analyse av utslippene på gården av nitrogen, fosfor og CO₂, samt ressursbruk av fossil energi og arealbruk, kan man gå videre til å beregne miljøbelastning fra produksjonen. Dette kan omfatte klimagassutslipp (CO₂, N₂O, CH₄), forurening (NH₃, SO₂), eutrofiering (NO₃, PO₄), økotoksisitet (plantevernmidler), biodiversitet, arealbruk og energiforbruk.

Det er flere utfordringer knyttet til bruk av LCA analyser for produksjon av matvarer. Ikke minst gjelder dette valg av forutsetninger for produksjonen man vil gjøre beregninger for. Å fastsette korrekte nivåer for f.eks. ytelsesnivået til husdyrene, forbruk av mineralgjødsel, husdyrgjødsel, diesel/energiforbruk og arealbehov knyttet til omfanget av en bestemt husdyrproduksjon krever bred agronomisk kunnskap for å få et realistisk resultat. Valg av systemgrenser vil også påvirke sluttresultatet av analysen. Skal man inkludere miljøfotavtrykk knyttet til matvareindustri, transport, og matsvinn i butikk/hos forbruker, eller kun ta med det bonden selv rår over på gården? Valgmulighetene rundt systemgrensene gir opphav til stor variasjon i resultater fra analysene.

De fleste resultater som offentliggjøres fra LCA analyser av matvarer fokuserer på utslipp av klimagasser i CO₂-ekvivalenter/kg matvare. En bred sammenstilling av totalt 370 LCA studier (Clune et al., 2017), illustrerer hvor stor variasjonen kan bli i analyseresultatene. En stor andel av artiklene var basert på matproduksjon i Vest-Europa (inkl. Norge), og omfattet om lag 170 ulike matvarer. Matproduksjonen i Vest-Europa er på mange måter lik med hensyn på produksjonsformer og -effektivitet. Likevel var det betydelig variasjon i resultatene. For husdyrprodukter (i EU; per kg beinfritt kjøtt) gjaldt det spesielt utslipp fra lammekjøtt (14-56 kg CO₂-ekv./kg), men også fra storfekjøtt (10-40 kg CO₂-ekv./kg) og kylling (1-10 kg CO₂-ekv./kg).

Vitenskapelig basert kritikk har vært rettet mot det økende omfanget av LCA analyser av matvarer, særlig ensidighet i faglig fokus og mangel på positive bærekraftsaspekter rundt jordbruksproduksjon. van der Werf et al. (2020) konkluderte at LCA-analyser ved å benytte et produksjonsbasert mål

(fotavtrykk/kg produkt) favoriserer intensiv matproduksjon, og som i tillegg mangler kvalitet/næringsverdi av matvaren. De fleste LCA studier utelukker positive miljøeffekter, som f.eks. økt biodiversitet, lite plantevernmidler og bedre jordkvalitet i en del produksjonsformer. En gjennomgang av rundt 200 artikler (Jones et al., 2016; Ridoutt et al., 2017) viste at over 90 % av studiene beregnet klimagassutslipp fra mat, mens bare et fåtall så på andre miljøeffekter. Ofte blir matvarer definert som bærekraftige kun basert på CO₂-ekv./kg produkt, eller det defineres «bærekraftige kosthold» med store ernæringsmessige mangler.

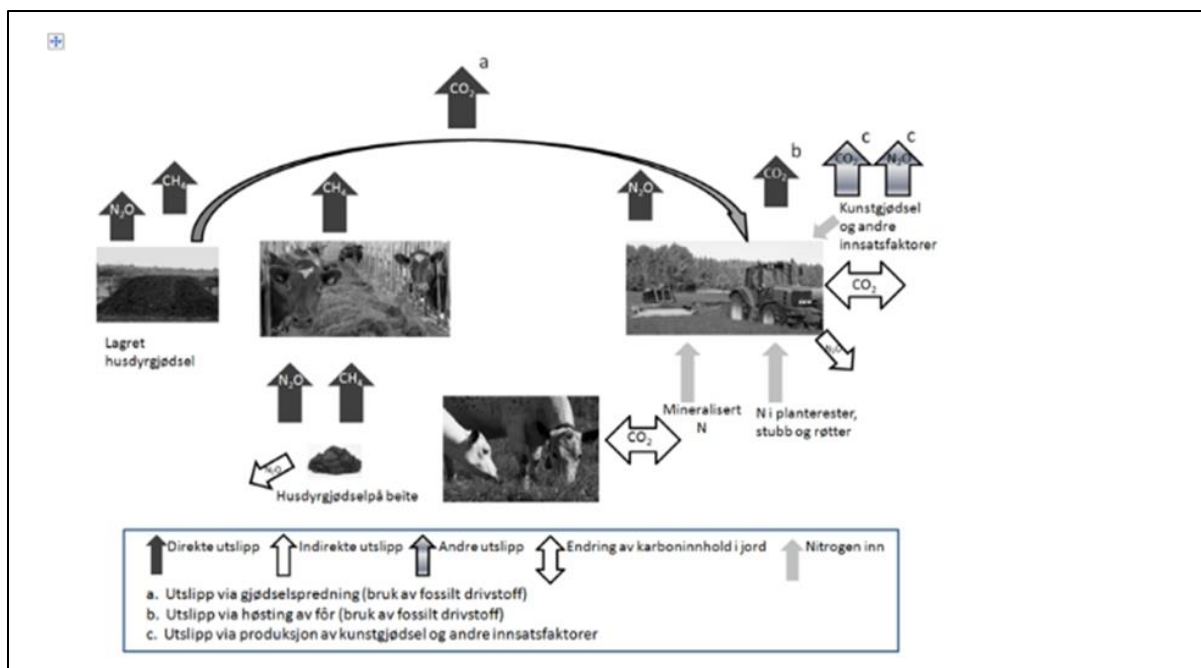
For matvareindustrien kan LCA-analyser være nyttige for å kartlegge omfang av miljøpåvirkning knyttet til egen produksjon, og identifisere punkter i produksjonslinja der det er viktig å endre rutiner og systemer for å redusere uheldige effekter på miljøet. Dette kan f.eks. dreie seg om løsninger for vann/avløp, avfallshåndtering og energiforbruk. På samme måte som for gårdsbruk, kan det være store ulikheter i produksjonsbetingelser mellom aktører i denne industrisektoren.

Både i media og i produktmerking kan man finne en rekke eksempler på at resultater fra LCA analyser blir benyttet i sammenhenger der forbrukere skal gis råd om valg av «bærekraftige» matvarer. Valget framstilles oftest enkelt; å velge matvarer som har lavest utslipp av klimagasser, dette uten at f.eks. næringsinnhold hensyntas. I realiteten er det nærmest umulig for en forbruker å velge matvarer basert på denne type klimaberegninger. Produktmerking av matvarer framstiller tall for klimafotavtrykk som «sannhet». Forbrukeren har ikke tilgang til informasjon om forutsetningene i beregningene, noe som gjør det nærmest umulig å ta kvalifiserte valg. Dersom denne type produktmerking får stort omfang, kan det få konsekvenser for vår matsikkerhet og selvforsyningsevne.

2.1.2 Gårdsmodeller

De totale klimagassutslippene fra jordbruket stammer fra summen av enkeltgårder og de tilpasninger som gjøres på gårdsnivå. Beregninger av klimagassutslipp og effekt av tiltak for reduserte klimagassutslipp må derfor beregnes med modeller som kan beregne klimagassutslipp på gårdsnivå, med variasjon i naturgrunnlag, bruk av innsatsfaktorer og produksjonsresultater i husdyr- og planteproduksjonen. Modellene må i tillegg være dynamiske, dvs. i stand til å gjøre en helhetlig analyse hvor avhengighetsforhold mellom enkelttiltak på klimagassutslipp hensyntas, slik at tiltak for å redusere utslipp i en del av produksjonen ikke fører til økte utslipp i andre deler (Bonesmo og Harstad, 2013). Gårdsmodeller er godt egnet til å hensynta slike sammenhenger (Schils et al., 2005). Det er publisert mange gårdsmodeller vitenskapelig, tilpasset ulike husdyrproduksjoner, produksjonssystemer og nasjonale forhold (Crosson et al. 2011; Hutchings & Kristensen, 2015).

HolosNor-modellene er gårdsmodeller utviklet for å beregne netto klimagassutslipp på gårdsnivå under norske forhold og har en holistisk tilnærming. Det vil si at det beregnes indirekte (utenfor gården) og direkte klimagassutslipp fra alle de viktigste kildene til klimagassutslipp på en gård (Figur 2.1).



Figur 2.1. Kilder for utslipp av klimagasser fra jordbruket (forenklet prinsippsskisse etter Bonesmo & Harstad, 2013)

HolosNor-modellene har årlig tidssteg og systemgrense fra «vugge til gårdsgrind». Det vil si det inkluderes klimagassutslipp fra bruk av innsatsfaktorer brukt på gården (for eksempel mineralgjødsel og drivstoff) men ikke klimagassutslipp etter at slaktedyr eller leverte produkter forlater gården. Dette gjelder for eksempel CO_2 utslipp fra transport fra gården, slakt og videreforedling av melk og kjøtt (som oftest inkludert i LCA-analyser). Gårdsmodellene er basert på metodikk fra FN's klimapanel (IPCC, 2006; 2019), med tilpasninger til norske forhold. Alle HolosNor-modellene inkluderer de direkte og indirekte utslippene av klimagassene karbondioksid (CO_2), metan (CH_4) og lystgass (N_2O) fra vomgjæring/fordøyelse, lagring og bruk av husdyrgjødsel og forbruk av innkjøpt energi, fôr og mineralgjødsel. I tillegg beregnes endring av karboninnhold i jord (nettotap eller lagring av karbon). Karbonbalansen i jord blir beregnet basert på The Introductory Carbon Balance Model (ICBM, Andréon et al., 2004). Detaljert beskrivelse av prinsippene for beregning av de ulike utslippskildene kan eksempelvis leses i Konstad (2020), og beskrives ikke nærmere her.

Modellene er komplekse, og baserer seg på detaljerte forutsetninger om areal, jordsmonn, klima, forbruk av egne og innkjøpte driftsmidler (for eksempel kunstgjødsel, kraftfôr, strøm og plantevernmidler) og produksjonsresultater i både plante- og husdyrproduksjonen. Når klimagassutslippene er beregnet på gårdsnivå blir de fordelt i forhold til produsert mengde produkt, såkalte utslippsintensiteter (kg CO_2 -ekvivalenter per kg produsert enhet). I de tilfeller hvor det produseres flere produkter på gården (for eksempel slakt og melk) vil utslippene fordeles ved å bruke en allokeringfaktor (fordelingsnøkkel). Alle HolosNor-modellene er programmert i Microsoft Excel. Det finnes per d.d. HolosNor-modeller for kombinert melk- og kjøttproduksjon (HolosNor), ammekuproduksjon (HolosNorBeef), svineproduksjon (HolosNorPork), saueproduksjon (HolosNorSheep) og fjørfe (HolosNorEggs og HolosNorChicken).

HolosNor modellene er basis for Klimakalkulatoren for kombinert melk og slakt, ammeku, sau, svin, fjørfe og planteproduksjon (<https://klimasmartlandbruk.no/klimakalkulatoren/>).

En kort oppsummering av de ulike HolosNor-modellene og resultater fra beregninger med modellene (inkl. tiltak for klimagassreduksjoner) siden 2018 er gitt i kapittel 6.

2.1.2.1. Pågående videreutvikling av gårdsmodellene

Det har skjedd en kontinuerlig videreutvikling av gårdsmodellene i takt med behovet (inkl. modeller for nye produksjoner) siden 2018. På nåværende tidspunkt foregår det videreutvikling av modulen for beregning av karbonlagre og -balanse i jord i forskningsprosjekt ved NMBU (SUSCOW/NFR 320699/E50; FFL/JA, 2021-2025). Prosjektet kartlegger karbonlagre og karbondynamikk på utvalgte lokaliteter av norske utmarksbeiter/permanente beiter. Data fra denne delen skal etter planen benyttes til å kalibrere og oppdatere delmodellen for jordkarbon (ICBM-modellen) som inngår i gårdsmodellene HolosNor, HolosNorBeef og HolosNorSheep for hhv. melk/kjøtt-, ammeku og saueproduksjon. Per nå er denne modulen ikke tilpasset beregninger av karbonbalanse i disse arealtypene, og gir i mange tilfeller upresise estimater for lagring/tap av jordkarbon. Per nå er dette en av de viktigste svakhetene i HolosNor-modellene. Oppdaterte modeller vil gjøres tilgjengelig for implementering i Klimakalkulatoren via Klimasmart Landbruk. Videre i SUSCOW-prosjektet arbeides det med å inkludere klimaeffekter av varierende helseparametere i HolosNor og HolosNorBeef storfemodellene, med mål å synliggjøre betydningen av god dyrehelse for utslipp av klimagasser.

2.1.3 Nasjonalt utslippsregnskap

Det nasjonale utslippsregnskapet (National Inventory Report, NIR; Miljødirektoratet, 2023) beregnes årlig i henhold til retningslinjene utarbeidet av IPCC (2006, 2019). Disse retningslinjene definerer hvilke klimagasser og kilder som skal inkluderes og hvordan man skal gå frem metodisk i beregningene. Utslippsregnskapet er et sektorregnskap, hvor jordbruk er en av sektorene. For jordbrukssektoren beregnes metan (metan fra husdyras fordøyelse og husdyrgjødsel), lystgass (fra husdyrgjødsel, mineralgjødsel og dyrket mark) og CO₂ (fra kalking, halmbrenning og urea). Noen av jordbrukets utslipp rapporteres i andre sektorer. Eksempelvis rapporteres CO₂ og metan fra drenert organisk jord, utslipp fra nydyrking og karbonlagring i dyrka mineraljord i arealbrukssektoren, mens utslipp av CO₂ fra fossil forbrenning til oppvarming i jordbruket og diesel til landbruksmaskiner rapporteres i energibrukssektoren.

Generelt beregnes klimagassutslipp med å ta aktivitetsdata multiplisert med en utslippsfaktor. Aktivitetsdata kan for eksempel være antall dyr, mens utslippsfaktoren er utslippet av metan per dyr og år (kg CH₄/år). Utslippsfaktorene kan være på forskjellig detaljnivå, fra standardfaktorer gitt av FNs klimapanel (såkalt Tier 1) eller nasjonale estimat basert på metodikken i retningslinjene til IPCC (Tier 2). Tier 3 er den mest detaljerte, og er basert på egne nasjonale beregningsmetoder. Tier 1 kan kun brukes for mindre viktige utslippskilder, mens Tier 2 eller Tier 3 må brukes for nøkkelkategorier (viktige utslippskilder). I det nasjonale utslippsregnskapet brukes eksempelvis Tier 2 for enterisk metan for storfe og sau. Tier 2 utslippsfaktorene beregnes ut fra gjennomsnittlige produksjonsresultater (for eksempel melkeytelse for melkekyr og slaktealder og slaktevekt for ungdyr til slakt).

Det nasjonale utslippsregnskapet skiller seg f.eks. fra gårdsmodellene ved at de ikke inkluderer alle kilder til klimagassutslipp på en gård (bruk av diesel som rapporteres i energisektoren), ekskluderer utslipp fra produksjon og bruk av innsatsfaktorer (drivstoff og elektrisitet), samt tar ikke hensyn til bruk av importerte fôrråvarer.

For at klimatiltak skal fanges opp i det nasjonale utslippsregnskapet må det enten være på grunn av endringer i aktivitetsdata (f.eks. antall dyr) eller i utslippsfaktoren (f.eks. endring i gjennomsnittlig produksjonsnivå, eller endring i spredemetode for husdyrgjødsel).

2.2 Utslippsvektfaktorer

De ulike klimagassene har ulik levetid og oppvarmende effekt i atmosfæren. For å kunne sammenlikne utslipp, regnes utslipp av ulike klimagasser derfor om til CO₂-ekvivalenter ved å bruke såkalte utslippsvektfaktorer. Utslippsvektfaktorene er et uttrykk for hvor sterk oppvarmingseffekt de ulike klimagassene har relativt til CO₂ (CO₂ settes derfor alltid til 1).

2.2.1 GWP

Global Warming Potential (GWP) ble lansert i den første hovedrapporten til IPCC fra 1990. GWP er basert på beregning av akkumulert strålingspådriv over en valgt tidsperiode (20, 100 og 500 år) av et puls-utslipp av en klimagass. GWP-verdien til en gitt klimagass (her relevant for metan og lystgass) er sett i forhold til tilsvarende effekt av et like stort utslipp av CO₂. Strålingspådriv er et mål på hvordan jordas energibalanse endres (balansen mellom stråling inn og ut fra jordoverflaten). Positivt strålingspådriv indikerer at det fører til global oppvarming over tid. Økt utslipp av klimagasser har positivt strålingspådriv (snl.no). GWP med en tidshorisont på 100 år (GWP₁₀₀) ble vedtatt brukt i Kyotoprotokollen for å beregne klimagassutslipp i de nasjonale utslippsregnskapene. En revidering av GWP verdiene gjøres jevnlig i forbindelse med publisering av hovedrapportene til IPCC og hvilke GWP verdier som skal brukes i utslippsregnskapet.

2.2.2 GTP

Global Temperature change Potential (GTP) ble introdusert i 2005 som et alternativ til GWP, og tar utgangspunkt i global temperaturendring og er et mål på hvor mye den globale temperaturen endrer seg i et gitt år som følge av et utslipp av metan og lystgass, sammenliknet med et like stort utslipp av CO₂. GTP skiller seg fra GWP ved at GTP kun ser på et tidspunkt, mens GWP ser på endring over hele tidsperioden man er interessert i (for eksempel 100 år) (Fuglestvedt, 2016; Aamaas og Berntsen, 2019).

2.2.3 Sammenlikning av GWP of GTP

Tabell 2.1 oppsummerer GWP og GTP-verdier fra de ulike hovedrapportene (AR4, AR5 og AR6) fra IPCC.

I juni 2023 ble gjeldende faktor i det nasjonale utslippsregnskapet endret fra 25 (AR4) til 28 kg CO₂-ekv. for utslipp av 1 kg metan, mens tallene for lystgass ble endret fra 298 til 265. Disse GWP-verdiene er fra femte hovedrapport (AR5). Det har senere kommet oppdaterte GWP-verdier i sjette hovedrapport (AR6) som vil tas i bruk på et senere tidspunkt (Tabell 2.1, se neste side).

Tabell 2.1. GWP og GTP verdier i ulike tidsperspektiv fra fjerde, femte, sjette hovedrapportene til IPCC.

	Global Warming Potential (GWP)		Global Temperature Change Potential (GTP)	
	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
CO ₂	1	1	1	1
Fjerde hovedrapport				
CH ₄	72	25	57	12
N ₂ O	289	298	303	322
Femte hovedrapport				
CH ₄	84	28	67	4,3
N ₂ O	264	265	277	234
Sjette hovedrapport				
CH ₄	79,7	27	10,4	4,7
N ₂ O	273	273	290	233

2.2.4 GWP*

En svakhet som påpekes ved GWP er at den ikke tar hensyn til metans korte levetid (ca 12,4 år) i atmosfæren. Klimaeffekten til metan er dermed avhengig av om utslippet av metan er konstant, øker eller reduseres. Det vil noe forenklet si at om metanutslippet holdes konstant, vil ikke dette gi økt metankonsentrasjon i atmosfæren, og dermed ikke bidra til ytterligere oppvarming, på grunn av at like mye metan brytes ned som det tilføres. Større reduksjoner i metanutslippet vil føre til en kraftig kjøleende effekt. Motsatt vil økte metanutslipp føre til en varmende effekt.

Med bakgrunn i dette har det derfor blitt utviklet en ny metode, GWP*, som er en videreutvikling av GWP₁₀₀. Prinsippet i metodikken er at GWP₁₀₀ fortsatt brukes for CO₂ og lystgass (som begge har lang levetid i atmosfæren), mens det for metan er lagd en formel som tar hensyn til endringen i metanutslippet. En utprøving av GWP* på utslippstall fra norsk jordbruk i ulike tidsperspektiv ble gjort av Agri Analyse (2019). Resultatene viste tydelig hvordan GWP₁₀₀ overestimerer oppvarmingseffekten av metanutslippene. Det betyr imidlertid ikke at metanutslippene fra jordbruket ikke har bidratt til ytterligere oppvarming.

Med beregninger basert på GWP* ble oppvarmingsbidraget til metan beregnet til 18 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i perioden 1990 til 2018, mens den med GWP₁₀₀ ble beregnet til 86 mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Til sammenlikning ble oppvarmingsbidraget for lystgass beregnet til 45 millioner CO₂-ekvivalenter. Dette vil med andre ord si at lystgass fra norsk jordbruk er en viktigere kilde til global oppvarming enn metan.

GWP* metoden har blitt kritisert fordi historiske metanutslipp vil ha stor betydning for beregningene, og kan få store konsekvenser for land som historisk sett har lave metanutslipp, slik som utviklingsland (Aamaas og Berntsen, 2019). Dette fordi en økning i metanutslippene fra disse landene vil gi en beregnet sterk økning i det ytterligere oppvarmingsbidraget fra metan, mens land som historisk har hatt høye utslipp kan opprettholde sine metanutslipp uten at det slår negativt ut. Det argumenteres derfor for at GWP* kun burde brukes på global basis (Rogej og Schleussner, 2019).

3. Utviklingen i husdyrproduksjon, utslipp av klimagasser og befolkningsvekst 1990-2023

Fra 2023 skal det rapporteres på utslippsregnskap for jordbruket i henhold til Klimaavtalen mellom jordbruket og staten, gjeldende for utslippsårene 2021-2030.

I henhold til Parisavtalen skal årlige utslipp fra hvert land regnes i forhold til utslippene i 1990, som også er startåret for beregningene i det nasjonale utslippsregnskapet. I perioden fra 1990 og fram til nå har det foregått store endringer i jordbruket, både strukturelt og når det gjelder effektivitetsutvikling i produksjonene. Samtidig har det skjedd store endringer i både forbruksmønster, folketall og etnisk sammensetning av befolkningen. Alt dette har hatt både direkte og indirekte effekter på klimagassutslipp fra jordbruket i perioden, men det har også hatt effekter på utviklingen i Norges selvforsyningssevne og matsikkerhet. Det kan derfor være nyttig å ta et overblikk over utviklingen i norsk husdyrproduksjon og utslipp av klimagasser fra jordbruket i perioden 1990-2023, sett i sammenheng med den kraftige økningen i folketall i samme periode.

3.1 Utvikling i husdyrproduksjonene -dyretall og produksjon

3.1.1 Antall drøvtyggere

Det har skjedd store endringer i drøvtyggerproduksjonene siden 1990. Antall melkekyr er redusert med 40 % (ned 137 000 kyr). Samtidig har ammekuproduksjonen vært i sterk økning, fra drøyt 8000 kyr til nærmere 110 000 kyr i 2023. Sett under ett har dette gitt en netto reduksjon på rundt 10 % i antall mordyr (SSB, 2023a, Fig. 3.1). Antall ungdyr (kalver, kviger, ungoxer) er redusert tilsvarende med rundt 12 % (77 000 dyr) i samme tidsrom, og har vært relativt stabilt siden 2018. Endringene i antall melkekyr og ammekyr de siste fem årene (2018-2023) har fulgt den langsiktige trenden siden 1990 med noe variasjon mellom år, i hovedsak som følge av pandemien. Antall ammekyr har imidlertid økt betydelig (20 %) i perioden 2018-2023.

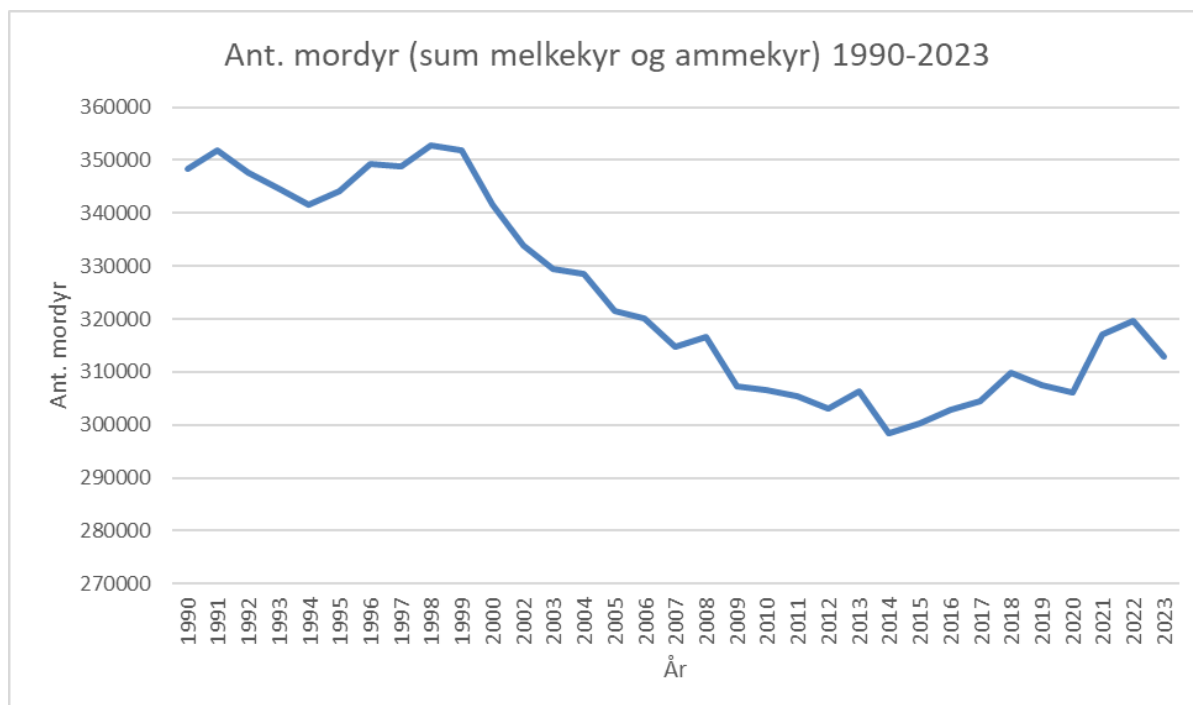


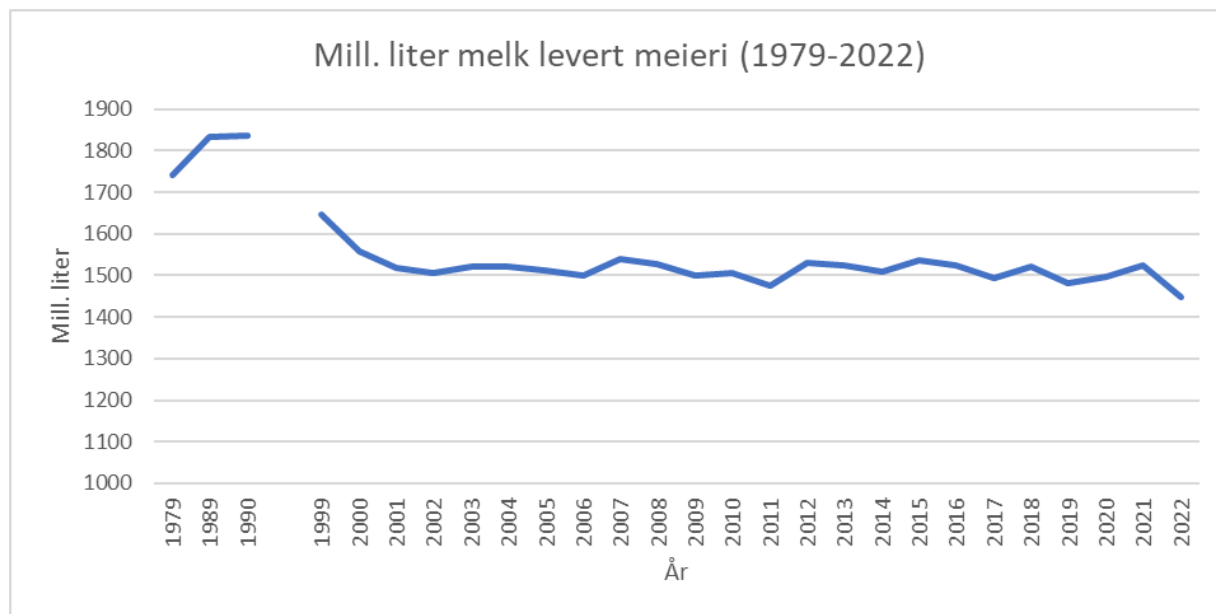
Fig 3.1. Utvikling i antall mordyr (melkekyr og ammekyr) i perioden 1990-2023 (SSB, 2023a).

Utviklingen i antall vinterfôra søyer har gått litt opp og ned i perioden. Trenden er en generell nedgang på 11 % fra en topp i antall mordyr i 2002 på 1,14 mill. søyer til det hittil laveste nivået søyer (915 000) per 1. jan. 2023. En stor andel av nedgangen har skjedd siden 2018. Antall melkegeiter har gått jamt

og trutt nedover fra 66 000 morder i 1990, men har de siste årene stabilisert seg på rundt 35 000 dyr, altså en halvering.

3.1.2 Produksjon av melk

Utviklingen i melkeproduksjon (mill. liter) levert meieri i perioden 1990-2022 er illustrert i Figur 3.2. Mellom 1990 og 2000 var det en klar nedgang (15 %) i melkevolumet, fra 1835 mill. liter til 1560 mill. liter. Produksjonen har i hovedsak vært stabil på 1500 mil. liter i årene mellom 2000 – 2018. Oppsummert tilsvarer reduksjonen i meierileveransen en nedgang på ca. 22 % siden 1990.



Figur 3.2. Utviklingen i melkeproduksjon (mill. liter) levert meieri i perioden 1990-2022 (Budsjettnemnda for jordbruket, 2011a; Helsedirektoratet, 2022; Norsk Melkeråvare, 2022)

De siste fem årene har tendensen i melkeleveransene vært nedadgående, bortsett fra en mindre økning i antall kyr i pandemiårene 2020-2021 da forholdstallet for melk ble økt som følge av økt etterspørsel. Etter en midlertidig nedgang i etterspørselen ble det igjen behov for mer melk i 2023, men reduserte grovfôravlinger og høyt kostnadsnivå i produksjonen bidro likevel til den laveste melkeproduksjonen (1386 mill. liter) registrert siden 1990.

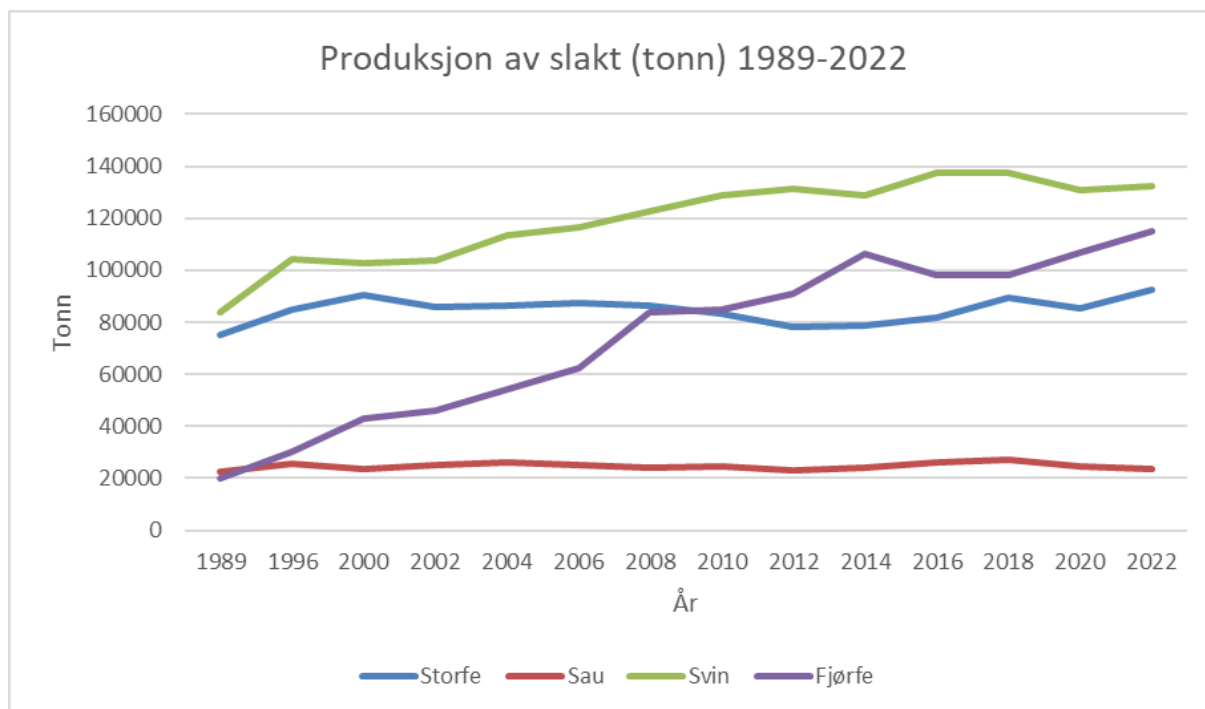
3.1.3 Produksjon av slakt

Data om utviklingen i antall slakt av svin og fjørfe går tilbake til 1999 i SSBs database (SSB, 2023b). Det har vært økning i antall slakt i begge produksjoner i perioden, der antall fjørfe-slakt har økt mest til nærmere 74 mill. slakt i 2022, mer enn en dobling. Økningen har vært på hele 15 % bare siden 2018. Produksjonen i antall svineslakt har økt moderat (8,5 %) siden 1999 (til 1,5 mill. slakt), og ser ut til å ha stabilisert seg på dette nivået de siste fem årene.

Data om utviklingen i kjøttproduksjon i tonn (Figur 3.3) går også tilbake til 1999 i SSBs database (SSB, 2023c). Til tross for moderat økning i antall slakt, har volumproduksjonen av svineslakt (tonn) har vært størst i hele perioden, med en økning til nærmere 133 000 tonn fra 1989 og fram til nå. Produksjonen av fjørfe-slakt i tonn har vært i kraftig økning hele perioden, og passerte produksjonen av storfeslakt allerede i 2008.

Produksjonsvolumet av storfeslakt og sau/lam har i grove trekk holdt seg konstant i gjennomsnitt (hhv. 86 000 og 25 000 tonn per år) siden 1989, til tross for at tallet på morder er redusert i begge

produksjoner. Økte slaktevekter per dyr har holdt produksjonen oppe.



Figur 3.3. Utvikling i norsk produksjon av slakt (tonn) av svin, fjørfe, storfe og sau i perioden 1989 – 2022 (Budsjettnemnda for jordbruket, 2011b; Animalia, 2022a; SSB, 2022c).

3.2. Utvikling i klimagassutslipp fra jordbrukssektoren

3.2.1. Totale årlige utslipp

Den siste rapporten fra Miljødirektoratet (2023) om utslipp til luft i Norge for perioden 1990-2022 benyttet oppdaterte verdier for klimagassenes oppvarmingspotensial (GWP-verdier) i henhold til FNs klimapanelts rapport AR5 (2014). Tabellen under (Tabell 3.1.) viser tall for utslipp i CO₂-ekvivalenter fra de ulike sektorene som inngår i de årlige utslippsberegningene. Utslippene fra jordbruket utgjorde 4,6 mill. tonn CO₂-ekv. i 2022, en nedgang på 2,3 % i forhold til året før. For hele perioden 1990-2022 viser de oppdaterte beregningene at utslippene fra jordbruket er redusert med 6,8 %.

Andre sektorer med klare reduksjoner i utslipp er «Industri og bergverk» og «Andre kilder». Hovedårsakene i disse sektorene er hhv. stor reduksjon i utslipp av lystgass (N₂O) fra industrisektoren og metan (CH₄) fra avfallsdeponier.

Tabell 3.1. Utslipp (CO₂-ekvivalenter) fra alle sektorer som inngår i det årlige nasjonale utslippsregnskapet for Norge (SSB, 2023d).

Utslipp til luft i Norge ¹			
	Millioner tonn CO ₂ -ekvivalenter ^{2,3}	Endring i prosent	
	2022	1990 - 2022	2021 - 2022
Utslipp av klimagasser	48,9	-4,6	-0,8
Olje- og gassutvinning	12,0	46,0	-0,4
Industri og bergverk	11,5	-40,0	-1,3
Energiforsyning	1,5	339,3	-14,9
Oppvarming i andre næringer og husholdninger	0,6	-77,8	6,1
Veitrafikk	8,7	16,9	-0,1
Luftfart, sjøfart, anleggsmaskiner m.m.	7,7	45,0	3,2
Jordbruk	4,6	-6,8	-2,3
Andre kilder	2,3	-26,9	-2,9

¹ Tall publisert i juni er foreløpige. Endelige tall publiseres i november.

² Klimagassutslipp oppgitt i CO₂-ekvivalenter viser hvor stor oppvarmingseffekt en klimagass har, regnet om til mengde CO₂.

³ I juni 2023 ble GWP-verdiene endret. Tabellen oppgir CO₂-ekvivalenter (GWP-verdier) etter AR5, IPCCs Fifth Assessment Report som er verdiene som benyttes i Paris-avtalen.

Figur 3.4. viser hvordan utviklingen i utslipp fra jordbruket har variert fra år til år i hele perioden. Det er verdt å merke seg at utslippene ble redusert med 10 %, fra 4,9 mill. til 4,4 mill. CO₂-ekv. fra 1990 til 2010, før de igjen økte fram til 2016, i en periode med opptrapping av ammekuproduksjonen. Etter dette har utslippene variert noe opp og ned fra år til år, fram til pandemien forårsaket en ny økning i utslipp på 1,5 % fra 2019 til 2021 på grunn av økt innenlandsk forbruk av norske jordbruksvarer. De siste fem årene sett under ett, ble metanutslippene redusert med rundt 3 %, mens lystgass utslippene økte svakt. I 2022 utgjorde utslipp fra disse to gassene alene 4,48 mill. tonn CO₂-ekv. av utslippene fra jordbruket (SSB, 2023e). Dersom Figur 3.4 sees i sammenheng med Figur 3.1 (Utvikling i antall mordyr i perioden 1990-2023) er det tydelig at utslippsregnskapet for jordbruket er nært knyttet opp mot antall kyr til enhver tid.

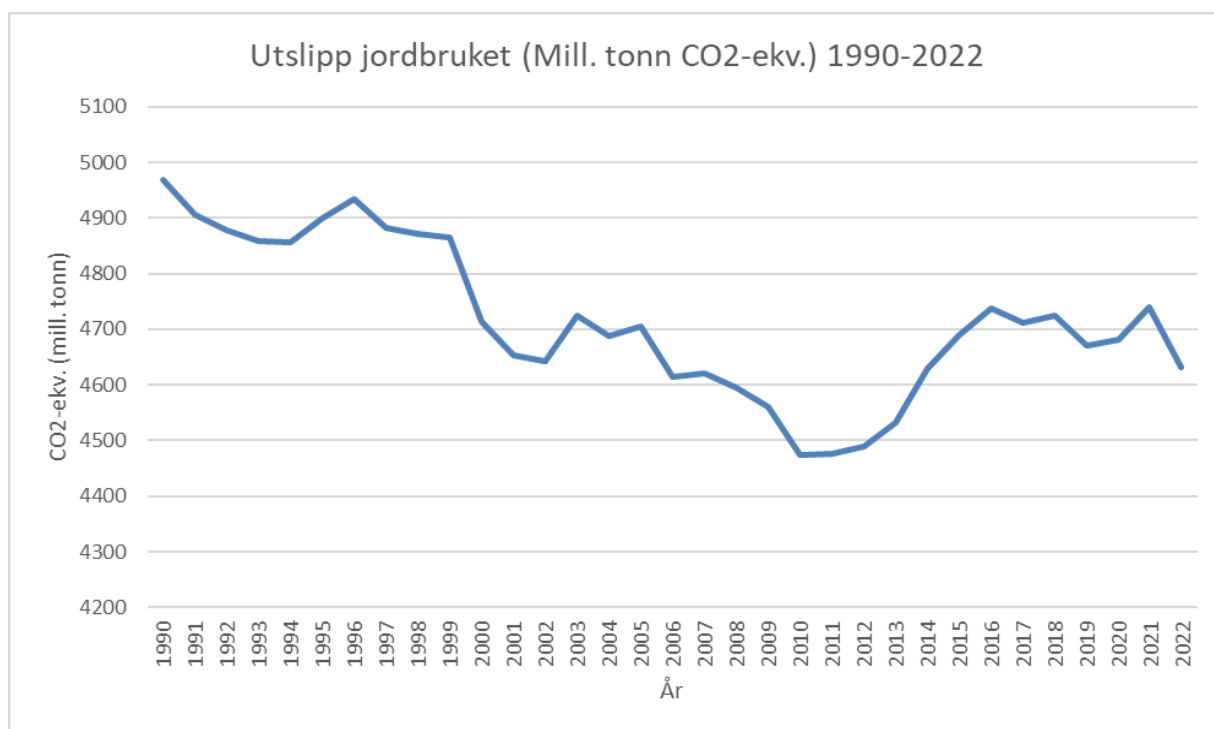


Fig 3.4. Utvikling i årlige utslipp fra jordbruket i perioden 1990-2022 (SSB, 2023e).

Detaljer i statistikken viser imidlertid at økningen i utslipp fra 2010 og fram til nå i stor grad er knyttet til opptrappingen av ammekuproduksjonen, noe dempet av nedgang i antall melkekyr. Økningen var nærmere 50 000 ammekyr med tilhørende ungdyr i perioden fra 2010 til 2022. I en slik opptrappingsperiode vil forholdet mellom antall ungdyr relativt til antall mordyr være høyere enn i en stabil situasjon. Økt antall ungdyr vil bidra til høyere utslipp, som gir utslag i det nasjonale utslippsregnskapet (endring i aktivitetsdata). Det har ikke vært vesentlig økning i norsk storfeproduksjon i denne perioden, til tross for økningen i utslipp.

3.2.2. Klimagassutslipp per innbygger

Det nasjonale utslippsregnskapet er utformet i henhold til regelverk i Parisavtalen fra 2015 og retningslinjer fra FNs klimapanel IPCC. Utslippene fra de ulike sektorene skal uttrykkes som årlige samlede utslipp fra hver sektor, og det er kun utslipp fra hvert lands territorium som skal tas med. Utslippene vil naturlig nok være knyttet til folkemengden i hvert enkelt land, der aktiviteten til den enkelte innbygger bidrar til utslipp i flere sektorer. Befolkningsvekst i et land kan derfor gjøre det vanskeligere å oppnå klimamålene. Dette gjelder særlig for matproduksjonen og dermed utslippene fra jordbruket, dersom det er et politisk mål at jordbruket skal bidra til økt selvforsyningsgrad og matsikkerhet.

Som nevnt innledningsvis i dette kapitlet har det siden 1990 og til nå foregått store strukturelle endringer i jordbruket, parallelt med store endringer både i forbruksmønster og befolkning. Befolkningsveksten i Norge har vært betydelig siden 1990. Antall innbyggere har økt med nærmere 1,3 millioner (Fig. 3.5.), og vi blir stadig flere (SSB, 2023f).

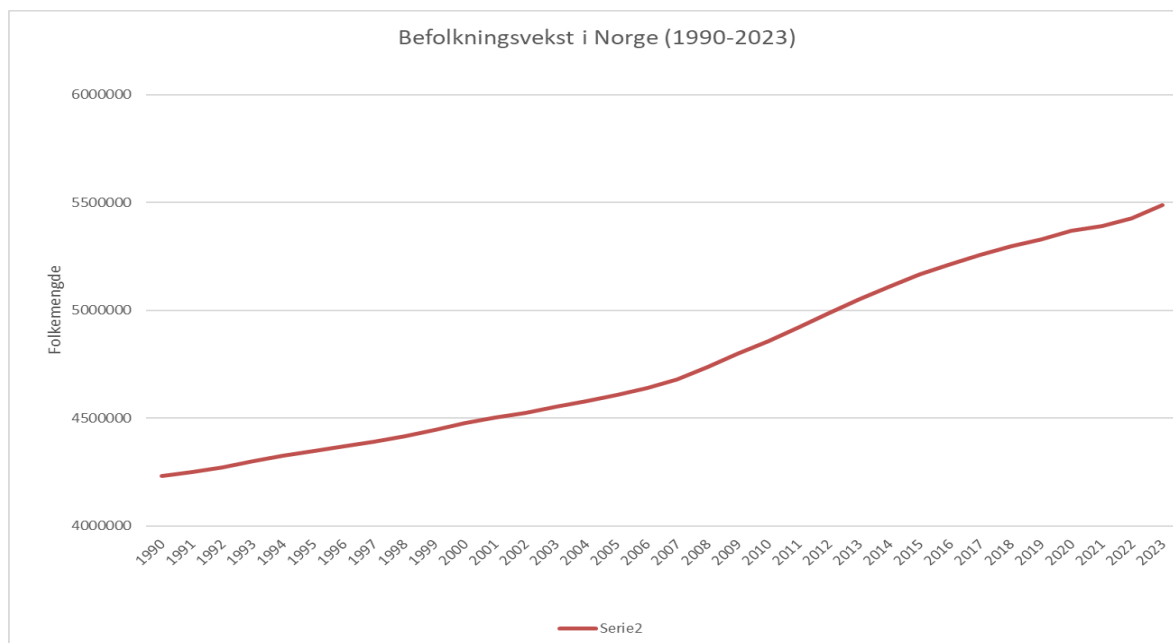
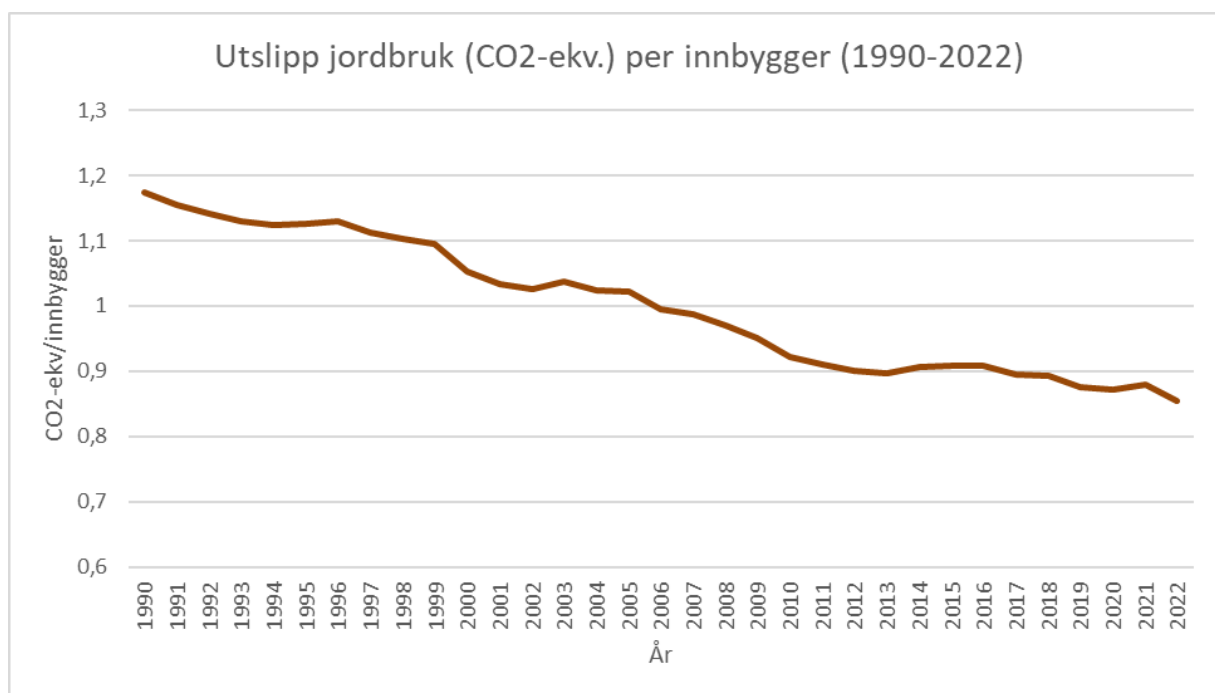


Fig. 3.5. Befolkningsvekst i Norge i perioden 1990-2023 (SSB, 2023f)

Fordeles de totale utslippene fra jordbruket per år i perioden 1990-2022 (Fig. 3.4.) på antall innbyggere per år i samme periode (Fig. 3.5), har utslippene fra jordbruket per person vært i kontinuerlig nedgang (Fig. 3.6). Målt på denne måten, har utslippene gått ned fra 1,2 tonn CO₂-ekv. per person i 1990 til 0,8 tonn i 2022, en reduksjon på nærmere 30 %.

Som vist foran er reduksjonen i utslipp siden 1990 (-6,8 %) i stor grad knyttet til reduksjon i antall storfe, mens produksjonen av både melk og storfekjøtt har vært tilnærmet konstant. Nedgangen i utslipp per innbygger kan ikke tolkes på annen måte enn at mat fra husdyrprodukter basert på norske grovfôrarealer er redusert eller stagnert på 1990-nivå og erstattet av import med utslipp i andre land.



Figur 3.6. Utslipp fra jordbruket per innbygger (tonn CO₂-ekv.) i perioden 1990-2022.

Dette bekreftes av statistikker for norsk produksjon og nettoimport (import-eksport) for ost og kjøtt i perioden 1989-2022 (Helsedirektoratet, 2022). Fra 1989 til 2022 økte netto importen av ost jevnt fra 2,0 til 19,8 mill. kg. Nettoimporten av kjøtt dreide fra eksportoverskudd til netto import i 10-året etter 1999, og var på 9,2 mill. kg i 2009. I 2019 var importen økt til 13,9 mill.kg, der storfe utgjorde størst andel. I pandemiårene 2020 og 2021 var samlet kjøttimport atskillig høyere, hhv. 26 og 40 mill. kg.

Befolkningsveksten vil forkludre Stortingets målsetting om økt norsk matproduksjon, matsikkerhet og beredskap, dersom husdyrproduksjoner som utnytter norske grovfôrressurser samtidig skal reduseres som det viktigste klimatiltaket i jordbruket. Jordbrukets samlede utslipp må sees i sammenheng med økt folketall, av den enkle grunn at innenlandsk etterspørsel etter mat øker. Skal den maten i større grad være norsk, må fokus endres. Jordbrukets arbeid med utslipp må da vurderes på annen måte, for eksempel som reduserte utslipp per enhet vare produsert. Dette vil gjenspeiles i reduserte utslipp fra norsk matproduksjon per innbygger.

4. Status husdyrproduksjonene 2023

4.1. Kombinert melk- og kjøttproduksjon

Husdyrprodukter utgjør en betydelig andel av norsk matforsyning og -produksjon. Med bakgrunn i at Landbrukets klimaplan for 2021-2030 skal revideres våren 2024, var det i denne rapporten naturlig å ta utgangspunkt i status for husdyrproduksjonene i 2023 i arbeidet med å vurdere nye tiltak for å nå avtalens klimamål.

Den norske melkekupopulasjonen består av omtrent 90 % reinrasa NRF (TINE, 2022). Mens NRF slakt i 1990 utgjorde nærmere 95 % av alt storfeslakt, har andelen gradvis blitt redusert i takt med redusert melkeutall og en kraftig økning i ammekuproduksjon. Tall fra slakteristatistikkene (Animalia, 2023a) viser at slakt fra reinrasa NRF utgjorde 58-59 % (ca. 52 000 tonn) av alt norsk storfeslakt i 2021-2022. Kombinert melk/kjøttproduksjon bidrar med andre ord fortsatt med den klart største andelen av norsk storfekjøttproduksjon.

Per 1. mars 2023 (telledato) var melkeutallet i Norge på 203 000 kyr, en reduksjon på om lag 20 000 kyr siden forrige rapport ble utgitt i 2018. Markedsleveransen av melk var da 1500 mill. liter. I 2023 ble leveransen redusert til 1386 mill. liter (Norsk Melkeråvare, 2024).

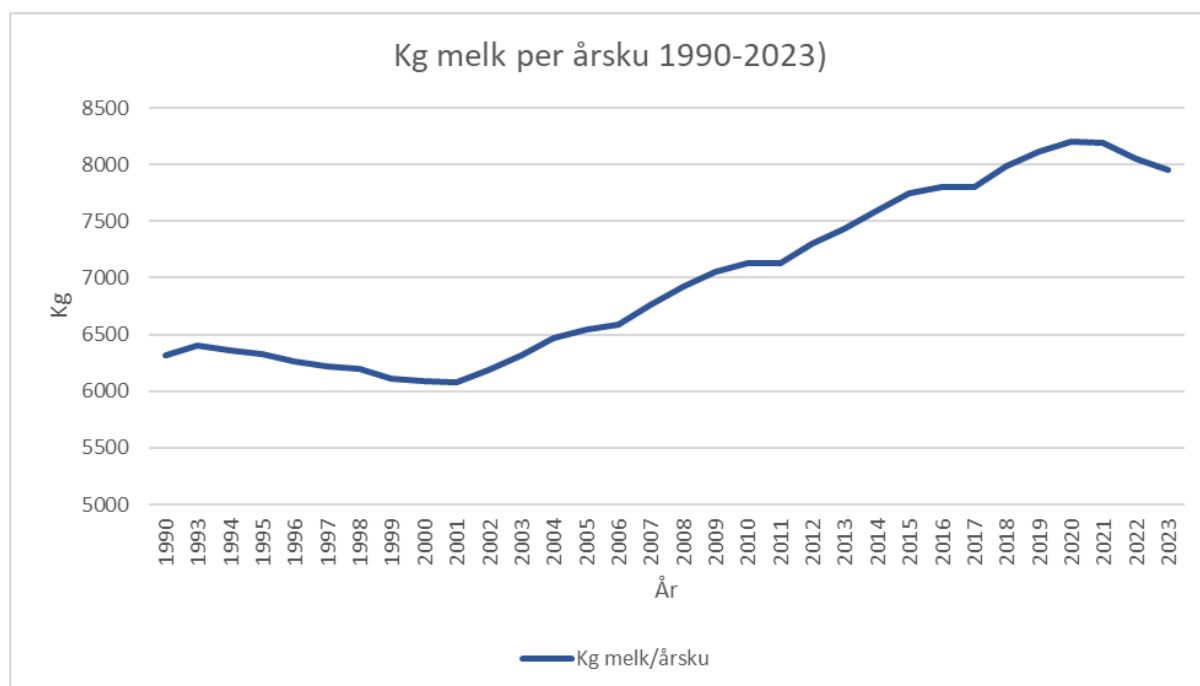


Fig. 4.1. Utviklingen i melkeytelse per årsku 1990-2023 (TINE, 2022; Norsk Melkeråvare, 2024)

Utviklingen i melkeytelse per ku viser en langvarig og ubrutt trend i økt melkeytelse per årsku etter 2000, med en foreløpig topp i 2020, fulgt av stagnasjon eller en svak reduksjon de tre siste årene (Figur 4.1). Ytelsen per årsku ble redusert med 1,8 % til en ytelse på ca. 7960 kg melk/årsku fra 2022 til 2023 (Norsk Melkeråvare, 2024).

4.1.1. Avlsmål og avlsarbeid i kombinert melk- og kjøttproduksjon

Som omtalt i forrige rapport har avlsarbeidet med NRF hatt stor betydning for reduksjon av utslipp fra norsk jordbruk over mange tiår, slik det måles i det nasjonale utslippsregnskapet. Effekten har vært særlig synlig i form av kontinuerlig redusert melkeutall kombinert med samme volum meierileveranse av melk de siste 20-25 årene, men også som følge av avl for økt slaktetilvekst (redusert slaktealder ved samme slaktevekt). Nettoeffekten er imidlertid delvis oppveid av økte metanutslipp per melkeku og

en kraftig økning i antall ammekyr samme periode for å kompensere reduksjonen i storfeslakt fra melkecupopulasjonen.

Avlsarbeid kan ha reell effekt på utslipp av klimagasser i et langsiktig perspektiv. Her vil valg av egenskaper i avlsmålet og den relative vektleggingen mellom dem være avgjørende. Ettersom GENO er et samvirkeforetak vil vektlegging av egenskaper være styrt av hva eierne ønsker til enhver tid. Samtidig opererer GENO også i et internasjonalt marked med salg av NRF genetikk, som også hensyntas når avlsmål og vektlegging endres. Siden 1960-tallet har dette vært endret en rekke ganger, som illustrert i Figur 4.2 (Geno, 2023a).

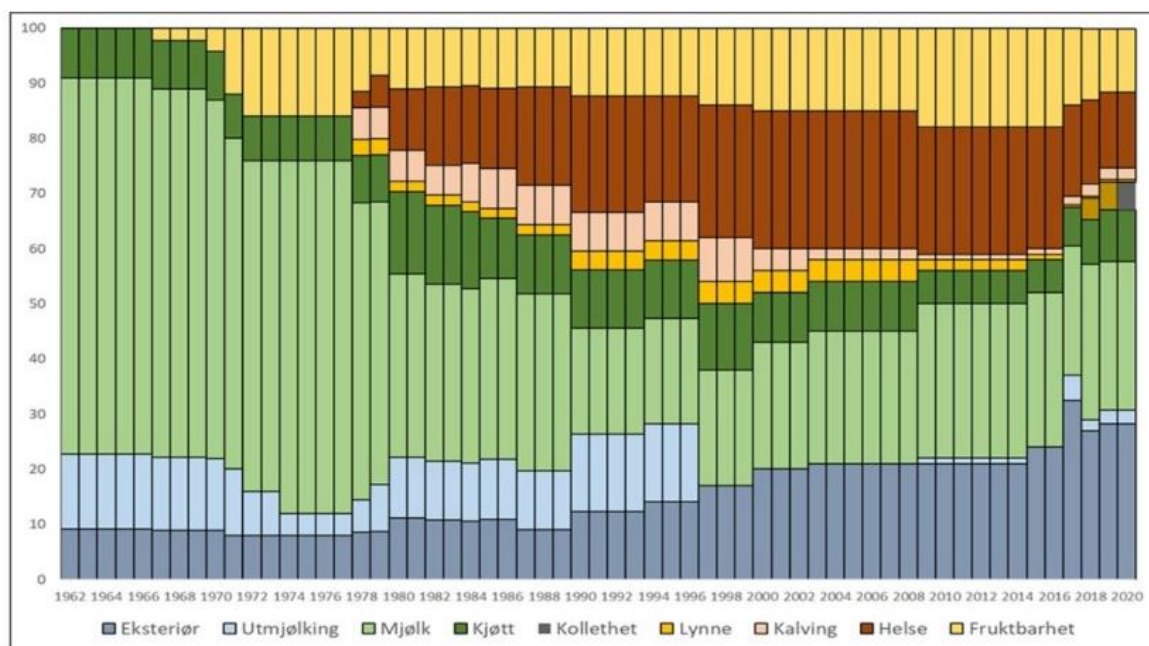


Fig. 4.2. Utvikling i vektlegging i avlsmålet for NRF 1962-2000 (Geno, 2023a)

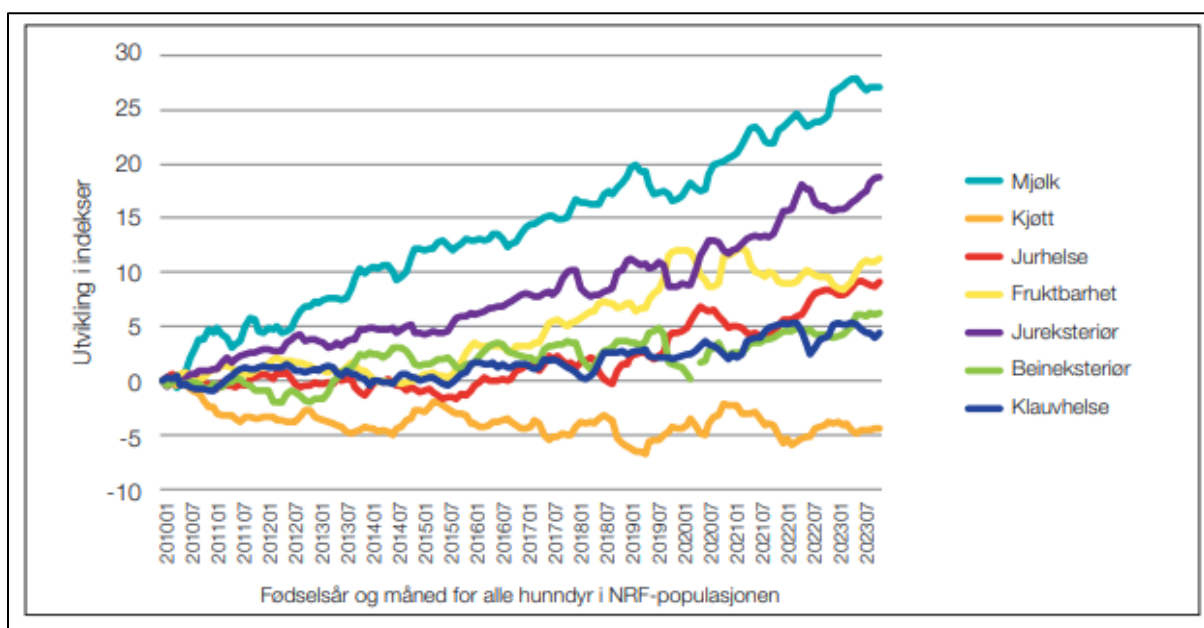
Avlsarbeidet med NRF er basert på det omfattende datamaterialet som samles inn i Kukontrollen, den landsomfattende husdyrkontrollen for melkekyr (TINE, 2022). Avlsmålet for NRF justeres med jevne mellomrom, de siste årene hyppigere enn tidligere som følge av overgangen til genomisk seleksjon. Per februar 2023 (Geno, 2023b) inngår følgende egenskapsgrupper med tilhørende vektlegging i avlsmålet for NRF (Tabell 4.1):

Tabell 4.1. Avlsmålet i NRF per 01.02.2023 med innbyrdes vektlegging og forventet respons for hver egenskapsgruppe (Geno, 2023b).

Egenskap	Vektlegging (%)	Respons
Melk	23	0,47
Jur	27	0,61
Jurhelse	8	0,27
Fruktbarhet	9	0,11
Kjøtt	8	-0,05
Klauvhelse	4	0,09
Bein	3	0,23
Andre sykdommer	0	0,02
Kroppseksteriør	2	-0,04
Andre egenskaper	8	0,04
Enkeltgener (kollethet; kaseinvarianter)	8	0,30

For egenskapen melk er det en samleindeks bestående av fem enkeltegenskaper (kg melk, kg protein, kg fett, protein %, fett %), mens indeksen for egenskapen kjøtt består av tre enkeltegenskaper (slaktetilvekst til konstant alder, EUROP slakteklasse og EUROP fettgruppe). Disse vektlegges innbyrdes til en samlet indeks for hver egenskapsgruppe. Til høyre i tabellen vises beregnet respons i (effekt på) hver enkelt egenskapsgruppe som følge av utvalget av avlsdyr. Responsen er et samlet resultat av arvelighet av hver egenskap, og de genetiske sammenhengene mellom egenskaper (som kan være både ønskede og uønskede). Negativ respons betyr en negativ utvikling i egenskapen, som vist for egenskapsgruppe «Kjøtt» i tabellen.

Den genetiske trenden i utviklingen av egenskapsgruppene i avlsmålet i perioden 2010 - 2023 er illustrert i Figur 4.3 (Malonæs, 2023).



Figur 4.3. Utvikling (genetisk trend) for egenskapene i avlsmålet for NRF i perioden 2010-2023 (Malonæs, 2023).

Trenden reflekterer vektleggingen av hver egenskap (Tab.4.1.), med særlig stor framgang for melkeproduksjon og jureksterior, men viser også fokuset på andre egenskaper knyttet til melkekua og dermed produksjonen av melk.

Vektleggingen av kjøttproduksjonsegenskapene i NRF ble kraftig redusert i 2009 etter ønske fra eierne, og har vist en negativ effekt i respons som har vedvart i hele perioden etter dette (oransje kurve, Figur 4.3.). Gjennomsnittlig avlsverdi for disse egenskapene er som figuren viser nå lavere enn 100, som betyr at avlsarbeidet for kjøttproduksjon i NRF gjennom mange år gradvis reverseres.

Som omtalt i forrige rapport er redusert vektlegging på kjøttproduksjon i NRF uheldig, fordi dette fører til økte klimagassutslipp fra kombinert melk/kjøttproduksjon, som også vil bli synlige i det nasjonale utslippsregnskapet (NIR). Dette fordi slaktevekt og slaktealder inngår direkte i likningene som beregner metanutslipp fra ungdyr i NIR.

4.2. Ammekuproduksjonen

Per 1. mars 2023 (SSB, 2023a) var antall mordyr av ammeku 109 500 kyr. Siden 1990 har økningen vært tilnærmet lineær, med en vekst på drøyt 4 500 kyr per år. I 2022 utgjorde norsk produksjon av slakt fra andre raser enn NRF om lag 38 500 tonn hvorav kjøttraser/kryssninger utgjorde over 90 % (Animalia, 2023a).

4.2.1. Avlsmål og avlsarbeid i ammekuproduksjonen

Avlsarbeidet med kjøttfe (ammeku) driftes av TYR, avls- og interesseorganisasjonen for produsenter med ammeku. Avlsarbeidet med kjøttfe er basert på databasen i Storfekjøttkontrollen (SFK), med tilsvarende funksjon som Kukontrollen. SFK driftes av Animalia. Nærmere 30 ulike raser og kryssninger er registrert i Storfekjøttkontrollen, men nasjonalt avlsarbeid drives kun på kjøttferasene Aberdeen Angus, Charolais, Hereford, Kjøttsimmental og Limousin.

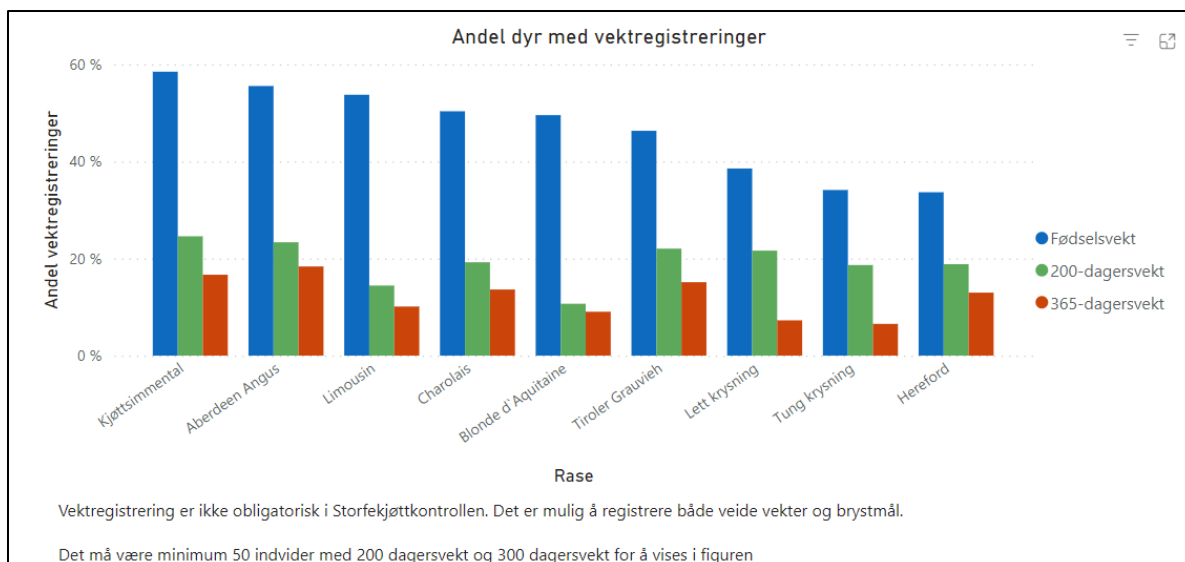
I 2022 var det registrert flest mordyr av Charolais (24 300) i SFK, fulgt av Limousin og Hereford (begge ca. 14 500), Aberdeen Angus (10 000) og Kjøttsimmental (5 500). Samlet utgjør disse omtrent 60 % av alle mordyr registrert i SFK (Animalia, 2022b). De fem rasene blir tildelt testplasser på fenotypeteststasjonen på Staur etter en fordelingsnøkkel basert på bestemte kriterier til totalt 80 testokser per år. Testen skal gi grunnlag for uttak av seminokser til avl, basert på registreringer på stasjonen av fôrutnytting, grovfôropptak, slakteegenskaper/tilvekst, eksteriør og lynne.

Data i SFK fra besetningene er grunnlag for beregninger av avlsverdier knyttet til mordyr og kalv/ungdyr. Det beregnes avlsverdier for grupper av slike egenskaper som summeres opp til en samlet avlsverdi. Egenskapene som inngår er knyttet til fødselsforløp ku/kalv, vekt av kalv ved fødsel, ved avvenning, ved 365 dg. og slaktevekt, samt moregenskaper.

Kalven er eneste produkt i ammekuproduksjonen. Tall fra SFK (Animalia, 2022b) viser at kalvetapet fortsatt er relativt høyt i de fem rasene. Samlet tap av dødfødte samt kalvetap fram til avvenning var i gjennomsnitt opp mot 8 % i 2022, men med betydelig variasjon mellom besetninger (fra 0 til over 20 % tap av kalv per år). Slike tall illustrerer en tydelig redusert produksjonseffektivitet.

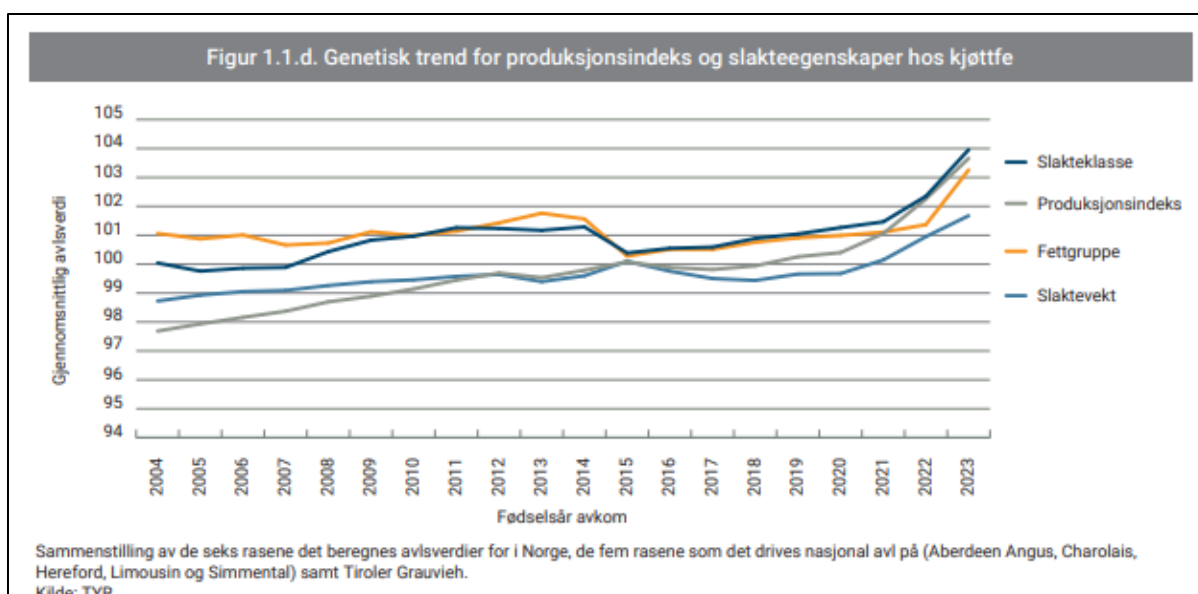
Ressursbruk i kjøttfeavl er fordelt på atskilt avlsarbeid innen fem raser. Dette påvirker avlsmessig framgang. Framgangen for hver av de fem rasene begrenses også av et forholdsmessig lavt antall dyr (liten populasjonsstørrelse) for hver av rasene, og i tillegg at antall dyr som bidrar i aktivt avlsarbeid er atskillig lavere sammenliknet med NRF der de fleste dyrene inngår. Av rundt 4 400 besetninger med mordyr som var medlemmer i SFK i 2021 (Animalia, 2022b), var antallet registrert som «aktive avlsbesetninger» lik 120, med flest deltakende besetninger med rasene Charolais og Aberdeen Angus (TYR, 2021). Lav deltakelse i avlsarbeidet gjenspeiles i mangelfull registrering av individdata i Storfekjøttkontrollen. Dette var også omtalt i forrige rapport (Se Kap. 3.3).

Godt datagrunnlag for tilvekst egenskaper er en forutsetning for å få avlsmessig framgang i kjøttproduksjonen fra ammekunæringen. Figur 4.4. viser andelen dyr med individ registreringer av fødselsvekt, 200 dg. vekt og 365 dg. vekt i 2022 for de fem rasene (m.fl.) som omfattes av nasjonalt avlsarbeid (Animalia, 2022b). Figuren illustrerer store mangler i datagrunnlaget som er nødvendig for å sikre avlsmessig framgang for slakteproduksjon i de fem populasjonene. Vektregistreringene er viktige mål på ungdyrets vekst fram mot slakting eller som rekrutteringskvige. Alle disse egenskapene inngår i avlsarbeidet, og er nært knyttet til både produsentøkonomi og klimagassutslipp på gårdsnivå (se Kap. 6.2.3.). Som for NRF slaktedyr inngår slaktealder og slaktevekt direkte inn i metanlikningene for ungdyr i det nasjonale utslippsregnskapet (NIR).



Figur 4.4. Andel dyr (%) med egen registrering av fødselsvekt, 200 dg. vekt og 365 dg. vekt i SFK (Animalia, 2022b)

Ammekunæringen har ekspandert det siste tiåret for å kompensere redusert kjøttproduksjon fra NRF populasjonen. Det er behov for å optimalisere effektiviteten i denne produksjonen gjennom bedre produksjonsstyring og avlsarbeid. Produksjonsindeksen for kjøtt i kjøttferasene inneholder tre enkeltegenskaper; slaktetilvekst, EUROP slakteklasse og EUROP fettgruppe. Utviklingen i kjøttegenskapene hos de fem kjøttferasene i nasjonalt avlsarbeid, samt Tyroler Grauvieh, er vist samlet for alle de seks rasene i Figur 4.5.



Figur 4.5. Genetisk endring i egenskaper som inngår i indeksen for kjøttproduksjon i avlsarbeidet med de seks rasene det beregnes avlsverdier for i perioden 2003-2023 (Animalia, 2023b).

Kurvene illustrerer at avlsarbeidet for kjøttproduksjon i kjøttferasene har hatt svak effekt de siste 20 årene sett under ett. Gjennomsnittlige avlsverdi har stort sett ligget konstant rundt 100, som tilsvarer liten/ingen framgang, med noe bedring de siste årene. Pålitelige avlsverdier og genetisk framgang er avhengig av et størst mulig og representativt datamateriale på individnivå som grunnlag for beregningene. Tallene fra SFK (Fig.4.4.) viser at dette fortsatt er et kritisk punkt i avlsarbeidet med kjøttfe.

I prosjektet «Mer og Bedre Biff» (FFL/JA; Geno/NMBU, 2008-2012) ble det utført viktig FoU arbeid (Åby, 2012) som la til rette økt effektivisering av avlsarbeidet på kjøttfe. Med bakgrunn i at dette nå har blitt en relativt stor næring i norsk jordbruk, er det all grunn til å sette forventninger og krav til økt deltakelse i avlsarbeidet og derved også bidrag til reduserte klimagassutslipp.

4.3. Saueproduksjonen

Antall vinterfôra sauer per 1. mars 2023 (telledato; SSB, 2023a) var ca. 915 300, en reduksjon på 93 000 dyr fra 2018. Den totale produksjonen av slakt fra sau og lam var på 23 480 tonn, mens prognosen per november 2023 er på 22 000 tonn (fordelt på 17 200 tonn lam og 4 800 tonn sau). Det er forventet en nedgang i sauebestanden på 1 % ved inngangen til 2024 (Nortura Totalmarked, 2023).

Det er mange saueraser i Norge (30 raser inkludert i Sauekontrollen), men hovedandelen av norske sauer er av rasene Norsk Kvit Sau (65%), Kvit Spælsau (9%) og Gammelnorsk Spælsau (6%) (Animalia, 2023).

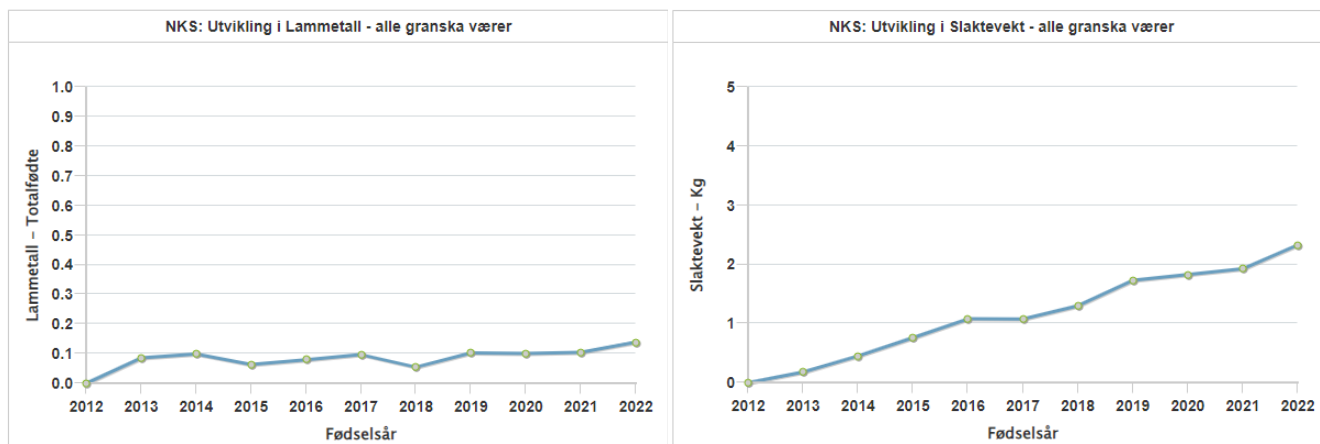
4.3.1 Avlsmål og avlsarbeid i saueproduksjonen

Avlsarbeidet med sau driftes av Norsk Sau og Geit (NSG), interesseorganisasjonen for småfeholdere i Norge. NSG har ansvaret for organisering av gjennomføring av den nasjonale avlen for sau. Avlsarbeidet er basert på data fra Sauekontrollen, som driftes av Animalia. Det er i dag over 5500 medlemmer i Sauekontrollen og hhv. 41% og 54% av besetningene og søyene er med i kontrollen (Animalia, 2023). Det er 4 raser som inngår i det organiserte avlsarbeidet i regi av NSG; Norsk kvit sau, Spælsau (kvit og farga), Sjeviotsau og Pelssau. Det beregnes avlsverdier for enkeltegenskaper som summeres i en samlet avlsverdi (O-indeks). De ulike rasene har ulik vektlegging av de ulike egenskapene (Tabell 4.2; NSG 2024a, 2024b, 2024c, 2024d). Avlsmålet for sau reflekterer at det produseres både slakt og ull i kombinasjon, men hovedtyngden ligger på tilvekst/slakteegenskapene og morevne.

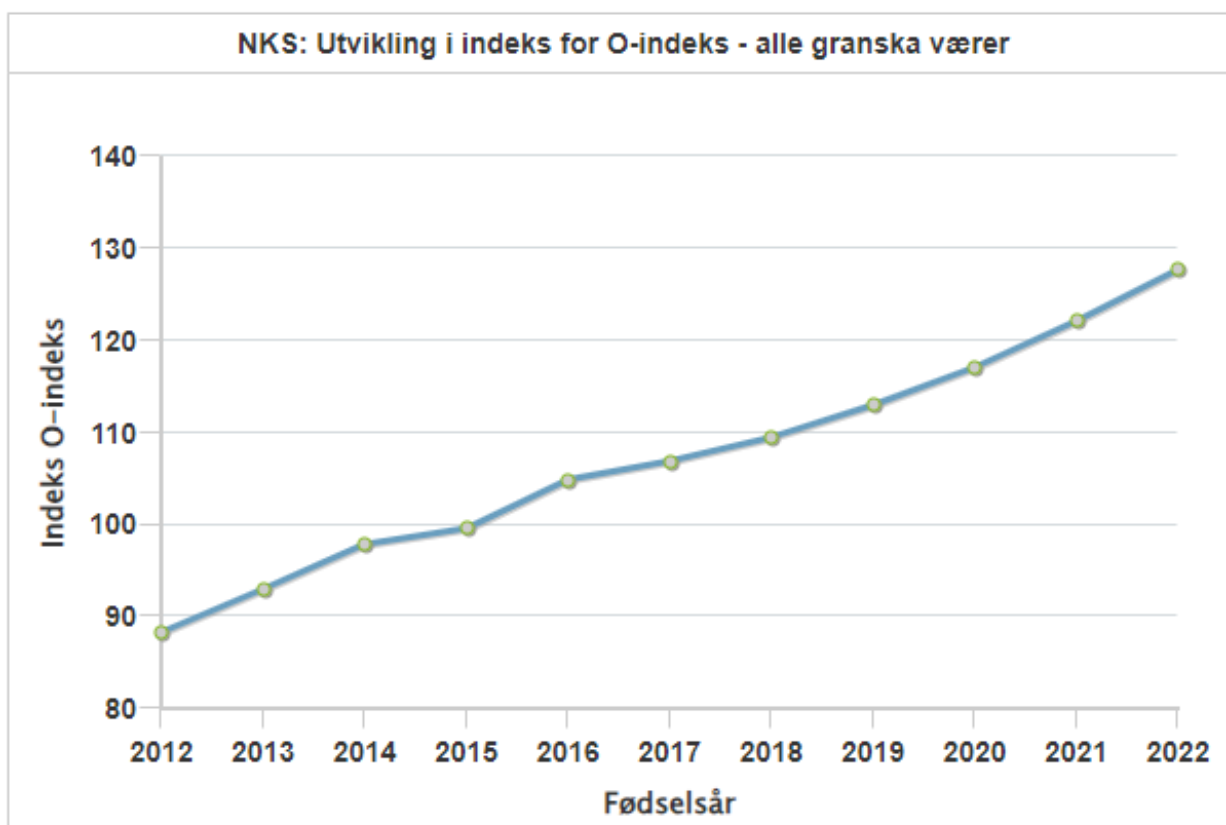
Tabell 4.2. Vektlegging (%) av egenskaper som inngår i samlet avlsverdi (O-indeks)

Egenskap	Rase			
	Norsk Kvit Sau	Spæl	Sjeviot	Pelssau
Fødselsvekt (direkte)	5	5	3	0
Slaktevekt (direkte)	20	15	22	15
Slakteklasse	17	18	22	30
Fettgruppe	6	8	6	0
Fødselsvekt_morsevne	2	5	2	0
Vårvekt_morsevne	13	16	20	10
Slaktevekt_morsevne	21	11	16	10
Lammetall	6	9	6	5
Spenestørrelse	3	3		0
Ullvekt	5	2	3	
Ullklasse	2	8	0	
Pelsegenskapene				
Fargenyanse				3
Fargepoeng				5
Lokkform				5
Lokkpoeng				12
Glanspoeng				2
Pelsavvikspoeng				3
Tetthet				0

Utviklingen (genetisk trend) i viktige egenskaper relatert til klimagassutslipp per kg slakt (lammetall og slaktevekt (se delkapittel 6.3.4 for beregnet effekten av disse egenskapene på utslippintensiteten, utslipp per kg produkt) for Norsk Kvit Sau (NKS) siste 20 år er vist i Figur 4.6 (NSG, 2024e). Utvikling i O-indeksen for NKS er vist i Figur 4.7. Genetisk fremgang i O-indeksen ses også for de andre sauerasene. Figurene bekrefter betydelig effekt av avlsarbeidet på sau.



Figur 4.6. Genetisk trend for lammetall og slaktevekt for NKS.



Figur 4.7. Genetisk trend for O-indeks for NKS (NSG, 2024e).

4.4. Svineproduksjonen

4.4.1. Avlsmål og avlsarbeid i svineproduksjonen

I motsetning til norsk storfeavl, som i hovedsak baserer seg på en reinavls strategi for alle egenskaper både i NRF og i kjøttferasene, har svineavlen i mange tiår hatt en struktur der reinavl i mor- og farraser drives systematisk for å utnytte krysningsfrodighet (heterosis). Dette for å oppnå vitale krysningsavkom (slaktedyr) med en kombinasjon av egenskaper fra foreldreraser.

Avlsprogrammet til Topigs Norsvin er basert på mor-og farlinjer, der slaktegrisen er en kryssning mellom tre raser. Etter at Norsvin SA fusjonerte sin internasjonale virksomhet med nederlandske Topigs og etablerte Topigs Norsvin i 2014, har morlinjene i avlsarbeidet bestått av reinavlet Landsvin (Norsvin) og tilsvarende reinavlet nederlandsk Yorkshire (Z-line; Topigs).

Gjennom kryssing av Norsvin landsvin purker og Z-line råner får man en krysningspurke, også kjent som TN70 purker. TN70 purkene krysses videre med farlinjen Norsvin Duroc, og avkommene herfra er slaktegris for kommersiell produksjon. Disse har innslag av gener fra tre raser i forholdet 50 % Duroc, 25 % Z-line/Yorkshire og 25 % Landsvin.

Bruk av tre raser i slaktegrisproduksjonen betyr at man kan variere både hvilke egenskaper og hvilken vektlegging man skal ha for hver enkelt egenskap som inngår i avlsmålene for hver enkelt rase. Generelt er det vanlig at moregenskaper vektlegges høyt i raser som fungerer som morlinje, mens produksjonsegenskaper vektlegges høyere i farrasen. For Norsvin Landsvin som morrase utgjør vektleggingen av moregenskapene, reproduksjon og kullstørrelse ca. 42% og helse 30 %, mens produksjonsegenskapene (kjøttkvalitet, slaktekvalitet, slakte %, forutnytting og daglig tilvekst) utgjør ca. 28 %. For Norsvin Duroc som farrase er vektleggingen prioritert annerledes; helse 39 % og kullstørrelse 6 %, mens produksjonsegenskaper (kjøttkvalitet, slaktekvalitet, slakte %, forutnytting og daglig tilvekst) utgjør 55 % av vektleggingen i avlsmålet.

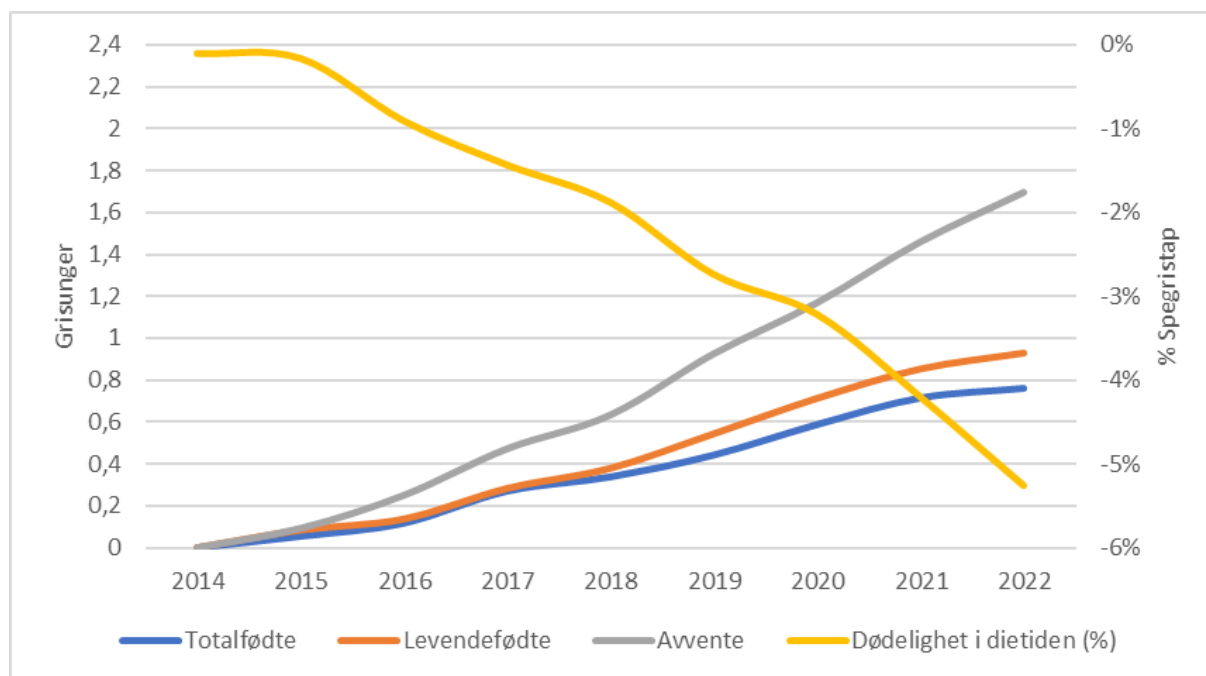
I praksis foregår avlsarbeidet i en pyramidestruktur, som har vært vanlig i lang tid i norsk svineavl. Øverst i pyramiden er norske foredlingsbesetninger som oppformerer hhv. Norsvin Landsvin purker (ca. 27 besetninger) og Norsvin Duroc (ca. 8 besetninger) råner i reinavl. Purkene i disse besetningene insemineres med elitesæd fra råner innen hver rase. Rånene har gjennomgått test på Norsvins teststasjon, Delta. Av årlig antall råner i test (5000) samlet av disse to rasene selekteres det ca. 60 eliteråner per år fra hver rase. Oppformeringsbesetninger (ca. 30) utgjør neste nivå i pyramiden. Her blir Landsvin purker krysset med semin fra Z-line råner. Dette gir TN70 purker (ZL-purker) som formidles videre for kryssing med Duroc farrase for smågrisproduksjon hos smågrisprodusenter og spesialiserte slaktegrisprodusenter (i sum ca. 1550 gårder).

Avlsfremgangen på Topigs Norsvin Z-linje ivaretas i Norge ved import av sæd fra avlskjernen i Canada. Besetningen som importerer sæd er spesialisert for dette og har strenge regler og rutiner rundt prøvetaking og biosikkerhet. Dyrene i denne besetningen blir unnggrismålt og genotypet, og på denne måten oppnås det relativt lite genetisk etterslep. Rånene går inn til Norsvin Alfa seminastasjon via to karantener.

4.4.2. Avlsmessig framgang i svineproduksjonen

Norsvin har gjort flere beregninger for å måle bidrag fra avlsarbeidet i reduserte klimagassutslipp. Av 66 egenskaper i avlsprogrammet har 14 egenskaper direkte effekt på reduksjon av utslipp gjennom redusert totalt fôrforbruk og lavere produksjon av husdyrgjødsel i svinenæringen. Disse egenskapene er: Tilvekst fra fødsel til 40 kg levende vekt, fôrforbruk fra 40 til 120 kg levende vekt, ant. grisunger født/dødfødte, purkeegenskaper (ant. tom dager mellom avvenning og inseminering, holdbarhet, morsevne, grisnings-%, vitalitet/overlevelse smågris) og slaktegrisoverlevelse. Flere av disse egenskapene har vist en betydelig framgang de seinere år. For Norsvin Landsvin er det flere egenskaper innen reproduksjon, moregenskaper og robusthet som bidrar til mindre totalt fôrforbruk.

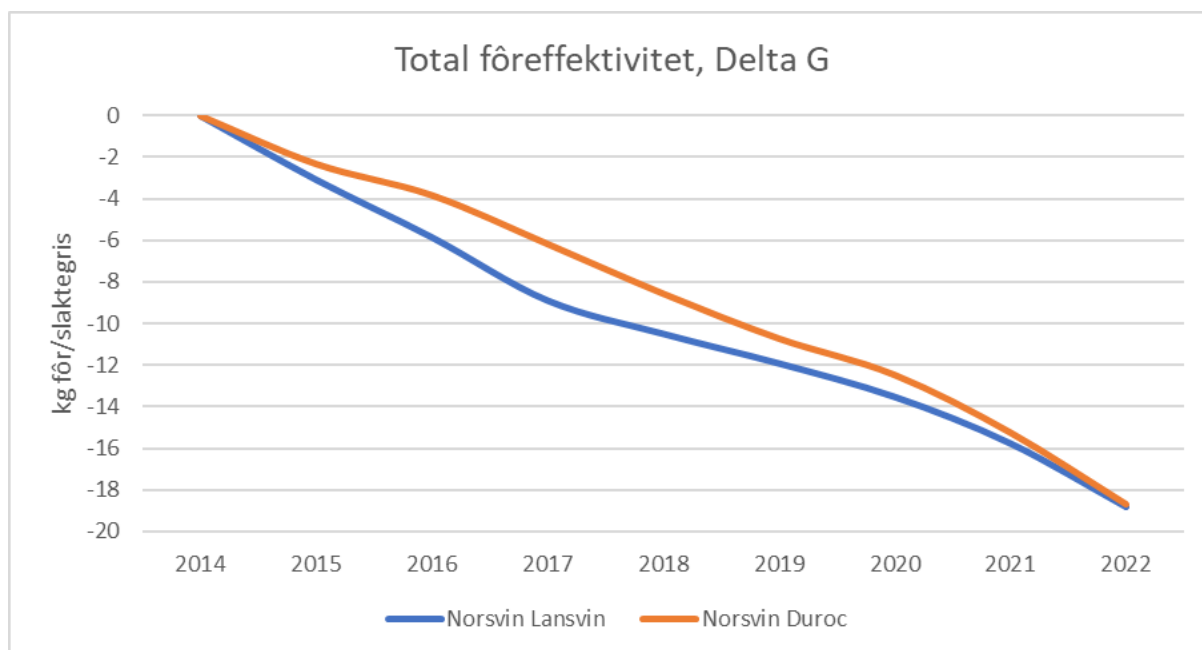
Det er for perioden 2014 til 2022 beregnet en avlsframgang for moregenskaper, fruktbarhet og spedgrisrobusthet hos Norsk Landsvin som tilsvarer 1,7 flere avvendte grisunger (Fig. 4.8). Det aller meste av denne framgangen kommer fra lavere dødelighet ved grisning og i dietiden. Avlsframgangen for flere fødte grisunger har vært på 0,1 grisunge per år. Fremover vil all framgang for antall avvente hentes fra lavere tap av spegris, og ikke noe fra flere fødte grisunger.



Figur 4.8. Avlsmessig framgang for moregenskaper, fruktbarhet og spegrisrobusthet i Norsk Landsvin i perioden 2014-2022.

For Norsvin Duroc er det i hovedsak økt fôreffektivitet som bidrar til lavere totalt fôrforbruk. Rasen har også hatt en stor framgang for høyere tilvekst, samtidig som det er oppnådd en framgang for robusthetsegenskapene, som for eksempel for beinhelse og overlevelse.

Summen av disse egenskapene gir følgende genetisk framgang for total fôreffektivitet for Norsvin Landsvin og Duroc, se Figur 4.9. neste side.



Figur 4.9. Avlsmessig framgang (Delta G) i redusert fôrforbruk i kg fôr/slaktegris som følge av summen i framgang for 14 egenskaper i avlsmålet til Norsvin Landsvin og Duroc i perioden 2014-2022.

Figur 4.9 illustrerer samlede effekter av avlsmessig framgang for summen av de forannevnte 14 egenskapene i avlsmålet til Norsvin Landsvin og Duroc. Avlsarbeidet er beregnet å ha gitt en forbedring i total fôreffektivitet på om lag 18 kg redusert fôrforbruk per slaktegris for en periode på 8 år fra 2014 til 2022.

Norsvin forventer at avlsfremgangen fortsetter i årene som kommer, fordi det er flere egenskaper i avlsmålet som kan bidra til bedret produksjon. Avlsfremgangen i total fôreffektivitet er estimert til å gi en reduksjon på oppimot 0,8 % reduserte klimagassutslipp per år i årene som kommer.

5. Potensialet for reduksjon av klimagasser fra norske husdyr gjennom husdyravl

Avlsarbeid for reduserte klimagassutslipp kan drives via to innfallsvinkler; 1) direkte seleksjon for reduserte utslipp og 2) indirekte seleksjon for egenskaper som har arvelig sammenheng med utslipp (f.eks fôrutnyttelse). Indirekte seleksjon for reduserte klimagassutslipp er med andre ord en videreføring av det tradisjonelle avlsarbeidet med breie avlsmål, som har blitt drevet i mange tiår allerede. Samtidig må følgende forutsetninger være oppfylt: 1) egenskapen må kunne måles nøyaktig, 2) egenskapen må være arvelig, 3) arvelige sammenhenger med andre viktige egenskaper i avlsmålet må være kjent og ikke i sterk konflikt med disse. Forskning viser at det er stor individuell variasjon i metanutslipp hos storfe og sau og arvegrader som er rapportert er moderate (Hossein-Zadeh, 2023; de Haas et al., 2011). Siden 2018 rapporten har det skjedd betydelig FOU arbeid i Norge innen både direkte og indirekte avlsarbeid for reduserte klimagassutslipp fra drøvtyggere (metanutslipp fra storfe og sau, fôreffektivitet hos storfe) og svin (nitrogeneffektivitet).

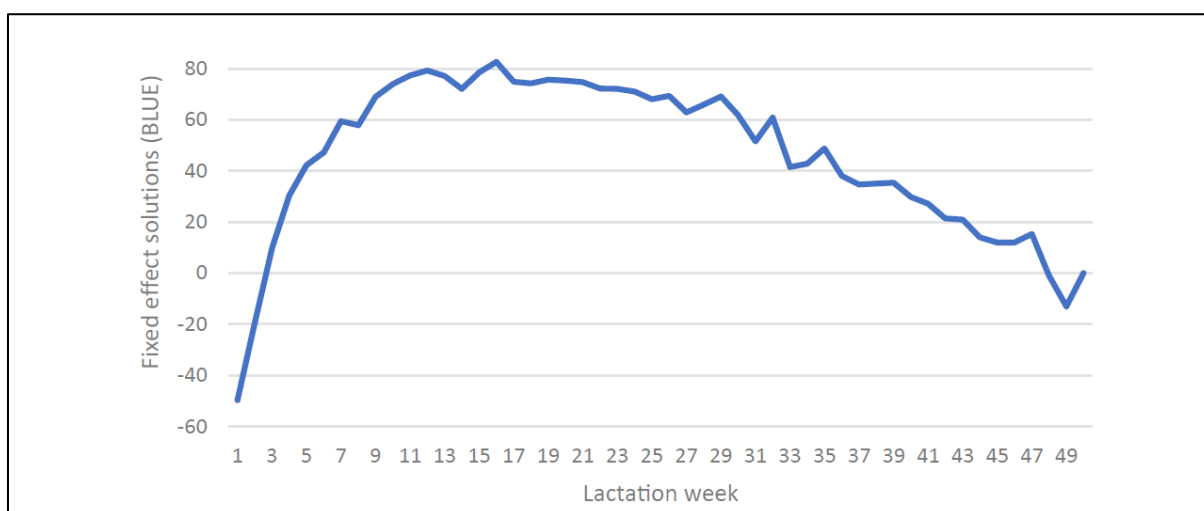
5.1. Direkte avl for reduserte metanutslipp og økt fôreffektivitet melkeku

Geno har de siste årene igangsatt et omfattende forskningsarbeid for på sikt å kunne utvide avlsmålet til å omfatte redusert metanutslipp og økt fôreffektivitet hos melkekyr, to viktige egenskaper knyttet til økt bærekraft i produksjonen.

5.1.1. Geno prosjekt «High-Tech fjøs»

Dette prosjektet hadde nettopp fått finansiering da vår forrige rapport ble utgitt i 2018. Prosjektet ble startet opp i 2019. Målingsutstyr for daglig produksjon av metan (CH₄) fra melkekyr (GreenFeed™ (C-Lock Inc., Rapid City, US; GF) ble installert i 16 fjøs med melkeproduksjon i løsdrift/melkerobot, hvorav fire på landbrukskoler, en ved Geno/Øyer og en ved SHF/NMBU). GF stasjonene registrerer utslipp av CH₄ fra individuelle kyr i forbindelse med tildeling av kraftfôr fem ganger per dag.

I forrige rapport påpekte vi betydningen av god målemetodikk og presise registreringer av daglig CH₄ utslipp for å beregne sikre arvegrader. Siden oppstart av prosjektet er det utført statistiske beregninger av variasjon i daglig utslipp av metan fra melkekyr samt arvelighet av egenskapen med stadig økende datamengder. I tillegg utføres det også metanmålinger med GF på ungekser på fenotypeteststasjonen på Øyer.



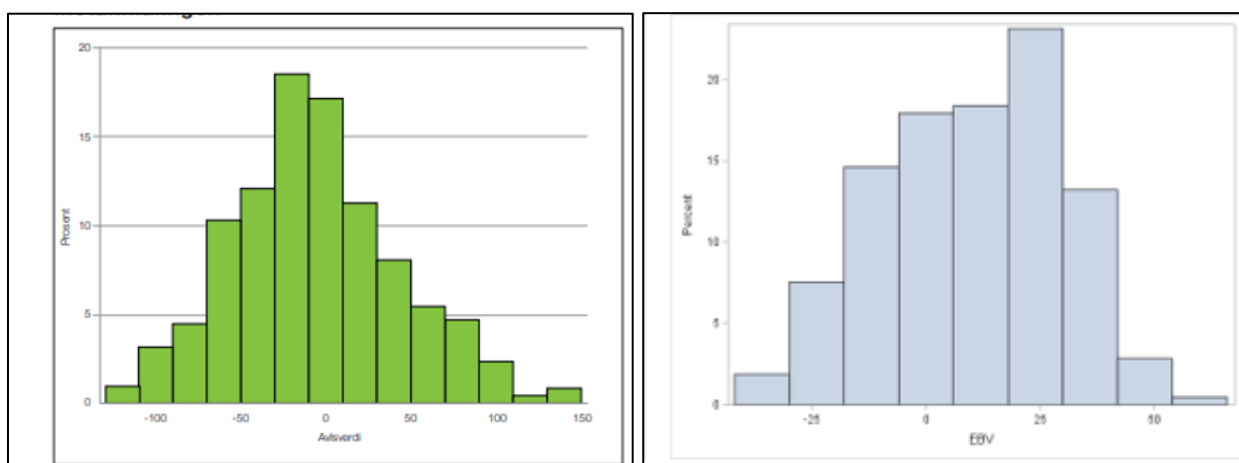
Figur 5.1. Daglige metanutslipp (g/dag) fra melkekyr gjennom en laktasjonsperiode på 49 uker, som gjenspeiler at daglig metanutslipp er nært knyttet opp mot daglig melkeytelse (Wethal m.fl., 2022).

En oppdatering av resultater fra prosjektet (sept. 2023) ble basert på 370 000 daglige observasjoner av GF målinger, fordelt på ca. 800 NRF kyr (Heringstad, 2023). Analysene viste at daglig metanutslipp fra kyrne følger laktasjonskurven (Figur. 5.1). Dette er som forventet ettersom metanutslipp, fôrbehov/fôropptak og daglig melkeytelse har nær sammenheng. Viktigst er likevel at dette resultatet bekrefter at GreenFeed systemet er en robust og god teknologi for målinger av daglig utslipp av CH_4 fra melkekyr.



Figur 5.2. Målingsutstyr for daglig produksjon av metan (CH_4) fra melkekyr (GreenFeed™ (C-Lock Inc., Rapid City, US. (Foto: Geno).

Daglige utslipp av metan CH_4 utslipp ble målt til et gjennomsnitt på 422 gram/ku per dag. En beregning av avlsverdier for metanutslipp viste en tilnærmet normalfordeling, med stor variasjon (Figur 5.3., t.v.). Dette er et uttrykk for at det er arvelig variasjon for daglig metanutslipp fra NRF melkekyr. Arvegraden for daglig metanutslipp basert på dette foreløpige datautvalget ble beregnet til 0,34.



Figur. 5.3. Variasjon i beregnede avlsverdier for metanutslipp (CH_4) i gram per dag fra NRF kyr (t.v.), og tilsvarende fordeling (t.h.) av beregnede avlsverdier for daglig metanutslipp fra NRF ungoxer i gram per dag (Heringstad, 2023; Heringstad and Bakke, 2023)

På teststasjonen til Geno for ungekøyer på Øyer tas det årlig inn 150 oksekølver til en testperiode mellom ca. 4-12 mnd. alder. Oksene går sammen i binger der det siste måneden i test måles metanutslipp i GF stasjonen med kraftfôrtildeling, i alt ca. 40 dager med CH₄ målinger per okse (Heringstad and Bakke, 2023). Foreløpige resultater fra disse målingene omfatter drøyt 200 okser og rundt 76 000 CH₄ enkeltmålinger, fordelt på ca. 1000 testdager. Utslipp av daglig CH₄ utslipp ble beregnet til 218 gram/okse per dag i gjennomsnitt. Til tross for et foreløpig lite datagrunnlag viser resultatene en betydelig variasjon i beregnede avlsverdier mellom oksene (Figur 5.3., t.h.). En foreløpig arvegrad ble beregnet til 0,56. Datamaterialet er foreløpig lite, så resultatet må vurderes deretter.

De foreløpige resultatene fra både kyr og testokser bekrefter at det er arvelig variasjon for daglig metan utslipp i NRF målt med GF måleutstyr. Resultatene er med andre ord lovende med tanke på oppfyllelse av kriterier 1 og 2 (foran). Det gjenstår at resultatene opprettholdes når mer data foreligger, og at beregninger av genetiske sammenhenger mellom metanutslipp og andre viktige egenskaper ikke viser seg å være uønskede (kriterium nr. 3).

5.1.2 Geno prosjekt «Fôreffektivitet melkeku»

Det 4-årige prosjektet «Seleksjon for forbedret fôreffektivitet hos Norsk Rødt Fe (NRF)» ble startet opp i 2021. Prosjektet er et samarbeid mellom Geno, TINE og NMBU, med finansiering fra Innovasjon Norge, FFL/JA og næringa selv. Formålet med prosjektet er å vurdere mulighetene for å drive avlsarbeid for økt fôreffektivitet hos melkeku, der dyras evne til å utnytte nasjonalt fôrgrunnlag med stor andel grovfôr, er en viktig motivasjon (Krogsti, 2023).

Prosjektet har inngått samarbeid med 14 melkeprodusenter (Østlandet og Trøndelag) om innstilling av grovfôrkarer med vektceller (BioControl) som gir individuelle målinger av daglig fôropptak. Individuelt kraftfôropptak (type og mengde) registreres i melkeroboter og kraftfôrautomater. Grovfôrprøver tas ukentlig for analyser av næringsinnhold.

Innhenting av data fra disse besetningene har pågått siden 2021. Mer detaljer om teknologi og kilder til datafangst er beskrevet av Krogsti (2022). Installasjon av GreenFeed (GF) stasjoner (gjenbruk fra prosjektet «High-Tech fjøs») var forventet ferdigstilt innen jan. 2024 (Krogsti, pers.med.). Målinger av daglig melkeytelse, daglig fôropptak, grovfôr kvalitet, kuas vektutvikling og utslipp av metan i samtid på samme individ vil gi unike data om de biologiske koblingene mellom produksjon, fôreffektivitet og klimagassutslipp. Det forelå (aug. 2023) noen foreløpige resultater basert på ca. 550 NRF kyr, med til sammen ca. 60 000 enkeltmålinger.

Figur 5.4. bekrefter på samme måte som for GF-målingene at målemetodikken for daglig tørrstoffopptak hos melkekyr er robust og pålitelig når den benyttes på et stort antall dyr med gjentatte målinger. Basert på foreløpige data ble tørrstoffopptak per dag beregnet til ca. 20,4 kg i gjennomsnitt per ku per dag, med et standardavvik på 4,3 kg/dag.

En beregning av avlsverdier for daglig grovfôropptak (Fig. 5.5.) viste en tilnærmet normalfordeling med stor variasjon. Negative tall her betyr lavere fôropptak, og høyere verdier gjelder kyr som større kapasitet for grovfôropptak enn gjennomsnittet. Som for de andre egenskapene vist foran, er dette et uttrykk for at det er arvelig variasjon i grovfôropptak hos NRF melkekyr. Arvegraden er foreløpig beregnet til ca. 0,20.

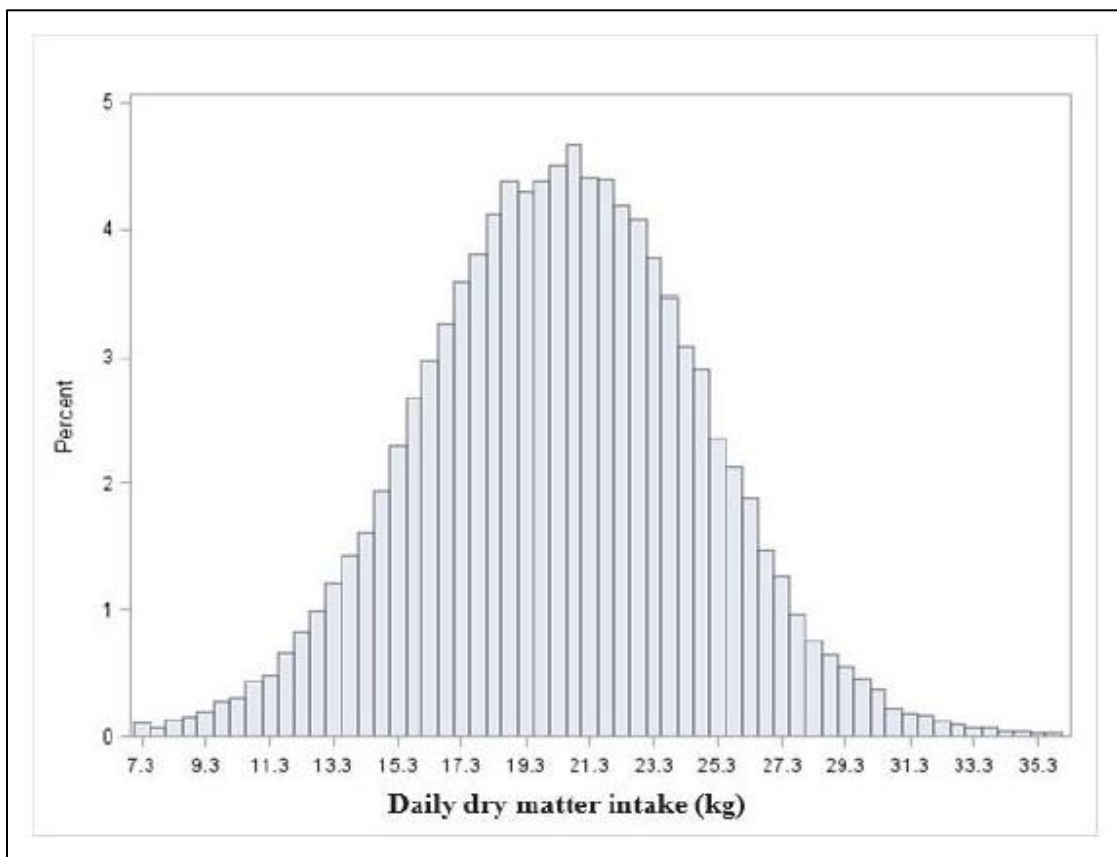


Fig. 5.4. Variasjon i daglig tørrstoffopptak (kg TS/dag) i sum kraftfôr og grovfôr beregnet for 557 NRF kyr i åtte besetninger med melkeproduksjon (Bakke and Heringstad, 2023).

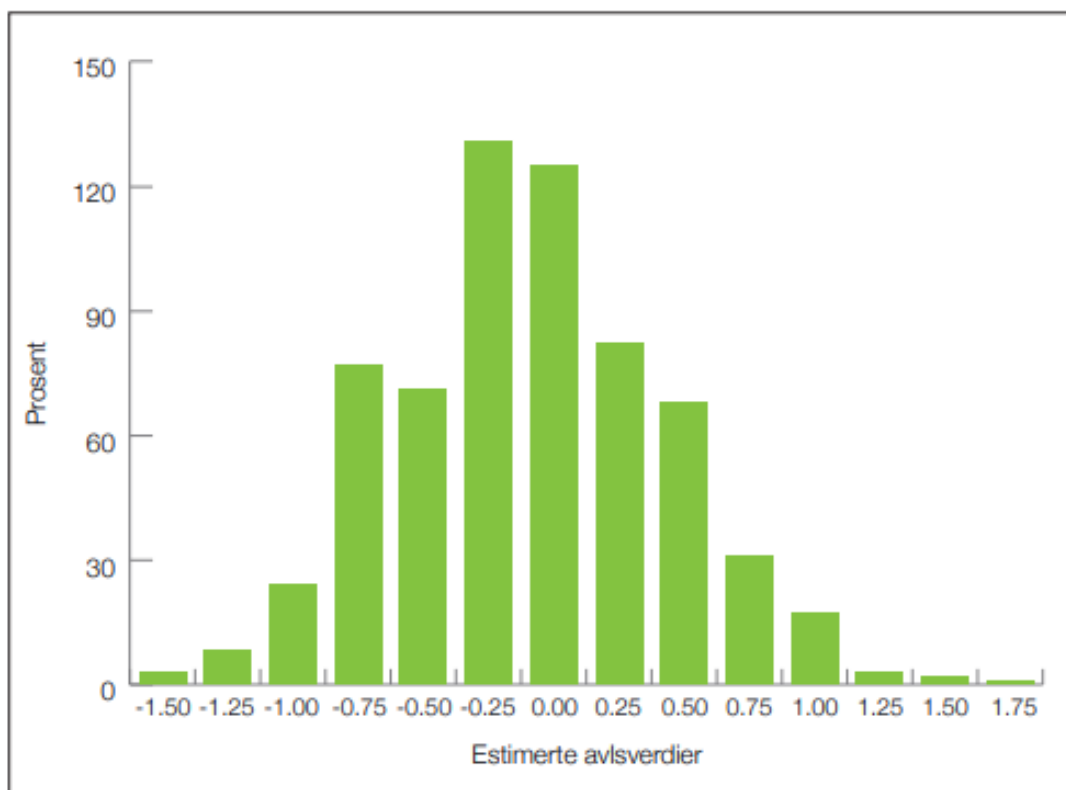


Fig. 5.5. Variasjon i beregnede avlsverdier for daglig grovfôropptak korrigert for tørrstoff for ca. 600 NRF kyr i åtte besetninger med melkeproduksjon (Bakke and Heringstad, 2023).

5.1.3. Potensialet for å inkludere daglig metanutslipp og fôrutnyttelse i avlsarbeidet med NRF

Resultatene fra GENOs prosjekter som er gjengitt her illustrerer at det er en nær sammenheng mellom høyt produksjonsnivå (melkeytelse eller tilvekst på okser), daglig fôropptak og daglig CH₄ utslipp.

Fôreffektivitet, dvs. evne til å omsette opptatt fôr til produksjon og egne kroppsbehov ressurseffektivt, er en kompleks biologisk egenskap. Dette gjelder særlig drøvtyggere, som har et fordøyelsessystem styrt av et stort mangfold av mikroorganismer. Kyr med god fôrutnyttelse er kjennetegnet ved at de har et lavere fôrbehov enn forventet i forhold til andre kyr, sammenliknet ved samme melkeytelse. Man kan da tenke seg at dette igjen vil gi utslag i reduserte daglige CH₄ utslipp.

Avlsarbeidet med NRF omfatter som vist tidligere (Kap. 4.4.1) en hel rekke egenskaper som balanseres mot hverandre i et bredt avlsmål. Svar på beregninger knyttet til forutsetning nr 3) vil være avgjørende. Slike arvelige sammenhenger må derfor beregnes basert på et omfattende og godt datagrunnlag før man kan vurdere hvorvidt den nye egenskapen skal inkluderes i avlen. På det nåværende tidspunkt er det ikke mulig å si noe om potensialet for å inkludere daglig metanutslipp og/eller fôrutnyttelse i avlsarbeidet med NRF. Det gjenstår mye arbeid før det kan konkluderes endelig fra disse prosjektene.

5.2 Avl for reduserte metanutslipp fra sau

5.2.1 Mobile klimakamre

Norsk Sau og Geit (NSG) anskaffet i 2020 ti såkalte Portable Accumulation Chambers (PAC-chambers; norsk: mobile klimakamre) for å måle produksjon av enterisk metan (CH₄) fra sau og geit under norske forhold.

PAC-kammerne er utviklet ved AgResearch på New Zealand og er gasstette kamre, med et volum på 1146 cm³, hvor konsentrasjonen av O₂, CO₂ og CH₄ måles med Eagle gassmåleutstyr (RKI Analytical) ved innsett, etter 25 minutter og etter 50 minutter. Dyrene veies før måling i PAC for å ta hensyn til dyrets volum. Denne protokollen er utviklet av forskere hos AgResearch i New Zealand (Jonker et al, 2020). Mobile klimakamre anvendes dessuten til metanmålinger på sau i New Zealand, Australia, Uruguay, Irland og Storbritannia. NSG sine klimakamre er bygget inn i skapet på en lastebil (Figur 5.6). Dette gir mulighet for å reise rundt til gårder i hele landet, selv på vinteren hvor gassmålinger ellers ikke ville fungert. Lastebilen har fått navnet «Metanmåleren». Utstyret har vært brukt i tre prosjekter til nå: SMARTER-prosjektet (SMAll RuminanTs breeding for Efficiency and Resilience, EU Horizon 2020, 2018-2023, delkapittel 5.2.2); 'Grass To Gas: Strategies to mitigate GHG emissions from pasture-based sheep systems', 2019-2023, delkapittel 5.2.4, delkapittel 8.2 og delkapittel 8.4.3); 'Bruk av mobile klimakamre for beregning av metanutslipp fra sau og geit', 2021-2022 (delkapittel 5.2.3).



Figur 5.6. Metanmåleren til NSG (Foto: Janne Brodin og Gareth Difford)

5.2.2 SMARTER-prosjektet

I SMARTER-prosjektet målte NSG konsentrasjonen av O₂, CO₂ og CH₄ på litt over 6000 NKS søyer i 57 ringbesetninger. Ringbesetninger ble valgt for å sikre genetiske bånd mellom besetningene, som er en forutsetning for genetiske analyser. Målet var å undersøke om metanutslipp var arvelig under norske forhold, og videre hvilken sammenheng metanutslipp har til egenskapene i avlsmålet for NKS. Norsk Kvit Sau (NKS) ble valgt, fordi det er den største sauerasen i Norge, og dermed vil en reduksjon i metanutslippet på denne rasen ha størst effekten for det nasjonale klimagassregnskapet. Genomisk seleksjon (GS) ble dessuten innført i avlsarbeidet for NKS i 2020. GS er et effektivt redskap for å oppnå avlsframgang for egenskaper som er kostbare å måle og derfor kan måles på relativt få dyr. Metanutslipp er et godt eksempel på en slik egenskap. Forutsetningen for å kunne bruke GS for CH₄ er at det må bygges opp en referansepopulasjon av gentestede dyr med metanmålinger. Mesteparten av de 6000 søyene ble derfor også gentestet.

Dyrets vekt og fôropptak forklarer mye av metanutslippet og kan anvendes som korreksjonsfaktorer i beregningene. Det er ikke mulig å måle individuelt fôropptak i felt, men gassmålingene for CO₂ utslipp ble i beregningene brukt som et mål for fôropptak (pseudo fôropptak), fordi det er høy sammenheng mellom fôropptak og CO₂-utslipp.

Basert på de innsamlede PAC målinger har NSG beregnet foreløpige arvegrader for henholdsvis metanutslipp per time korrigert for vekt og metanutslipp per time korrigert for pseudo fôropptak estimert fra mol summen av metan og CO₂. De foreløpige analysene (Jakobsen et al., 2022a) viser, at begge egenskapene er arvelige i NKS-populasjonen og det er dermed mulig å avle for reduserte metanutslipp hos NKS. Før eventuell beslutning om inkludering av avlsarbeidet før flere mål for metan utprøves (Jakobsen, pers.komm).

Delegenskapene i avlsmålet for sau vektas sammen til en samlet O-indeks (delkapittel 4.3.1). I vektleggingen av de ulike egenskapene i avlsmålet tas det hensyn til de genetiske sammenhengene mellom egenskapene. NSG har derfor undersøkt de genetiske sammenhenger mellom de to metanegenskapene beskrevet ovenfor og egenskapene inkludert i dagens avlsmål (Jakobsen et al., 2022a). Generelt sett var metanutslipp korrigert for vekt ugunstig korrelert til morsevne for tilvekstegenskapene, mens metanutslipp korrigert for pseudo fôropptak hadde sammenhenger nær null til egenskapene i avlsmålet. En reduksjon i metanutslipp gjennom avl uten at det skjer på bekostning av framgangen for egenskapene i avlsmålet er ønskelig og metanutslipp korrigert for pseudo fôropptak er en klar kandidat. Ulempen med definisjonen brukt i denne analysen er at dette er en såkalt «ratio-trait» eller brøk og slike egenskaper er vanskelige å håndtere i avlsarbeidet.

Det finns altså muligheter for seleksjon for redusert metanutslipp hos NKS. En slik reduksjon vil være kumulativ og permanent, men vil ta tid. For inkludering i avlsarbeidet er det i øvrig viktig at referansepopulasjonen av dyr med fenotype og genotype vedlikeholdes slik at seleksjonskandidatene er i nær slekt med dyrene i referansepopulasjonen. Hvis redusert metanutslipp skal inn i avlsarbeidet er det derfor viktig å fortsette med PAC målinger også framover.

5.2.3 Metanutslipp fra sau og geit

I prosjektet «Bruk av mobile klimakamre for beregning av metanutslipp fra sau og geit» var målet å undersøke om NSGs mobile klimakamre kan brukes til å måle metanutslipp fra geit i felt, og videre å kartlegge variasjonen i metanutslippet fra sau og geit gjennom døgnet og fra dag-til-dag.

Geiter er kjente for å reagere på miljøforandringer som beiteslipp og fôrforandringer med en økning i celletallet i melka. Før oppstart av målingene til «Bruk av mobile klimakamre for beregning av metanutslipp fra sau og geit»-prosjektet undersøkte NSG derfor om geiter reagerer på PAC målinger med en økning i celletallet. Undersøkelsen ble gjennomført på to gårder med en «metangruppe» og

en «kontrollgruppe» på hver gård. Ingen signifikant effekt på celletall ble funnet mellom kontrollgruppen (som ikke hadde vært i PAC) og gruppen som hadde vært i PAC (Jakobsen et al, 2022b). Dette betyr at PAC-målingene ikke fører til noen stressrespons hos melkegeiter som gir utslag i økt celletall.

I prosjektet ble det gjort målinger i 5 sauebesetninger og 3 geitebesetninger i Sør-Norge. Hver produsent hadde besøk i en arbeidsuke der metanmålinger ble gjort i tre påfølgende døgn på de samme individene. I sauebesetningene ble det gjort 12 målerunder i døgnet, mens på geit ble det redusert til 9 målerunder i døgnet på grunn av melking.

Gjentatte målinger gjennom dagen ga informasjon om døgnvariasjonen og betydningen av tid uten fôropptak før måling. Dette ga også grunnlag for å beregne totalt utslipp per døgn. De samme dyra på gården ble målt 3 dager etter hverandre for å kartlegge dag-til-dag-variasjonen. Resultatene fra geitebesetningene viste at det var signifikante forskjeller mellom gårder i individuelle metanutslipp (Jakobsen et al., 2023). Dette var relatert til forskjeller mellom gårdene i gjennomsnittlig levendevekt på geitene; gårdene med størst geiter hadde høyest metanutslipp. Når metanproduksjon ble uttrykt per kg melk ukorrigert for tørrstoff % var det imidlertid ikke lengre noen signifikant forskjell mellom gårder. Dette indikerer at melkeytelse ukorrigert for tørrstoff % forklarer en større andel av variasjonen i enterisk metanproduksjon mellom gårder enn levendevekt.

Dataene fra de fem sauebesetningene er per nå ikke ferdig analysert (Jakobsen, pers.komm).

I teorien kan geiter også være et modelldyr for melkeku (Jakobsen et al., 2023).

5.2.4 Grass To Gas: raseforskjeller i metanproduksjon

NMBU har vært partner i EU-prosjektet «Strategies to mitigate GHG emissions from pasture-based sheep systems» (Grass To Gas, 2019-2023), sammen med deltakere fra Storbritannia, Irland, Frankrike, New Zealand, Uruguay og Tyrkia. Hensikten med prosjektet er å se på ulike måter å redusere klimagassutslipp fra beitebasert saueproduksjon. Fokus er på føreffektivitet og metanutslipp fra vomma hos ulike typer sau. I den norske delen av Grass To Gas-prosjektet ble det målt daglig produksjon av enterisk metan fra to saueraser; Gammelnorsk Spæl (GNS) og Norsk kvit sau (NKS) føret med to ulike surfôrkvaliteter (gjennomsnittlig vs. høy kvalitet, effekt av grovfôrkvalitet, omtales under delkapittel 5.2) (Åby et al., 2023a). Forsøket inkluderte 40 voksne søyer i tidlig drektighet, 20 av hver rase. I forsøket ble søyene oppstallet individuelt i to perioder på tre uker. Hver periode besto av en uke tilvenning og to uker med målinger. Fôropptak gjennom døgnet ble målt med BioControl-systemet (Figur 5.7). Daglige metanmålinger ble gjort i PAC-kammere i samarbeid med NSG (se delkapittel 5.2.1) på hverdager (mandag til fredag) over to uker i hver periode.



Figur 5.7. Søye i individbinge med fôropptaksmålinger med BioControl systemet med elektronisk vekt (venstre) og PAC kammerer (høyre). Bilde: Gareth Difford.

Det ble funnet at GNS hadde signifikant lavere daglig tørrstoff- og NDF-inntak, både totalt og per kg kroppsvekt, sammenliknet med NKS. Det samme mønsteret ble observert for enterisk metan; GNS hadde signifikant lavere utslipp av enterisk metan, både per dag, da enterisk metan ble korrigert for tørrstoffopptak (26.5 vs. 36.4 gram CH₄ per dag) og da metan ble uttrykt per kg kroppsvekt (0.38 vs. 0.44 gram/kg). De observerte raseforskjellene i fôropptak (tørrstoff og NDF) og produksjon av enterisk metan kan være relatert til kontraster i størrelse på vom relatert til kroppsstørrelse (se under), passasjehastighet i vom, NDF fordøyelighet, sammensetning av mikrober i vom, fermenteringshastighet etc. Raseforskjellene i enterisk metan må imidlertid ses i sammenheng med klimagassutslipp per kg produkt produsert (slakt og ull, kapittel 6.3).

Som nevnt over er vomstørrelse relativt til kroppsvekt relevant for produksjon av enterisk metan fordi flere studier har vist en sammenheng mellom metanproduksjon og vomstørrelse; liten vom fører til mindre metanutslipp. Dette kan være relatert til høyere passasjehastighet gjennom vomma og dermed mindre tid for vommikrobene til å fermentere fôret, lavere konsentrasjon av metanogene bakterier og mer propionsyre i vomvæska.

I et påfølgende forsøk i «Gras To gas»-prosjektet (Åby et al., 2023b), finansiert av Eckbos legat, ble størrelsen på vom (målt som vomvekt) relativt til slaktevekt undersøkt. Totalt i forsøket ble vomvekt på 64 søyer og lam av de to rasene undersøkt. Dataene ble samlet inn fra to besetninger, som hadde begge raser, i Viken. Alle forsøksdyrene ble slaktet på Nortura Gol 18. Oktober 2022, og vommene ble tømt, vasket og forsiktig vridd opp for å fjerne overflødig vann før de ble veid. Det ble funnet signifikante raseforskjeller for voksne søyer, hvor GNS hadde mindre vom relativt til kroppsstørrelse (1371 vs. 1665 gram). Dette kan tyde på at raseforskjellene som ble funnet på fôropptak og enterisk metan kan være relatert til kontraster i vomanatomi. Relativ større vom for NKS kan være relatert til avlsarbeidet, hvor økt tilvekst på utmarksbeiter kan være et resultat av økt fôropptakskapasitet. Sammenhengen mellom vomstørrelse og produksjon av enterisk metan må undersøkes nærmere i forsøk hvor fôropptak, enterisk metan og vomstørrelse måles på samme individer. Det ble ikke funnet noen effekt av rase på vomstørrelse hos lam.

5.2.5 Sustain Sheep

SustainSheep (Reducing sheep methane emissions: sustainability in practice via new breeding goals, 2024-2027) bygger videre på Grass To Gas-prosjektet (kapittel 5.2.4) og har som målsetning å bygge infrastrukturen som skal til for at metanproduksjon skal kunne inkluderes i nasjonale avlsprogram for sau. I den norske delen av prosjektet skal det gjøres genetiske og genomiske analyser av metanproduksjon fra sau. Dette skal danne grunnlaget for å videre kunne undersøke effektiviteten av å selektere for lavere metanproduksjon under norske forhold. Utviklingen av en modell (en såkalt digital tvilling) som beskriver det norske avlsprogrammet for sau, vil bidra til å beregne avlsfremgangen man kan forvente ut fra ulike forutsetninger, slik som beregnede arvegrader, vektingen av metan i avlsmålet og de genetiske sammenhengene mellom metanproduksjon og andre viktige avlsmåsegenskaper. Til slutt skal det også beregnes hvor mye avlsarbeid for redusert metanproduksjon har å si for utslippet per kg produserte enhet slakt og ull ved å bruke HolosNorSheep-modellen (kapittel 6.3).

5.3 Avl for økt nitrogeneffektivitet hos gris

Fôr er den viktigste variable kostnaden i svineproduksjon og fôrutnyttelse har derfor vært inkludert i avlsmålet for norsk landsvin og Duroc i mange tiår allerede. Fôrproduksjon er den viktigste kilden til klimagassutslipp fra svineproduksjon (Bonesmo et al., 2012). Økt fôreffektivitet i svineproduksjon kan påvirke arealbehovet til (fôr)kornproduksjon og dermed klimagassutslippene. Avlsopplegget for økt fôreffektivitet kan muligens videreutvikles til å inkludere utnyttelsen av spesifikke næringsstoffer, slik

som nitrogen. En høyere fordøyelighet av nitrogen i svineproduksjon kan redusere behovet for råprotein i fôret, og dermed redusere arealbehovet til produksjon av proteinråvarer, samt eventuelt øke norskandelen i kraftfôret (Martinsen, pers. komm). I tillegg vil nitrogenutskillelsen i gjødsla reduseres, som vil føre til lavere direkte og indirekte lystgassutslipp fra lagring og spredning av svinegjødsl.

Norsvin har beregnet arvegraden på nitrogenfordøyelse, samt undersøkt genetiske sammenhenger til andre viktige egenskaper i avlsmålet. Dette ble gjort basert på data samlet fra Duroc-råner som har stått på råneteststasjonen Delta (Martinsen et al., 2023). Rånetesten varer fra 40 til 120 kg levendevekt og rånene blir fôret med et kommersielt kraftfôr i kraftfôrautomat. Individuelt fôropptak og kroppsvekt registreres for hvert besøk i kraftfôrautomaten. Når testen er ferdig, blir rånene CT scannet for å få informasjon om kjøtt % og fett på slakt. I forbindelse med CT scanningen blir rånene oppstallet individuelt i 48 timer, og det ble da tatt en gjødslprøve fra et tilfeldig utvalg av Duroc-råner, 1975 prøver totalt. Prøver av kraftfôret ble analysert for kjemisk innhold (tørrstoff, syre-uløselig aske, nitrogen og råfett). Et utvalg av gjødslprøvene (300 totalt) ble analysert for kjemisk innhold og brukt for å lage en kalibreringsmodell for NIR (Nær infrarød spektroskopi) analyse av total nitrogen- og råfettinnhold for resten av gjødslprøvene.

Apparant totalfordøyelighet (ATTD) ble beregnet med følgende formel. Syre-uløselig aske ble brukt som en markør, da dette finnes naturlig i fôret og i gjødsla.

$$ATTD (\%) = 100 - \left(100 \times \left(\frac{\text{næringsstoff i gjødsl, kg TS}}{\text{næringsstoff i fôret, kg TS}} \right) \times \left(\frac{\text{markør i fôr, g TS}}{\text{markør i gjødsl, kg TS}} \right) \right)$$

Fordøyeligheten av nitrogen ble inkludert i genetiske analyser, sammen med viktige produksjonsegenskaper: fôrforbruk fra 40 til 120 kg (FF40120), dager fra 40 til 120 kg (D40120), muskeldybde ved 100 kg (MD) og spekkdybde ved 100 kg (SD).

De genetiske analysene resulterte i arvegrader på fordøyelighet av nitrogen og råfett på hhv. 0,20 og 0,22. Dette er en middels høy arvegrad, som indikerer potensiale for å avle for høyere nitrogen- og fetteffektivitet.

De genetiske korrelasjonene mellom ulike egenskaper er vist i Tabell 5.1. neste side. De fleste genetiske korrelasjonene var ikke signifikant forskjellige fra null (dvs. ingen genetisk sammenheng), indikert med vanlig skrift i tabellen. Signifikante genetiske korrelasjoner er vist i fet skrift. De signifikante genetiske korrelasjonene indikerer at råner med lavt foropptak har høy utnyttelse av tørrstoff, organisk stoff, fett og nitrogen. I tillegg har råner med liten spekkdybde (dvs. magrere dyr), bedre utnyttelse av nitrogen. De genetiske korrelasjonene mellom ATTD_{TS}, ATTD_{OD} og ATTD_N var høye og positive (dvs. høy effektivitet for ett fôreffektivitetsmål indikerer høy fôreffektivitet for de andre målet). Apparent totalfordøyelse av fett hadde imidlertid ingen genetisk sammenheng med apparent totalfordøyelse av andre næringsstoff. Den genetiske sammenhengen mellom fôrforbruk og nitrogeneffektivitet ($r_g = -0,54$) viste at dagens avlsarbeid for økt fôreffektivitet også bidrar til økt nitrogeneffektivitet.

Tabell 5.1. Genetiske korrelasjoner mellom apparent totalfordøyelighet av tørrstoff (ATTD_{TS}), organisk stoff (ATTD_{OS}), nitrogen (ATTD_N) og råfett (ATTD_{FETT}) og produksjonsegenskaper*

	FF40120¹	D40120²	MD³	SD⁴
ATTD _{TS}	-0,35	0,07	-0,17 (0,13)	-0,10
ATTD _{OS}	-0,28	0,10	-0,19 (0,13)	-0,01
ATTD _N	-0,54	0,11	-0,11 (-0,31
ATTD _{FETT}	-0,20	-0,05	0,25	-0,18

*fet skrift indikerer at korrelasjoner er signifikant forskjellig fra null; ¹Fôrforbruk fra 40 til 120 kg; ²Dager fra 40 til 120 kg; ³muskeldybde ved 100 kg; ⁴spekkdybde ved 100 kg

Disse resultatene viser at det er mulig å øke fôrutbyttet av spesifikke næringsstoffer som nitrogen (og fett) for å minimere tap av næringsstoffer i svineproduksjon, samtidig som fôrforbruket per kg produkt reduseres. Dette kan gi rom for å redusere råprotein innholdet i kraftfôret som vil kan ha konsekvenser for arealbruk. Økt effektivitet av spesifikke næringsstoffer kan videre gi muligheter for å bruke lokale og nye fôrråvarer. Samtidig kan det direkte og indirekte klimagassutslippet fra husdyrgjødsel bli redusert på grunn av redusert nitrogeninnhold i husdyrgjødsel (Martinsen et al., 2023).

6. Effekter av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp med klimarådgiving på gårdsnivå basert på HolosNor gårdsmodeller

6.1 HolosNor

Gårdsmodellen for norsk kombinert melk- og storfekjøttproduksjon ble utviklet i et forskningsprosjekt ved NMBU i samarbeid med Agriculture and Agri-Food Canada (Bonesmo et al., 2013) og er den første i rekken av HolosNor gårdsmodellene. Modellen beskriver en typisk norsk melkeproduksjon med inneføring surfôr/kraftfôr samt en angitt beiteperiode. Modellen inkluderer oppdrett av ungdyr til påsett og oppfôring av okser til slakt.

6.1.1 Klimagassutslipp fra norsk melk- og storfekjøttproduksjon

Da HolosNor modellen ble vitenskapelig publisert, omfattet artikkelen også resultater fra en studie av 30 norske bruk med melk/kjøtt produksjon spredt over hele landet, basert på data fra driftsgranskingene.

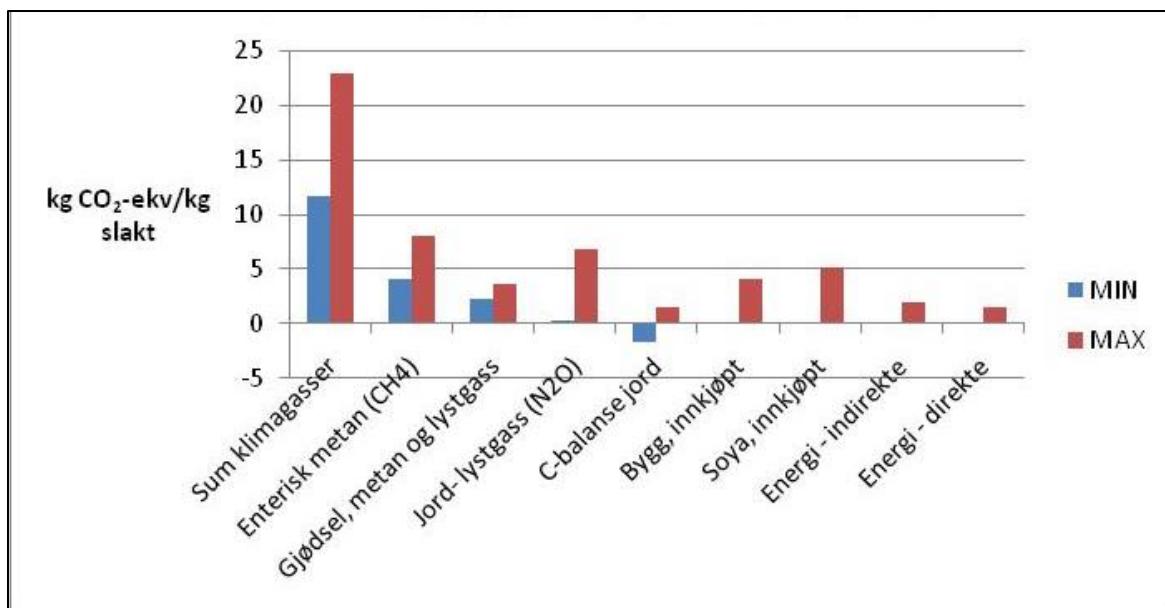
Tabell 6.1. viser resultater fra denne første studien av kilder til utslipp fra hhv. mjølke- og kjøttproduksjonen på gårdene, samt variasjonen mellom gårdene i nivåer av de ulike kildene.

Utslippene er presentert som kg CO₂-ekv./kg fett og protein korrigert mjølk og kg CO₂-ekv./kg slaktevekt (SL). Klimagassutslippene fordeles på melk (fett/protein korrigert) og slakt ved å bruke en allokeringfaktor basert på energifôrforbruket til melk og slakt.

Tabell 6.1. Variasjon i klimagassutslipp fra ulike kilder basert på beregninger fra 30 norske kombinert melk/kjøtt bruk (Bonesmo et al., 2013).

	Kg CO ₂ -ekv./kg melk		Kg CO ₂ -ekv./kg okseslakt	
	Middel	(min, max)	Middel	(min, max)
Sum klimagasser	1.02	(0.82, 1.36)	17.25	(11.75, 22.90)
Enterisk CH₄	0.39	(0.36, 0.45)	6.84	(4.12, 8.06)
Gjødsel- CH₄, N₂O	0.18	(0.13, 0.23)	2.98	(2.21, 3.59)
Jord- N₂O	0.21	(0.11, 0.41)	3.08	(0.29, 6.78)
Karbonbalanse-jord	-0.03	(-0.14, 0.10)	-0.51	(-1.64, 1.45)
Innkjøpt bygg	0.06	(0.00, 0.13)	1.26	(0.00, 4.11)
Innkjøpt soya	0.09	(0.00, 0.17)	1.88	(0.00, 5.22)
Energi- indirekte	0.07	(0.01, 0.14)	0.97	(0.09, 1.99)
Energi- direkte	0.05	(0.01, 0.11)	0.75	(0.19, 1.45)

Tabellens venstre del viser beregningene av gjennomsnittlig klimagassutslipp per kg fett/protein korrigert melk samt variasjonsbredden (min, max) blant de 30 gårdene, mens tabellens høyre del viser tilsvarende tall for utslipp pr kg okseslakt. Det var betydelig variasjon i totale klimagassutslipp mellom de 30 gårdsbrukene. Særlig stor var variasjonen i utslipp fra både metan, gjødselhåndtering og innkjøp av kraftfôrråvarer målt i utslipp per kg produkt. Metanutslipp fra fordøyelsen utgjorde den største enkeltkilden for både melk og slakt, men summen av metan (CH₄) og lystgass (N₂O) tap fra gjødsel og jord var nesten tilsvarende. Settes variasjonen for utslipp per kg slakt inn i et stolpediagram (neste side) illustreres betydningen av de ulike kildene enda klarere.



Figur 6.1. Variasjon (min, max) i klimagassutslipp (kg CO₂-ekv./kg slakt) fra ulike kilder fra 30 norske kombinert melk/kjøtt bruk summert (Bonesmo et al., 2013).

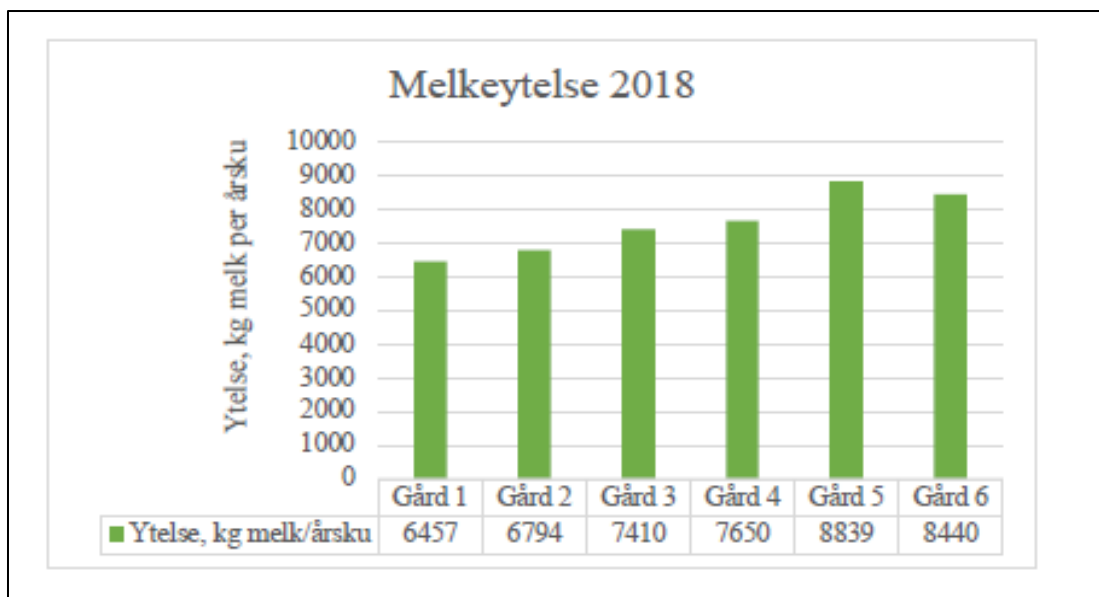
Utslipp fra gjødning og jord bidro til store forskjeller i utslipp mellom gårder, og kan altså være en større utslippkilde per kg produkt enn utslippene av metan fra vomfordøyelsen. Dette illustrerer at optimalisering av husdyr- og mineralgjødning håndtering kan være et sentralt tiltak for reduksjon av utslipp på gårdsnivå. Framtidige muligheter innenfor biogassanlegg vil bidra i samme retning. Forskjeller i «Sum klimagasser» illustrerer også et betydelig potensial for å redusere klimagassutslipp fra storfekjøttproduksjonen. I rådgivings situasjonen kan spørsmålet stilles: Hva kjennetegner gårdsbrukene som har lavest utslipp per kg slakt?

Senere er HoloNor benyttet i flere ulike modelleringstudier som ikke er presentert her. Disse studiene har hatt formål som spenner fra effekter av klimaendringer på tilgang av fôr og gårdsøkonomi (Gülzari et al. 2017), til beregninger av klimagassutslipp i melk/kjøtt produksjon med ulike grovfôr kvaliteter (Åby et al., 2019).

I en masteroppgave benyttet Vilhelmsen (2019) HoloNor for å studere variasjon i klimagassutslipp fra seks gårder med kombinert melk/kjøtt produksjon innenfor samme distrikt i Nordland. Gårdene (Fig. 6.2.) var ulike i driftsopplegg og fjøssystemer, mens det naturgitte grunnlaget for drifta var likt. Gård nr. 1, 3 og 4 hadde 40-60 årskyr i løsdriftsfjøs med melkerobot. Gård nr. 2, 5 og 6 hadde alle under 20 årskyr, og båsfjøs/løsdrift uten robot. Alle hadde oppdrett av okser til slakt, bortsett fra gård 5 og 6 som hadde kastrater på utmarksbeite.

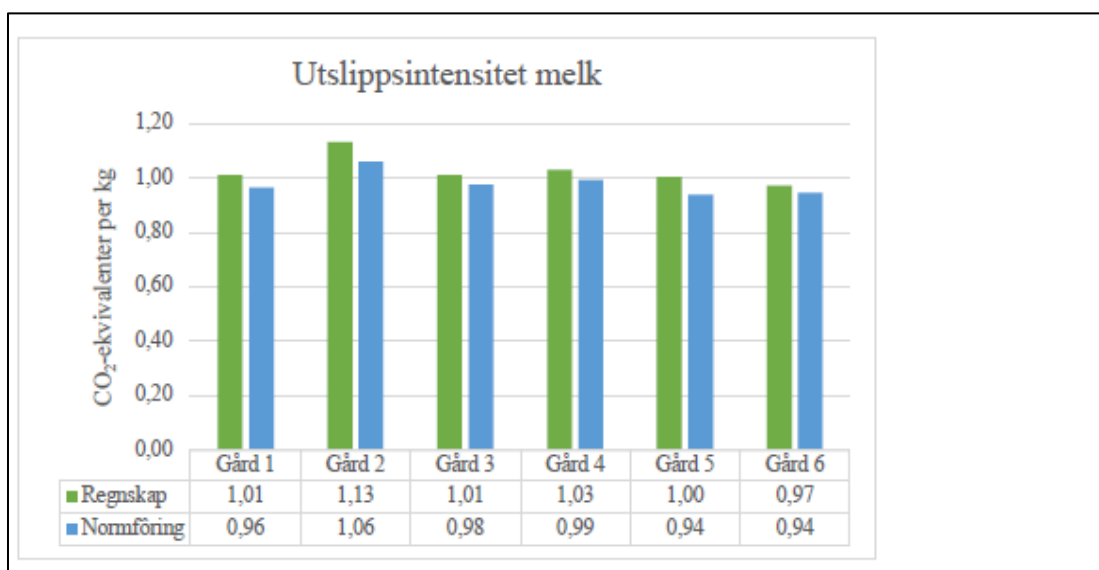
Resultatene fra denne studien er interessante fordi de representerer flere alternative produksjonsformer for kombinert melk/kjøttproduksjon, samtidig som det naturgitte grunnlaget for drifta (værforhold, geologi etc.) er tilsvarende for alle gårdene. Her vises kun de mest sentrale resultatene for illustrasjon. Det henvises til referansen for mer detaljer rundt beregningene.

Figur 6.2 viser en betydelig variasjon i melkeytelse per årsku mellom disse besetningene i 2018. Gård nr 1 skilte seg ut med lavest ytelsesnivå, til tross for stor besetning og melkerobot.



Figur 6.2. Melkeytelse (kg melk/årsku) på de ulike gårdene i 2018 (Vilhelmsen, 2019).

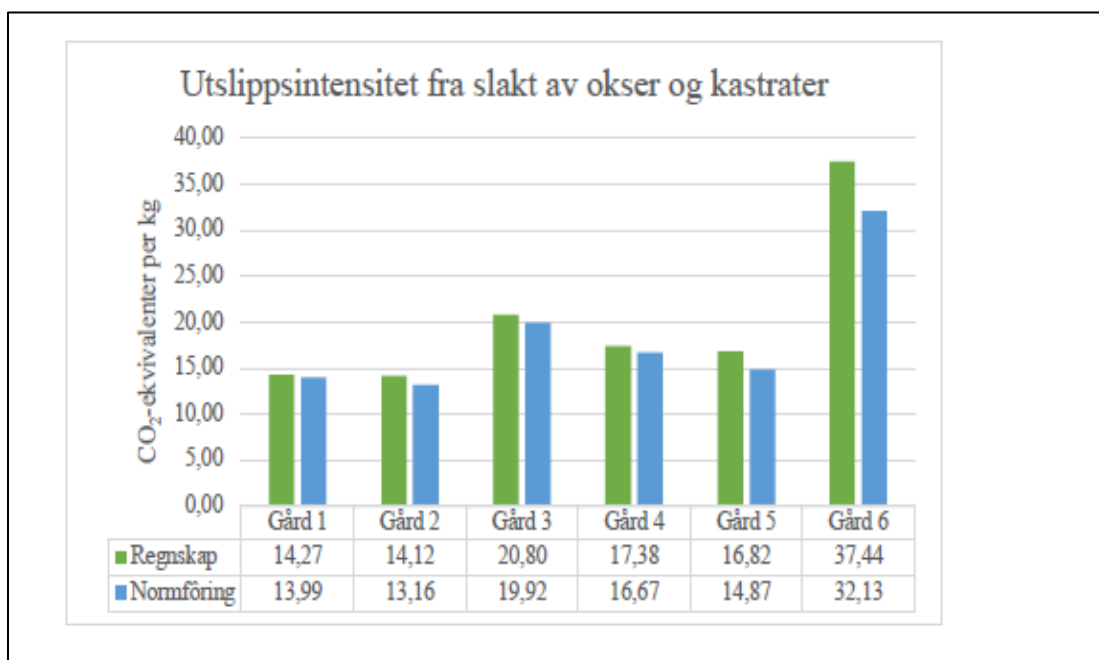
Dårlige værforhold for grovfôrdyrking i 2018 bidro til økt forbruk av kraftfôr i produksjonen enn vanlig. Kraftfôrforbruk ble derfor beregnet både ut fra fôrnormer og faktisk forbruk basert på gårdsregnskapene. Utslippsintensiteten (kg CO₂-ekv/kg melk) fra melkeproduksjonen, basert på begge alternative beregninger av kraftfôrforbruk, er vist i Figur 6.3.



Figur 6.3. Utslipp (kg CO₂-ekv./kg melk) på gårdene 1-6 basert på to alternative kraftfôrnivåer i besetningene (hensyntatt værforholdene 2018; Vilhelmsen, 2019).

Figuren illustrerer at 1) nivået på kraftfôrforbruk påvirker utslippene per kg melk, og 2) at disse ble høyere enn ved alternativt lavere forbruk av kraftfôr i et normalår for grovfôrkvalitet.

Utslippene per kg. slakt fra hhv. oker og kastrater er på tilsvarende måte vist i Fig. 6.4. Utslippene på flere av gårdene var lavere enn vist i Bonesmo et al. (2013), men med stor variasjon. Resultatene fra Gård 6 var forårsaket av uvanlige driftsforhold i 2018, og må sees bort fra.



Figur 6.4. Utslipp (kg CO₂-ekv./kg slakt) på gårdene 1-6 basert på to alternative kraftfôrnivåer i besetningene (hensyntatt værforholdene 2018; Vilhelmsen, 2019).

Oppsummert viser resultatene at besetningsstørrelse og fjøssystemer har liten betydning for klimagassutslippene under ellers likt naturgitt ressursgrunnlag for drifta. De viser også at melkeytelse per årsku ikke var avgjørende for utslipp per kg melk fra disse gårdene (Fig. 6.2. og Fig. 6.3.). Videre at det er mulig å oppnå like lave utslipp pr kg slakt fra NRF kastrater som fra NRF okser. Hvilke kilder til utslipp som påvirket totalt klimagassutslipp og kg CO₂-ekv./kg produkt varierte mellom gårdene i denne studien. Dette peker på at forskjeller i driftsstyring/management kan være det viktigste å fokusere under klimarådgiving på gårdsnivå.

6.2 HolosNorBeef

Gårdsmodellen HolosNorBeef ble utviklet som en del av en doktorgrad ved NMBU (Institutt for Husdyr- og Akvakulturvitenskap) for å beregne nivå og variasjon i utslipp av klimagasser fra ammekuproduksjon under norske forhold (Samsonstuen et al., 2019). Modellen er basert på to andre gårdsmodeller; HolosNor og BEEFGEM (Foley et al., 2011). Modellen er basert på godkjent metodikk fastsatt av FNs klimapanel (IPCC). En viktig forskjell mellom kombinert melk/kjøtt- og ammekuproduksjon er at alle utslipp kun tillegges produksjonen av slakt i sistnevnte.

HolosNorBeef er en gårdsmodell med årlige tidssteg og gir en beregning på gårdens netto klimagassutslipp. Modellen beregner direkte utslipp av metan, lystgass og karbondioksid fra husdyrproduksjonen, og indirekte utslipp knyttet til driftsmidler brukt på gården. Som nevnt foran (Kap. 2.1.2.1) jobbes det med å oppgradere modellberegningen for lagring eller tap av karbon i jord også i denne modellen.

HolosNorBeef beregninger krever detaljert informasjon om blant annet antall dyr i hver kategori (kyr, kviger, slakteokser), vekt ved ulik alder, slaktealder, grovfôr kvalitet, bruk av kraftfôr, gjødselhåndtering, areal og avling (gras og korn), jordsmonns- og værdata på gårdsnivå, produksjonsresultater, forbruk av mineralgjødsel, spredning av husdyrgjødsel, bruk av strøm, plantevernmidler, drivstoff etc.

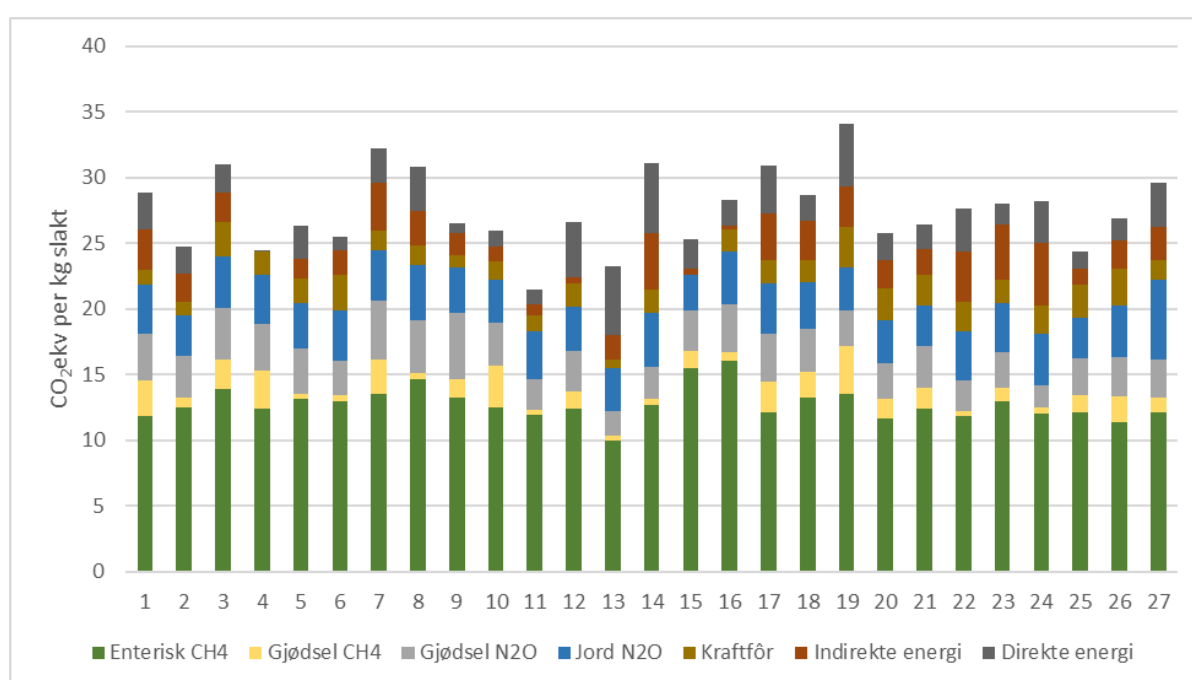
6.2.1. Klimagassutslipp fra ammekuproduksjonen

De første resultatene fra beregninger av utslipp fra norsk ammekuproduksjon med HolosNorBeef ble presentert i Kap. 5.2 i forrige rapport. Flere nye resultater fra analyser med denne gårdsmodellen foreligger, basert på reelle data fra norsk ammekuproduksjon.

6.2.2. Variasjon i klimagassutslipp fra norske ammekubesetninger

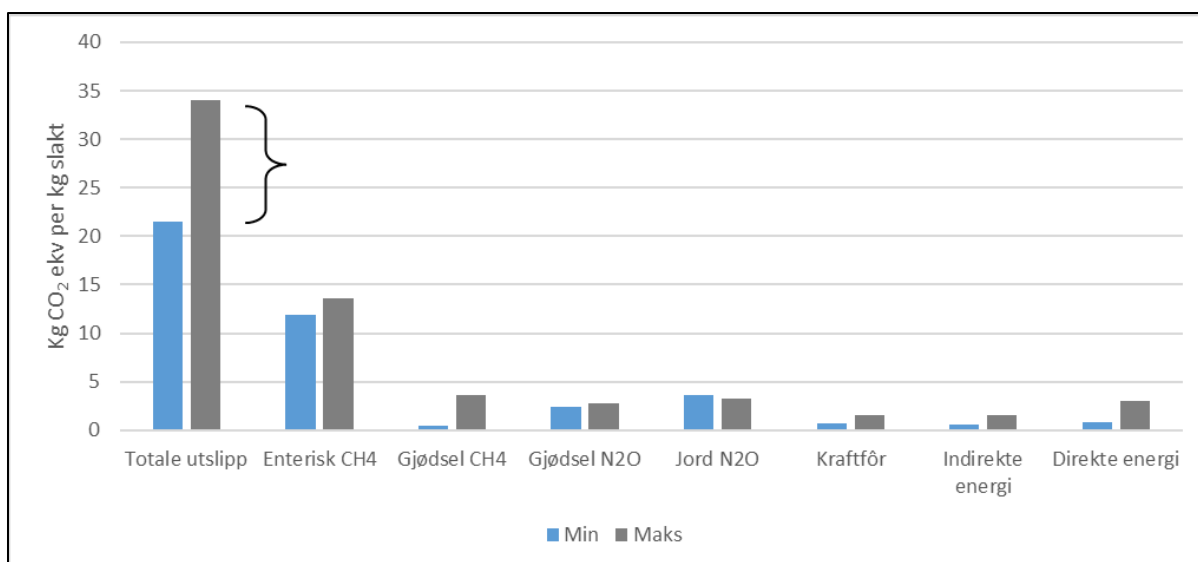
Regnskaps- og produksjonsdata fra Storfekjøttkontrollen (SFK) tilhørende disse ammekubesetningene stammer fra et forskningsprosjekt (Optibeef; 2014-2020; FFL/JA og næringspartnere). Dataene ble benyttet videre i analyser (Samsonstuen et al, 2020a) med HolosNorBeef etter avtale med samtlige produsenter. Gårdene var spredt over hele landet og fordelt likt mellom rasene Aberdeen Angus, Hereford og Charolais.

Utslipp i CO₂-ekv. per kg slakt på de 27 gårdene (i tilfeldig rekkefølge), fordelt på de ulike kildene til utslipp, er vist i Figur 6.5.



Figur 6.5. Variasjon i utslipp (CO₂-ekv./kg slakt) fra de 27 gårdene (Optibeef; 2014-2020, e. Samsonstuen, 2021).

Figuren illustrerer at det var stor variasjon mellom gårdene i utslipp per kg slakt, men også at det var stor variasjon i bidrag fra de ulike enkeltkildene. Det var ikke klare forskjeller i utslipp mellom raser. Dersom utslippene fra alle besetningene summeres og fordeles på de enkelte kildene til utslipp på gårdsnivå, ser man tydeligere hvor det er potensiale for å sett inn tiltak for utslippsreduksjoner (Figur 6.6. neste side).



Figur 6.6. Variasjonen mellom besetningene med lavest og høyest utslippsintensitet (kg CO₂-ekv. per kg slakt) viser potensialet for utslippsreduksjoner (Samsonstuen, 2021).

Både gjødselhåndtering og -lagring, forbruk av energi og valg av energikilder er viktige fokusområder utover dyrene i seg selv. Hver enkelt gård har sitt unike potensiale for å redusere utslipp, avhengig av gårdens ressursgrunnlag, produksjonsform og -resultater. Geografisk beliggenhet og lokalt ressursgrunnlag påvirker mulighetsrommet for reduserte utslipp, men tiltak knyttet til dyra for å redusere utslipp er også viktige. Resultater som illustrerer dette blir presentert i neste kapittel.

6.2.3. Klimaeffekter av tiltak på gårder med ammeku

Gårdsmodellene kan også benyttes til å synliggjøre effekter av å sette inn aktuelle klimatiltak på gården, knyttet til driftsstyringen av besetningen. I denne studien med HolosNorBeef ble beregningene basert på produksjonsdata fra alle ammekubesetninger som deltar i Storfekjøttkontrollen (Samsonstuen m.fl., 2020b).

I årsmeldingene til Storfekjøttkontrollen (SFK) gjengis slike produksjonsresultater gruppert i kategorier «dårligste, midtre og beste» 1/3 av besetningene. I dette arbeidet ble det benyttet reelle produksjonsresultater fra SFK (Årsmelding, 2018) tillagt 6 fiktive gårder, med 3 lette (britiske) og 3 tunge (kontinentale) kjøttfaser, og innen hver av disse, en gård i hver kategori. Beregninger av klimagassutslipp fra hver av disse «gårdene» kan illustrere hvor mye utslippene kan reduseres ved å bedre produksjonen, f.eks. ved å gå fra «dårlig» til «midtre» eller videre til «beste» resultater.

Muligheter for reduserte utslipp fra dyra ble konsentrert om tre egenskaper av stor økonomisk betydning i ammekuproduksjonen; 1) Kalvedødelighet, 2) Ant. levende kalver per årsku og 3) Slaktetilvekst på ungdyr. I tillegg ble det også sett på klimaeffekten av å kombinere forbedringer for alle de tre egenskapene.

De to første egenskapene gir gevinst i form av økt produktivitet per ku, i praksis at det blir flere ungdyr per ku i besetningen. Økt slaktetilvekst på ungdyr bidrar til slakting ved lavere alder og samme vekt, som gir innsparinger i metanutslipp fra dyret for hver dag slaktealderen reduseres (se eks. Kap. 1). Gevinsten i økt produktivitet kan man velge å utnytte på flere måter; Enten redusere ant. kyr og holde antallet ungdyr og slaktevolum konstant, eller beholde alle kyr og øke slaktevolumet med flere ungdyr.

I denne analysen ble det forutsatt at antall kyr ble holdt konstant, og at slakteproduksjonen økte etter at forbedringene var gjennomført i besetningene. Forutsetningene for beregningene og resultater i form av reduserte utslipp i CO₂-ekv/kg slakt er vist i Tabell 6.1.

Tabell 6.1. Reduksjon i utslipp per kg slakt (CO₂-ekv./kg slakt) i ammekubesetninger med hhv. britiske og kontinentale kjøttfaser på fiktive gårder med ulik produksjonseffektivitet, basert på reelle data hentet fra Storfekjøttkontrollen (e. Samsonstuen m.fl., 2020b).

	BRITISKE RASER			KONTINENTALE RASER		
	Beste 1/3	Midtre 1/3	Dårligste 1/3	Beste 1/3	Midtre 1/3	Dårligste 1/3
Produksjonsegenskaper (SFK)						
1) Kalvedødelighet (%)	0	7	19	0	8	17
2) Ant.kalver pr. årsku	1.1	1.07	0.9	1.1	1.07	1.01
3) Slaktetilvekst ungdyr (kg/dag)	1.24	1.05	0.8	1.49	1.27	1.01
4) Kombinasjon 1-3						
Reduksjon i utslipp/kg slakt (%)						
1)	-2.9	-9.2		-3.3	-6.5	
2)	-3.2	-6.5		-3.1	-6.1	
3)	-2.0	-3.0		-6.6	-6.1	
4)	-9.2	-18.1		-14.2	-18.0	

Den øvre delen av tabellen viser reelle produksjonsresultater (SFK, 2018) fordelt på tre kategorier gårdsbruk med ammeku og to rasetyper. Tabellen viser at det var stor variasjon mellom hver kategori av gårder, både når det gjaldt kalvedødelighet, antall kalver per årsku og slaktetilvekst på okser i kg/dag. Forskjellene mellom rasetyper var små. Forskjellene mellom den beste 1/3 og den dårligste 1/3 av gårdene viser det teoretisk maksimale forbedringspotensialet som kan oppnås.

Nedre del av tabellen viser resultater i reduksjon i utslipp (%) fra beregningene. Generelt viste resultatene at det ble størst reduksjon i utslipp ved å forbedre produksjonsresultatet fra «dårligste» til «midtre» for begge rasetyper. Eksempelvis ville man oppnå en reduksjon i utslipp per kg slakt mellom 6,5-9,2 % ved å gå fra «dårligste» til «midtre» kategori ved å redusere kalvedødeligheten fra 17-19 % til 7-8 %. Ved å forbedre videre til «beste» kategori i kalvedødelighet viste resultatene en ytterligere reduksjon i utslippene med ca. 3 %. Den beste kombinasjonen av alle tiltak 4) fra «dårligste» til «beste» viste en samlet reduksjon i utslipp på rundt 30 %. I praksis bør man kunne forvente at produksjonsresultatene kan forbedres fra «dårlig» til «midtre» nivå med forbedret produksjonsstyring.

Optimalisering av dyreholdet på gårdsnivå kan altså bidra til å redusere klimagassutslipp av enterisk metan (se også Kap. 1). I denne studien ble antall kyr opprettholdt, og gevinsten tatt ut i økt slakteproduksjon. Generelt kan man si at jo færre kyr man kan holde uten å redusere slaktevolumet, desto større reduksjon i totale klimagassutslipp fra gården. Dette som følge av lavere totale utslipp av metan fra ammekyr i uproduktive perioder, samt lavere utslipp knyttet til fôrproduksjon (energi, mineralgjødning etc.). Dette vil også synliggjøres i det nasjonale utslippsregnskapet. Hvilket alternativ som er mest økonomisk gunstig for bonden i praksis vil avhenge av flere forhold. Økt slakteproduksjon vil gi økt behov for innsatsfaktorer som kraftfôr og grovfôrarealer. Reduksjonene i utslipp per kg slakt kan dermed bli lavere enn ved å velge reduksjon i antall kyr.

Resultatene illustrerer betydningen klimarådgiving på gårdsnivå, og at dette kan bidra til betydelige reduksjoner i klimagassutslipp fra gårder med ammekuproduksjon. For at rådgivingen skal fungere slik i praksis, må det registreres gode individdata i besetningen over tid. Dette er en forutsetning for at bonden og klimarådgiveren skal kunne identifisere forbedringspunkter i produksjonen. Uten slike registreringer av data fra husdyrholdet er det ikke mulig å drive reell klimarådgiving som har med

dyrene å gjøre. For mange ammekubesetninger er suboptimalt dyrehold den viktigste utslippsposten. (se Kap. 4.2.1.).

6.3 HolosNorSheep

HolosNorSheep ble utviklet i NMBU-prosjektet «Climate Smart Norwegian Sheep Production» (Klimasmart sau, 2019-2023). Modellen beregner klimagassutslipp fra norske sauebruk, og inkluderer de samme kildene til klimagassutslipp som beskrevet over. Modellen beskriver saueproduksjon med lamming om våren, vårbeite før slipp på utmarksbeite på forsommeren. Sanking på høsten, med slakt av lam i ulike puljer (enten rett fra utmarksbeite eller sluttføring med ulik lengde). Innsett på høsten, med inneføring med surfôr, og eventuelt kraftfôr. Fôrbehov og fôropptak beregnes med Nortura Saueføring.

I HolosNorSheep er modellene fra Carbon Limits (2020a, 2020b) for å beregne metan og lystgass fra husdyrgjødsel implementert. Disse modellene brukes i det nasjonale utslippsregnskapet, og inkluderer egne utslippsfaktorer for sau. I modellen fordeles klimagassutslippene til slakt og ull, og det er mulighet for å bruke ulike allokeringsmetoder (økonomisk, fôrbehov, proteinbasis, masse).

6.3.1 Klimagassutslipp fra norsk saueproduksjon

Klimagassutslipp fra norsk saueproduksjon har blitt beregnet med HolosNorSheep-modellen (delkapittel 6.3) basert på både gjennomsnittstall fra Driftsgranskningene for ulike regioner (Åby et al., 2022) samt fra et utvalg besetninger spredt over hele landet i en pilotstudie av Klimakalulatoren for sau (Åby et al., 2023).

6.3.2 Klimagassutslipp og utslippsintensiteter for saueproduksjon i ulike geografiske regioner

HolosNorSheep-modellen (delkapittel 6.3) ble den brukt til å beregne klimagassutslipp og utslippsintensiteter for slakt og ull for fem geografiske regioner i Norge (Åby et al., 2022). De fem regionene (Østlandet, Vestlandet, Sørlandet, Midt-Norge og Nord-Norge) ble basert på gjennomsnittstall fra Driftsgranskningene (NIBIO, 2021). De geografiske regionene har åpenbart forskjeller i klima, ressurstilgang, driftsstyring osv. For eksempel varierer gjennomsnittlig årstemperatur fra 2,8 °C i Nord-Norge til 7,6 °C på Sørlandet. Tilsvarende varierer nedbørmengden fra 848 mm på Østlandet til 1890 mm på Sørlandet (Norsk Klimaservicesenter, 2022). I tillegg varierer størrelse på gård, produksjonsresultater og bruk av innsatsfaktorer (Tabell 6.2).

Tabell 6.2. Gjennomsnittlig mengde produsert ull og slakt, antall dyr, produksjonsresultater, arealbruk, årshjul og gjødselhåndtering for norske sauegårder i fem geografiske regioner

Input data	Region				
	Øst	Sør	Vest	Midt	Nord
Slakt produsert, ^a	4105	4744	4197	5544	5705
Ull, kg ^a	479	542	597	757	856
Vinterfôra søyer ^a	94	106	102	133	136
Fødte lam ^{a,b}	260	289	275	355	358
Slakta lam ^{a,b}	182	200	190	236	238
Påsettlam ^a	38	43	42	55	51
<i>Innsatsfaktorer</i>					
Drivstoff, liter ^a	2711	2842	3047	3539	5334
Ensileringsmidler, kg CH ₂ O ₂ ^a	160	240	509	266	215
Mineralgjødning, kg N/daa ^a	8,4	10,0	6,8	6,7	10,4
Plantevernmidler MJ/daa ^a	6,9	2,0	4,4	2,2	1,3
<i>Arealbruk og avling</i>					
Fulldyrka- og beiteareal, daa ^a	224	265	236	295	360
Grovfôravling, Fem/daa ^a	226	210	225	224	182
<i>Årshjul, datoer</i>					
Lamming ^c	28.04	28.04	23.04	26.04	01.05
Vårbeite ^d	15.05	15.05	11.05	13.05	18.05
Utmarksbeite ^e	10.06	18.06	12.06	05.06	06.06
Sankedato ^f	08.09	12.09	15.09	10.09	14.09
Slakt ^e	02.10	02.10	27.09	30.09	05.10
<i>Antall lam per søye/påsettlam</i>					
Levendefødte ^e	2,25/1,53	2,24/1,55	2,10/1,45	2,09/1,40	2,12/1,36
Lam om høsten ^e	1,84/1,24	1,79/1,24	1,77/1,23	1,72/1,13	1,73/1,06
Vårvekt, kg ^e	19,1	22,5	21,6	17,7	15,4
Høstvekt, kg ^e	43,2	42,8	44,7	41,8	44,0
Slaktevekt, lambs ^b	19,2	18,9	18,0	18,0	18,9
Levendevekt søyer, kg ^{b,d}	81,0	78,6	73,8	73,4	77,6
<i>Gjødselhåndteringssystem, %^g</i>					
<i>Bløtgjødsel</i>					
Gjødselkjeller, spalt	35,9	54,9	44,8	42,9	56,2
Gjødselkjeller, tett gulv	2,4	13,2	8,1	5,5	1,5
Gjødseltank, naturlig skorpe	1,5	7,6	3,5	3,3	1,5
Talle	20,9	12,5	29,1	25,3	29,2
Utendørs	16,5	1,4	2,9	4,4	1,5
Innendørs	18,9	9,7	10,5	16,5	7,7
Fastgjødning	3,9	0,7	0,7	2,2	2,3
<i>Gjødselspredning, %^g</i>					
Vår	62	66	62	68	69
Sommer	27	28	32	29	20
Høst	11	6	6	3	11

^aNIBIO, 2021; ^bAnimalia, 2022; ^cAnimalia, 2021; ^dLien, 2016; ^eStornes, 2017; ^fHaarsaker and Thuen, 2019; ^gSSB, 2020.

Jord- og værdata manglet for noen av regionene, så karbonbalansen ble satt til null for alle regionene i beregningene. Det ble brukt økonomisk allokering for å fordele klimagassutslippene til de to produktene, slakt og ull. Utslippsintensitetene for slakt/ullvarierte fra 20,5/17,4 (Midt-Norge) til 23,7/20,2 kg CO₂-ekvivalenter per kg produkt i Nord-Norge. Et vektet snitt for landet, basert på fordelingen av sauepopulasjonen i de ulike geografiske regionene, ble beregnet til hhv. 21,3 og 18,1 kg CO₂-ekvivalenter per kg produkt for slakt og ull.

Enterisk metan var den viktigste utslippskilden og sto for 44-55% av totalutslippene, fulgte av lystgass fra jord (15-19% av klimagassutslippene). Klimagassutslipp fra kraftfôr var en liten kilde i alle regioner (2-4%).

Forskjellene mellom regionen med høyest (Nord-Norge) og lavest utslippsintensiteter (Midt-Norge) var relatert til høyere utslipp fra lystgass fra jord og CO₂ utslipp fra produksjon av innsatsfaktorer (mineralgjødning) og bruk av drivstoff. I Nord-Norge. Dette fordi en kortere vekstsesong blir kompensert for med økt arealbruk. Det var relativt liten variasjon i utslippsintensiteter mellom geografiske regioner, dette er sannsynligvis relatert til små forskjeller i produksjonsresultater ved bruk av samme sauerase over hele landet, og små effekter av genotype x miljø samspill.

6.3.3 Pilotstudiet av Klimakalkulatoren for sau

Før lanseringen av Klimakalkulatoren for sau i 2023 ble det i «Klimasmart sau»-prosjektet utført en pilotstudie (Åby et al., 2023) basert på 38 utvalgte gårder med sau med stor variasjon i klima, ressursgrunnlag, fôring og management (Figur 6.7). De 38 brukene hadde såkalt «grønn beregning» i Klimakalkulatoren (komplett datagrunnlag). Av pilotbrukene drev flest i kombinasjon med melk (18 stk), men en del var også rene sauebruk (13 stk). Resten av gårdene hadde sau i kombinasjon med enten kun ammeku, eller ammeku og melk. Data ble samlet inn i Klimakalkulatoren gjennom Landbrukets dataflyt etter at gårdbrukeren ga samtykke til å dele sine data. Dataene var fra 2019 til 2021 og gårdene kunne ha data over flere år, som resulterte i 68 beregninger av klimagassutslipp totalt. Gjennomsnittlig besetningsstørrelse var 83 søyer (±49) og størrelse på engareal var 240 dekar. Det var stor variasjon i viktige input parametere, både for produksjonsresultater og bruk av innsatsfaktorer (Tabell 6.3).



Figur 6.7. Geografisk spredning av pilotbrukene

Grunnet manglende data for mange gårdsbruk, lot ikke karbonbalansen i jord seg beregne og ble da ikke inkludert i resultatene. Det var heller ikke tilgjengelig informasjon om hvilket gjødselhåndteringssystem som var på gården.

Tabell 6.3. Gjennomsnitt, standardavvik, maksimum og minimum for produksjonsresultater, og bruk av inputfaktorer for pilotbesetningene

	Gjennomsnitt (std)	Minimum	Maksimum
Søyer			
levendevekt, kg*	78 ($\pm 6,5$)	56	81
antall avvente lam	2,0 ($\pm 0,3$)	1,4	3,0
Lam			
Høstvekt, kg	45 ($\pm 4,8$)	33	54
slaktevekt, kg	20,6 ($\pm 2,4$)	15	27
Tilvekst fødsel-høst, g	310 ± 40	230	400
Sluttfôring, dager	20 (± 12)	4	78
Innsatsfaktorer			
strøm, kwt	13207 (± 16623)	0	95532
kraftfôr	2,2 ($\pm 1,7$)	0	7,8

*beregnet ut fra slaktevekt

Gjennomsnittlig utslippsintensiteter per kg produsert slakt og ull ble beregnet til henholdsvis 20.4 ± 4 og 22.2 ± 6.7 kg CO₂-ekv. per kg. Variasjonen per kg slakt var fra 11 til 30 kg CO₂-ekv, som viser at det er et potensiale for å redusere klimagassutslipp.

6.3.4 Tiltak på gårdsnivå for reduserte klimagassutslipp fra saueproduksjon

6.3.4.1 Økt mordyeffektivitet i saueproduksjon

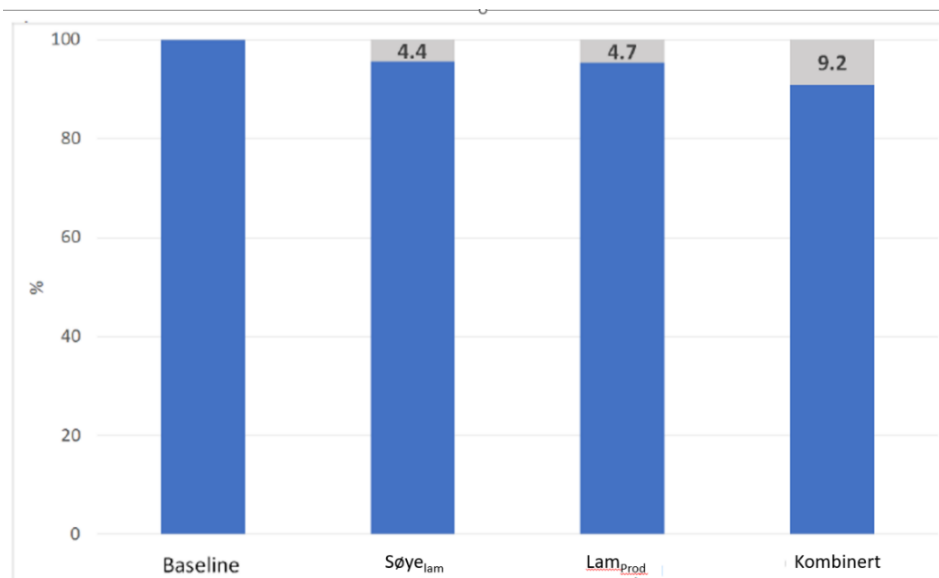
HolosNorSheep modellen (delkapittel 6.3) har blitt brukt til å undersøke effekten av økt mordyeffektivitet på utslippsintensitetene for ull og slakt (Åby et al., 2022). Effekten av disse tiltakene ble sammenliknet med en Baseline som var basert på gjennomsnittstall i Sauekontrollen i 2020 (Animalia, 2021) og resultater fra Driftsgranskningene i jordbruket for 2020 (NIBIO, 2021). Tre alternative scenarioer for tiltak ble sammenliknet med baseline scenarioet: 1) økt antall avvente lam per søye ($Søye_{lam}$); 2) økt tilvekst hos lam og økte slaktevekter (Lam_{prod}); 3) en kombinasjon av de to forannevnte tiltakene. Økt antall avvente lam per søye ble basert på tall fra beste tredjedelen i Sauekontrollen for antall fødte lam per søye og lammetap. For lammeproduksjon ble tilvekst og slaktevekter økt med 10%. I alle beregningene ble antall søyer holdt konstant, det vil si at produksjonen på gården ble tillatt å øke utover samlet produksjon av slakt og ull i Baseline. En oppsummering av viktige input er gitt i Tabell 6.4.

Tabell 6.4. Viktige input til Baseline og ulike scenario for tiltak

Input	Scenario			Kilde
	Baseline ¹	Søye _{Lam} ²	Lam _{Prod} ³	
Lam per søye				
antall fødte	2,22	2,29	2,22	Animalia, 2021
antall avvente	1,79	2,00	1,79	Animalia, 2021
Lam				
tilvekst fødsel-høst, g/dag	294	294	310	Animalia, 2021
Slaktevekt	19,7	19,7	21,7	Animalia, 2021

¹Nåsituasjonen basert på data fra Sauekontrollen og Driftsgranskningene i jordbruket for 2020; ²Økt antall avvente lam per søye; ³tilvekst fra fødsel til høst og slaktevekter økt med 10% i forhold til Baseline

Utslippsintensitetene (økonomisk allokering) i Baseline var hhv. 20.7 og 17.6 for slakt og ull. Effekten av de to tiltakene var en reduksjon på mellom 4,4 og 4,7%, mens en kombinasjon av tiltakene reduserte utslippsintensitetene med over 9% (Figur 6.8). Ved en norsk produksjon på 24 561 tonn sau og lammeslakt i 2020 (SSB, 2023c), tilsvarer dette en reduksjon på 35 689 tonn CO₂-ekvivalenter per år. Økt reproduksjon per søye, til vekst per lam og slaktevekter er dermed teoretisk effektive tiltak for å redusere klimagassutslipp i norsk saueproduksjon.



Figur 6.8. Potensiale for å redusere klimagassutslipp relativt til Baseline ved å øke antall avvente lam per søye, øke produktiviteten på lam (økte tilvekst og slaktevekter) samt en kombinasjon av de to tiltakene.

6.4 HolosNorPork

HolosNorPork ble vitenskapelig publisert i 2021 (Bonesmo and Enger, 2021). Ettersom denne gårdsmodellen er ny siden 2018, og utslipp fra svineproduksjonen ikke var omtalt i forrige rapport på grunn av manglende kunnskapsgrunnlag, blir det viet mer plass til å beskrive denne modellen her enn de øvrige gårdsmodellene. Til sist i dette delkapitlet blir det presentert resultater fra beregninger av klimagassutslipp fra norsk svineproduksjon på gårdsnivå med bruk av modellen.

HolosNorPork modellen er i likhet med de øvrige HolosNor modellene dynamisk og gir estimat for dyretall av ulike dyregrupper til enhver tid, samt endringer i disse på gårdsnivå. Utslippsfaktorene er også modellert slik at de påvirkes av ulike produksjonsforhold og endringer på gårds og/eller landsnivå. HolosNorPork (og Klimakalkulatoren) hensyntar utslipp fra både norske og importerte fôrråvarer, samt andre innsatsfaktorer som for eksempel elektrisitet. I tillegg beregnes utslipp knyttet til dyret (enterisk metan (CH₄), gjødselrelatert metan og lystgass (N₂O)).

Modellen har estimater for antall dyr gjennom året (årsdyr) og estimater av klimagasser for fire kategorier av griser: Purker, Ungpurker/Rekrutter, Slaktegris og Smågris. Datakildene er (1) avregninger med antall slakta dyr, (2) Ingris (husdyrkontroll for gris, Animalia), og (3) standardverdier dersom data ikke finnes fra gården. Med data fra Ingris for dyrenes tilvekst på gården beregnes «antall årsdyr» etter antall dager grisene tilhører hver dyrekategori. Basert på dette beregnes så antall dager dyrene produserer klimagasser. Antall årsdyr er lavere enn antall bingeplasser fordi bingene rengjøres etter bruk og står tomme en periode mellom hvert innsett av dyr. Antall års-smågris baserer seg på antall smågris avvent fra purkene på gården, i kombinasjon med faktisk tilvekst (kg/dag) for denne dyrekategorien. Data om antall årspurker hentes fra Ingris.

Per nå er det inkludert 4 standard norske fôrblandinger som er representative for de ulike dyrekategoriene av gris både i HolosNorPork og i Klimakalkulatoren. Fôrblandingene inngår med informasjon om utslipp fra produksjonen av fôret (kg CO₂-ekv./kg fôr), samt mengde protein og fiber, som indirekte påvirker utslippene fra de ulike kategoriene gris.

HolosNorPork modellen beregner enterisk og gjødselrelatert CH₄-utslipp, samt gjødselrelatert N₂O-utslipp for de fire kategoriene purker, rekrutter, smågris og slaktegris. Modellen har tilrettelagt for registrering av ulike typer gjødsellagre. Dette må registreres av brukeren, og vil påvirke beregningene av gjødselrelaterte klimagasser.

Beregninger av enterisk CH₄-utslipp beregnes ut fra tidligere publiserte vitenskapelige verdier for fordøyelig fiber, som er grunnlaget for gjæring i tykktarmen hos gris. Dette brukes i kombinasjon med det daglige inntaket av fordøyelig fiber for ulike dyrekategorier. Den fordøyelige fiberfraksjonen er definert som "de fordøyelige rester" (dRes), og beregnes som forskjellen mellom fordøyelig organisk materiale og fordøyelig protein, fett, stivelse og sukker. Typiske verdier for konsentrasjonen av dRes i fôr for de fire kategoriene gris ble hentet fra de to største fôrproduserende selskapene i Norge.

Beregninger av klimagasser oppgis i likhet med de andre HolosNor gårdsmodellene som utslipp i CO₂-ekv. per kg slakt. Disse beregnes per kg slakt av slaktegris og purke som er godkjent til mat. Allokeringen (fordelingen) av totale klimagassutslipp på gården mellom slakt av purke, slaktegris og salg av smågris er beskrevet av Bonesmo and Enger (2021). I Klimakalkulatoren finnes tall for både klimagasser per kg slakt, og per produksjon, samt dyrekategori på den aktuelle gården. De estimerte utslippsfaktorene (kg CO₂-ekv./kg slakt) avhenger av årlig datafangst fra gårdene, se Bonesmo and Enger (2021).

6.4.1 Beregninger av klimagassutslipp fra svineproduksjonen

Utslipp fra produksjon og prosessering av fôr bidro mest til utslippene i norsk svineproduksjon, og ble beregnet til 81 % av de totale utslippene. Den nest største kilden var de dyrerelaterte utslippene, som står for 15 % av de totale utslippene. Estimerte utslipp fra elektrisitetsbruk, ulike innsatsfaktorer og transport knyttet til gårdsaktivitet utgjorde kun 4 % av de totale vektete utslippene.

For 2019 er summen av alle dyrerelaterte utslipp (CH₄ og N₂O) som kan tilskrives norsk svineproduksjon på 46 837 tonn CO₂-ekv., basert på beregninger (Bonesmo and Enger, 2021) og antall svineslakt (1 572 021) produsert. Sammenlignet med tall fra NIR utgjør utslipp fra svin om lag 1 % av de totale utslippene i norsk jordbruk. Griser har en høy norskandel i fôret, og når man tar med norske fôrråvarer bidrar norsk svineproduksjon med 5 % av de årlige utslippene fra norsk jordbruk. Dette forutsetter en norskandel i fôret på 80 %, inkludert alternative fôrråvarer og grovfôr.

Resultatene fra beregningene med HolosNorPork viste en markant årlig reduksjon mellom 2014 og 2019 i utslippene estimert per kg svineslakt, med 6 % lavere utslipp i 2019 enn i 2014. Dersom man deler svineprodusentene inn i tre grupper basert på produksjonsresultater er det en betydelig forskjell i utslipp per kg slakt (15 %) mellom den svakeste og sterkeste gruppen av svineprodusenter. Beregninger fra besetninger med data fra produksjonen både før og etter en omlegging til SPF viste en klimagevinst i utslippsreduksjon på 11 - 15 % etter omleggingen, beregnet med HolosNorPork. Basert på tall fra Ingris er det også beregnet en SPF-effekt på 7 % reduksjon av klimagasser per kg slakt.

6.5. HolosNorEgg og HolosNorChicken

HolosNorEgg og HolosNorChicken er utviklet i Klimasmart Landbruk prosjektet (Samsonstuen, pers.komm) og beregner klimagassutslipp både på innsettnivå og årsnivå. Det inkluderes både utslipp fra husdyrproduksjonen (enterisk metan og metan og lystgass fra husdyrgjødsel), utslipp fra produksjon av innsatsfaktorer relatert til produksjonen (kraftfôr, elektrisitet). Modellene til Carbon Limits (2020a; 2020b) er implementert, tilsvarende som for sau og svin. I modellen skilles det ikke på ulike gjødsellagersystem for metan og direkte og indirekte lystgassutslipp (samme utslippsfaktor for alle gjødsellagringsystem). Det er en effekt av gjødsellagringsystem for tap av ammoniakk og nitrogenoksid og nitrogen (N₂). Klimagassutslipp forbundet med annen oppvarming enn elektrisitet (olje, gass, biobasert, spillvarme) er også inkludert, men må egenregistreres i klimakalkulatoren. Foreløpig er ikke Klimakalkulatoren for fjørfeproduksjon lasert i Klimasmart Landbruk-systemet.

Foreløpige beregninger viser at den viktigste utslippskilden i fjørfeproduksjon er utslipp fra produksjon av kraftfôr. I tillegg kan også utslipp fra oppvarming være betydelige utslipp. Enterisk metan er en ubetydelig kilde. En modell for kalkun (HolosNorTurkey) er under utvikling (Samsonstuen pers. komm).

7. Tilsetningsstoffer i fôret

Det har blitt gjort betydelig forskning på tilsetningsstoffer siden 2018, og hensikten med dette delkapittel er å fokusere på norsk forskning (der det eksisterer) samt forskningsaktivitet som pågår eller er i oppstartsfasen. Der det er relevant gis det en kort oppsummering av internasjonal forskning for å støtte oppunder norske resultater (biokull og makroalger), og der det ikke foreligger norske resultater enda (Agolin og 3-NOP).

Resultatene fra utenlandske forsøk med bruk av tilsetningsstoffer er ikke nødvendigvis overførbare til norske forhold. Samtidig er det en utfordring at tilsetningsstoffer ikke uten videre kan inkluderes i det nasjonale utslippsregnskapet. I Danmark jobbes det med nødvendig dokumentasjon til FNs klimapanel (IPCC) for å få dette inn i regnskapet for melkekyr. For å få dette til er det i igangsatt arbeid hos Aarhus Universitet, som inkluderer fôringsforsøk på melkekyr fôret med typisk dansk fôrrasjon tilsatt Bovaer®. Noe tilsvarende gjøres i Norge gjennom prosjektet MetanHUB (kapittel 7.6).

7.1 Agolin Ruminant

Agolin Ruminant (AR) er en blanding av planteekstrakter fra urter og krydder og inneholder eugenol (finnes i nellik-, muskat og kanelolje), geranyl acetat (finnes i mange essensielle oljer) og koriander olje (fra korianderfrø) som hovedkomponenter (Santos et al., 2010). Produktet har god smakelighet og lukt, og er godkjent som tilsetningsstoff i fôr i EU. Felleskjøpet lanserte kraftfôr med AR i 2017, og er fra mars 2018 tilsatt i hele FORMEL-sortimentet (Bondevennen, 2018).

I 2020 ble det publisert en litteraturgjennomgang av 23 studier som oppsummerte effekten av å gi AR (dosering 1 gram AR per ku og dag) på produksjonsresultater og enterisk metanproduksjon hos melkeku (Belanche et al., 2020). Det ble konkludert med at korttidsstudiene (under 28 dagers varighet) viste små og inkonsekvente effekter av AR. Ut fra de studiene som forelå på det tidspunktet ser det ut til at en tilvenningsperiode på fire uker er nødvendig for å få betydelig effekt av AR. Langtidsstudiene (mellom 28 til 365 dagers varighet) viste at AR økte melkeytelsen (+3,6%), fett og proteinkorrigert melk (+4,1%) og fôreffektivitet (+4,4%). Tørrstoffopptak, melkesammensetning og produkter fra vomfermentering ble ikke påvirket av AR. Langtidseffekten på metanproduksjon av AR var også betydelig, både per dag (-9,9%), per kg tørrstoff (-12,9%) og per kg proteinkorrigert melk (-9,9%). Tallene for enterisk metan var imidlertid basert på 5 - 7 studier (Belanche et al., 2020) og flere av de inkluderte studiene i litteraturgjennomgangen var ikke publisert i fagfelleurderte tidsskrift (Lind et al., 2023). Selv om resultatene av AR er lovende peker forfatterne på at konklusjonene må tolkes med forsiktighet (Belanche et al., 2020). Det påpekes også at virkemåten til AR foreløpig er uklar, og at det trengs flere studier for å undersøke effekten av AR på vommikrobene.

I ettertid av gjennomgangen til Belanche et al. (2020) har det blitt publisert studier med varighet over 28 dager. Carrasco et al. (2020) fant at kyr (midtlaktasjon) som ble fôret med AR i 56 dager hadde 11% lavere metan intensitet (metan per kg EKM). Tørrstoffopptak, EKM, melk- og protein% og fôreffektivitet var liknende mellom kontroll og kyr som fikk AR. Videre ble det funnet at kyr som fikk AR hadde 11,5% lavere ammoniakkproduksjon per dag og 16% lavere ammoniakkslipp per kg EKM. Forfatterne poengterer at det må undersøkes videre hvordan AR påvirker nitrogenutnyttelsen. Bach et al. (2023) fant reduserte metanutslipp per kg TS opptak ved fôring med AR (13 uker) på hhv. 3,4 og 12,4% reduksjon i. Videre ble det funnet en signifikant effekt av AR på daglig enterisk metanproduksjon (g/dag) og det ble funnet forskjeller i relativ mengde av ulike mikroorganismer, noe som indikerer at AR påvirker vommikrobene som igjen påvirker metanproduksjonen.

Effekten av AR ble testet ut av Miller et al. (2023a), som viste at metanproduksjonen per kg TS opptak var lavere når kastrater ble fôret med AR sammenlignet med de som fikk kontroll diett. Dette var

relatert til et høyere fôropptak mens testdyrene sto i respirasjonskamre, sammenliknet med kontrollgruppen. Det ble ikke observert noen forskjell på total metanproduksjon per dag.

Becker et al. (2023) tok utgangspunkt i resultatene rapportert av Belanche et al. (2020) for beregninger med en gårdsmodell for å undersøke effekten av AR på utslippsintensitet (kg CO₂-ekv. per kg EKM). Utslippsintensiteten for melk ble redusert med 6% ved bruk av AR grunnet redusert metanproduksjon. Hvis en i tillegg forutsatte positive effekter på melkeytelse og fôreffektivitet økte potensialet for utslippsreduksjon til 10%.

7.2. 3-NOP (Bovaer®)

3-Nitrooxypropanol, forkortet 3-NOP, er et kjemisk stoff utviklet av det sveitsiske firmaet DSM Nutritional Products, og som markedsføres under merkenavnet Bovaer®. 3-NOP har blitt testet ut siden 2014 på melkekyr, kjøttfe og sau og har gitt konsekvente reduksjoner i metanproduksjon i alle studier, også i langtidsforsøk (flere måneder). Det konkluderes med at 3-NOP har liten sikkerhetsrisiko og det er ikke funnet noen skadelige effekter på verken dyr eller mennesker (Jayanegara et al., 2018; Yu et al., 2021). 3-NOP har en veldig spesifikk virkning i metanogenesen (dannelsen av metan fra metanogene bakterier fra hydrogen og CO₂). Den molekylære oppbygningen til 3-NOP er veldig likt MCR (Metyl-coenzym M reduktase) og 3-NOP kan binde til det aktive setet til MCR. Metyl-coenzym M reduktase er et enzym som er avgjørende for det siste steget i metanogenesen, og siden 3-NOP binder seg til dette, hindres dannelsen av metan (Duin et al., 2016). 3-NOP brytes ned til nitritt og 1,3-propanideol i vomma, som er stoffer som er vanlige mellomprodukter fra omsetning i vomma (Duin et al., 2016). Imidlertid er det viktig å være oppmerksom på at nitritt kan føre til forgiftning som nedsetter oksygenforsyningen til vevene og dyrene kan dø av «indre kvelning». Tilvenning og rett dose er derfor viktig ved tildeling. Generelt er effekten av 3-NOP avhengig av dosen, men fôrrasjoner med høyt fiberinnhold reduserer effekten. Effekten har visst seg å være større på melkekyr enn på kjøttfe (Dijkstra et al., 2018). 3-NOP må tildeles kontinuerlig for å ha vedvarende effekt. Tilsetning av 3-NOP endrer ikke fermenteringsprosessen, eller sammensetningen av mikrobene i vomma og metanproduksjonen går tilbake til utgangspunktet når tildeling av 3-NOP stoppes. (Romero-Perez, 2015).

3-NOP ble først godkjent i Brazil og Chile (Yu et al., 2021) og fikk i november 2021 positiv vurdering av Den europeiske myndighet for næringsmiddeltrygghet (EFSA), hvor det ble vurdert som trygt for dyrehelse, folkehelse og miljø (EFSA, 2021). 3-NOP ble godkjent til melkekyr og avlskyr i EU av EU-kommisjonens faste komité for planter, dyr, mat og fôr, SCPAFF, seksjon for fôrvarer i 2022. Godkjenningen gjelder til april 2032. I Norge ble Forskriften om tilsetningsstoffer til bruk i fôrråvarer endret etter en høringsrunde i 2022 (forordning (EU) 2022/565) (Lovdata 2023) og 3-NOP ble godkjent under samme premisser i Norge.

7.2.1 Utfordringer med 3-NOP

3-NOP må tilføres kontinuerlig for å ha effekt noe som er uproblematisk når dyrene tildeles for eksempel fullfôr der 3-NOP blandes inn. En overvekt av forsøkene med 3-NOP er gjort med innblanding i fullfôr. I Norge tildeles surfôr og kraftfôr hver for seg og andelen grovfôr og fiber er generelt høyt. Yu et al. (2021) viste at høy andel grovfôr og fiber reduserer effekten av 3-NOP. Van Gastelen (2022) fant at 3-NOP er mindre effektiv når melkekyr fôres med gras-surfôr sammenliknet med mais-ensilasje. I en meta-analyse fant Kebreab et al. (2023) at økning i NDF innhold med 10 g/kg tørrstoff, fra gjennomsnittlig 329 gram NDF/kg tørrstoff reduserte effekten av 3-NOP på enterisk CH₄ produksjon med 0,6%, med 0,6% for CH₄/kg tørrstoff og 0,7% for CH₄ per kg EKM. Det gjennomføres forsøk i Norge,

blant annet i MetanHUB prosjektet (kapittel 7.6) for bedre forståelse av hvordan 3-NOP kan brukes under norske forhold.

3-NOP har blitt lite undersøkt for dyr på beite (Yu et al., 2021). Foreløpig finnes ingen løsning for hvordan 3-NOP skal tildeles dyra på beite. Dette vil være spesielt relevant og avgjørende for beiteland som f.eks Irland og New Zealand. En aktuell løsning er tildeling via Bolus (kapsel som legges i vomma fylt med 3-NOP) som er under utprøving i Australia, ved University of Queensland, men per nå ikke kommersielt tilgjengelig. En annen tilnærming er en langtidsvirkende coating («slow-releasing pellet») for å få en saktere frigjøring av virkestoffet. Den lange inneførringsperioden i Norge gjør at man vil ha god effekt av 3-NOP selv om en ikke får tildelt tilskudd på beite.

Innholdet av NDF vil øke med økende utviklingstrinn på beitegraset, noe som kan påvirke effekten av 3-NOP, som omtalt tidligere. Prosjektet MethanePasture (kapittel 8.4.3) skal derfor undersøke effekten av 3-NOP på tidlig og seint beite.

7.3 Nitrat

Nitrat vil konkurrere med metanogenesen, og er dermed en alternativ vei for å ta hånd om hydrogenoverskuddet i vomma (Lee og Beauchemin, 2014) noe som fører til lavere metanproduksjon. Nitrat reduseres til nitritt og så til ammoniakk i vomma. Som omtalt over, kan nitritt føre til forgiftning og dermed er det viktig at dyrene tilvennes nitrat gradvis. Det er ikke observert signifikante negative effekter på fôropptak eller tilvekst ved tilsetning av nitrat i fôret. Nitrat er også en god kilde til NPN (non-protein nitrogen, kan omdannes til protein av vommikrobene) og har dermed potensiale for å erstatte urea i fôret til drøvtyggere. Langtidsstudier har vist en reduksjon av metanproduksjon på opptil 35%, dog basert på få studier (litteraturgjennomgang av Lee og Beauchemin, 2014). Effekten på metanproduksjonen er doseavhengig, noe som øker risikoen for forgiftning. En ny litteraturgjennomgang gjort av Arndt et al. (2022) fant at nitrattilsetning reduserte enterisk metanproduksjon (g/dag) med 17 % ved en gjennomsnittlig dose på 16,7 g nitrat/kg TS opptak. Videre ble utslippsintensitetene for tilvekst og melk redusert med hhv. 12 og 15%. Tørrstoffopptak ble redusert med 3 %, men uten å påvirke produksjonsresultatene.

Nitrat kan delvis omdannes til N_2O i vomma. Tilskudd av nitrat i en fôrrasjon som allerede dekker dyrets nitrogen behov kan føre til økt utskillelse av N i husdyrgjødsel og dermed direkte og indirekte øke N_2O utslipp (Beauchemin et al., 2022).

SilvAir (Kalsiumnitrat) er varemerket til det amerikanske selskapet Cargill, og er en godkjent fôrtilsetning i enkelte land, som kilde til kalsium og et alternativ til urea som kilde til non-protein-N (Miller et al., 2023b). SilvAir er tilgjengelig i Belgia, Danmark, Frankrike, Tyskland, Irland, Nederland, Storbritannia og Brazil (Cargill, 2023). Nitrat er ikke godkjent som tilsetningsstoff i Norge. Cargill har patent på bruk av nitrat for å redusere metan hos drøvtyggere. Det er CO_2 -utslipp assosiert med produksjonen av nitrat (0,65 kg CO_2 /kg SilvAir; Hegardty et al., 2021). Nettoeffekten av tilsetning av nitrat som en metode for å redusere klimagassutslipp fra drøvtyggere må dermed undersøkes nærmere (Beauchemin et al., 2022).

7.4 Biokull

Biokull fremstilles ved pyrolyse (oppvarming av biomassen ved høy temperatur med begrenset tilgang på oksygen). Denne prosessen hindrer at materialet brenner opp og gjør at innholdet av karbon er høyt, samt at det gjør det veldig motstandsdyktig mot biologisk nedbryting. Forskning på bruk av biokull for å redusere klimagassutslipp har frem til for få år siden fokusert på bruk i jord (øker karbonlagring), men ideen om å bruke biokull for å redusere enterisk metan har kommet mer i fokus

de senere år. En tror at biokull kan absorbere metan produsert i vomma og dermed redusere utslippet av metan. Den første indikasjon på at tilsetning av biokull kan virke som en elektronakseptor og redusere metangassproduksjonen kom fra Vietnam i 2012 (Leng et al., 2012). Imidlertid synes det som at tilsetning av 1% biokull i dietten per dyr og dag ikke vil ha tilstrekkelig kapasitet til å absorbere alt hydrogen som produseres i vomma. Flere in vitro forsøk har visst en reduksjon i metanproduksjon når biokull ble tilsatt substrat (Cabeza et al., 2018; Saleem et al., 2018). Imidlertid er det til dato bare Leng et al. (2012) som har visst en tilsvarende signifikant reduksjon i in vivo forsøk. Forsøk gjennomført av Terry et al. (2019), Heil et al. (2022) og Lind et al. (Submitted) viste ingen effekt av biokull i dietten til hhv kviger, oksekalver eller søyer på redusert metangass. Effekten av biokull på enterisk metanproduksjon kan påvirkes av biomassekilde og pyrolyse temperatur, men mest sannsynlig er det ingen effekt av biokull.

7.5 Kombinasjon av ulike tilsetningsstoffer

Effekten av ulike tilsetningsstoffer har hver for seg vært betydelig undersøkt i mange studier. Siden ulike tilsetningsstoffer har ulik virkemåte på metanproduksjonen, kan det tenkes at tilsetning av flere tilsetningsstoffer i fôrrasjonen gir en additiv effekt og dermed gi en større reduksjon i enterisk metanproduksjon enn tilsetningsstoffene gir hver for seg. For eksempel i en kombinasjon av fett, nitrat og 3-NOP kan i teorien fett være energikilde for dyret samtidig som det reduserer fermenterbart substrat i vomma og ha en toksisk effekt på hydrogenproduserende protozoa og metanogene bakterier. Nitrat kan redusere mengden hydrogen som er tilgjengelig for metanogenesen, mens 3-NOP direkte hindrer metanogenesen (Villar et al., 2020; Maigaard et al., 2024). Effekten av kombinasjoner av ulike tilsetningsstoffer har kun vært undersøkt i et fåtall vitenskapelige studier frem til nå. Kombinasjonen av fett og nitrat førte til større reduksjon i enterisk metanproduksjon sammenliknet med stoffene hver for seg i et korttidsforsøk over 21 dager med kastrater (Villar et al., 2020). Tilsvarende additiv reduksjon fant Zhang et al. (2021) for kombinasjonen av nitrat og 3-NOP i forsøk med kjøttfe (15 dager med måling + 13 dager tilvenning). Det ble videre funnet at kombinasjonen av fett og 3-NOP reduserte totalfordøyeligheten og dermed kan redusere produksjonsresultater slik at ytterligere undersøkelser må gjennomføres. Maigaard et al. (2024) fant imidlertid ingen additiv effekt av å kombinere fett, nitrat og 3-NOP på enterisk metanproduksjon for melkekyr (21 dagers forsøk). Derimot fant de at kombinasjonen de tre tilsetningsstoffene påvirket fôropptaket negativt. Det må dermed gjøres mer forskning for å konkludere i forhold til effekten av å kombinere ulike tilsetningsstoffer på enterisk metanproduksjon, fordøyelighet og produksjonsresultater.

7.6 Makroalger

Makroalger inneholder mange ulike næringsstoffer og bioaktive stoffer (e.g. protein, karbohydrater, fett, vitaminer) og mindre molekyler som peptider, saponiner, alkaloider og pigment. Etter funnet at den røde arten, *Asparagopsis taxiformis* kan redusere produksjonen av enterisk metan med opp mot 60% (Kinley et al., 2020) har det blitt økt fokus på makroalger som potensielle metanhemmere. Det aktive stoff i *Asparagopsis* er bromoform. Bromoform er beslektet med flouroform, kloroform og iodoform og er klassifisert som potensielt kreftfremkallende hos menneske. På tross av den store reduksjon av enterisk metan, er tildeling av *Asparagopsis* forbundet med inkonsekvente resultater for helse og produksjon hos dyrene og funn av bromoform i produkter som kjøtt og melk.

Prosjektet SeaSolutions (www.seasolutions.ie) har gjennomført forsøk med bruk av ulike makroalger, enten tørket eller ekstrakt, *in vitro* og *in vivo*, gitt til både melkekyr, ammekyr og sau. I Norge ble rest-råstoff etter alginat produksjon fra stortare (*Laminaria hyperborea*) brukt i forsøk med sau. Resultatene fra det norske forsøket viste en viss reduksjon av enterisk metan de første par månedene,

men effekten avtok over tid. Vom mikrobenes evne til å tilpasse seg ulike dietter kan være en årsak til dette. Lagring og tap av effekt over tid kan være en annen årsak. For å få bedre klarhet i mekanismene, må det mer forskning til dersom makroalger skal vurderes som metanhemmere. I et annet norsk forsøk (Lind et al., 2020) ble den røde arten fjørehinne (*Porphyra* sp.) tilsatt fôr til sau, men det ble ikke funnet noen effekt av makroalgen for å redusere enterisk metan.

7.7 MetanHUB

MetanHUB er et 4-årig utviklingsprosjekt (2023-2027) finansiert over Jordbruksavtalen med et budsjett på rundt 40 millioner som ledes av TINE. Prosjektgruppa består i tillegg av NMBU, NIBIO, Nortura, Geno, NSG og TYR. Prosjektet tar ansvar for at: «Bruk av metanhemmere skal bidra til å oppfylle landbrukets Klimaplan. Det skal gjøres gjennom kunnskapsbygging, uttesting og en trygg implementering av metanhemmere for drøvtyggere under norske forhold». Prosjektet vil bygge på kunnskap fra allerede gjennomførte forsøk som inkluderer *in vitro* og *in vivo* forsøk med blant annet 3-NOP. MetanHUB skal sammenstille en litteraturstudie, «State of the art», fra nasjonale og internasjonale studier der valg av metanhemmere, utprøvningsmetoder og simuleringer i forhold til mulig effektoppnåelse for ulike dyreslag og fôringsstrategier blir vurdert. Videre skal MetanHUB teste eksisterende kjente og nye metanhemmere under norske forhold. Prosjektet vil inkludere utprøving på melkekyr, ammeku, okser, kviger, melkegeit og sau. Dokumentasjon av ulike metanhemmere og løsninger skal linkes mot metanutslipp, fôropptak, tilvekst, melkeproduksjon, fôreffektivitet, fruktbarhet, dyrehelse og ernæringsmessig kvalitet av melk og kjøtt. Det vil bli utviklet løsninger for tildeling, standardisert og tilpasset driftsopplegg, brukerstøtte og rådgiving for norske forhold. Risikovurderinger vil løpende bli oppdatert og tatt hensyn til. Formidling knyttet til utprøvinger både ved forskningsinstitusjoner og i felt og deling av erfaringer og nye løsninger mellom produsenter, forvaltning, næringsaktører og rådgivere blir viktig for å skape trygghet.

8. Effekt av grovfôrkvalitet på metanproduksjon

8.1 Klimagrovfôr

NMBU-prosjektet (Klimagrovfôr; 2019-2023) har undersøkt hvilke faktorer ved grovfôret som betyr mest for metanproduksjon i to *in vitro*-forsøk (forsøket gjøres i reagensglass, dvs. ingen målinger på levende dyr), samt gjennomført et fôringsforsøk som inkluderte metanmålinger på melkekyr.

Det første forsøket (Weiby et al., 2022) var en screening for å undersøke hvilke faktorer relatert til surfôret som er viktige for enterisk metanproduksjon. Som utgangspunkt for studien ble det samlet inn 78 rundballer (38 baller fra førsteslått, 32 fra andreslått og 8 fra tredjeslått) fra 37 gårder spredt over hele landet, valgt ut for få stor variasjon i surfôrkvalitet og kjemisk innhold. Rundballene ble analysert for kjemisk innhold, gjæringsparametere og det ble målt *in vitro* metanproduksjon. Metanproduksjon ble uttrykt som ml CH₄ per g organisk stoff (OM) og ml CH₄/g fordøyelig organisk stoff (dOM). Grunnen til å uttrykke metanproduksjon per gram OM er at surfôrkvalitetene varierte veldig i OM-innhold, og dette er den viktigste faktoren som påvirker CH₄-produksjon. Metanproduksjon som ml CH₄ per gram dOM ble undersøkt for å kunne se på hvordan ulike faktorer som inngår i OM (for eksempel fiber og vannløselige karbohydrater) påvirker CH₄ produksjon. Resultatene viste at det var høyest sammenheng (mellom CH₄ produksjon og innhold av NDF (neutral detergent fiber; fiberfraksjonen i surfôret), vannløselig karbohydrater (sukkerforbindelser i surfôret, WSC) og ufordøyelig NDF, iNDF). Dette betyr at surfôr med høyt innhold av WSC vil resultere i høy CH₄-produksjon, mens surfôr med høyt innhold av NDF og iNDF vil ha lav CH₄-produksjon. Det ble også gjort en stegvis regresjonsanalyse for CH₄/g OM. En stegvis regresjonsanalyse tar hensyn til sammenhengen mellom variablene, i motsetning til en korrelasjonsanalyse som kun ser på forholdet mellom to variabler. Den endelige stegvise regresjonslikningen ($R^2=0,65$) inneholdt følgende forklaringsvariabler: NDF, WSC, iNDF, propionsyre og pH. Innholdet av OM ble ikke inkludert i regresjonslikningen. Dette er sannsynligvis relatert til veldig høye sammenhenger til de andre inkluderte forklaringsvariablene (NDF, iNDF og WSC). Det er altså ikke innholdet av OM i surfôret i seg selv som direkte øker CH₄. Resultatene viser at regresjonsmodeller basert på det kjemiske innholdet kan brukes for å predikere CH₄ produksjon fra grassurfôr med relativt høy sikkerhet.

Funnene i dette forsøket indikerer at økt grovfôrkvalitet, for eksempel ved å høste tidligere (lavere innhold av NDF og iNDF) eller endring av botanisk sammensetning (bruk av arter med høyere innhold av WSC, for eksempel raigras) kan gi økt potensiale for CH₄ produksjon. Det påpekes imidlertid at det må gjennomføres fôringsforsøk hvor det også registreres produksjonsresultater og fôropptak, i tillegg til metanmålinger. Det er sannsynlig at surfôr som gir lav CH₄-produksjon (lavt innhold av WSC og høyt innhold av NDF og iNDF) vil gi lavere fôropptak og lavere produksjonsresultater i melk og kjøttproduksjon under praktiske forhold, og dermed økte utslippsintensiteter (CH₄-produksjon per kg melk eller kg tilvekst). En kan dermed ikke kun basere valget av grovfôrkvalitet på hva som gir lav metanproduksjon i *in vitro* studier.

Det andre forsøket (Weiby et al., 2023) var en feltstudie, hvor målet var å undersøke effekten av slåttesystem (to- eller treslåttssystem), botanisk sammensetning (timotei, timotei + rødkløver og raigrass), fortørkningsnivå (22,5 eller 37,5% TS) og ensileringsmiddel (med og uten GrasAAT Lacto) på *in vitro* CH₄-produksjon.

Som forventet var avlingsmengden høyere (+7%) ved toslåttssystemet sammenliknet med treslåttssystemet, og bruk av raigrass (+16%) sammenliknet med kun timotei. Ren Timotei hadde høyere avling enn blandingen av timotei + rødkløver (85% timotei, 15% rødkløver). Innholdet av WSC var ikke signifikant forskjellig for de to slåttssystemene eller for de ulike botaniske sammensetningene. Det var

imidlertid en effekt av ensileringsmidler og fortørking, hvor innholdet av WSC var høyere ved tilsetning av maursyre og ved sterkere fortørking. Tilsetning av maursyre reduserer pH og begrenser derfor fermentering av WSC, mens fortørking reduserer mikrobiell aktivitet i surfôret og gir derfor mindre fermentering. I begge tilfeller blir resultatet at mer av WSC blir beholdt i surfôret. For NDF-innhold ble det funnet signifikant effekt av slåttesystem (høyere for toslåttsystemet) og botanisk sammensetning (lavere NDF innhold ved raigras, innblanding av rødkløver, sammenliknet med ren timotei). Innholdet av fordøyelig organisk stoff (OMD) var også lavere for toslåttsystemet enn treslåttsystemet, samt at det var høyere OMD ved innblanding av kløver sammenliknet med ren timotei. Da det gjaldt gjæringsprodukter var det signifikant mer mengde totale syrer for treslåttsystemet (grunnet høyere innhold av sukker som kan fermenteres) og for surfôr uten ensileringsmidler (gir mer intensiv fermentering). Det var imidlertid ingen effekt av botanisk sammensetning og fortørking på mengde gjæringsprodukter.

Forholdet mellom eddiksyre og propionsyre i vomvæsken er et viktig mål relatert til fordøyelsen av karbohydratene (NDF, iNDF, WSC) i fôret. Eddiksyre stammer fra nedbryting av NDF i surfôret, mens propionsyre kommer fra nedbryting av stivelse. Det var et høyere forhold mellom eddiksyre og propionsyre for toslåttsystemet sammenliknet med treslåttsystemet, grunnet høyere eddiksyreproduksjon, som var relatert til høyere NDF innhold for toslåttsystemet. Tilsvarende resultater ble funnet for surfôret av ren timotei, sammenliknet med raigrass.

In vitro CH₄ produksjon var høyere for treslåttsystemet grunnet lavere innhold av NDF og iNDF og OM, noe som sannsynligvis reduserte mengde fermenterbart substrat for vommikrobene. Det ble også funnet høyere CH₄ produksjon for raigras. Surfôr av ren Timotei hadde lavest CH₄ produksjon, sannsynligvis på grunn av høyest innhold av NDF. Surfôr uten tilsetning av maursyre førte til lavere CH₄-produksjon, sannsynligvis grunnet lavere innhold av WSC. Det ble ikke funnet noen effekt av fortørkingsnivå på CH₄-produksjon.

Studiet viste altså at toslåttsystemet, ingen tilsetning av ensileringsmidler og surfôr av ren timoteieng førte til lavere CH₄-produksjon. På den andre siden økte CH₄-produksjonen ved tre slåtter, innblanding av raigras og tilsetning av maursyre. Det påpekes imidlertid at det må gjøres fôringsforsøk med metanmålinger og registrering av produksjonsresultater, slik som allerede nevnt over.

Det tredje forsøket (Weiby et al., under arbeid) undersøkte fôropptak, produksjonsresultater (melkemengde, levendevekt, melkeprøver etc.), CH₄-produksjon (målt i Greenfeed), for ulike surfôrblandinger/kvaliteter. Engvekstene som var inkludert i forsøket var timotei, flerårig raigrass og rødkløver, i tillegg til to ulike slåttesystem (to- og treslåttsystem). Melkekyrner (40 kyr) ble fordelt på de 5 behandlingene (dvs. 8 kyr på hver behandling) over fire forsøksperioder. For hver forsøksperiode var det to uker tilvenning til surfôret og en uke med målinger. En oppsummering av effekten av de ulike behandlingene på fôropptak og melkeproduksjon er gitt i Tabell 8.1 (Årvik, 2022).

Tabell 8.1. Effekt av surfôrblending på fôropptak og melkeproduksjon

	TIMOTEI2 ¹	TIMOTEI3 ²	RAIGRAS ³	KLØVER ⁴	TIMOTEI/KLØVER ⁵
Surfôropptak, kg TS	15,2	14,5	13,4	14,2	16,8
NDF, g/dag	7810	8557	6012	4249	6724
NEI, MJ/dag ⁶	94,9	76,8	79,7	82,8	101,1
Melkeytelse, kg/dag	27,8	25,8	26,2	27,3	28,8
EKM, kg/dag ⁷	29,6	27,7	27,8	27,6	30,1
Fôreffektivitet, kg EKM/kg TS	1,37	1,31	1,39	1,35	1,31

¹timotei toslåttssystem; ²timotei treslåttssystem; ³flerårig raigras treslåttssystem; ⁴rødkløver treslåttssystem; ⁵ 50:50 timotei/rødkløver blanding treslåttssystem; ⁶Nettoenergi laktasjon; ⁷Energikorrigert melk

Det var ingen forskjell i surfôropptak mellom Timotei2 og Timotei3. Timotei3 førte til signifikant høyere fôropptak sammenliknet med Raisgras og Kløver. Timotei/Kløver hadde høyere surfôropptak enn Timotei3. For NDF-inntak og NEI-inntak var det signifikant forskjell mellom alle behandlingene, med høyest NEL inntak for Timotei/Kløver og lavest NDF inntak for Kløver. Melkeytelsen (kg EKM per dag) var høyere for Timotei3, med unntak av Timotei/Kløver, hvor det ikke ble observert noen forskjell. Det var ingen forskjell i fôreffektivitet mellom behandlingene.

Det foreligger foreløpig ingen resultater for effekt av surfôr på CH₄-produksjon. Dataene blir analysert nå fremover, og resultater forventes å foreligge i løpet av vinter 2023/2024 (Dønnem, pers. komm).

8.2 Effekt av grovfôr kvalitet på metanproduksjon fra sau

Som nevnt ble effekten av ulik grovfôr kvalitet på enterisk metanproduksjon fra sau i Grass To Gas-prosjektet (delkapittel 5.2.4). Kvaliteten av surfôret (blant annet på grunn av sukker- og fiberinnhold, som nevnt over) kan påvirke metanproduksjon fra fordøyelsen. Søyene ble fôret med to ulike surfôr kvaliteter; veldig tidlig høstet (slått 27.mai) og gjennomsnittlig høstetid (slått 12. juni) (Åby et al., 2023). Den botaniske sammensetningen av enga var hovedsakelig timotei, flerårig raigras og noe hvitkløver. Etter slått ble graset tørket i 24 timer og det ble tilsatt maursyre. Energikonsentrasjonen for surfôret med veldig tidlig og gjennomsnittlig høstetidspunkt var henholdsvis 1,0 og 0,81 FEm per kg TS. Det var som forventet mye mer struktur i det surfôret som var høstet til mer gjennomsnittlig tid (Figur 8.1).

I forsøket ble søyene oppstallet individuelt og gitt fri tilgang på surfôr (dvs. ca 10% rester). Før fôring ble surfôret kuttet for å få en kuttelengde på 3-5 cm for å redusere sjansen for seleksjon. Prøver av surfôret ble tatt to ganger i uka gjennom hele forsøket, det vil si at hver eneste rundball. En del av hver prøve ble analysert for tørrstoff, og brukt til å beregne daglig tørrstoffopptak. Restene av prøvene ble slått sammen til en prøve per surfôr kvalitet og brukt til ulike analyser av kjemisk innhold og gjæringsparametere. Enterisk metan ble målt i PAC-kamre som beskrevet tidligere.



Figur 8.1: Grovfôrkvaliteter: middels (venstre) og høy (høyre) Bilde: Geir Steinheim.

Fôropptaket var høyere for det veldig tidlig høstede surfôret, sammenliknet med det gjennomsnittlige surfôret (1,72 vs. 1,40 kg TS/dag). Metanproduksjonen, korrigert for tørrstoffopptak, var imidlertid signifikant lavere for det veldig tidlig høstede surfôret (30,8 vs. 32,2 g CH₄/dag).

Disse resultatene indikerer at økt grovfôr kvalitet kan være et mulig tiltak for å redusere metanproduksjon i saueproduksjon. I praksis er det imidlertid ikke så rett frem. Her ble søyene fôret med fri tilgang, som førte til høyere daglig grovfôropptak. Dette kan i praksis føre til økte daglige metanutslipp. I tillegg ble heller ikke søyas prestasjon (for eksempel forskjell i lammetilvekst frem til avvenning) som følge av ulik grovfôr kvalitet undersøkt i denne studien. Hvis det er en effekt, kan dette gi forskjell i utslippintensiteter.

I forsøket ble det brukt søyer i tidlig drectighet. I denne perioden er fôrbehovet kun relatert til vedlikehold. For det veldig tidlig høstede surfôret var fôropptaket betydelig høyere enn fôrbehovet. Siden de fleste sauebønder i Norge fører med fri tilgang, vil sannsynligvis et grovfôr med lavere kvalitet være å foretrekke i denne perioden. Høyere grovfôr kvalitet er dermed sannsynligvis mest relevant i høydrectighetsperioden og etter lamming. Det kan også gi mulighet for å redusere kraftfôrforbruket. Grovfôr med høy kvalitet kan også være aktuelt til lam som slutfôres på grovfôr, i situasjoner hvor beiteressursene er begrenset. Økt grovfôr kvalitet kan øke tilvekst og dermed redusere metanutslippet per kg tilvekst. Forsøk har vist at svært tidlig høstet surfôr uten bruk av kraftfôr kan gi like gode tilvekster og slakteresultater sammenliknet med et surfôr med lavere kvalitet og 0,5 kg kraftfôr per dag (Eknæs et al., 2007).

Før en kan ta i bruk økt grovfôr kvalitet som et tiltak i saueproduksjon, må nettoeffekten på de totale klimagassutslippene på gårdsnivå undersøkes, herunder effekten på avlingsmengde, karbonbalanse i jord, bruk av mineralgjødsel og drivstoff og produksjonsresultater (delkapittel 8.3). Effekten på økonomi må også vurderes.

8.3 Effekt av økt grovfôr kvalitet, botanisk sammensetning og agronomiske tiltak på klimagassutslipp i melk- og storfekjøttproduksjon

I prosjektet «Indikatorer og metoder for dokumentasjon og tiltaksrapportering i Klimaavtalen og indirekte effekt av tiltak», ble sammenhengen mellom fôr og husdyrproduksjoner undersøkt (Øygarden et al., 2022). Bakgrunnen for dette arbeidet er at klimagassutslipp fra husdyr- og planteproduksjon beregnes og vurderes separat i det nasjonale utslippsregnskapet, mens disse i realiteten er integrerte produksjoner. Tiltak i husdyrproduksjonen vil dermed påvirke arealbehov og bruk av innsatsfaktorer i gras- og kornproduksjon og vice versa. Et eksempel er økt grovfôr kvalitet som kan føre til reduserte utslipp av enterisk metan. På den andre siden kan dette gi økt behov for engareal på grunn av lavere avlinger per dekar. Lavere avling kan helt eller delvis kompenseres ved økt N-

gjødsling eller innføring av andre agronomiske tiltak. Et annet eksempel er økt melkeproduksjon som kan påvirke arealbehovet til grovfôr- og kornproduksjon. For å belyse dette ble det gjort beregninger med gårdsmodell en HolosNor for kombinert melk- og storfekjøttproduksjon (delkapittel 6.1) som et eksempel. Resultatene vil avhenge av forutsetninger og beregningsmetodikk.

Basert på HolosNor-modellen kan en estimere klimagassutslipp (totalt og per produserte enhet av melk og slakt), arealbehov (eng og korn) og mineralgjødselbruk for ulike scenarioer. I de ulike scenarioene ble effekten av slåttesystem (to vs. tre slåtter), botanisk sammensetning, (høyt og lavt innslag av kløver), agronomi (økt avling med samme N-gjødsling) og ytelsesnivået per ku ved økt grovfôr kvalitet, undersøkt. Tre slåtter tilsier at graset høstes ved et tidligere utviklingsstadium, og vil ha et høyere energiinnhold. Den forutsatte grovfôr kvaliteten i de to slåttesystemene var henholdsvis 0,8 og 0,9 FEm/kg TS. Effekten av en omlegging fra et toslått- til et treslåttsystem, og dermed økt grovfôr kvalitet, kan tas ut på to ulike måter i melkeproduksjonen: holde melkeytelsen per ku konstant med lavere kraftfôrforbruk, eller øke melkeytelsen per ku med konstant kraftfôrnivå. Ved fast kvote vil en økning i melkeytelsen per ku redusere behovet for antall melkekyr.

Kort oppsummering av funnene i delrapporten:

- plante- og husdyrproduksjonen er tydelig integrerte systemer hvor endringer i ett system vil gi endringer i det andre. Slåttesystem, botanisk sammensetning, avlingsmengde og ytelsesnivået per ku vil påvirke klimagassutslipp, både per kg produkt og totalt, arealbehov til eng og korn og forbruk av mineralgjødsel. Begge produksjoner må dermed vurderes samlet.
- **Effekt av omlegging fra toslått til treslåttsystem (=bedre grovfôr kvalitet):**
 - økt energiinnholdet i grovfôret → redusert kraftfôrforbruk eller økt melkeytelse per ku
 - redusert grovfôravling per dekar → økt arealbehov til eng, økt bruk av leiejord?
 - økt behov for mineralgjødsel og drivstoff
 - reduserte klimagassutslipp per kg produserte enhet (melk og slakt) og totalt fra kombinert melk- og storfekjøttproduksjon
 - usikker effekt av overgang til treslåttsystem relatert til oftere fornying av eng og dermed karbonbalansen i jord, effekt på grovfôrkostnader og andelen norsk korn i kraftfôret
- **Effekt av endret botanisk sammensetning (økt kløverinnslag):**
 - tilnærmet uendret behov for engareal ved samme melkeytelse
 - redusert behov for mineralgjødsel, per dekar og totalt
 - reduserte klimagassutslipp per produserte enhet (melk og slakt) og totalt pga redusert N-gjødsling som gir lavere lystgassutslipp fra jord og lavere utslipp fra indirekte energibruk fra produksjon av mineralgjødsel
 - usikker effekt på lystgassutslipp utenom vekstsesongen, karbonbalansen i jord, produksjon av enterisk metan og andel norsk korn i kraftfôret

- **Effekt av økt melkeytelse per ku:**
 - reduksjon i antall melkekyr, reduksjon i storfekjøttproduksjon (konstant melkekvote)
 - redusert behov for engareal
 - økt behov for kornareal
 - reduserte klimagassutslipp per produserte enhet (melk og slakt), liten effekt på totale utslipp grunnet økt behov for ammeku for å kompensere for redusert storfekjøttproduksjon

8.4 Effekt av beite på metanproduksjon

Det kan være grunn til å tro at drøvtyggere har lavere metanproduksjon på beite. I en litteraturgjennomgang fant Vakse (2022) i snitt 7% lavere metanproduksjon for melkekyr på beite sammenliknet med kyr som fikk surfôr tildelt innendørs. For melkekyr med melkeytelse mellom 20 og 24 kg/dag var forskjellen 21%. Dette til tross for at kraftfôrandelen var mye høyere hos kyr som fikk tildelt surfôr sammenliknet med kyr på beite (40 vs. 20%). Høy kraftfôrandel fører vanligvis til lavere metanproduksjon. Det har blitt målt metan fra melkekyr på beite i to forsøk i Norge (Kidane et al., 2018; Storlien et al., 2015). Resultatene viste 45% lavere metanproduksjon per kg energikorrigert melk sammenliknet med innefôring. Videre ble det vist at metanproduksjonen per kg melk er lavere for tidlig beite sammenliknet med beiting sensommer (Kidane et al. 2018; Storlien et al., 2015).

Forskjellen i metanproduksjon mellom beitegras og surfôr kan være relatert til kjemisk forskjeller (innhold av næringsstoffer i fôret), forskjeller i fôropptak eller spiseatferd (seleksjon av ulike planter på beite, for eksempel seleksjon av planter med mindre fiber ved beiting).

Det er imidlertid behov for mer kunnskap om metanproduksjon fra storfe på beite. De senere år har det derfor vært gjennomført to forprosjekter med metanmålinger på beite for melkekyr (og ammekyr. I 2023 ble det derfor søkt om, og innvilget et 4-årig prosjekt for å måle metanproduksjon på beite på melkekyr og beite (delkapittel 8.4.2). Ytterligere er det gjennomført et beiteforsøk med melkekyr (*Klimagassutslipp fra dyr på beite – hvilke tiltak kan bringe oss nærmere klimavennlig kjøtt og melkeproduksjon*) i perioden 2020-2024 (Lardy et al., 2023).

8.4.1 Metanbeite- forprosjekt

Dette ett-årige forprosjektet (Metanbeite, 2022) var det første forsøket med GreedFeed gjennomført med melkekyr på beite i Norge. Prosjektet ble gjennomført på Senter for husdyrforsøk i 2022, og hadde som hensikt å undersøke hvor nøyaktig Greenfeed (se delkapittel 5.1.1) måler metanproduksjon fra melkekyr på beite samt utarbeide en standard for metanmålinger med GreenFeed på beite. En slik protokoll er viktig for å sikre at målingene er nøyaktige og konsekvente. Metanmålinger ble gjort gjennom hele døgnet (med unntak av melking) med 10 melkekyr over 8 dager. Totalt ble det 150 besøk i GreenFeederen (dvs. 15 besøk per ku). Metanproduksjonen var lavere tidlig på morgenen, som forventet, på grunn av mindre beiting og dermed fôropptak. Resultatene fra målingene viste at metanmålingene utført på beite er nøyaktige og har høyt samsvar med målinger gjort i fjøs, med tildeling av surfôr. Videre ble det funnet at målingene gjort i forprosjektet samsvarte veldig bra med resultater fra vitenskapelig litteratur for målinger gjort på beite. Det var derfor mulig å etablere en standard prosedyre for metanmålinger på beite ved å bruk av GreenFeed, som skal brukes i forskningsprosjekter (MethanePasture, delkapittel 8.4.3) videre.

8.4.2 Ammeku på beite - kjøttproduksjon og metanutslipp-forprosjekt

Formålet med dette prosjektet var, i likhet med forprosjektet beskrevet over, å etablere en metode for metanmålinger av ammekyr på beite ved bruk av GreenFeed. Prosjektet ble gjennomført i beitesesongen 2022, som en forberedelse til prosjektsøknaden MethanePasture kapittel (8.4.3).

Forsøket ble gjennomført ved Senter for husdyrforsk, og åtte kyr med kalv og fire kviger, alle krysninger Hereford x NRF, inngikk i forsøket. Dyra ble veid ved forsøksperiodens start og slutt, og dyras beiteaktivitet ble registrert. Beiteplanter ble samlet inn for kjemisk analyse.

Gjennomsnittlig metanutslipp for ammekyr og kviger var henholdsvis 172,4 og 107,7 g/dag, eller henholdsvis 0,3 og 0,2 g/kg levendevekt. Dette er noe lavere enn verdier fra utenlandske forsøk med ammekyr og kviger. Forskjellene kan forklares med at forsøket ble gjennomført seint i beitesesongen på et beite med redusert kvalitet, noe som sannsynligvis har påvirket beiteopptaket negativt. Nedgangen i levendevekt både hos ammekyr og kviger i løpet av forsøksperioden tyder også på at dyra var i negativ energibalanse.

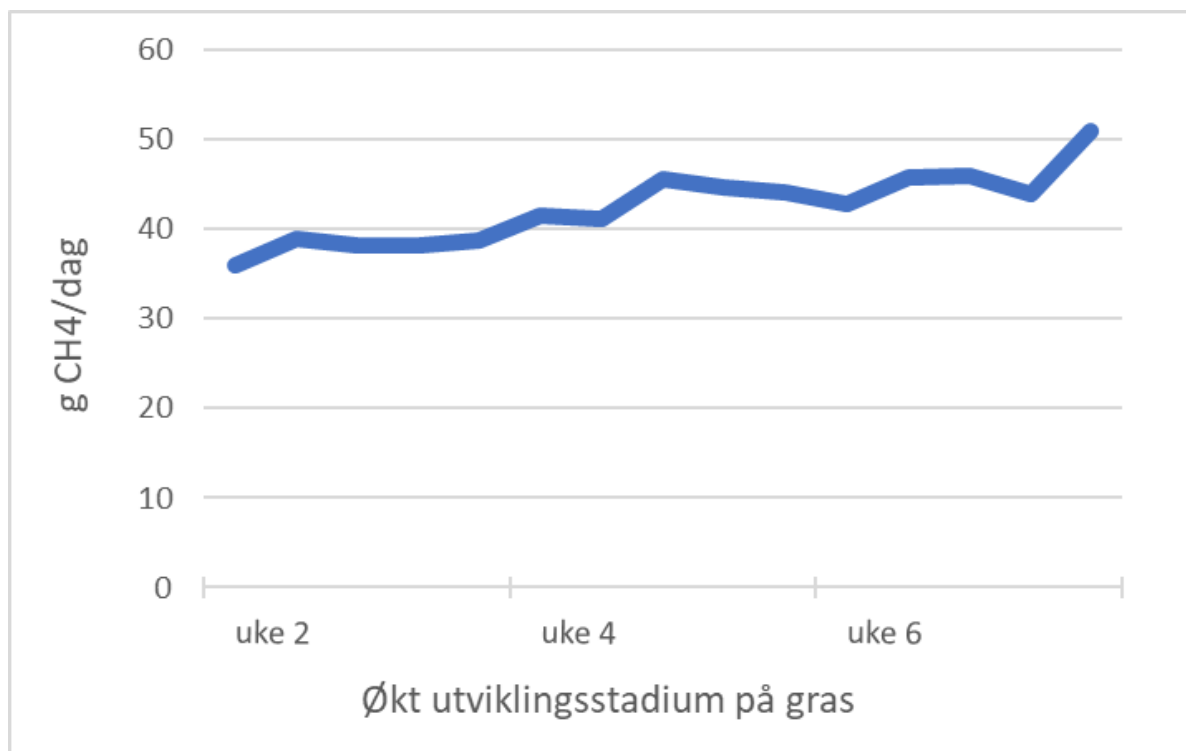
Forsøket viste at bruk av GreenFeed er en velegnet målemetode for metanutslipp fra ammekyr. Erfaringene fra dette forprosjektet blir verdifulle når forsøk med ammeku på beite skal gjennomføres i prosjektet MethanePasture (kapittel 8.4.3).

8.4.3 MethanePasture

MethanePasture (Mitigating methane emissions from dairy cattle through pasture grazing, 2023-2027) har som hoved mål å undersøke om beiting reduserer metanproduksjon per kg melk og per kg enhet fôr, og om effekten av fôrtilsetninger reduserer metan mer tidlig i beitesesongen sammenliknet med sensommer. skal måle metan på beite fra både melkeku og ammeku og sammenlikne med metanproduksjon fra nullbeite (beitegras høstet og fôret inne) og surfôr. I tillegg vil metanproduksjon tidlig og seint i beitesesongen undersøkes, samt effekt av tilsetningsstoffer (for eksempel. 3-NOP og røddager). Basert på resultatene fra forsøkene skal HolosNor-modellene oppdateres for å bedre kunne ta hensyn til effekt av beiting på utslipp per kg energikorrigert melk. Hvis beiting fører du lavere metanproduksjon kan det si at HolosNor-modellene for storfe overestimerer metanproduksjonen, og dermed klimafotavtrykket per kg melk.

8.4.3 Effekt av beitekvalitet på metanproduksjon hos sau

I GrasToGas-prosjektet (kapittel 5.2.4 og 8.2) ble det undersøkt effekt av beitekvalitet (høstbeite av god kvalitet) på metanproduksjon fra voksne søyer (40 søyer, 20 NKS og 20 GNS) (Dønnem et al., 2022). Forsøket gikk over 6 uker, og beitegraset hadde derfor nedgående kvalitet på grunn av økende utviklingstrinn. Energikonsentrasjonen varierte fra 0,9 til 0,87 FEm per kg TS fra første til siste uke. Beitegraset ble slått daglig og fôret inne (nullbeiting) for å muliggjøre registrering av fôropptak. I løpet av forsøket så man en tydelig økning i den daglige metanproduksjonen da beitekvaliteten gikk ned med økende utviklingstrinn på graset (figur 8.2). Den daglige metanproduksjonen var høyere på beite enn på surfôr (kapittel 8.2) grunnet høyere tørrstoffopptak da søyene ble tilbudt beitegras.



Figur 8.2. Effekt av redusert beitekvalitet som følge av økt utviklingstrinn på gras på daglig metanproduksjon hos voksne søyer

Oversikt over forskningsprosjekter

Rapporten består av forskningsresultater fra prosjekter utført ved NMBU, NIBIO, Norsvin, NSG og GENO 2018-2023. Resultatene er for en stor del basert på resultater og beregninger utført i prosjektene:

- **SUSCOW**- «Betydningen av dyrehelse og karbonlagring i beiter for bærekraft i norske drøvtyggerproduksjoner» (prosjektleder Laila Aass; finansiering FFL/JA, samarbeidspartnere; 2021-2025).
- **KLIMASMART SAU**- «Klimasmart norsk saueproduksjon» (prosjektleder Bente Aspeholen Åby, finansiering FFL/JA, samarbeidspartnere; 2019-2024).
- **KLIMAGROVFÔR**- «Strategier i grassurfôrproduksjon for å redusere enterisk metanutslipp fra drøvtyggere» (prosjektleder Ingjerd Dønnem, finansiering FFL/JA, samarbeidspartnere; 2019-2024).
- **METHANEPASTURE**-«MethanePasture-Økt bærekraft i melk og kjøtt fra drøvtyggere» (prosjektleder Angela Schwarm, FFL/JA, samarbeidspartnere; 2023-2027).
- **SUSTAINSHEEP** – «Reducing sheep methane emissions: sustainability in practice via new breeding goals» (prosjektleder norsk del Bente Aspeholen Åby, finansiering GreenEraHub og Norges Forskningsråd; 2024-2027).
- **GRASSTOGAS**- «Strategies to mitigate GHG emissions from pasture-based sheep systems» (prosjektleder norsk del Geir Steinheim/Bente Aspeholen Åby, finansiering gjennom tre ERA-NET og Norges Forskningsråd; 2019-2023).
- **SEASOLUTIONS**- «Seaweed and seaweed-ingredients to reduce enteric methane emissions from pasture-based sheep, cattle and dairy cows» (prosjektleder norsk del – Vibeke Lind, finansiering gjennom tre ERA-NET og Norges Forskningsråd, 2019-2023).
- **HIGHTECH-FJØS** (prosjektleder GENO, finansiering gjennom jordbruksavtalen; 2018-2022).
- **SMARTER** -«Small Ruminants breeding for Efficiency and Resilience» (EU Horizon 2020 research and innovation programme under the Grant Agreement no. 7727887; 2018-2023).
- **OPTIBEEF** – Økt storfekjøttproduksjon fra ammeku (prosjektleder Laila Aass, finansiering FFL/JA, samarbeidspartnere; 2014-2019).
- **GRASSFEDCATTLE- Bærekraftig storfeproduksjon på grovfôr** (prosjektleder Laila Aass, finansiering FFL/JA, samarbeidspartner; 2016-2021).
- **METANBEITE**- «Reduksjon av metanutslipp fra drøvtyggere på beite vs. innefôring; FFL/JA, 2022).
- **ALTPRO** - «Legumes and seaweed as alternative protein sources for sheep» (prosjektleder Vibeke Lind, finansiert Norges Forskningsråd, 2014-2018)
- **BIOKULL TIL SAU** (prosjektleder Vibeke Lind, finansiering Statsforvalteren i Nordland, regionale Forskningsfond Nord-Norge, 2017-2019).
- **INDIKATORPROSJEKTET** «Indikatorer og metoder for dokumentasjon og tiltaksrapportering i Klimaavtalen og indirekte effekt av tiltak» (prosjektleder Lillian Øygarden, finansiert av Klima- og miljøprogrammet hos Landbruksdirektoratet, 2022).

8. Referanser

Aamaas, B., Berntsen, T.K., 2019. Vurdering av ulike vektfaktorer. Oppdrag for Miljødirektoratet. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1498/m1498.pdf>

Aass, L., og Åby, B. A., 2016. Melkeytelse, storfekjøtt og klimaavtrykk. Buskap nr 8.

Aass, L. og Åby, B.A, 2018. Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren. NMBU rapport. ISBN: 978-82-575-1574-4

Agri Analyse, 2019. Metan- ny metodikk for en kortlevd klimagass. Rapport 13-2019.

Andrén, O., Kätterer, Karlsson, T., 2004. ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 70, 231-239.

Animalia, 2021. Sauekontrollen. Årsmelding 2020. <arsmelding-sauekontrollen-2020.pdf> (animalia.no)

Animalia, 2022a. Kjøttets tilstand 2022. Årsproduksjon av slakt 1996. Tabell 5.5.1. side 100. <https://www.animalia.no/contentassets/3dce35cde68a47b091097fa8c6ec2dd5/2278470-kt22-hele-kor09-dsc.pdf>

Animalia 2022b. Storfekjøttkontrollen. Årsmelding 2022. <https://www.animalia.no/no/Dyr/husdyrkontrollene/storfekjottkontrollen/arsmeldinger/>

Animalia, 2022c. Sauekontrollen Årsmelding 2021. <https://www.animalia.no/no/Dyr/husdyrkontrollene/sauekontrollen/arsmeldinger/>

Animalia, 2023a. Slaktestatistikk storfe. <https://www.animalia.no/no/ravare-og-foredling/klassifisering/klassifisering-av-storfe/>

Animalia, 2023b. Kjøttets tilstand 2023. <https://www.animalia.no/contentassets/33a3c6bc537a4458b381f3dcd180a35e/kjottets-tilstand-2023.pdf>

Arndt, C., A. N. Hristov, W. J. Price, S. C. McClelland, A. M. Pelaez, S. F. Cueva, J. Oh, J. Dijkstra, A. Bannink, A. R. Bayat, L. A. Crompton, M. A. Eugène, D. Enahoro, E. Kebreab, M. Kreuzer, M. McGee, C. Martin, C. J. Newbold, C. K. Reynolds, A. Schwarm, K. J. Shingfield, J. B. Veneman, D. R. Yáñez-Ruiz, and Z. Yu. 2022. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 119:e2111294119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119>

Bach, A., Guillermo, E., Escartín, M., Spengler, K., Jouve, A., 2023. Modulation of milking performance, methane emissions, and rumen microbiome on dairy cows by dietary supplementation of a blend of essential oils. *Animal*. 17 (6), 100825. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100825>

Bakke, K.A. and Heringstad, B., 2023. Breeding values for daily dry matter intake in Norwegian Red dairy cows and correlation to other traits. *Interbull Bulletin No. 59*. 26-27 August, Lyon, France Interbull

Beauchemin, K.A., Ungerfeld, E.M., Abdalla, A.L., Alvares, C., Arndt, C., Becquet, P., Benchaar, C., Berndt, A., Mauricio, R.M., McAllister, T.A., Oyhantcabal, W., Salami, S.A., Shalloo, L., Sun, Y., Tricarica, J., Uwizeye, A., De Camillis, C., Bernoux, M., Robinson, T., Kebreab, E., 2022. Invited review: Current enteric methane mitigation options. *Journal of Dairy Science*, 105, 9297-9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>

- Becker, F., Spengler, K., Reinicke, F., Diepen, C. H., 2023. Impact of essential oils on methane emissions, milk yield, and feed efficiency and resulting influence on the carbon footprint of dairy production systems. *Environmental Science and Pollution Research*. 30, 48824-48836.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-26129-8>
- Belanche, A., Newbold, C.J., Morgavi, D.P., Bach, A., Zweifel, B., Yáñez-Ruiz., 2020. A Meta-analysis Describing the Effects of the Essential oils Blend Agolin Ruminant on Performance, Rumen Fermentation and Methane Emissions in Dairy Cows. *Animals*. 10, 620.
<https://doi.org/10.3390/ani10040620>
- Bondevennen, 2018. Forbetre kraftfôr til drøvtyggjarar.
<https://www.bondevennen.no/aktuelt/forbeta-kraftfor-til-drovtvgjarar/>
- Bonesmo, H. and Enger, E. G., 2021. The effects of progress in genetics and management on intensities of greenhouse gas emissions from Norwegian pork production. *Livest. Sci*. 254, 104746
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104746>
- Bonemo, H., K.A. Beauchemin, O.M. Harstad and A.O. Skjelvåg, 2013. Greenhouse gas emission intensities of grass silage based dairy and beef production: A system analysis of Norwegian farms. *Livest. Prod. Sci*. 152: 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.016>
- Bonesmo. H. og Harstad, O.M, 2013. Kapittel 9. Storfe og klimagasser: fakta, utfordringer og muligheter. I *Fram mot ein berekraftig og klimatilpassa landbruksmodell* (Almås, Bjørkhaug, Campbell, Smedshaug (red).
- Bonesmo, H., Little, O., Harstad, O.M., Beauchemin, K.A., Skjelvåg, O.A., Sjelmo, O., 2012. Estimating farm-scale greenhouse gas emission intensity of pig production. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A: Animal Science*. 62, 318-325. <https://doi.org/10.1080/09064702.2013.770913>
- Budsjettnemnda for jordbruket, 2011a. Resultatkontroll for gjennomføring av landbrukspolitikken. Utredning nr. 3. Tabell 2.5. Utviklingen i antall kyr og melkeproduksjonen.
<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2464873/Utdredning2011-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Budsjettnemnda for jordbruket, 2011b. Resultatkontroll for gjennomføring av landbrukspolitikken. Utredning nr. 3. Tabell 3. 1d – Tabell 3. 1f. Utvikling i produksjon av slakt.
<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2464873/Utdredning2011-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabeza, I., Waterhouse, T., Sohi, S., Rooke, J.A., 2018. Effect of biochar produced from different biomass sources and at different process temperatures on methane production and ammonia concentrations in vitro. *Animal Feed Science and Technology* 237, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.003>
- Carbon Limits, 2020a. Greenhouse gas emissions from biogas production from manure in Norwegian Agriculture. Technical description of the revised model. Project for Miljødirektoratet. M-1849 | 2020a. 19 pp. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1849/m1849.pdf> Accessed 30.01.2024
- Carbon Limits, 2020b. Calculation of atmospheric nitrogen emissions from manure in Norwegian agriculture. Technical description of the revised model. Project for the Norwegian Environment Agency. M-1848 | 2020. 36 pp.
<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1848/m1848.pdf> Accessed 30.01.2024.

- Cargill, 2023. Introducing Reach4Reduction™: An Effective Way to Reduce Ruminant Methane Emissions <https://www.cargill.com/story/introducing-reach4reduction>
- Carrasco, A. V., Peterson, C.B., Zhao, Y., Pan, Y., McGlone, J.J., 2020. The Impact of Essential Oil Feed Supplementation on Enteric Gas Emissions and Production Parameters from Dairy Cattle. *Sustainability*. 12 (24), 10347. <https://doi.org/10.3390/su122410347>
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K., 2017. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J. Clean. Prod.* 140 (2017), 766-783. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>
- Crosson, P., L. Shalloo, D. O'Brien, G.J. Lanigan, P.A. Foley, T.M. Boland and D.A. Kenny, 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy production systems. *Anim. Feed. Sci. Tech.* Vol. 166-167, p 29-45 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.001>
- De Haas, Y., Windig, J. J., Calus, M. P.L., Dijkstra, J., de Haan, M., Bannik, A. og Veerkamp, R. F., 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *Journal of Dairy Science*, 94:6122-6134
- Dijkstra J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E og van Gastelen S., 2018. Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content and cattle type. *Journal of dairy science*, 101, 9041-9047. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14456>
- Duin, E. C., Wagner, T., Shima, S., Prakash, D., Cronin, B., Yanez-Ruiz, D., Duval, S., Rumbeli, R., Stemmler, R. T., Thauer, R. K. og Kindermann M., 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *PNAS* 113 (22), 6172-6177.
- Dønnem, I., Åby, B.A., Jakobsen, J., Steinheim, G., 2022. Effect of Grass Herbage Quality and Sheep Breed on Enteric Methane Emissions from Ewes. GGAA, Florida, USA.
- Eknæs, M., Randby, Å. T., Avdem, F., Eikanger, K., Gjøstein, H., Nørgaard, P., Garmo, T.H., Prestløkken, E. & Dønnem, I. *Husdyrforsøksmøtet* 2009.
- EFSA, 2021. EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed), Bampidis V, Azimonti G, Bastos ML, Christensen H, Dusemund B, Fasmon Durjava M, Kouba M, Lopez-Alonso M, Lopez Puente S, Marcon F, Mayo B, Pechova A, Petkova M, Ramos F, Sanz Y, Villa RE, Woutersen R, Aquilina G, Bories G, Brantom PG, Gropp J, Svensson K, Tosti L, Anguita M, Galobart J, Manini P, Tarres-Call J and Pizzo F, 2021. Scientific Opinion on the safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer® 10) for ruminants for milk production production (DSM Nutritional Products Ltd). *EFSA Journal* 19(11):6905, 35 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905> ISSN:1831-4
- Foley, P.A., Crosson, P., Lovett, D.K., Boland, T.M., O'Mara, F.P., Kenny, D.A., 2011. Whole-farm systems modelling of greenhouse gas emissions from pastoral suckler beef cow production systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.010>
- Fuglestvedt, 2016. Beregningsmetodikk for klimaeffekten av metan-tiltak. Vedlegg Utredning om landbrukets utfordringer I møte med klimaendringene. Fagnotater som underlag for arbeidsgruppens hovedrapport. 19. februar 2016.
- Geno, 2023a. Utviklingen av avlsmålet. <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlsprogram-for-norsk-rodt-fe/utviklingen-av-avlsmalet/>

Geno, 2023b. Avlsmålet for NRF per februar 2023. <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/avlprogram-for-norsk-rodt-fe/avlsmålet-for-nrf/>

Gülzari, S.Ö., Åby, B.A., Persson, T., Höglind, M. And K. Mittenzwei, 2017. Combining models to estimate the impacts of future climate scenarios on feed supply, greenhouse gas emissions and economic performance on dairy farms in Norway. *Agric. Sys.* 157: pp 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.004>

Haarsaker, V., Thuen, A. E., 2019. Metodikk for beregning av utslipp av enterisk metan fra sau. *AgriAnalyse*, Oslo, Norge. 24 s.

Hegarty, R.S., Cortez Passetti, R.A., Dittmer, K.M., Wang, Y., Shelton, S., Emmet-Booth, J., Wollenberg, E., McAllister, T., Leahy, S., Beauchemin, K., Gurwick, N., 2021. An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock. Edition 1. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and the New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC) initiative of the Global Research Alliance (GRA).

Heil, H.A., Troyer, B., McPhillips, L.J., Sperber, J.L., Watson, A.K., Erickson, G.E., 2022. Effects of biochar in finishing beef cattle diets on greenhouse gas emissions. *Journal of Animal Science* 100 (S2), 98-99. <https://doi.org/10.1093/jas/skac064.164>

Helsedirektoratet, 2022. Utviklingen i norsk kosthold 2022. Matforsyningsstatistikk. Rapport IS-3061. Importen side 25

Heringstad, B., 2023. Fôreffektiv klimaku. Buskap 2-2023, side 6. https://www.buskap.no/journal/2023/2/m-626/F%C3%B4reffektiv_klimaku

Heringstad, B., and Bakke, K.A, 2023. Heritability of methane emission in young Norwegian Red bulls estimated from Green Feed measures at the test station. *Interbull Bulletin* No. 59. 26-27 August, Lyon, France.

Hutchings, N.J. and I.S. Kristensen, 2015. The FarmAC model. <https://farmac.dk>.

Hosseini-Zadeh, 2023. A meta-analysis of the genetic contribution to greenhouse gas emission in sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 140, 49-59. <https://doi.org/10.1111/jbg.12744>

IPCC, 2006. 2006 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.

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Buendia, E.C., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fakuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., Federici, S. (ads). IPCC, Switzerland. SBN 978-4-88788-232-4

Jakobsen, J., Blichfeldt, T., Linneflaatten, L.-B., Gløersen, M.O., Wallin, L.E. & McEwan, J.C., 2022a. Methane emission has low genetic correlations to lamb growth traits in Norwegian White Sheep. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*.

Jakobsen, J. H., Lunn, K., Inglingstad, R.A. & Blichfeldt, T., 2022b. Methane measurements in PAC do not result in elevated milk somatic cell counts in Norwegian goats. *Book of Abstracts of the 73rd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*. Porto, Portugal. 5.-9. September 2022.

Jakobsen, J., Blichfeldt, T., Dodds, K. & McEwan, J.C., 2023. No difference in PAC methane corrected for milk yield in three Norwegian dairy goat farms. *Book of Abstracts of the 74th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*. Lyon, France 26 August-1 September 2023.

- Jayanegara, A., Sarwono, K. A., Kondo, M., Matsui, H., Ridla, M., Laconi & Nahrowi, E. B., (2018). Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Italian Journal of Animal Science*, 17 (3), 650-656.
- Jones, A.D., Hoey, L., Blesh, J., Miller, L., Green, A. & Shapiro, L.F., 2016. A Systematic Review of the Measurement of Sustainable Diets¹⁻³. *American Society for Nutrition. Adv Nutr.* 2016; 7: 641–664. doi:10.3945/an.115.011015.
- Jonker, A., Hickey, S.M., McEwan, J.C., and Waghorn G. (2020). Guidelines for estimating methane emissions from individual ruminants using: GreenFeed, 'sniffers', hand-held laser detector and portable accumulation chambers. Ministry for Primary Industries, Wellington, New Zealand. <https://www.mpi.govt.nz/resources-and-forms/publications/>
- Kebreab, E., Bannik, A., Pressman, E.M., Walker, N., Karagiannis, A., van Gastelen, S., Dijkstra, J., 2023. A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 106 (2), 927-936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- Kidane, A., Prestløkken, E., Zaralis, K., Steinshamn, 2018. Effects of three short-term pasture allocation methods on milk production, methane emission and grazing behaviour by dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A- Animal Science*. 67 (2), 87-102. <https://doi.org/10.1080/09064702.2019.1577912>
- Kinley, R.D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M.K., de Nys, R., Magnusson, M., Tomkins, N.W., 2020. Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120836–120842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
- Konstad, M., 2020. Klimasmart ammekuproduksjon: Simulering av mulige tiltak på gårdsnivå med modellen HolosNorBeef. Masteroppgave NMBU.
- Krogsti, E. H., 2022. Fôreffektivitet – Viktig både for bondens bunnlinje og klimagassutslipp. *Buskap 7-2022*, side 8-9. https://www.buskap.no/journal/2022/7/m-35/F%C3%B4reffektivitet_%E2%80%93_viktig_b%C3%A5de_for_bondens_%C2%Adbunnlinje_og_klimagassutslipp
- Krogsti, E. H., 2023. Bærekraft i NRF-avlenn. *Buskap 6-2023*, side 12-14. kap. 5.1.2 https://www.buskap.no/journal/2023/6/m-86/B%C3%A6rekraft_i_NRF-avlenn
- Lardy, Q., Ramin, M., Lind, V., Jørgensen, G., Höglind, M., Ternman, E., Hetta, M., 2023. Effects of daytime or night-time grazing on animal performance, diurnal behaviour and enteric methane emissions from dairy cows at high latitudes. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, DOI: 10.1080/09064702.2023.2249907
- Lee og Beauchemin, 2014. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. *Canadian Journal of Animal Science*, 94, 557-570.
- Leng, R.A., Preston, T.R., Inthapanya, S., 2012. Biochar reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local “Yellow” cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. *Livestock Research for Rural Development* 24. <http://www.lrrd.org/lrrd24/11/leng24199.htm>
- Lien, 2016. Effect of ewe and lamb care from birth to summer pasture on lamb survival and growth rate. Masteroppgave NMBU, Ås, Norge. 130 s.

- Lind, V., Weisbjerg, M-R., Jørgensen, G.M., Fernandez-Yepes, J., Arbesu, L., Molina-Alcide, E., 2020. Ruminant fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra* sp. *Animals*, 10,79. doi:10.3390/ani10010079
- Lind, V., Sizmaz, Ö., Demirtas, A., Sudagidan, M., Weldon, S., Budai, A., O'Toole, A., Miladinovic, D.D., Jørgensen, G.M., 2023. Biochar effect on sheep feed intake, growth rate and ruminant in vitro and in vivo methane production. Submitted Animal.
- Lovdata, 2023. Forskrift om tilsetningsstoffer til bruk i fôrråvarer. [Forskrift om tilsetningsstoffer til bruk i fôrvarer - Lovdata](#)
- Maigaard, M., Weisbjerg, M.R., Johansen, M., Walker, N., Ohlsson, C., Lund, P., 2023. Effects of dietary fat, nitrate, and 3-NOP and their combinations on methane emission, feed intake and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. In press. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23420>
- Malonæs, K., 2023. Buskap, 3-2023, side 58. https://www.buskap.no/journal/2023/3/m-2072/%C3%85rsberetning_og_regnskap_2022_for_Geno
- Martinsen, K.H., Thingnes, S.L., Wallén, S.E., Mydland, L.T., Afseth, N.K., Grindflek, E., & Meuwissen, T. H. E. Genetic analyses of nutrient digestibility measured by fecal near-infrared spectroscopy in pigs. *Journal of Animal Science*, 101, 1-8.
- Miljødirektoratet, 2023. Greenhouse Gas Emissions 1990-2021: National Inventory Report. M-2507. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/mars-2023/greenhouse-gas-emissions-1990-2021/>
- Miller, G.A., Bowen, J.M., Dewhurst, R.J., Zweifel, B., Sprengler, K., 2023a. Enteric Methane Emission from Dairy-Beef Steers Supplemented with the Essential Oil Blend Agolin Ruminant. *Animals*. 13 (11). <https://doi.org/10.3390/ani13111826>
- Miller, G.A., Eory, V., Duthie, C-A., Newbold, J.R., 2023b. Existing and near-to-market methane reducing feed additives and technologies: Evidence of Efficacy, Regulatory Pathways to Market and Mechanisms to Incentivise Adoption.
- NIBIO, 2021. Driftsgranskningar i jord- og skogbruk. Rekneskapsresultat 2020. NIBIO-bok 7 (7).
- Norsk klimaservicesenter, 2022. Observasjoner og værstatistikk. <https://seklima.met.no/observations/>
- Norsk Melkeråvare, 2024. <https://www.xn--norskmelkervare-rlb.no/prognoser>.
- Nortura Totalmarked, 2023. [Prognose - www.totalmarked.no \(nortura.no\)](https://www.totalmarked.no)
- NSG, 2024a. Egenskaper i avlsarbeidet hos NKS. <https://www.nsg.no/sau/saueavl/avlsmal/nks-avlsmal/>
- NSG, 2024b. Egenskaper i avlsarbeidet hos Spælsau. <https://www.nsg.no/sau/saueavl/avlsmal/spal-avlsmal/>
- NSG, 2024c. Egenskaper i avlsarbeidet hos sjeviot. <https://www.nsg.no/sau/saueavl/avlsmal/sjeviot-avlsmal/>
- NSG, 2024d. Egenskaper i avlsarbeidet hos pelssau. <https://www.nsg.no/sau/saueavl/avlsmal/pelssau-avlsmal/>
- NSG, 2024e. Avlsfremgang for avkomsgranskede værer, 2023-H5. https://www.saueavl.nsg.no/ringanalyse_utvikling_list.cfm

Ridoutt, B.G., Hendrie, G.A., & Noakes, M., 2017. Dietary Strategies to Reduce Environmental Impact: A Critical Review of the Evidence Base. *American Society for Nutrition. Adv Nutr.* 2017; 8: 933–946. Doi: 10.3945/an.117.016691

Rogej, J., og Schleussner, C.-F., 2019. Unintentional unfairness when applying new greenhouse gas emissions metrics at country level. *Environmental Research Letters*, 14. 114039

Romero-Perez Okine, E.K., McGinn, S., Guan, L.L., Oba, M., Duval, S.M., Kindermann, M., Beauchemin, K. A., 2015. Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet. *Journal of Animal Science*, 93, 1780-1791.

Saleem, A.M., Ribeiro, Jr G.O., Yang, W.Z., Ran, T., Beauchemin, K.A., McGeough, E.J., Ominski, K.H., Okine, E.K. McAllister, T.A., 2018. Effect of engineered biocarbon on rumen fermentation, microbial protein synthesis, and methane production in an artificial rumen (RUSITEC) fed a high forage diet. *Journal of Animal Science* 96, 3121-3130. Doi: 10.1093/jas/sky204

Samsonstuen, S., B.A. Åby, P. Crosson, K. Beauchemin, H. Bonesmo and L. Aass, 2019. Farm scale modelling of greenhouse gas emissions from semi-intensive suckler cow beef production. *Agricultural Systems* 176 (2019) 102670 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102670>

Samsonstuen, S., B.A. Åby, P. Crosson, K. Beauchemin, H. Bonesmo, M.S. Wetlesen and L. Aass, 2020a. Variability in greenhouse gas emission intensity of semi-intensive suckler cow beef production systems. *Livestock Science* 239 (2020) 104091 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104091>

Samsonstuen, S., B.A. Åby, P. Crosson, K. Beauchemin & L. Aass, 2020b. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef cattle production systems. *Acta. Agric. Scand. Sect. A*, 69:4, 220-232 <https://doi.org/10.1080/09064702.2020.1806349>

Samsonstuen, S., 2021. Gårdsmodellen HolosNorBeef stor variasjon i klimagassutslipp fra norske besetninger. *TYRmagasinet* Nr. 1, 2021.

Santos, M. B., Robinson, P. H., Williams, P. og Losa, R., 2010 Effects of addition of an essential oil complex to the diet of lactating dairy cows on whole tract digestion of nutrients and productive performance. *Animal Feed Science and Technology*, 157, (1-2), 64-71.

Schils, R.L.M., Verhagen, A., Aarts, H.F.M., Sebek, L.B.J., 2005. A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. 71, 163-175. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-2212-9>

Stornes, O. K., 2017. Tidlig nedsanking av sau og bare innmarksbeite. Sats per dyr og dag ved mer innmarksbeite. *NIBIO report* vol. 3, nr 100. 32 pp.

SSB, 2020. Bruk av gjødselressurser i jordbruket 2018. Metodebeskrivelse og resultater fra en utvalgsbasert undersøkelse (In Norwegian). Report 2020/9, 123 pp. ISBN 978-82-587-1078-0.

SSB 2023a. Husdyrhald. Husdyr per 1. mars, etter husdyrslag 1990-2023

<https://www.ssb.no/statbank/table/03710/>

SSB, 2023b. Slakt godkjente til folkemat, etter type slakt 1999K1-2022K4

<https://www.ssb.no/statbank/table/05538/>

SSB, 2023c. Slakt godkjente til folkemat, etter type slakt (tonn) 1999 -2022

<https://www.ssb.no/statbank/table/03551/>

SSB, 2023d. Utslipp til luft. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>. (AR5, NIR 2023, utslippsvektfaktorer pr. nov.2023)

SSB, 2023e. Utslipp til luft. Klimagasser etter utslippskilde, energiprodukt og komponent, GWP-verdier etter Parisavtalen (AR5) 1990-2022. <https://www.ssb.no/statbank/table/13931/>

SSB, 2023f. Befolkning. Endringer i kommuner, fylker og hele landets befolkning (K) 1951-2024 <https://www.ssb.no/statbank/table/06913/>

Stornes, O. K., 2017. Tidlig nedsanking av sau og bare innmarksbeite. Sats per dyr og dag ved mer innmarksbeite. NIBIO rapport vol. 3, nr 100. 32 s.

Storlien, T.M., Prestløkken, E., Beauchemin, K.A., McAllister, T.A., Iwaasa, A., Harstad, O.M., 2015. Supplementation with crushed rapeseed causes reduction of methane emissions from lactating dairy cows on pasture. *Animal Production Science*. 57 (1), 81-89. <https://doi.org/10.1071/AN15287>

Terry, S.A., Ribeiro, G.O., Gruninger, R.J., Chaves, A.V., Beauchemin, K.A., Okine, E., McAllister, T.A., 2019. A pine enhanced biochar does not decrease enteric CH₄ emissions but alters the rumen microbiota. *Frontiers in Veterinary Science* 6, 308. Doi: 10.3389/fvets.2019.00308

TINE, 2022. Statistikkksamling frå Ku- og Geitekontrollen. <https://medlem.tine.no/fag-og-forskning/statistikkksamling-for-ku-og-geitekontrollen-for-2022>

TYR, 2021. Årsmelding og Rekneskap, 2021.

<https://www.tyr.no/wp-content/uploads/2022/03/arsmelding-tyr-2021.pdf>

Vakse, I., 2022. Beite eller innefôring: Utslipp av enterisk metan fra melkekyr på beite sammenlignet med innefôring. Masteroppgave NMBU.

Van Gastelen, Dijkstra, J., Heck, J. M.L., Kindermann, M., Klop, A., de Mol, R., Rijnders, D., Walker, N., Bannink, A., 2022. Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of Dairy Science*. 105, 4064-4082.

Van Gastelen, S., Dijkstra, J., Heck, J.M.L., Kindermann, M., Klop, A., de Mol, R., Rijnders, D., Walker, N., Bannik, A., 2022. Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of Dairy Science*, 4064-4082. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>

Van der Werf, H.M.G., Knudsen, M.T., & Cederberg, C., 2020. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *NATURE SUSTAINABILITY*, VOL 3, JUNE 2020, 419-425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>

Vilhelmsen, M., 2019. Klimagassutslipp fra gårder i Nordland beregnet med gårdsmodellen HolosNor. Master Thesis ved Fakultet for biovitenskap, NMBU 2019.

<https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2612927>

Villar, M.I., Hegarty, R.S., Nolan, J.V., Godwin, I.R., McPhee, M., 2020. The effect of dietary nitrate and canola oil alone or in combination on fermentation, digesta kinetics and methane emissions from cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 259, 114294. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114294>

Yu, G., Beauchemin, K.A., Dong, R., 2021. A Review of 3-Nitrooxypropanol for Enteric Mitigation from Ruminant Livestock. *Animals*, 11 (12). <https://doi.org/10.3390/ani11123540>

Weiby, K.V., Krizsan, S.J., Eknæs, M., Schwarm, A.M., Whist, A.K., Schei, I., Steinshamn, H., Lund, P., Beauchemin, K. & Dønnem, I., 2022. Associations among nutrient concentration, silage fermentation products, *in vivo* organic matter digestibility, rumen fermentation and *in vitro* methane yield in 78 grass silages. *Animal Feed Science and Technology*. 285 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115249>

- Weiby, K.V., Krizsan, S.J., Dønnem, I., Østrem, L., Eknæs, M. & Steinshamn, H., 2023. Effect of grassland cutting frequency, species mixture, wilting and fermentation pattern of grass silages on in vitro methane yield. *Scientific reports*.13: 4806. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31964-3>
- Wethal, K.B., G.F. Difford, K. Winnberg, E. Norberg og B. Heringstad, 2022. Heritability of methane emission in Norwegian Red cows based on measures from GreenFeed in commercial herds. *Proc. 12th WCGALP, 2022*. DOI: 10.3920/978-90-8686-940-4_32
- Zhang, X. M., Smith, M.L., Gruninger, R.J., Kung Jr., L., Vyas, D., McGinn, S.M., Kindermann, M., Wang, M., Tan, Z.L., Beuchemin, K.A., 2021. *Journal of Animal Science*. 99 (4), 1-10. Doi:10.1093/jas/skab081
- Øygarden, L., Aass, L., Bakken, A.K., Bonesmo, H., Geipel, J. & Åby, B.A., 2022. Indikatorer og metoder for dokumentasjon og tiltaksrapportering i Klimaavtalen og indirekte effekt av tiltak. NIBIO rapport 129. 978-82-17-03151-2.
- Åby, B. A., 2012. Breeding goals in beef cattle; Use of bio-economic models for derivation of economic values and total merit indices for future production conditions. NMBU, 2012 (ISBN 978-82-575-1085-5); Volum 2012.27 s. Philosophiae Doctor (PhD) Thesis (48).
- Åby, B.A., Å. Randby, H. Bonesmo and L. Aass, 2019. Impact of grass silage quality on greenhouse gas emissions from dairy and beef production. *Grass and Forage Science*. 74 (3), 525-534. <https://doi.org/10.1111/gfs.12433>
- Åby, B.A., Samsonstuen, S. & Aass, L., 2023. Large variation in emission intensities from dual-purpose sheep production systems. *Book of Abstracts of the 74th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*. 26. August- 1. September, Lyon, Frankrike.
- Åby, B.A., Samsonstuen S. & Aass, L., 2022. Emission intensities in sheep production located in various geographical regions of Norway. *Proceedings of the 8th International Greenhouse Gas & Animal Agriculture*. Orlando, Florida, USA. 5.-9 juni 2022.
- Åby, B.A., Samsonstuen, S. & Aass, L., 2022. Increased reproductive performance and lamb productivity as mitigation options in sheep production. *Book of Abstracts of the 73rd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*. Porto, Portugal 5.-9 September 2022.
- Åby, B.A., Dønnem, I., Jakobsen, J. & Steinheim, G. (2023a). Effects of sheep breed and grass silage quality on voluntary feed intake and enteric methane emissions in adult dry ewes. *Small Ruminant Research* 227, 107081. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107081>
- Åby, B.A., Bhatti, M.A. & Steinheim, G. (2023b). Rumen size in sheep: difference between a modern and a native Norwegian sheep breed. Akseptert for publikasjon *ACTA Agriculturae Scandinavica, Section A- Animal Science*. <https://doi.org/10.1080/09064702.2023.2272676>
- Årvik, L., 2022, Fôropptak og mjølkeproduksjon hos mjølkekyr ved ulike slåttesystem og botaniske samansetninger. Masteroppgave NMBU.

