



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI



Klimagassutslipp - planteproduksjon

Innspill til norsk klimagassmodell på gårdsnivå

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR.67 | 2019



Sissel Hansen¹⁾ og Lillian Øygarden²⁾

Norsøk ¹⁾ Divisjon for miljø og naturressurser²⁾

TITTEL/TITLE

Klimagassutslipp - planteproduksjon. Innspill til norsk klimagassmodell på gårdsnivå.

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Sissel Hansen og Lillian Øygarden

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
05.06.2019	5/67/2019	Åpen	8973	19/00760
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02342-5	2464-1162	35		

OPPDRA GSGIVER/EMPLOYER:

Norges Bondelag

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Ane Kismul/Anne Thorine Brotke

STIKKORD/KEYWORDS:

Klimagasser, jordbruk, planteproduksjon, tiltak, modeller klimagassberegning

Greenhouse gas emissions, agriculture, plant production, models,

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordbruk- miljøpåvirkning. Klimagasser.

Agriculture- environmental effects. Greenhouse gas emissions.

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Denne rapporten er utarbeidet som del av utredningsprosjektet til Bondelaget: Utvikling av beregningsmodell for klimagasser i norsk landbruk» finansiert av Landbruksdirektoratet. Rapporten omhandler klimagasser fra planteproduksjon og gir omtale av nødvendige data for klimagassberegning. Den gir oversikt over ulike typer modeller for beregning av klimagassutslipp, fra nasjonalt rapporteringsnivå til modeller for rådgivning på gårdsnivå. Det er også gjort vurdering av forsknings og kunnskapsbehov. Se sammendrag i rapport.


This report gives an overview of data needed for calculations of greenhouse gas emissions from plant production. It includes also a comparison of different models for reporting at national level down to models for giving advice on farm level. The report is part of Bondelagets project; Utvikling av beregningsmodell for klimagasser i norsk landbruk» finansied by Norwegian Agriculture Agency.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Hele landet

GODKJENT /APPROVED

JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

LILLIAN ØYGARDEN

Forord

Det er et stort press på landbruket for å synliggjøre tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra næringa. Bondelaget fikk innvilget utredningsprosjektet «Utvikling av beregningsmodell for klimagasser i norsk landbruk» finansiert med midler fra «Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri» for perioden 2016 - 2017. Norges Bondelag har vært ansvarlig for prosjektet og kontakten til Landbruksdirektoratet. Prosjektet har vært ledet av Lillian Øygarden, NIBIO. Som samarbeidspartnere i prosjektet deltok Norges Bondelag, Institutt for husdyr og akvakulturvitenskap (IHA) ved NMBU, Norsøk, NIBIO, Landbrukets Dataflyt, Tine Rådgivning, Norsk Landbruksrådgivning. I en referansegruppe deltok også SSB, Landbruksdirektoratet og Miljødirektoratet.

Formålet med utredningsprosjektet ble noe endret da prosjektet «Klimasmart landbruk» ble etablert i 2017. Oppgaver knyttet til selve modellutviklingen av «Beregningsmodell for klimagasser på gårdsnivå» gjennomføres som del av «Klimasmart Landbruk». Dette utredningsprosjektet har gitt flere bidrag til kunnskapsgrunnlaget for modellutviklingen, men ikke deltatt i selve modellarbeidet.

Denne rapporten er ett av bidragene til modellutviklingen. Sissel Hansen, Norsøk har hatt hovedansvaret for sammenstilling og vurdering av data på gårdsnivå knyttet til planteproduksjon. NMBU har hatt ansvaret for en tilsvarende leveranse av vurderinger for husdyrproduksjonen, Storlien et al. (2016).

I prosjektet er det gjennomført flere møter med en referansegruppe med gjennomgang av disse rapporter, presentasjon av utslippsregnskapet for klimagasser for jordbruket (SSB og Miljødirektoratet) og LULUCF sektoren (NIBIO). Det har også vært presentasjoner av TINE og fra Klimasmart Landbruk om modellutvikling og tilgjengelige data. De enkelte bidrag nevnt over er gjort tilgjengelig for utviklingsarbeidet til modellutviklingen til «Klimasmart Landbruk». Denne rapporten utgis som selvstendig rapport da det er vurdert at innholdet om klimagassutslipp og planteproduksjon kan være aktuelt for flere målgrupper. Hoveddelen av arbeidet i denne rapporten ble sammenstilt i 2016/2017 og gjort tilgjengelig for prosjektet. Det er referert til nasjonale utslippsberegninger for samme periode (publisert i 2018), men det er ikke gjort ny oppdatering ved ferdigstillelse av rapporten. Det kan derfor være noen endringer i utslippsfaktorer og beregninger, men det er vurdert at dette ikke har stor betydning for vurderinger og anbefalinger i denne rapporten.

Rapporten er skrevet av Sissel Hansen, Norsøk med bidrag fra Lillian Øygarden, NIBIO. Hun har også hatt ansvaret for det administrative, kontakt til Norges Bondelag og redigert rapporten i NIBIO rapportmal.

Kvalitetssikring er gjort av Synnøve Rivedal, NIBIO.

Ås, 05.06.19

Lillian Øygarden

Innhold

1	Innledning.....	5
2	Oversikt over nødvendige data - klimagassutslipp fra jordbruket	7
2.1	Dagens beregninger av samlede utslipp på gardsnivå	8
2.2	Beregning av utslipp fra planteproduksjon	9
2.3	Beregning av lystgassutslipp fra planteproduksjon på gardsnivå.....	9
2.4	Beregning av metanutslipp fra husdyrgjødsel	12
2.5	Beregning av karbonfrigjøring/karbonlagring fra jord	13
3	Gjennomgang og evaluering av ulike modeller for beregning av klimagassutslipp.....	14
3.1	Ulike typer modeller	14
3.1.1	Statistisk modell	14
3.1.2	Rådgivingsmodell	15
3.1.3	Modeller for beregning av karbonavtrykk.....	16
3.2	Norsk modell for klimagassberegning på gårdsnivå.....	17
3.2.1	Noen forslag til ytterligere forbedringer	18
4	Agronomiske faktorer aktuelle for en rådgivningsmodell	20
5	Behov for ytterligere forskning og utvikling.....	25
5.1	Rådgivingsmoduler	25
5.2	Behov for bedret kunnskapsgrunnlag for beregning av utslipp av drivhusgasser fra planteproduksjon	25
5.2.1	Beregningsmodell for lystgassutslipp fra ulike typer beite	26
5.2.2	Utslipp fra ulike typer myr i Norge.....	26
5.2.3	Drenering	26
5.2.4	Metanutslipp/opptak fra jord	27
5.2.5	Surgjøring av husdyrgjødsel, tilsetting av svovel til gjødsellager rett før spredning.....	27
5.2.6	Karbonlagring under norske forhold – effekt av eng/beite og karbontap ved åkerdrift	27
5.2.7	Planterester.....	28
5.2.8	Kompostering.....	28
5.3	Nylige utredninger	28
6	Oppsummering.....	31
	Referanser	32

1 Innledning

For å kunne redusere utslipp av klimagasser fra landbruket er det behov for kunnskap om anbefalte aktuelle tiltak og beregning av effekter av disse. Klimagassutslipp fra jordbruket beregnes årlig i det nasjonale utslippsregnskapet, men det er en rekke faktorer som påvirker jordbrukets utslipp som ikke registreres på nasjonalt nivå. Bonden må gjennomføre tiltak på den enkelte gård og det kan være store lokale forskjeller mellom gårdsbruk, driftformer og driftspraksis. Det er derfor behov for rådgivning på gårdsnivå om driftsforhold som påvirker utslipp. Samtidig er det behov for dokumentasjon av tiltak som gjennomføres og effekter av disse. Rådgivningsverktøy og modeller kan bidra til å dokumentere og beregne effekter av ulike tiltak dersom de er tilpasset driftsforhold på gårdsnivå. Det var ønskelig å utarbeide et modellverktøy til bruk på gårdsnivå. Norges Bondelag- med samarbeidspartnere- søkte derfor Landbruksdirektoratet i 2016 om utredningsmidler til et forprosjekt for en slik modellutviklingen. Utredningsprosjektet hadde disse formål:

- **Utarbeide en oversikt over hvilke data som er nødvendig for å gi et dekkende bilde av klimagassutslippene fra jordbruket**
- **Gjennomgang og evaluering av ulike modeller for beregning av klimagassutslipp**
- **Oversikt over fagområder som krever ytterligere forskning og utvikling**

Utgangspunktet for vurderingene skulle være den enkelte gård og gi estimat på de totale netto utslipp som ligger bak produksjonen på gården fram til produktet er leveringsklart ved gardsporten. Utslipp fra produksjon av driftsmidler til jordbruket og karbonlagring/karbontap fra jord skulle også inkluderes. Modellen skulle kunne brukes til rådgiving om tiltak på gårdsnivå for å få ned reelle klimagassutslipp og ikke bare de som i dag estimeres i det offisielle utslippsregnskapet. Derfor skulle også agronomiske forhold på garden registreres.

Prosjektet ble endret underveis bl.a fordi prosjektet «Klimasmart landbruk» ble etablert. Da ble arbeidet i dette utredningsprosjektet som direkte hadde med utvikling av en norsk klimagassmodell flyttet ut i «Klimasmart landbruk». Sammenligning av ulike modeller ble tonet ned fordi «Klimasmart landbruk» gjorde vurdering av aktuelle modeller og valgte «HolosNor». Dette utredningsprosjektet har derfor vurdert faglige forhold knyttet til databehov- klimagasser- tiltak – modeller og ikke til spesifikk modellsammenligning.

I denne perioden ble det også opprettet et «Teknisk beregningsutvalg for klimagassutslipp fra jordbruket» (TBU) som innen 1.7.2019 skal gi faglige råd om hvordan eksisterende beregninger av utslipp og rapporteringsrutiner knyttet til utslippsregnskapet kan forbedres. Noen tema vurdert i utredningsprosjektet er behandlet videre gjennom arbeidet i TBU.

Utredningsprosjektet har omhandlet utslipp fra husdyrproduksjonen der NMBU har hatt hovedansvaret og har rapportert gjennom Storlien m.fl (2016). For klimagasser fra planteproduksjon har Sissel Hansen, NORSØK hatt hovedansvaret og dette arbeidet er presentert i denne rapporten.

Valg av modeller kan være avhengig av hva resultatene skal brukes til. Det kan være til nasjonal rapportering av utslipp av klimagasser eller for rådgivning på gårdsnivå med sammenligning av ulike tiltak. Denne rapporten gir en kort oversikt over ulike typer modeller for flere formål og litt om databehov for disse. Det er i rapporten lagt spesiell vekt på tema som er nødvendige og ønskelig at en modell for rådgivningsformål på gårdsnivå inneholder. Det er lagt vekt på omtale av agronomiske faktorer som påvirker klimagassutslipp fra planteproduksjonene, men det er ikke gitt oversikter av nivå på spesielle utslippsfaktorer eller anbefalinger. Det vil komme inn når de ulike modeller detaljeres for aktiv bruk i rådgivningen.

Det er behov for bedre dokumentasjon av en rekke faktorer for at modellutviklingen kan tas i bruk tilpasset lokale variasjoner på gardsnivå i de ulike planteproduksjoner. Noen slike forsknings- og utviklingsbehov er også omtalt.

2 Oversikt over nødvendige data - klimagassutslipp fra jordbruket

Faktaboks: Utslipp av klimagasser fra jordbruket beregnes på nasjonalt nivå som en del av Kyoto-avtalen etter retningslinjene til FN sitt klimapanel (IPCC). I de nasjonale beregningene (f.eks National Inventory Report, 2017) tas det med utslipp som er direkte knyttet til produksjon av landbruksvarer i Norge. Klimagassutslipp fra produksjon av fôr som importeres fra andre land, og fra produksjon av ulike innsatsfaktorer som gjødsel, kalk, diesel, bygninger og maskiner tilskrives ikke Norsk jordbruk i de nasjonale beregningene. Utslipp av CO₂ fra forbrenning av olje og gass til oppvarming og diesel til landbruksmaskiner rapporteres under energisektoren. Arealbruksendringer og endringer i karboninnhold fra jordbruksarealer (bl.a dyrket mark og beite) rapporteres i utslippsregnskapet sammen med skog og annen arealbruk (LULUCF sektoren = Land Use, Land Use Change and Forestry). Her inngår karbonfrigjøring/karbonlagring i mineraljord, CO₂-utslipp fra jordbruksdrift på organisk jord og utslipp på grunn av endret arealbruk. I en gardsmodell er det ønskelig å ta med alle disse utslippene da de samlet kan si noe om hvor mye klimagasser som slippes ut per produsert enhet på garden.

Faktaboks: For å kunne estimere utslipp av klimagasser, trengs det aktivitetsdata og utslippsfaktorer.

Utslipp = aktivitet x utslippsfaktor

Aktivitetsdata sier noe om hvor mye det finnes av en aktivitet/ting som kan gi utslipp av drivhusgasser. Eksempel på dette er arealomfang, antall dyr, mengde nitrogen som er tilført jorda via mineralgjødsel, husdyrgjødsel eller planterester. Ofte finner man ikke disse mengdene direkte, men må beregne dem. Til det brukes ulike beregningsfaktorer. Et eksempel på dette er mengde nitrogen i husdyrgjødsel som enten kan beregnes ut fra en standardfaktor for hvert dyr i den aktuelle dyregruppen, eller basert på kjøtt-tilvekst og melkeproduksjon. For nasjonal rapportering beregnes aktivitetsdata på nasjonalt nivå, mens de beregnes for hver enkelt gård i gårdsmodeller.

Utslippsfaktorer er beregnet utslipp per enhet aktivitet. Som regel brukes utslippsfaktorer fra FNs klimapanel (eks fra IPCC 2006) tilpasset norske forhold der det er mulig. Nye retningslinjer fra IPCC for beregning av utslipp av drivhusgasser kommer høsten 2019.

Det er usikkerhet både i aktivitetsdata, beregningsfaktorer og utslippsfaktorer. Til sammen blir det en betydelig usikkerhet på hvor mye klimagasser som faktisk slippes ut.

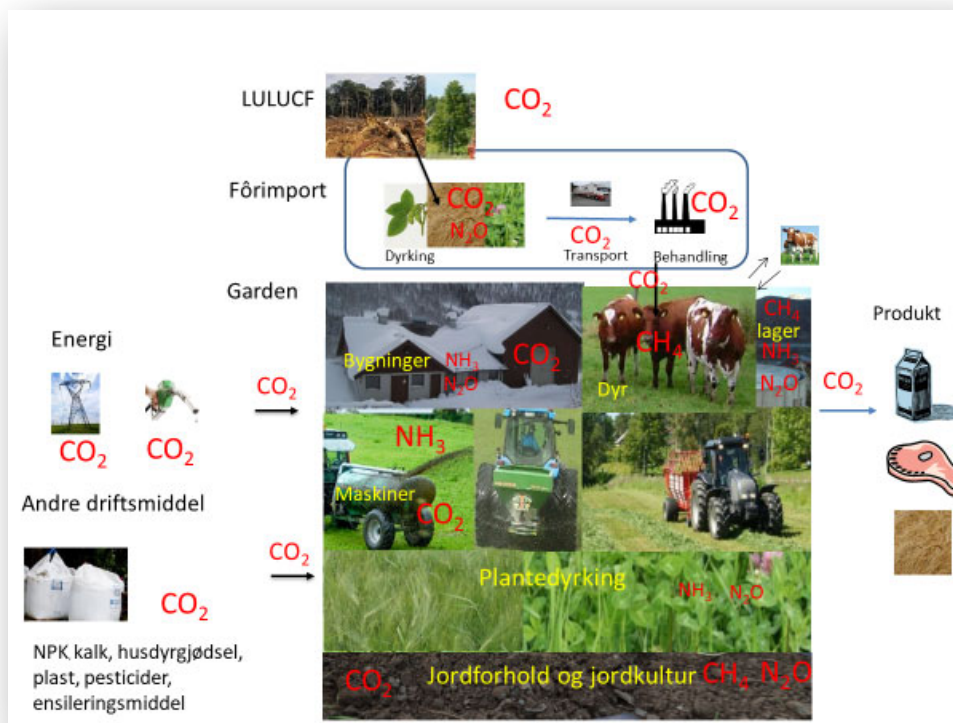
Det er satt ned et teknisk beregningsutvalg (TBU) for rapportering av klimagasser der både tilgjengelige data og utslippsfaktorer gjennomgås. Utvalget skal levere rapport innen 1.7. 2019. I denne rapporten er det ikke tatt hensyn til dette pågående arbeidet, men er referert til de utslippsfaktorer som er brukt ved nasjonal rapportering.

De bokførte tall for totale utslipp av klimagasser fra jordbrukssektoren i Norge var 4,5 mill tonn CO₂ ekvivalenter i 2016 og dette utgjorde 8,4 % av de totale norske utslippene og 16,5 prosent av de ikke kvotepliktige utslippene. CO₂ utslipp dyrket mark og beite bokført i LULUCF sektoren var i 2016 2,2 mill tonn CO₂ ekv og av disse var 1,85 millioner tonn knyttet til drenert myr. I tillegg til dette utgjorde CO₂ utslipp fra jordbrukets drivstoffbruk 346 000 tonn CO₂ ekv og oppvarming i bygg om lag 58 000 tonn CO₂ ekv, Holmengren m.fl. (2018).

2.1 Dagens beregninger av samlede utslipp på gardsnivå

De totale utslippene av klimagasser fra landbruket er påvirket av mange faktorer. Det skjer utslipp fra jord, planterester, dyr og husdyrgjødsel på selve garden, fra drivstoffbruk på garden og fra produksjon, behandling og transport av innsatsmidler som brukes på garden. Innkjøp av fôr og gjødsel er som regel de importerte innsatsmidlene som betyr mest for de estimerte utslippene på gardsnivå, men også produksjon av energi, maskiner og bygninger bidrar til klimagassutslipp. Ved import av fôr må klimagassutslipp ved selve produksjonen tas med selv om det skjer på en annen gard eller i utlandet. Dette kan gi forskjeller mellom nasjonalt utslippsregnskap og modeller for bruk på gårdsnivå. Dersom en skal ha et fullstendig klimagassregnskap må også oppdyrking av jord for å produsere importert fôr tas med (LULUCF, se over). Et eksempel på dette er hogging av regnskog for oppdyrking av areal til produksjon av soya eller nydyrking av myr eller skogsområder. Det er derfor viktig å oppgi hva som er inkludert i modellene og hvilke avgrensninger som er gjort. Det har stor betydning når en sammenligner både utslippsnivå og effekt av tiltak. Jordbruket kan også bidra til redusert innhold av klimagasser i atmosfæren ved karbonlagring i jord gjennom eng og skog. Dette er i varierende grad tatt med i modeller. I jorda er det både opptak og utslipp av metan. I våt jord med høyt innhold av organisk materiale dannes det metan, mens det i tørrere jord er et netto opptak av metan. Metanutslipp fra eller metanopptak i jord er sjelden tatt med i modeller eller i utslippsregnskap.

Kilder til klimagassutslipp på gardsnivå er vist i Figur 1. De dominerende klimagassene fra jordbruket er metan (CH_4) og lystgass (N_2O) som har en mye sterkere drivhuseffekt enn karbondioksid (CO_2). Holmengen et al., (2018) bruker IPCC (2007) sine faktorer for GWP (global warming potential); 25 for CH_4 and 298 for N_2O . IPCC har i sin femte evalueringsrapport skalert opp drivhuseffekten av CH_4 til 28 og ned for N_2O til 265 ganger sterkere enn CO_2 regnet i et 100 års perspektiv (Greenhouse gas protocol, 2016). Selv om ammoniakk (NH_3) ikke har en direkte drivhuseffekt, tas den med i beregningene da den er en kilde til produksjon av lystgass.



Figur 1. Eksempler på kilder til utslipp av klimagasser fra garden og innsatsmidler som brukes i gardsdrifta

2.2 Beregning av utslipp fra planteproduksjon

Hvilke aktivitetsdata, beregningsfaktorer og utslippsfaktorer som er nødvendige for å kunne gi et dekkende bilde av klimagassutslipp fra planteproduksjonen avhenger av hvilke krav som settes til nøyaktighet. Beregningsmåtene til FN's klimapanel (IPCC, 2006) er laget for å kunne lage gode estimat på samlede utslipp av klimagasser fra et land (nasjonalt nivå). Beregningsfaktorene er satt slik at de estimerer gjennomsnittsutslipp ved antall dyr, aktuell gjødsling osv. Fordi klimagassutslipp fra jord og plantedyrking varierer avhengig av jordtype, jordstruktur, jordfuktighet, temperatur, pH, plantevekst og tilgjengelighet av karbon og nitrogen, vil imidlertid de reelle utslippene variere mye fra gard til gard, fra jorde til jorde og innafor samme jorde. Det er også en stor variasjon gjennom året. Det er helt umulig å ta hensyn til alle disse faktorene ved beregning av nasjonale utslipp. Derfor baserer Statistisk sentralbyrå (SSB) og FN's Klimapanel seg på gjennomsnittsfaktorer basert på en rekke feltforsøk summert over et år. Hvor mye data som er tilgjengelige for å beregne nasjonale utslipp varierer fra land til land, og for ulike deler av landbruksproduksjonen. Basert på hvor mye grunnlagsdata og utslippsfaktorer som er tilgjengelig deles estimatene inn i ulike nivå (Tier). Ved Tier 1 brukes bare gjennomsnittsfaktorer, ved Tier 2 har en litt mer data tilgjengelig og kan gjøre grundigere beregninger, ved Tier 3 gjøres beregningene gjennom godt dokumenterte modeller. Utslipp av drivhusgasser fra husdyrproduksjonen i Norge gjøres ved Tier 3 fordi en her har godt datagrunnlag. For planteproduksjon har vi ikke den samme muligheten, da beregningsgrunnlaget er for lite på grunn av de store variasjonene i jord, klima og agronomi.

2.3 Beregning av lystgassutslipp fra planteproduksjon på gardsnivå

Lystgassutslipp fra planteproduksjon blir oppdelt i direkte og indirekte utslipp, og det er en rekke faktorer som påvirker begge typer utslipp, se faktaboks under (Figur 2).

Lystgass fra jord – N₂O Beregninger basert på IPCC, 2006

Aktivitetsdata = Mengde nitrogen tilført via:
kunstgjødsel, husdyrgjødsel, annen organisk gjødsel eller planterester

Direkte utslipp av N₂O fra gjødsel og planterester:
= 1% av tilført N (0,03 – 3%)

Indirekte utslipp av N₂O fra gjødsel og planterester
= N₂O fra gasstap (NH₃ + NO_x) + utvasking

Gasstap = 20% (5-50%) av tilført N. 1 % av dette omdannes til N₂O.
Utvasking = 30% (10-80%) av tilført N. 0.75 % av dette omdannes til N₂O.

Beite: Storfe = 2% av tilført N (0,07 – 6%), sau 1% av tilført N (0,03 – 3%)
Beregnes ut fra antall beitedager

Norge har egne beregninger av gasstap og utvasking, se omtale i tekst

Figur 2 . Oversikt over beregningsmetoder for tap av lystgass.

Det finnes en rekke modeller som estimerer utslipp av lystgass fra planteproduksjon (eks, FASSET, DNDC; se Chirinda et. al., 2011). Fordi data som er nødvendige for mer avanserte beregninger ikke er tilgjengelige for gardsbruk i vanlig drift, brukes ofte forenklete modeller eller klimapanelets (IPCC) utslippsfaktorer også for gardsmodeller beregnet til å estimere utslipp fra bestemte gårder. Nedenfor er det gitt en oversikt over av hva som trengs av aktivitetsdata for å kunne beregne lystgassutslipp basert på FNs klimapanel sine retningsligner for Tier 1 (IPCC, 2006).

Tilført nitrogen: Det antas at 1 % av alt tilført nitrogen omdannes direkte til N_2O-N , med en variasjon fra 0,03% til 3% (IPCC, 2006). Som regel brukes bare en standardverdi i ulike modeller, det vil si 1%. Det er fordi det er komplisert å jobbe med variasjonsbredden, og en mangler datagrunnlag til å kunne estimere hvilket nivå en ligger på innenfor denne variasjonsbredden. For å kunne beregne mengde nitrogen tilført trengs det informasjon om mengde nitrogen som tilføres gjennom mineralgjødning, husdyrgjødning, annen organisk gjødning og planterester (det vil si den delen av planta som tilbakeføres til jorda ved høsting). Beregningsmodellen tar ikke hensyn til om nitrogenet er lett eller tungt tilgjengelig, heller ikke om det er mye eller lite nitrogen som tilføres eller om det er mye eller lite nitrogen i jorda fra før. Det tas ikke hensyn til nitrogen tilført gjennom nedbør. Tilført nitrogen fra biologisk nitrogenfiksering tas med i beregningene av planterester som tilbakeføres til jorda, men basert på forskningsresultat antas det at det ikke slippes ut lystgass ved selve nitrogenfikseringen som skjer i samspillet mellom belgvekster og Rhizobium-bakterier (Rochette and Janzen, 2005).

Innkjøpt gjødning: Mengde nitrogen i mineralgjødning og innkjøpt organisk gjødning fås fra gardsregnskapet og bondens noteringer. Dataflyt jobber nå for «Klimasmart landbruk» og arbeidet med klimagasskalkulatoren med å gjøre data fra gardsregnskapet tilgjengelig i elektroniske databaser som en kan få adgang til etter godkjenning av bonden. I dag hentes disse data om innkjøpt gjødning fra hver gardbrukers regnskap.

Husdyrgjødning: På melkeproduksjonsbruk beregnes mengde nitrogen i husdyrgjødning ut fra produsert melk og kjøtt på garden. Dersom det eksporteres eller importeres husdyrgjødning til garden, må det korrigeres for dette. Dette inngår oftest ikke i gardsregnskapet og må oppgis av bonden. Der mengde husdyrgjødning ikke beregnes, brukes data fra gardbruker på mengde og type husdyrgjødning tilgjengelig.

Planterester beregnes ut fra beregnet stående avling før høsting. På husdyrbruk beregnes det i dag ut fra melk og kjøtt produsert på garden, og estimert tap fra jorde til fôrbrett. Det finnes svært sjelden gode nok noteringer på hvor mye grovfôr som er høstet på garden til at grovfôravlingen kan beregnes ut fra det. Tap under høsting og lagring vil variere fra gard til gard. De dyktigste agronomene får naturlig nok de minste tapene. Hvor store tap som estimeres fra jorde til fôrbrett varierer mellom de ulike modellene. Steinshamn et al. (2004) fant i en undersøkelse av næringsstoffstrømmene på Landbrukshøgskolens (nå NMBU) melkeproduksjonsbruk, at bare 62% av nitrogenet i høstbar avling ble tatt opp av dyra. Ut fra dette er et tap på 40% fra jorde til fôropptak sannsynlig. Dette samsvarer med tapene beregnet av Bakken et al. (2014). På planteproduksjonsgarder er det mye lettere å beregne avlingene, da en finner produsert/solgt mengde og type i regnskapet.

Beite: Lystgassutslipp beregnes ut fra mengde nitrogen skilt ut gjennom møkk og urin på beite. Dette beregnes ut fra antall beitedager. Det antas at 2% (0,07-6%) av nitrogen fra storfe og 1% (0,03% til 3%) fra sau slippes ut som lystgass (IPCC, 2006). Det tas ikke hensyn til om det er intensivt eller ekstensivt beitebruk. Det brukes samme utslippsfaktor på gjødning fra dyr som beiter i utmark som på gjødning fra dyr som går på et intensivt nyttet beite nær fjøset. På et intensivt beite er det stor dyretetthet og dyra kommer ofte tilbake til samme sted. Dermed kan det bli en opphopning av urin og fast husdyrgjødning og et høyt innhold av nitrogen og karbon i jorda. Det er svært sannsynlig at utslippsfaktoren for nitrogen tilført med urin og husdyrgjødning vil være betydelig større på et intensivt beite, enn på utmarksbeite.

Indirekte dannelse av lystgass: En stor del av nitrogenet som fordampes som ammoniakk (NH_3) eller NO_x fra gjødsel vil avsettes på bakken igjen, enten som tørravsetning eller som del av nedbør. Begge deler bidrar til utslipp av lystgass. Klimapanelet (IPCC, 2006, Tabell 11.3) regner at 1% av alt N som fordampes som ammoniakk eller NO_x omdannes til lystgassnitrogen, og at 20% (5-50%) av alt nitrogen tilført med organiske gjødselslag fordampes som ammoniakk og NO_x . Gjødseltype, spredemetode, været og vannmetning i jorda ved spredning betyr svært mye for det reelle ammoniakktutslippet, men dette er ikke med i beregningene som gjøres med Tier 1, og ofte ikke i ulike gardsmodeller. I det nasjonale regnskapet for klimagassutslipp tas det hensyn til spredemetode ved beregning av ammoniakktfordamping (Holmengen et al., 2018, tabell 5.25). For eksempel er 60% av $\text{NH}_4\text{-N}$ estimert tapt ved breispredd bløtgjødsel på eng om sommeren. Dette reduseres til 30% ved vanninnblanding, og 10% ved nedfelling av gjødsla. De oppgir også gjennomsnittlige emisjonsfaktorer for NH_3 for ulike regioner i Norge og vår og høstspredning (Holmengen et al., 2018, tabell 5.26). I tillegg beregner Holmengen et al. (2018, s.305) at det er 4 % NO_x fra både fra mineralgjødsel og husdyrgjødsel basert på EEA (2016). De beregner her NO_x som NO_2 . Også Holmengen et al. (2018) regner at 1% av alt N som fordampes som ammoniakk eller NO_x omdannes til lystgassnitrogen. Noe av nitrogenet som vaskes ut i form av nitrat (NO_3) vil også omdannes til lystgass. Klimapanelet foreslår en gjennomsnittsverdi på utvasking/avrenning av NO_3 på 30% (10-80%), og at 0.75% (0.05 – 2,5%) av dette omdannes til lystgass. I det norske utslippsregnskapet regnes det en utvasking på 22% (Holmengen et al., 2018, 5.6.1.10, s.312). Bechmann et al., (2012) har beregnet utslippsfaktorer til 16 – 44% av tilført nitrogen avhengig av region og planteproduksjon med størst utvasking ved intensiv åkerproduksjon og minst ved ekstensiv grasdyrking. Hvor mye som vaskes ut vil avhenge av jordtype, nedbør, gjødselmengde og gjødseltype med mer. Denne variasjonen er som regel ikke inkludert i estimatene for beregning av klimagassutslipp i gardsmodellene.

Husdyrgjødsellager: Utslipp av lystgass fra husdyrgjødsellager avhenger av nitrogenkonsentrasjonen i gjødsla, temperatur og eksponering til luft. Dette blir påvirket av dyreslag, føring, lagringsmetode, lagringstidspunkt og lagringstid. Holmengen et al. (2018, kap 5.5) beskriver i detalj hvordan dette gjøres i det Norske nasjonale utslippsregnskapet. Som aktivitetsdata brukes antall dyr av hver dyretype og antatt gjennomsnittlig mengde nitrogen ekstrahert per dyr. For storfe er dette beregnet med Norformodellen. Det brukes ulike utslippsfaktorer for N_2O (Tabell 5.18) og NH_3 (tabell 5.19) avhengig av type lager og husdyr.

Tabell 1. Utslippsfaktorer for direkte N_2O utslipp fra lagring av husdyrgjødsel. Basert på tabell fra Holmengen et al. (2018, tabell 5.18.). Det er ikke delt opp etter type husdyr utover det som er oppgitt i tabellen.

Type husdyrgjødsellager	Utslippsfaktor kg $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$
Gjødselkjeller under husdyr	0.002
Bløtgjødsel uten skorpe	0
Bløtgjødsel med skorpe	0.005
Fastgjødsel	0.005
Gjødsel fra dyr i innhegning	0.02
Storfe/svin på dypstrø/talle	0.01
Kyllinggjødsel	0.01
Beite og innhegning (storfe, svin og kylling)	0.02
Beite og innhegning (andre dyr)	0.01

Tilsvarende metodikk brukes i de fleste gardsmodeller, men inndelingene i lagertype kan variere noe. Utslippsfaktorene for N_2O er basert på IPCC (2006) og er ikke justert for sannsynlige temperaturer i Norge.

I Norge er det i løpet av 2018 gjort revidering og forbedringer av modellen for nitrogentap fra husdyrgjødsel beskrevet i rapport fra Miljødirektoratet M-1255/2018 (Carbon Limits, 2019). Det er endringer i utslippsfaktorer, endring i fordeling av utslipp mellom husdyrrom og andel ved spredning, endring i lagringstyper og inkludering av nedmoldingstider ved spredning. Den nye modellen er tatt i bruk ved beregninger for 2018 som publiseres vår 2019.

<http://tema.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2019/Januar/Calculation-of-atmospheric-nitrogen-emissions-from-manure-in-Norwegian-agriculture/>

Myrjord: I næringsrik, organisk jord vil det skje et netto utslipp av lystgass uavhengig av gjødsling, fordi det organiske materialet brytes ned og nitrogenet frigjøres. FN's Klimapanel (IPCC, 2006) regner en utslippsfaktor for lystgass på 0,8 kg N₂O -N per daa og år (0,2-2,4kg). I de nasjonale beregningene for Norge er dette oppjustert basert på FN's klimapanel sin rapport om myrjord i 2013 (IPCC, 2014). De nye utslippsfaktorene er 1,3 kg N₂O -N per daa og år fra fulldyrka jord (åker og eng) 0,95 kg N₂O -N fra varig grasmark (overflatedyrka) (Holmengen et. al 2017 og 2018, s.311). I næringsfattig myrjord vil det være svært små utslipp av N₂O (Hansen et al., 2016). Der det ikke er gjort jordsmonnkartlegging, er omfanget av myrjord på den enkelte gard usikkert, men et anslag kan fås fra NIBIO Kart og Statistikk (<https://kilden.nibio.no/>). Beregningene som brukes i dag er uavhengig av myrtype og alder siden oppdyrking.

Innsatsvarer: Også ved produksjon og transport av innsatsvarene som brukes på et gårdsbruk, produseres det lystgass. Dette må regnes med når de totale utslippene på et gårdsbruk skal beregnes, selv om det ikke er med i de nasjonale beregningene på utslipp fra jordbruket. I det nasjonale regnskapet bokføres det under andre poster som industri og transport. Størst betydning har utslippene ved produksjon av nitrogengjødsel. Ofte ligger det inne en standardfaktor i modellene, men her har det mye å si hvilke utslippsfaktorer en velger å bruke. Noen gardar kjøper også inn billig nitrogengjødsel fra for eksempel Russland. Dette vil gi høyere lystgassutslipp i produksjonen per kg innkjøpt nitrogengjødsel. Produksjonssted for syntetisk nitrogengjødsel er ikke med i modellene.

Tabell 2. Eksempel på ulike utslippsfaktorer for produksjon av ammonium-nitrat, AN (Sylvester-Bradley et al., 2015, tabell 2 s. 28 og Yara, 2017*)

Fertiliser source	GHG emission factors (kg CO ₂ e kg ⁻¹ N)
EU standard 2006	6.31
Best Available Technology (BAT)	2.77
UK (abated)	3.40
Best estimate EU 2011	3.52
Yara, (BAT)	3.6*

Utslipp fra produksjon av kraftfôr brukt på husdyrbruk kan utgjøre en betydelig del av det totale utslippet. Mengde kraftfôr og type fås fra gardsregnskapet. Ut fra ingrediensene i kraftfôret beregnes utslipp ved produksjonen. Estimerer fra utslipp fra ingredienser importert fra utlandet fås fra internasjonale databaser, og fra norsk korn fra undersøkelser gjort i Norge (Bonesmo et al., 2012; Roer et al., 2012).

2.4 Beregning av metanutslipp fra husdyrgjødsel

Beregningene av metanutslipp (CH₄) er ganske kompliserte, og bygger på hvor mange årsdyr det er av hvert dyreslag, hvor mye møkk de skiller ut hver dag, maksimalt CH₄ som potensielt kan produseres fra gjødsel, konverteringsfaktor for mengde metan produsert basert på gjødselhandteringssystem og klima og, andel av gjødsel som er behandlet på denne måten for de ulike kategoriene. Tallgrunnlag og beregningsmetode er gjengitt i Holmengen et al. (2018, s 284-287). Det er få målinger av metanutslipp

fra gjødsellager under ulike klimaforhold i Norge. Usikkerheten ved beregning på enkeltgårdsnivå er derfor stor.

2.5 Beregning av karbonfrigjøring/karbonlagring fra jord

Karbonfrigjøring/lagring i landbruksjord i vanlig drift beregnes ikke i det nasjonale utslippsregnskapet for jordbrukssektoren. Korn, gras og grønnsaker høstes hvert år og en regner at karbon i de høstede avlingene vil frigjøres som CO₂ igjen når de enten spises eller brytes ned på annen måte. Det skjer en tilførsel av karbon til jorda via stubb, røtter og planterester, samtidig skjer det en nedbryting av det organiske materialet og dermed frigjøring av karbon fra jorda. Det vil dannes en balanse mellom frigjøring og binding av karbon i jorda. Hvor mye karbon som lagres i jorda vil avhenge av hva som dyrkes. Det vil for eksempel lagres mer karbon ved dyrking av enn ved dyrking av korn. Endringer i produksjonssystemer som gir endringer i karbonlageret i jordsmonnet rapporteres ved nasjonal rapportering (LULUCF sektoren). Det skiller på om endringer i arealbruk har foregått for mer eller mindre enn 20 år siden. Ved arealbruksendring ved f.eks oppdyrking beregnes utslipp under skog og arealendringer (LULUCF). Karbonlagring i jordbruksjord er påvirket av hva som dyrkes og hvordan, jordtekstur, temperatur og fuktighetsforhold i jorda, og ikke minst innholdet av organisk materiale i utgangspunktet. Jo våtere og kaldere det er, jo mer organisk materiale blir lagret så sant det er varmt nok til plantevekst. Beregningen er basert på Borgen et al. (2012) med inndeling av jordbruksarealet i 31 agrosoner og 16 ulike skjøtselsregimer med kombinasjoner av vekstfølger og gjødsling. Dreneres ei våt organisk jord, brytes karbonet ned gjennom økt mikrobiell aktivitet. Holmengen et al. (2017 og 2018, s 358 og 401) beregner CO₂ utslipp fra drenert myrjord til 79 kg CO₂-C per daa og år basert på IPCC (2013) og estimerer metanutslipp til 3,9 kg CH₄ per daa og år ved grasdyrking på organisk jord, men ingen metanutslipp ved åkerproduksjon fra selve landarealet. Fra grøftene anslås et utslipp på 54 og 117 kg CH₄ fra henholdsvis grasmark og åker for det arealet som dekkes av grøfter på organisk jord.

Vanligvis vil grasdyrking føre til økt karbonlagring, men i ei jord med høgt innhold av organisk materiale vil en også her kunne få nedbryting av det organiske materialet. HolosNor har som den eneste modellen i Norge bygget inn en modul (fra modellen ICBM) for beregning av karbonlagring/karbonutslipp (Andrén et al., 2004). I områder med jordsmonnkartlegging finnes det nok informasjon om jorda til at modellen kan brukes/kjøres når den suppleres med klimadata fra Meteorologisk institutt. For at modellen skal kunne kjøres der det ikke er jordsmonnkartlegging, kreves det kartlegging av jordtekstur og innhold av organisk materiale i jorda. For å få gjort dette må det tas jordprøver fra de mest dominerende jordene på garden og sendes inn til teksturanalyse. Glødetap bestemt ved jordanalyser i Norge kan brukes til å beregne innhold av organisk materiale.

3 Gjennomgang og evaluering av ulike modeller for beregning av klimagassutslipp

3.1 Ulike typer modeller

Utslipp av klimagasser kan gjøres med ulike metoder og modeller. De enkleste metodene bruker en kombinasjon av faste utslippsfaktorer som multipliseres med aktivitetsdata som for eksempel arealomfang eller antall dyr. Mer kompliserte modeller tar hensyn til lokale jordartsforhold, klimadata og driftsforhold. Hva som er den beste utformingen av en modell, vil også avhenge av hva den skal brukes til. Det er forskjell på metoder og modeller som brukes i det nasjonale utslippsregnskapet og modeller som brukes til rådgivning på den enkelte gård for å sammenligne effekter av tiltak. Dette kapitlet illustrerer ulike modeller.

3.1.1 Statistisk modell

Statistisk modell

- Kvantifisering av utslipp av klimagasser på gardsnivå
- Bygger på klimapanelet (IPCC) og nasjonale rapporteringskrav
- Relevante data må være tilgjengelig på gardsnivå, helst fra offentlige databaser
- Modellen fanger dårlig opp effekter av agronomiske tiltak i drifta, men bygger på gjennomsnittsdata
- For bedre kvantifisering av utslipp under norske forhold er mer forskning nødvendig

Figur 3. Illustrasjon av prinsipper for en statistisk modell.

En statistisk modell som brukes som et grunnlag for å beregne hvor store klimagassutslippene er kan beregne utslipp etter følgende prinsipp:

Klimagassutslipp = aktivitetsdata (eks antall dyr eller arealomfang) * utslippsfaktor.

I Norge brukes dette i det nasjonale utslippsregnskapet der arealomfang registrert fra SSB kombineres med IPCC standard utslippsfaktorer. For utslipp av klimagasser fra mineralgjødsel brukes mengde nitrogen fra mineralgjødsel og utslippsfaktor for lystgass på 1 %. Det tas ikke hensyn til variasjoner mellom arealer eller til avlingsnivå, bare til tilført mengde nitrogen.

På grunn av de store variasjonene i jord, klima og agronomisk praksis og stor usikkerhet både i grunnlagsdata og faktiske klimagassutslipp under ulike forhold, vil modellen ikke kunne beregne det reelle utslippet av klimagasser på hver enkelt gard, men den kan gi et estimat på gjennomsnittsutslipp basert på tilgjengelig kunnskap som kan brukes til å bedre det nasjonale regnskapet for klimagassutslipp. Graden av usikkerhet i de ulike beregninger av klimagassutslipp er angitt i de årlige rapporter fra den nasjonale rapportering , eks i Holmengen et al. (2018).

For å få en best mulig statistikk er det viktig at det finnes moduler som beregner utslippene så nøyaktig som mulig. Hvor nøyaktig, kommer an på hva resultatene av beregningene skal brukes til. Dersom de skal brukes som et grunnlag for politiske beslutninger, er det viktig at variasjonen i de faktorene som diskuteres kommer fram. Et eksempel med myrjord kan illustrere dette. Det finnes ulike typer myrjord i Norge, og den kan oppdyrkes og dyrkes på ulik måte. Omgraving av myr vil kunne gi lavere utslipp av drivhusgasser enn andre oppdyrkningsmetoder av myr, og vil kunne redusere utslippene fra tidligere drenert myr (Hansen et.al., 2016). Beregningsgrunnlaget fra FNs klimapanel skiller ikke mellom ulike myrtyper, heller ikke mellom oppdyrkningsmetoden og ikke mellom ulike utslipp fra nylig oppdyrket eller eldre myr.

Det er mulig å få godkjent nasjonale utslippsfaktorer, men det krever god dokumentasjon. Dersom man ikke har slik dokumentasjon brukes den enkleste standard utslippsfaktor- Tier 1 metodikk. Ved bedre dokumentasjon kan man benytte Tier 2 eller Tier 3 metodikk. Ved Tier 1 metodikk bruker en eks den samme utslippsfaktor for alt areal, mens en ved Tier 2 metodikk kan ha ulik faktor for f. eks korn og engareal.

3.1.2 Rådgivingsmodell

Rådgivingsmodell

- Effekt av bondens valg på utslipp av klimagasser
- Retningen og størrelsesorden viktigere enn kvantifisering
- Fokus på hva gardbrukeren kan påvirke
- Relevante data må være tilgjengelig, enten i samtale med gardbruker eller ellers
- Krever god opplæring av landbruksrådgivere i hvordan ulike agronomiske tiltak påvirker utslipp av klimagasser
- Må tilpasses norske forhold
- Dialog i sentrum



Figur 4. Illustrasjon av viktige momenter for en rådgivningsmodell.

En rådgivingsmodell, som i første omgang skal gi råd til bonden om hvordan utslipp av drivhusgasser kan reduseres, trenger ikke ha eksakte estimat på utslipp av drivhusgasser, men det er viktig at den kan illustrere betydningen av ulike agronomiske tiltak i gardsdrifta for bonden. Beregning på gårdsnivå gir også mulighet for sammenligning av hvordan utslipp fra den enkelte gård er sammenligning med andre gårdsbruk med samme drift. En utfordring er at effekt av flere ulike tiltakene ikke inngår i dagens modeller. Dette skyldes dels at vi mangler datagrunnlag til å kunne gi gode estimater på effektene, og dels at noen tiltak ikke ligger inne i rammeverket for rapportering til FNs klimapanel. Dersom modellen ikke skal brukes til å gi en total sammenlignbar beregning av drivhusgassutslipp mellom ulike gardar, men bare til rådgiving, kan det lages ulike rådgivingsmoduler basert på forholdene på hver enkelt gard. Dette kan også legges inn som et tillegg til en eksisterende beregningsmodell. Ofte er det bare bonden som har den informasjonen som trengs for å kunne si noe om de agronomiske forholdene på gården. Modellarbeidet som gjøres via «Klimasmart Landbruk» vil bidra til økt datatilgang fra enkeltgårdsbruk. En samtale rundt dette er et godt utgangspunkt for en god dialog om hvordan en kan redusere utslipp av klimagasser på den aktuelle gården. For at en slik modell skal kunne fungere som en rådgivingsmodell, må den knyttes opp mot andre viktige forhold i planteproduksjon som næringsstoffeffektivitet, næringsbalanseregnskap og beregninger som kan estimere sannsynlige økonomiske konsekvenser av ulike agronomiske valg i drifta.

I kapittel 4 er det gitt en oversikt over agronomiske forhold som er aktuelle for rådgivning om klimagasser fra planteproduksjonen.

3.1.3 Modeller for beregning av karbonavtrykk

Det er et ønske fra ulike markedsaktører om å markedsføre sine produkter som produkter med lav miljøbelastning og små klimagassutslipp (CF Carbon footprint). For å kunne gjøre dette må de kunne dokumentere hvilke utslipp og miljøbelastninger de har. Fordi vi ikke vet nok om reelle klimagassutslipp i planteproduksjonen og fordi variasjonen er så stor, vil en slik bruk av dagens modeller på produktnivå kunne gi feil estimat på klimagassutslipp ved produksjon av ulike planteprodukt.

Livsløpsanalyser (LCA) er metoder som nå er blitt mer etablert for å kunne gjøre sammenligning på produktnivå av bl.a miljøpåvirkning av ulike produksjonsformer. Klimagassutslipp er da et av elementene som inngår i analysene. Det er et omfattende arbeid å gjøre LCA analyser, se for eksempel Bakken et al. (2017) Johansen & Hjelkrem (2018), Roer et al. (2012, 2013).

Hva skal til for å lage gode estimat på Karbonavtrykk (CF)

- Kvantifisering av utslipp av klimagasser på gardsnivå og effekter av bondes valg
- Klimapanelet (IPCC) og nasjonale rapporteringskrav bygges ut med forskningsdata på effekter av agronomiske tiltak under norske forhold
- Relevante data må være tilgjengelig på gardsnivå, helst fra offentlige databaser, supplert med data fra gardbruker
- Stort forskningsbehov for ikke å lage «skeive» modeller



Figur 5. Modeller til bruk for markedsføring av karbonavtrykk.

3.2 Norsk modell for klimagassberegning på gårdsnivå

I prosjektet « Klimasmart landbruk » er det bestemt å videreutvikle HolosNor modellen som nasjonal modell for å estimere klimagassutslipp på gardsnivå. Evaluering og forslag til tiltak i planteproduksjonen er derfor konsentrert om denne modellen.

HolosNor er basert på den kanadiske modellen Holos (Little et al., 2008). Holos bygger på klimapanelets beregningsmåter (IPCC, 2006). Fordi det er større områder med ensartet jord og klima i Canada enn i Norge slik at man kan differensiere jord og klima ut fra sted, ble det ved tilpasning til norske forhold lagt ned et stort arbeid i å utvikle en modell som kunne ta inn jord og værdata fra hver gård (Bonesmo et al. 2012, 2013). Dette var nødvendig for å sikre god nok kvalitet på karbonmodellen i HolosNor. Den beregner karbonomsetning ut fra et 100 årsperspektiv ut fra vekst, jord og klima på garden (ICBM, (Andrén et al., 2004). Det er HolosNor det nå arbeides videre med i Dataflyt (<https://www2.landbruketsdataflyt.no/>) og som brukes i «Klimasmart landbruk» (<https://klimasmartlandbruk.no/om-oss/category849.html>). Helge Bonesmo som hadde hovedansvar for tilrettelegging av modellen for norske forhold arbeider nå videre med modellen i Dataflyt i tett samarbeid med Tine.

HolosNor har en grunnversjon som er åpent og alment tilgjengelig for alle i en Excel versjon. Den er oversiktlig og grei å bruke med en del opplæring. Fordi modellen er åpent tilgjengelig er det enkelt å justere og tilpasse modellen til det aktuelle behovet. Det er ingen skjulte beregninger og modellen er rask og enkel å kjøre.

Grunnmodellen har imidlertid noen utfordringer. Det trengs et pedagogisk løft for å gjøre den mer brukervennlig. Det er også en fare at det blir mange versjoner siden den er åpen enkel å gjøre tilpasninger i. Mange agronomiske tiltak som kan gjøres i jord- og plantekultur er ikke med i den

nåværende versjon av modellen. Den har derfor sine begrensninger som rådgivingsmodell. Modellen trenger jord og klimadata som er tungt tilgjengelig der det ikke er gjort jordsmonnskartlagt enda. Det er mulig å manuelt gå inn og velge jorddata fra en meny. Beregningsmodellen som er lagt inn for beregning av N₂O-utslipp fra jord utover beregningsmetodikken til FNs klimapanel, er lite hensiktsmessig. Beregningene modifierer estimatene av lystgassutslipp ut fra gjennomsnittlig vanninnhold i jorda vår, sommer, høst og vinter basert på jordtekstur og værforhold. I våt jord denitrifiseres (reduseres) nitrat umiddelbart. Det er derfor vanninnholdet i jorda rett etter gjødsling med nitratholdig gjødsel som har mest å si for utslipp av lystgass. Kortvarig variasjon med synkende og stigende vannspeil i jorda vil også påvirke lystgassutslippet. Bonden kan ikke påvirke jordtekstur og vær, men kan påvirke dreneringsgrad, jordpakking og kalktilstand, noe som betyr mye mer for utslipp av lystgass.

Gjennom arbeidet som Dataflyt nå gjør i samarbeid med Tine, gjøres det en rekke forbedringer i HolosNor modellen og den vil få et pedagogisk løft. Ett miljø får hovedansvar for oppfølging av modellen og den offisielle versjonen. Det skjer en samordning slik at data fra gardsregnskap, produksjonstilskuddsregisteret, Kukontrollen etc. blir lett tilgjengelig. I tillegg utnyttes beregningene som er gjort av fôrbehov og avlinger og fordelinger mellom ulike fôrkilder gjort i Mjølkonomi. Dette gjør det mye enklere å skaffe nødvendige grunnlagsdata. Modellen er nå ute til prøving hos noen landbruksveiledere i Norsk Landbruksrådgiving.

3.2.1 Noen forslag til ytterligere forbedringer

En gardbruker er opptatt av helhet i gardsdrifta, og det er en fordel å se utslipp av klimagasser i sammenheng med økonomi og agronomiske tiltak i gardsdrifta. Det er et stort og omfattende arbeid å få oversikt over produksjon og næringsstoffstrømmer på en gard. Når dataene først er samlet inn, kan de brukes til flere formål. Ved å bygge inn moduler for økonomi, energibruk og næringsstoffbalanser koblet til gjødslingsplanlegging vil en slik modell kunne brukes til en bredere rådgiving.



Figur 6. Rapporten: Miljø og klimavennlig melkeproduksjon. Inspirasjon fra seks melkeproduksjonsbruk (Hansen et al. 2018).

I et lite prosjekt er det brukt grunnlagsdata fra 6 melkeproduksjonsbruk til å studere næringsstoffbalanser, energibruk, utslipp av drivhusgasser og økonomi på disse gardene (Hansen et al., 2018). <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2506690>. I prosjektet er det sammenlignet resultat fra gardene beregnet med modellene FARMnor (Koesling et al., 2017a, 2017b, Schüler et al., 2018) og Kretsløpstolken (Aarts, 2013; Berntsen, 2017; Viste, 2017) og diskutert effekten av ulike beregningsmåter. Fordi disse gardene ikke var medlemmer av Mjølkonomi og Tine ikke hadde kapasitet til å gjøre de beregningene som trengtes for å kunne kjøre nye HoloNor, fikk vi ikke gjort tilsvarende beregninger med HoloNor.

Kretsløpstolken som er i bruk til rådgiving i NLR Vest, har næringsstoffeffektivitet med hovedvekt på fosfor som en integrert del av modellen.

Forskermodellen FARMnor beregner i tillegg også energibruk. Elementer fra disse modellene kan være aktuelle og eventuelt tas inn i HoloNor ved senere oppgraderinger. En rådgivingspakke koblet til HoloNor hvor det diskuteres sannsynlige effekter av ulike tiltak i planteproduksjonen/gardsdrifta på reelle klimagassutslipp, er nyttig dersom rådgiving for reduserte klimagassutslipp er formålet. Justeringene av FNs klimapanel sine beregninger av lystgassutslipp fra jord i HoloNor har i praksis lite å si, da det er minimale forskjeller på beregnet lystgassutslipp sammenlignet med beregningsmåtene fra FNs Klimapanel (IPCC, 2006). I stedet bør rådgiving om hvordan en kan redusere utslipp av lystgass fra jord knyttes til en diskusjon om ulike agronomiske forhold i gardsdrifta.

4 Agronomiske faktorer aktuelle for en rådgivningsmodell

Ved rådgivning om klimagasser og planteproduksjon på gardsnivå er det ønskelig å ha tilgjengelig oversikt over ulike agronomiske forhold. Agronomiske forhold påvirker både produksjon (avlinger) og klimagassutslipp. Det er ikke alle faktorer som inngår i det offisielle utslippsregnskapet, men for beregninger på gardsnivå er dette viktige tema. I dette kapitlet er det gitt en kort oversikt over agronomiske forhold som det er ønskelig å ha tilgjengelig for rådgivning om klimagasser for planteproduksjonen. Oversikten angir ikke tallfestede eksempler på effekter, men lister opp aktuelle faktorer for rådgivning på gardsnivå.

Gjødslingsnivå / gjødslingsstrategi. I utslippsregnskapet beregnes lystgassutslipp etter mengden nitrogen som er tilført uten at det tas hensyn til avlingsnivå. Redusert gjødsling vil dermed gi mindre utslipp, men kan også gi lavere avlinger. Underoptimal gjødsling med nitrogengjødsel vil føre til at det nitrogenet som tilføres brukes svært effektivt. Dette kan redusere utslipp av lystgass (van Groenigen et al., 2010). Tilførsel av mer nitrogen enn det plantene kan ta opp, kan derimot øke utslippene av lystgass. Presisjonsgjødsling og delt tilførsel av gjødsel er også tiltak som sikrer bedre utnyttning av tilført gjødsel, og dermed reduserer risiko for lystgassutslipp. Det er viktig å tilpasse gjødsling til aktuelt avlingsnivå, lage gode gjødselplaner og følge dem opp. Beregning av næringsbalanser på skiftenivå kan være til god hjelp for slike vurderinger. Korsæth (2008, 2012) har vist at dyrkingssystem med sterk gjødsling kan ha lave tap dersom det tas store avlinger mens lavere tilført nitrogengjødselmengde kan gi høye tap under dårlige agronomiske forhold. Andre forhold som f. eks. jordstruktur kan være avgjørende for avlingsnivå, utnyttelse av næringsstoffer og nitrogentap. Dette er viktig å avklare på gards og skiftenivå.

Kløver i enga / andre belgvekster. Bruk av belgvekster vil kunne redusere behovet for nitrogengjødsling og dermed utslipp av lystgass under produksjonen av nitrogen. Ei eng med blanding av gras og kløver og svak til moderat gjødsling har også vist seg å gi små utslipp av lystgass under engåra (Bagg et al., 2000, Ball et al., 2002, Nadeem et al., 2012, Brozyna et al., 2013b, Krauss et al., 2017), men det kan være en fare med økt utslipp fra kløverblad der det er perioder med frost/tinging i løpet av vinteren (Sturite et al., 2014).

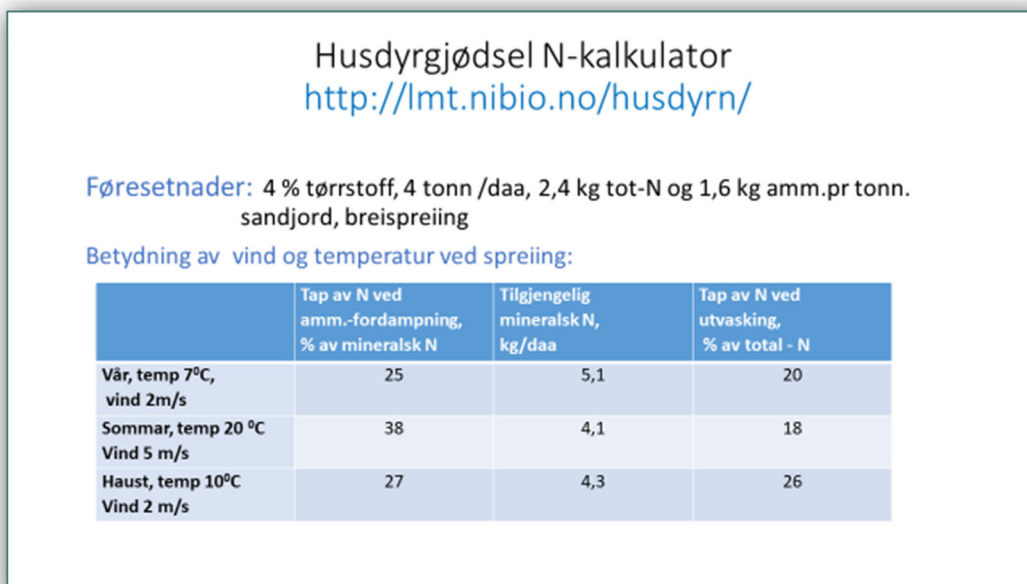
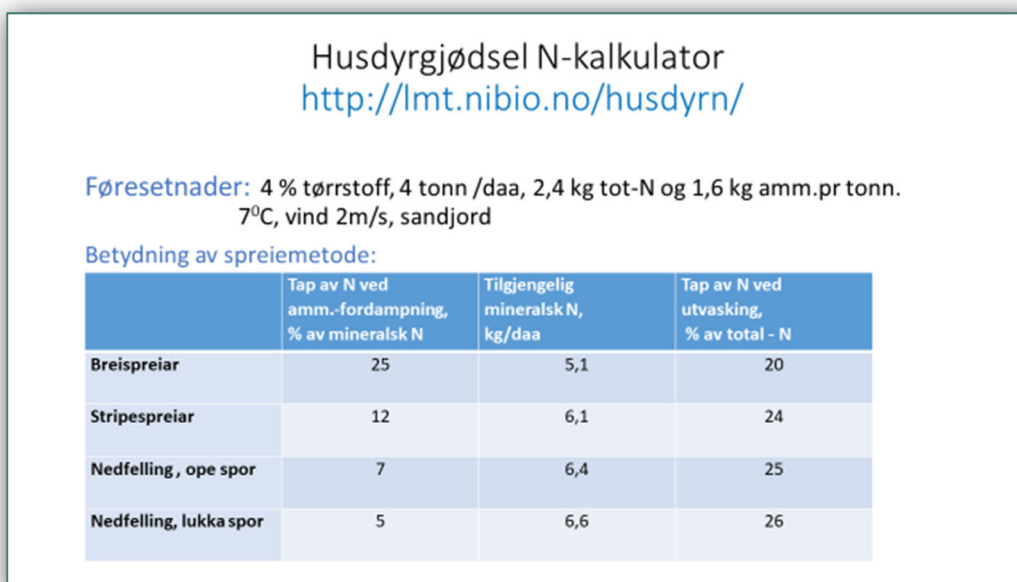
Husdyrgjødselhandtering. Vi kan gjøre tiltak som reduserer utslipp av klimagasser fra husdyrgjødsel både i fjøs, fra gjødsellager, ved beiting, etter spredning, og ved fordeling av gjødsel og den totale gjødslingsplanlegginga. Stikkord for reduserte utslipp av gasser fra husdyrgjødsel er å unngå varme og i tillegg ha så få kontaktflater mellom gjødsel og luft som mulig.

I fjøset betyr det å unngå at husdyrgjødsel blir værende i varme rom, og blir stående i gjødselrenner eller lignende.

For å minske tap fra **husdyrgjødsellager** er det viktig å ha minst mulig gjødsel på lager om sommeren når det er varmt. En skorpe eller annet porøst dekke på toppen av et bløtgjødsellager vil redusere utslipp av metan (CH_4) og ammoniakk (NH_3) fra gjødsellageret. For å unngå og bryte skorpa, kan ny bløtgjødsel tilføres i bunn i stedet for på toppen av gjødselkummen. Metanoksidende bakterier i dekket oksiderer metan til CO_2 . Fordi bidraget til global oppvarming er per kg gass er ca 28 ganger sterkere for CH_4 enn CO_2 , er dette positivt. Det er imidlertid uheldig at skorpe på bløtgjødsellager kan føre til økte utslipp av lystgass (N_2O) da en del NH_3 diffunderer opp og oksyderes til lystgass. Det må undersøkes hvor mye de ulike prosessene betyr i vårt klima og under ulike lagerforhold. Ved å ha tak på gjødsellager vil det bli mindre ammoniakkefordamping, og lagerbehovet blir mindre fordi en unngår at gjødselkummen fylles opp med regnvann.

Ved **beiting** er det viktig å unngå stor dyretetthet, og å ha skiftebeiting slik at en unngår at dyra beiter på jord som er mettet av husdyrgjødsel. Sannsynligheten for utslipp av lystgass og metan er mye større der jorda er mettet av husdyrgjødsel enn der det er næringsfattig jord.

Ved **spredning** er det viktig å ha nok lager og kjørekapasitet til å få spredd gjødsla tidlig i vekstsesongen og under gunstige værforhold, slik at en unngår spredning i sol og vind og/eller vassmetta jord. Det er nylig gjort en oppdatering (2018) av husdyrgjødsel N-kalkulatoren på NIBIO sin hjemmeside (figur 7), <https://lmt.nibio.no/husdyrn/>.



Figur 7 a og b. Eksempel på beregning med N- kalkulator for husdyrgjødsel. Figur a) Betydning av spredemetode for tilgjengelig nitrogen og ulike tap. Figur b) Betydning av vind og temperatur ved spredning. (Kontaktperson i NIBIO: Anbjørg Øverli Kristoffersen).

Kalkulatoren kan være nyttig til blant annet å vurdere effekt av vanninnblanding, spredeteknikker, temperatur og vind på ammoniaktap, nitrogenutvasking og tilgjengelig nitrogen. Den kan også brukes for vurdering av tap fra ulike jordtyper. Figur 7a viser høye utvaskingstap fra sandjord med eks 20 % tap av total N, men tilsvarende tap ved siltig sand ville vært 16 %.

Spredeteknikker som fører gjødsla nærmest mulig planterøttene gir minst ammoniakkutslipp, mens spredere som breisprer gjødsla slik at den blir liggende oppå jord og planter gir størst ammoniakkutslipp. Dersom bløtgjødsel fra ku spres ved 15°C i stille vær og har 6% tørrstoff så estimerer N-kalkulatoren 38% ammoniaktap ved breispredning, 22 % ved stripespredning og 6% ved bruk av DGI (nedfelling, Direct ground Injection). Ved 2°C blir ammoniaktapa estimert til henholdsvis 23, 13 og 5% ved tilsvarende spredeteknikker. Dersom det er vind øker de estimerte tapene.

Ved **dyp nedmolding** av gjødsla i tett jord, kan det føre til økte utslipp av N₂O. I åker er det viktig å ikke tilføre mer husdyrgjødsel på en gang enn at gjødsla raskt kan harves ned. Rask nedmolding er viktig da ammoniakken i husdyrgjødsla bindes når den kommer i kontakt med jord.

Det er gunstig å spre husdyrgjødsel i lett regnvær. Samtidig kan tunge tankvogner på våt jord føre til mye **kjøreskade** og jordpakking og dermed gi både redusert vekst, større fare for overvintringsskader og dannelse av lystgass. Slangespredning reduserer jordpakking, øker spredekapasiteten og utvider tidsrommet hvor det er mulig å spre gjødsla uten å skade jorda.

Spredetidspunkt for mineralgjødsla. En bør vente med å spre mineralgjødsla som inneholder nitrat (NO₃) til 14 dager etter spredning av blautgjødsla eller silosaft. Dersom dette spres samtidig kan det føre til økte utslipp av N₂O. Det skyldes at bakterier som reduserer nitrat til N₂O ved denitrifikasjon trenger letttilgjengelig karbon som energikilde. Det finner de i blautgjødsla og silosaft.

Muligheter til å redusere kjørelengde via samarbeid. Mange garder har mye leiejord som ligger langt unna driftssenteret på garden. Ofte blir det så langt å kjøre med husdyrgjødsel at det meste av gjødsla blir brukt på arealene nær garden. Et gardbrukersamarbeid hvor en gjødsler hverandres jorder vil kunne redusere kjøring og gi bedre utnytting av gjødsla. Dermed vil både klimagassutslipp fra transport av gjødsla og fra selve gjødsla reduseres (Bergslid og Ebbesvik, 2017).

Jordstruktur. Dårlig jordstruktur fører til tett jord, nedsatt omsetning av plantenæring og dårligere vekst (figur 8). I slik jord er det ofte mangel på luft, og det er reduserende forhold som fører til økt dannelse av lystgass. Faren for dette øker i våt jord. Pakket jord har dårligere infiltrasjon enn ei jord med god struktur, noe som øker tap av NH₃ etter spredning av husdyrgjødsel. I pakket jord vil det være dårligere forhold for de metanoksiderende bakteriene, og jordas evne til å ta opp metan vil dermed reduseres (Hansen et al., 1993).

Konsekvenser av dårlig jordstruktur

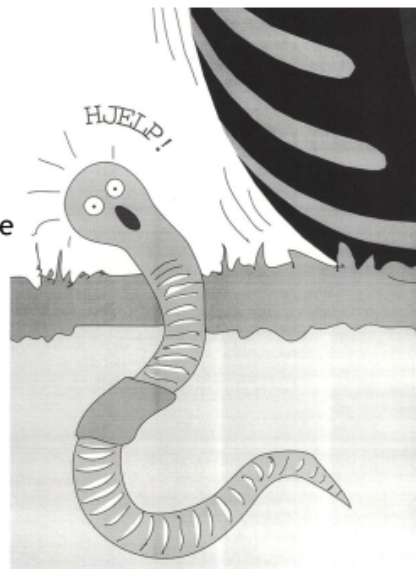
Nedsatt:

- Rotutvikling
- Næringsopptak
- Dyreliv
- Omsetning av organisk materiale
- CH₄-opptak

Dårlig avling

Økt tap av:

N₂O, NO, NO₃, NH₃



Figur 8. Illustrasjon av konsekvenser av dårlig jordstruktur.

Drenering. I dårlig drenert jord hvor vannspeilet i perioder er nær jordoverflata, er det stor fare for høye utslipp av lystgass i gjødslet jord. Spesielt gjelder dette ved våt jord rett etter gjødsling med nitratholdig gjødsel. I dårlig drenert jord, rik på organisk materiale kan det dannes svært mye metan.

Surhetsgrad i jorda. I sur jord hemmes en del av prosessene i jorda, blant annet omdanningen av nitrogen. Både nitrifikasjon (NH₃->NO₃) og denitrifikasjon (NO₃ -> N₂O -> N₂) hemmes slik at en høyere del av det plantetilgjengelige nitrogenet omdannes til lystgass.

Dyretetthet/beitepraksis. Stor tetthet av dyr på beite over lengre tid vil føre til høy konsentrasjon av karbon og nitrogen i jorda, samtidig som jorda er utsatt for mye tråkk hvis det er store dyr som beiter. Her vil sannsynligheten for produksjon av lystgass være mye større enn ved beiting med lavere dyretetthet. Utslippene av lystgass vil derfor sannsynligvis være minst ved utmarksbeite. Forskning indikerer at beitende dyr i utmark kan føre til mer grasvegetasjon, og dermed mer karbonlagring enn ved buskvegetasjon (Sørensen et al., 2017). Det trengs flere undersøkelser for å få økt kunnskap om hvordan dette blir påvirket av ulike lokale forhold.

Førberging og handtering av planterester. Et viktig kriterium for en effektiv utnyttning av tilførte ressurser, er at det som produseres høstes og blir utnyttet av mennesker eller dyr. Tap under høsting, lagring eller på førbrett vil øke utslippet av drivhusgasser per produsert enhet. Av og til pløyes hele avlinger ned. Det kan være på grunn av planteskade, vanskelige innhøstingsforhold eller mangel på avsetningsmuligheter. Dette kan føre til store punktutslipp av lystgass.

Vekstskifte. Åpen åker fører til at det organiske materialet i jorda brytes ned. Dyrking av eng fører som regel til en innlagring av karbon. Dersom temperaturen stiger, vil ikke eng føre til en netto innlagring av karbon, men enda vil minke nedbrytingen av det organiske materialet som er i jorda. Ved å velge et vekstskifte slik at overskudd av nitrogen fra en vekst kan tas opp av den påfølgende veksten,

vil utnyttningen av nitrogen bedres, og utslippet av lystgass reduseres. Et eksempel på dette er å så raigras som fangvekst etter en intensiv grønnsaksproduksjon.

Myr dyrking. Omgraving av dårlig drenert dyrket myr, vil sterkt redusere utslippene av metan fra myra, og også redusere utslippene av lystgass etter gjødsling (Hansen et al., 2016). Det antas også at nedbrytingen av det organiske materialet i myra reduseres sterkt, og dermed utslippene av karbon i forbindelse med myr dyrking. Dette undersøkes nå i Fræna i Møre og Romsdal (Dörsch et al., 2017).

Brakking med glyfosat. Mange steder i landet er det vanlig å fornye eng ved sprøyting med glyfosat, og tilføre store mengder husdyrgjødsel før enga pløyes, ofte på høsten. Det blir dermed mye karbon og nitrogen tilgjengelig fra dødt plantemateriale og husdyrgjødsel. Dette kan føre til at det tilgjengelige nitrogenet enten slippes ut som lystgass eller vaskes ut, da det ikke er noen levende planter som kan ta opp næringsoverskuddet. Samtidig er det sannsynlig at karbonet frigjøres som CO₂.

Samlet effekt av agronomiske tiltak. En del av effekten av bedre agronomiske tiltak vil kunne fanges opp i en beregningsmodell basert på klimapanelets rammeverk. Dette forutsetter at ressursene blir mer effektivt utnyttet, og at det brukes mindre gjødsel og energi per produsert enhet. Enkelteffekter som jordpakking og drenering er ikke inkludert i klimapanelets rammeverk og vil ikke påvirke estimerte utslipp dersom det ikke fører til endringer av gjødselbruk eller energi.

5 Behov for ytterligere forskning og utvikling

5.1 Rådgivingsmoduler

Det trengs en pedagogisk utvikling av rådgivingsmoduler hvor sammenhengen mellom agronomi, produksjon, klimagassutslipp, næringsstoffutnytting, andre miljøeffekter og økonomi visualiseres. På en gård henger alt sammen, og det er mye lettere å se og forstå komplekse sammenhenger når det visualiseres (Burbi et al. 2016). Det blir dermed lettere å ta gode agronomiske valg. Det er også behov for at effekt av bedret gjødselhandtering, drenering, redusert jordpåkking eller andre agronomiske forbedringer i gårdsdrifta som fører til reduserte utslipp av drivhusgasser kommer tydeligere fram i de estimerte utslippene av drivhusgasser i en rådgivningsmodell enn det som til nå ligger inne i HolosNor-modellen. Det er ønskelig at modellen automatisk kan beregne effekter av ulike agronomiske tiltak – eks bruk av ulike spredemetoder. Tiltak blir bare fanget opp dersom de fører til redusert bruk av mineralgjødsel N. Så vidt vi kjenner til er det heller ingen annen anvendt gårdsmodell som gjør dette foreløpig.

Det er ønskelig at en rådgivningsmodell har moduler for beregning av økonomi, næringsstoffbalanser og næringsstoffeffektivitet, energibruk, biologisk mangfold eller kan brukes i sammenheng med andre program som har dette, gjerne gjødselplanleggingsprogram. Næringsstoffbalanseberegninger kan nå hentes fra Kretsløp stolken, men det kan være noen utfordringer her fordi datagrunnlaget er tilpasset Nederlandske forhold. Næringsstoffbalanseberegninger kan også hentes fra Bart van Gool sitt rådgivningsprogram iPluss NPK 1991-1996. Næringsstoffbalanse- og energiberegninger kan også hentes fra arbeidet gjort i Miljømelk/Klimaprojekt (FARMnor) med noen forenklinger. For slike bidrag vil det være behov for avklaring med hensyn til rettigheter, og en tilpassing til data samlet inn for HolosNor sine beregninger.

5.2 Behov for bedret kunnskapsgrunnlag for beregning av utslipp av drivhusgasser fra planteproduksjon

I tillegg til de som er nevnt under pkt 2.1.2.1 og gjort rede for ovenfor, har vi ikke nok kunnskap om hvordan agronomiske valg påvirker utslipp av drivhusgasser under norske forhold, til å nøyaktig kunne estimere hvor mye ulike agronomiske tiltak i gårdsdrifta påvirker utslippene av klimagasser. For å kunne lage en god rådgivingsmodul, trengs det derfor sammenstilling av eksisterende kunnskap om effekt av ulike agronomiske forhold på utslipp av klimagasser relevante for norske forhold. I tillegg trengs det ytterligere forskning og registrering under norske forhold da jord, klima og agronomisk praksis er annerledes i Norge enn der mye av grunnlagsforskningen for bestemmelse av emisjonsfaktorer er gjort. På grunn av stor variasjon i klimagassutslipp fra jord, og manglende datagrunnlag, vil det fortsatt ikke være mulig å beregne utslippene nøyaktig. Ikke minst gjelder dette samspillseffekter. Det kan imidlertid være en hjelp til å få utslippsestimatene i riktig størrelsesorden som et bidrag til en rådgivingsmodul som kan brukes til å prioritere mellom ulike tiltak.

Et eksempel på samspillseffekter er lystgassutslipp fra jord. Det er mange mekanismer i jorda som bidrar til dannelsen av lystgass, men for at det skal dannes lystgass må det være reaktivt nitrogen til stede. Jo høyere innhold det er av mineralnitrogen i jorda, jo større er sjansen for at det dannes lystgass. Er det en god plantevekst, vil plantene raskt kunne ta opp nitrogenet etter gjødsling, og en kan gjødsle ganske mye uten at det blir noe særlig lystgass. Dersom jorda er tett og våt, vil NO_3 raskt denitrifiseres og omdannes til N_2O og N_2 . Er jorda sur i tillegg, hemmes reduksjon av N_2O til N_2 , og utslippene av N_2O kan stige betraktelig. Enda høyere utslipp av lystgass kan vi få dersom det er rikelig med lett tilgjengelig karbon til stede. Det er fordi karbon er energi for denitrifiserende mikroorganismer. En slik karbonkilde kan for eksempel være planterester, husdyrgjødsel og jord med høyt innhold

av organisk materiale. Lett nedbrytbare planterester som brassica-arter, vil kunne gi anaerobe forhold i jorda selv uten at jorda er våt. Det skyldes økt mikrobiell aktivitet som forbruker tilgjengelig oksygen. Dette er komplekse samspill, som det trengs forskning på for å kunne gi gode estimat på hvor mye lystgass som faktisk slippes ut. I en rådgivningssituasjon vil en kunne omtale de ulike faktorer som virker inn og bruke dette som bakgrunn for å diskutere driftsopplegg som vil redusere risiko for utslipp, selv om detaljberegninger ikke kan gjøres.

5.2.1 Beregningsmodell for lystgassutslipp fra ulike typer beite

Arbeidet som De Klein et al. (2003) har gjort i New Zealand har vist at utslippene av lystgass fra ekstensiv beitebruk er lavere enn 2% som er foreslått for storfe av FNs Klimapanel. De fant at utslippsfaktoren for N₂O-N varierte fra 0,3 til 3,7 % av N tilført med urin avhengig av fuktighetsforholdene, med høyest utslipp der det var vått. Basert på disse undersøkelsene ble utslippsfaktorer for beitende dyr i New Zealand satt til 1% av tilført nitrogen fra urin og 0.25% fra fast gjødsel (Saggar et al., 2015). Faktorene er justert ytterligere ned etter undersøkelser som viste at utslippene var lavere i hellende enn i flatt terreng, og i dag blir utslippsfaktoren differensiert etter dyreslag og helling på terrenget (Saggar et al., 2015). I Norge finnes det garder med luftegarder med stor dyretetthet, beiting på innmark, innmarksbeite og/eller utmark. Kvaliteten på disse beitene varierer, og utslippene av lystgass vil variere med dyretetthet og jordforhold. Høyst sannsynlig vil utslippene være mye større ved intensiv enn ved ekstensiv beiting, og større ved beiting på myrjord enn på tørr mineraljord, men vi mangler data fra norske feltforsøk som underbygger dette. For å kunne lage en god beregningsmodell, trengs det derfor bedre grunnlagsdata.

5.2.2 Utslipp fra ulike typer myr i Norge

Målinger fra et prosjekt på drenert næringsfattig myrjord i Fræna, Møre og Romsdal, viser at det ikke er noe utslipp av lystgass fra selve myra. Utslippene av lystgass er gjødselindusert (Hansen et al., 2016, Hansen et al. in prep). Dette avviker fra estimatene brukt i Nasjonale rapporteringer (se kap 2.3). I Fræna ble det observert svært høye utslipp av metan fra drenert, dyrket og gjødslet myr, i størrelsesorden 160 til 1500 kg CH₄-C i løpet av vekstsesongen. Disse utslippene var større enn i udyrket myr, og høyere enn estimert i de nasjonale beregningene (kap 2.3). Hvor mye karbon som frigjøres fra myra er usikkert, da de beregningene som er gjort foreløpig fra norsk myrjord så langt er usikre (Peter Dörsch, pers.med). Som nevnt i kap 4 er omgraving en metode for å redusere utslipp av drivhusgasser ved myr dyrking. Det ser ut til at utslippene av CH₄ reduseres sterkt og at mineraljordsdekket effektivt reduserer oksygenkonsentrasjonen i torva slik at det organiske materialet beskyttes mot nedbryting. Vi vet imidlertid lite om utslipp fra ulike typer myrjord i Norge, og om langtidseffekter av omgraving, til at vi kan estimere hvor mye drivhusgasser som slippes ut fra ulike typer dyrket myr i Norge. Før effekt av myrjord tas inn som estimerte faktorer i gardsmodeller, trengs det derfor mer forskning. Den kunnskapen vi har kan imidlertid brukes til rådgiving på gardsnivå ut fra hvordan myra er på den konkrete garden.

5.2.3 Drenering

I våt og pakket jord øker utslippene av både CH₄ og N₂O fra jorda, men blir jorda svært våt avtar utslippene av N₂O. Det skyldes at N₂O reduseres til N₂, men bare hvis jorda ikke er sur. Det blir uansett en svært dårlig utnyttning av tilført nitrogen og dårlig plantevekst. Det er kostbart å grøfte og grøfting gir ikke alltid forventet effekt på vanninnholdet i jorda. I ei siltig jord ble det funnet overraskende liten effekt av grøfting på utslipp av N₂O (referert i Bardalen et al., 2018). Det trengs mer forskning på hvordan man effektivt kan regulere vanninnholdet i jorda og på betydning av drenering for utslipp av N₂O under ulike forhold. Dette er nødvendig for å kunne gi bedre estimat på betydningen av bedret dreneringstilstand for utslipp av drivhusgasser i jordbruket, og for å kunne gi bedre råd om tiltak bonden kan gjøre.

5.2.4 Metanutslipp/opptak fra jord

Hverken metanutslipp fra jord eller metanopptak i jord er tatt med i dagens gardsmodeller fordi vi har for lite bakgrunnsdata og kunnskap om utslippsfaktorer til å kunne gjøre pålitelige estimat. I vanlig jordbruksjord vil utslipp av lystgass bety mye mer for det totale utslippet av drivhusgasser enn oksidering av metan (Hansen et al., 1993), men undersøkelsene på omgravd myr i Fræna (Hansen et al., 2016, Hansen et al. in prep) og erfaring fra søppelfyllinger (Bergersen, 2015) tyder på at de metanotrofe bakterienes kapasitet til å oksidere CH_4 til CO_2 øker sterkt når konsentrasjonen av metan øker. I jordlufta, nær den nedgravne torva i Fræna, var det store mengder CH_4 (opp mot 50%), men konsentrasjonen ble sterkt redusert oppover i jordprofilen og ved overflaten var den nær atmosfærisk nivå. Det trengs derfor mer forskning for å undersøke metanotrofe bakterienes evne til å oksidere metan ved stigende metankonsentrasjoner i lufta. Dette kan også utnyttes til å rense luft fra husdyrrom, husdyrgjødsellager og ved kompostering. Samtidig vet vi at jordpakking og gjødsling med ammonium-N hemmer aktiviteten til metanotrofe bakteriene.

I våt jord rik på organisk materiale vil metanogene mikroorganismer (Archaea) produsere metan. Disse utslippene kan bli store og utgjøre en betydelig del av drivhusgassutslippet også fra jord som ikke er myr. I en orienterende undersøkelse i eng i Tingvoll fant vi i løpet av en kort måleperiode (6/5 til 17/6) opp til 670 kg CO_2 -eq ha^{-1} som CH_4 og 2160 kg CO_2 -eq som N_2O (Hansen, upublisert). Det er imidlertid ikke gjort nok undersøkelser til å kunne kvantifisere betydningen av dette under varierende forhold.

Det er derfor et stykke fram før vi har nok datagrunnlag til å estimere betydningen av metanopptak og metanutslipp fra landbruksjord i gardsmodeller, men også her har vi nok kunnskap til å kunne rådgi om hvordan øke metanopptaket i jord og redusere metanutslippet.

5.2.5 Surgjøring av husdyrgjødsel, tilsetting av svovel til gjødsellager rett før spredning

Dette ble i utgangspunktet gjort for å redusere pH i husdyrgjødsel og dermed ammoniakkfordamping ved spredning av gylle. Nå tilsettes også svovelsyre eller svovel til husdyrgjødsellager. Dette for å redusere ammoniakkfordamping fra lager og produksjon og utslipp av metan. Det forskes videre på dette i Danmark da det fortsatt er stor usikkerhet om den praktiske løsningen, herunder behovet for oppblanding og forsuring i lagringsperioden (Petersen, 2018). Mekanismene bak og de totale effektene av forsuring/svoveltilsetting er ikke avklart. Det er også relevant å undersøke om andre syrer kan gi noe av de samme effektene.

Metanutslipp fra husdyrgjødsellager er svært påvirket av temperaturen i gjødsellageret, og hvor lettløselige karbohydrater det finnes i gjødsel. Dette avhenger av fôringen og vil vanligvis øke med økende innhold av kraftfôr i dietten. Mye av beregningene av metan fra husdyrgjødsellager er gjort i land hvor det er varmere enn hos oss, og hvor fôringen er annerledes. Det trengs mer målinger under norske forhold for bedre å kunne estimere metanutslipp fra norske gardsbruk.

5.2.6 Karbonlagring under norske forhold – effekt av eng/beite og karbontap ved åkerdrift

Muligheter for økt karbonbinding i norsk jord er utredet i en rapport (Rasse et al., 2019) og det henvises til denne. Generelt er det behov for bedre dokumentasjon av hvordan klima, jordtyper og driftsformer påvirker karbonbinding. Her listes aktuelle tema med behov for mer dokumentasjon for å kunne tas inn i rådgivning og modellarbeid:

- Bruk av organiske ressurser som husdyrgjødsel, kompost, slam mm.

- Endret jordarbeiding
- Drift av utmarksbeite med vurderinger/dokumentasjon av endret beitetrykk mot effekten av gjengroing.
- Forbedret drift av eng inkludert fornyingsmetoder og omløpstid
- Bruk av dekkvekster/fangvekster med vekt på hvilke sorter og arter som er best egnet for norske forhold
- Betydning av sopp og meitemark
- Bruk av planter med større og dypere rotsystem, som eks luserne, rybs, strandsvingel og bladfaks.
- Biokull

Myrjord er ikke inkludert i dette avsnittet.

5.2.7 Planterester

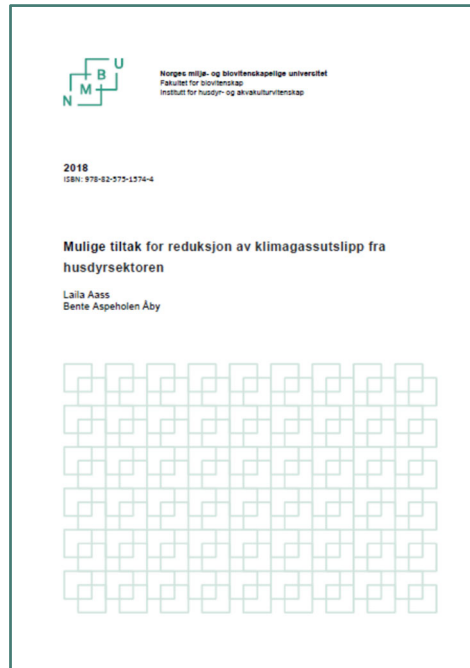
Det er stor usikkerhet om hvor mye lystgass som slippes ut fra planterester under ulike forhold. Størst sannsynlighet for utslipp er det når det tilføres mye lettløselig karbon i for eksempel sukker, stivelse, cellulose og lettløselig nitrogen på en gang. Et Era-net prosjekt (ResidueGas, 2018-2020, <http://eragas.eu/research-projects/residuegas>) undersøker hva som påvirker N₂O-utslipp fra planterester, og har som mål å foreslå forbedrede retningslinjer for bedømming av lystgassutslipp fra planterester ved nasjonal rapportering. Prosjektet ResidueGas inkluderer ikke tilpassing til utslippsberegninger i gardsmodeller. Dette må gjøres før dette kan implementeres på en god måte i gardsmodeller.

5.2.8 Kompostering

Kompostering er en måte å bearbeide fast husdyrgjødsel og ulike typer organisk avfall for å bedre egenskapene som jordforbedringsmiddel. Gjennom komposteringsprosessen kan det i verste fall slippes ut store mengder drivhusgasser. En styrt kompostering med oppsamling av lufta fra komposten og rensing av drivhusgasser, er en måte å redusere utslipp av drivhusgasser på. Det trengs forskning og utvikling for å finne praktiske, gode løsninger for dette. En kan samtidig få bedre data på utslipp fra kompostering.

5.3 Nylige utredninger

Etter at dette utredningsprosjektet ble avsluttet er det utgitt flere utredninger som det her gis lenker til. De kan være nyttige for rådgivning på gårdsnivå og for arbeidet med modellutvikling.



Figur 9. Nye utredningsrapporter fra NIBIO og NMBU om utslippsreduksjoner

Nibio rapporten «Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk. Kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter» kan lastes ned fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2577266>

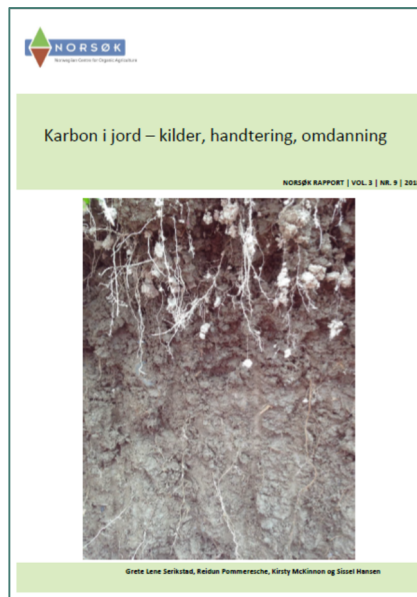
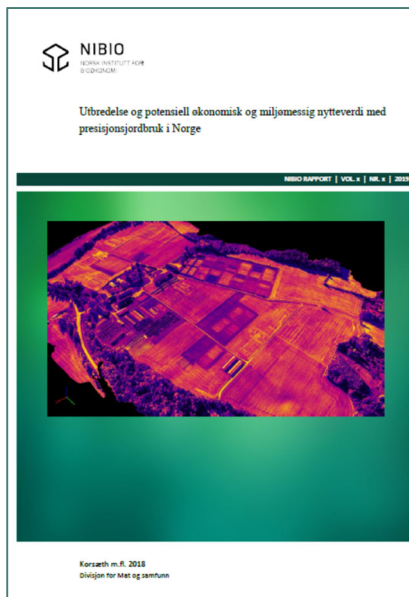
NMBU rapporten « Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren» kan lastes ned fra: <https://www.nmbu.no/download/file/fid/35442>



Figur 10. Utredningsrapporter om fangvekster og muligheter for karbonbinding i jord.

Nibio rapporten «Fangvekstenes økosystemtjenester» kan lastes ned fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2582027>

Nibio rapporten « Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord» kan lastes ned fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2591077>



Figur 11. Utredningsrapporter om presisjonsjordbruk og karbon i jord.

NORSØK rapporten « Karbon i jord- kilder, handtering, omdanning» kan lastes ned fra:

<http://orgprints.org/34314/1/NORS%C3%98K%20Rapport%20nr%209%20Jordkarbon.pdf>

Nibio rapporten « utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge» kan lastes ned fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2591261>

6 Oppsummering

Denne rapporten gir oversikt over hvilke faktorer som påvirker klimagassutslipp fra planteproduksjon og hvilke data som er nødvendige å ha oversikt over for kunne gjøre beregninger av utslipp og tiltak. Dette kan være bidrag til utviklingen av rådgivningsmodell- klimagasskalkulator - på gårdsnivå under utarbeidelse i «Klimasmart landbruk». Klimagasskalkulatoren skal dekke både husdyr og planteproduksjon og gi helhetlig beregning på gårdsnivå. Denne rapporten omhandler spesifikt oversikt over planteproduksjonen og klimagasser, men den gir ikke vurderinger og anbefalinger av utslippsfaktorer.

Rapporten gir en skjematisk oversikt over ulike typer modeller fra statistiske modeller som brukes ved nasjonal rapportering til rådgivningsmodeller brukt på gårdsnivå og illustrerer ulikt databehov.

De fleste modeller tar utgangspunkt i FN's klimapanelers beregningsmoduler (IPCC, 2006) og de standard utslippsfaktorer som der er inkludert. Nasjonale utslippsfaktorer kan brukes for ulike tema, men det krever god dokumentasjon og datagrunnlag for å få slike godkjent. Fordi slik dokumentasjon ofte mangler blir standardfaktorer brukt. Rapporten angir hvilken metodikk og metoder som brukes for Norge.

For utslippsberegninger er det behov for aktivitetsdata og emisjonsfaktorer (utslippsfaktorer). Det er usikkerhet i utslippsberegningene fordi det er stor usikkerhet både i aktivitetsdata og emisjonsfaktorer. Det er ofte større variasjon i utslippsfaktorer fra planteproduksjon enn fra husdyrproduksjon. Dette skyldes stor variasjon i jordsmonn, klima og agronomisk praksis.

Lystgass (N₂O) er den viktigste klimagassen fra planteproduksjon. For å kunne estimere utslipp av N₂O fra planteproduksjon trengs aktivitetsdata på hvor mye N som tilføres jorda via kunstgjødsel, husdyrgjødsel, annen organisk gjødsel og planterester. Lystgassutslipp fra planterester beregnes ut fra avlingsnivå og type vekst.

En rådgivningsmodell har noen andre krav enn en statistikkmodell og en modell for å beregne karbonavtrykk. For at den skal brukes til å gi råd om hvilke tiltak på gårdsbruk som er mest effektive for å redusere utslipp av klimagasser, er det viktig at effekt av agronomiske forbedringer i gårdsdrifta gjenspeiles i estimatene over klimagassutslipp som modellen lager. Rapporten gir noen eksempler på agronomiske tiltak, som eks husdyrgjødselspredning. Det er ikke alle agronomiske tiltak en kan gjøre på gårdsnivå som kommer med i nasjonal utslippsrapportering. F.eks vil forbedringer i drenering kunne gi økt avling, bedre utnyttelse av næringsstoffer og redusert risiko for tap. For at en slik forbedring skal synes i det nasjonale utslippsregnskapet må det føre til redusert gjødselbruk av nitrogen. I en modell (klimagasskalkulator) på gårdsnivå vil en kunne inkludere ulik agronomisk praksis, driftsmåter, selv om de ikke inngår i dagens nasjonale utslippsregnskap.

I en rådgivningsmodell på gårdsnivå er det også ønskelig å se muligheter for å redusere klimagassutslipp i sammenheng med økonomi, næringsstoffeffektivitet, energibruk og biologisk mangfold.

Det trengs forskning på ulike agronomiske tiltak i gårdsdrifta for å få bedre data på hvor mye klimagasser som slippes ut / tas opp og hvordan man kan redusere utslippene, øke karbonlagring og metanoksidasjon i jord. Det er behov for slik dokumentasjon for ulike regioner, produksjoner, klima og jordartsforhold. Rapporten angir noen slike forskningbehov.

Referanser

- Aarts, F. og de Haan, M. 2013. Project «Annual Nutrient Cycling Assessment (ANCA)»
<https://www.wur.nl/de/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-343430363135>
- Andrén, O., Kätterer, T., & Karlsson, T. (2004). ICBM regional model for estimations of dynamics of agricultural soil carbon pools. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 70(2), 231–239.
<https://doi.org/10.1023/B:FRES.0000048471.59164.ff>
- Baggs, E. M., Rees, R. M., Smith, K. A., & Vinten, A. J. A. (2000). Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. *Soil Use and Management*, 16, 82–87.
- Ball, B. C., McTaggart, I. P., & Watson, C. A. (2002). Influence of organic ley-arable management and afforestation in sandy loam to clay loam soils on fluxes of N₂O and CH₄ in Scotland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(3), 305–317.
- Bakken, A.K., Daugstad, K., Johansen, A., Hjelkrem, A.G.R., Fystro, G., Strømman, A.H. & Korsæth, A. 2017. Environmental impacts along intensity gradients in Norwegian dairy production as evaluated by life cycle assessments. *Agricultural Systems* 158 (2017): 50- 60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.09.001>
- Bakken, A.K., Langerud, A., Johansen, A. 2014. Fastsetting av normalavlinger i eng. *Bioforsk Rapport 9 (2)* 23 pp.
- Bardalen, A., Rivedal, S., Aune, A., O’Toole, A., Walland, F., Silvennoinen, H., Sturite, I., Bøe, F., Rasse, D., Pettersen, I., & Øygarden, L. 2018. Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk. Kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter. NIBIO rapport Vol 4 (149). 84 s. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2577266>
- Bechmann, M., Greipsland, L., Riley, H. & Eggestad, H.O. (2012) Nitrogen losses from agricultural areas A fraction of applied fertilizer and manure (FracLEACH). *Bioforsk report 7 (50)* 30 s.
- Bergersen, O. (2015) Målinger av gassfluks og vurdering av toppdekket i kantsone på avsluttet avfallsdeponi – Spillhaug 2015. NIBIO rapport Vol 1 (29) 14 s.
- Bergslid, R. & Ebbesvik, M. 2017. Samarbeid om spredning av husdyrgjødsel – til beste for bonde, klima og økonomi. *NORSØK FAGINFO 4/2017*, 6 s.
- Berntsen, M. 2017. Styringsverktøy med klimagevinst. <https://www.nlr.no/nyhetsarkiv/2017/kretslopstolken/>
- Bonesmo, H., Skjelvåg, A. O., Henry Janzen, H., Klakegg, O., & Tveito, O. E. (2012). Greenhouse gas emission intensities and economic efficiency in crop production: A systems analysis of 95 farms. *Agricultural Systems*, 110, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.04.001>
- Bonesmo, H., Beauchemin, K.A., Harstad, O.M., Skjelv, A.O., 2013. Greenhouse gas emission intensities of grass silage based dairy and beef production : A systems analysis of Norwegian farms. *Livest. Sci.* 152, 239–252. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.016>
- Borgen et al. 2012. CO₂ Emissions from cropland in Norway estimated by IPCC default and Tier2 methods, *Greenhouse Gas Measurements and Management*, DOI: 10.1080/20430779.2012.672306
- Brozyna, M. A., Petersen, S. O., Chirinda, N., & Olesen, J. E. (2013). Effects of grass-clover management and cover crops on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions in a stockless organic crop rotation. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 181, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.013>
- Burbi, S. et al. (2016). Achieving successful farmer engagement on greenhouse gas emission mitigation. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14(4), 466–483.
- Bøe, F., Bechmann, M., Øgaard, A. F., Sturite, I & Brandsæter. 2019. Fangvekstenes økosystemtjenester. NIBIO rapport Vol 5 (9) 2019. 53 s. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2582027>
- Carbon limits 2019. Calculation of atmospheric nitrogen emissions from manure in Norwegian agriculture. Technical description of the revised model. Rapport fra Miljødirektoratet. M- 1255/2018. 32 s. <http://tema.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2019/Januar/Calculation-of-atmospheric-nitrogen-emissions-from-manure-in-Norwegian-agriculture/>

- Chirinda, N., Kracher, D., Lægdsmand, M., Porter, J. R., Olesen, J. E., Petersen, B. M., Petersen, Jordi Doltra, Ralf Kiese & Butterbach-Bahl, K. (2011). Simulating soil N₂O emissions and heterotrophic CO₂ respiration in arable systems using FASSET and MoBiLE-DNDC. *Plant and soil*, 343(1-2), 139-160.
- De Klein, C. A. M., Barton, L., Sherlock, R. R., Li, Z., & Littlejohn, R. P. (2003). Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. *Australian Journal of Soil Research*, 41(3), 381–399. <https://doi.org/10.1071/SR02128>
- Dörsch P, Heggset S, Rivedal S, Deelstra J, Øpstad S, Hansen S. (2017). Inversion of previously tile drained peat soil: I. Effects on greenhouse gas emissions. *Proceedings of the International Conference on Climate Smart Agriculture on Organic Soils* 23.-24.11.2017.
- EEA, 2016. EMEP/EEA air pollution emission inventory Guidebook 2016:3. Manure management. Copenhagen, European Environment Agency. EEA Report No 21/2016.
- Greenhouse gas protocol (2016). Global Warming Potential Values. https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf Lastet ned 27. mars 2019.
- Hansen, S., Mæhlum, J.E., & Bakken, L.R. (1993) N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biol. Biochem.*, 25:621-630.
- Hansen, S., Rivedal, S, Øpstad, S., Heggset, S., Deelstra, J. and Dörsch, P. (2016) GHG emissions and agronomic feasibility for forage production on inverted peat soil. 26th EGF General Meeting on "The Multiple Roles of Grassland in the European Bioeconomy" EGF 2016. 22095_BC027177-489B-452F-ADABE44B43747F9F Hansen et al. 2 sider.
- Hansen, S., Bakke Haavik, T., Bergslid, I.K., Elvatun, H., van Gool, B., Lunnan T., Røthe, G., Walland, F. (2018). Miljø - og klimavennlig melkeproduksjon - Inspirasjon fra seks melkeproduksjonsbruk. NIBIO, NORSØK, NLR. NIBIO rapport, Vol 4, nr 96, 53 sider.
- Holmengen, N. (editor) (2017). Norges utslippsrapportering av klimagasser for perioden 1990-2015 til FN (Greenhouse Gas Emissions 1990-2015, National Inventory Report). Rapport frå Miljødirektoratet, Oslo. M-724, 554 sider.
- Holmengen, N. (editor) (2018). Greenhouse Gas Emissions 1990- 2016, National Inventory Report 2018. Rapport frå Miljødirektoratet, Oslo. M-985. <http://tema.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M985/M985.pdf>
- IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. PCC/OECD/IEA/IGES, Vol 4, Agriculture, Forestry and other land use <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/ppdhtm>
- IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change In: Metz, B, Davidson, OR, Bosch, PR, Dave, R, Meyer, LA (Eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA
- IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetland.
- Janzen, H. H., Angers, D. A., Boehm, M., Bolinder, M., Desjardins, R. L., Dyer, J. A., ... Wang, H. (2006). A proposed approach to estimate and reduce net greenhouse gas emissions from whole farms. *Canadian Journal of Soil Science*, 86(3), 401–418. Retrieved from isi:000240051100005
- Johansen, A. & Hjelkrem, A.G.R. 2018. Livsløpsanalyser av norsk svineproduksjon med og utan bruk av heimeprodusert grassaft som fôr. NIBIO rapport Vol 4. nr 103. 35 sider.
- Korsaeth, A., Lindgaard, H.J., Veidal, A., & Asheim, L.J. 2019. Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi av presisjonsjordbruk i Norge. NIBIO rapport Vol 5 (41) 2019. 54 s. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2591261>

- Korsaeth, A. N, P, and K Budgets and Changes in Selected Topsoil Nutrients over 10 Years in a Long-Term Experiment with Conventional and Organic Crop Rotations. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, 17s.
- Korsaeth, A. Relations between nitrogen leaching and food productivity in organic and conventional cropping systems in a long-term field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2008, 177-188.
- La, H., Hettiaratchi, J. P. A., Achari, G., Krauss, M., Ruser, R., Müller, T., Hansen, S., Mäder, P., & Gattinger, A. (2017). Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.029>
- Little, S., Lindeman, J., Maclean, K., Janzen, H.H., (2008). HOLOS. A tool to estimate and reduce greenhouse gases from farms. Methodology and algorithms for version 1.1. Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge, Canada. 162 pp.
- Nadeem, S., Hansen, S., Azzaroli Bleken, M., & Dörsch, P. (2012). N₂O emission from organic barley cultivation as affected by green manure management. *Biogeosciences*, 9(7). <https://doi.org/10.5194/bg-9-2747-2012>
- Søren O Petersen, 2018, 1.1 Forsuring af gylle (i stald), Indhold og funktion. Uddrag fra virkemiddelkatalog, DCA rapport. In prep.
- Rochette, P., & Janzen, H. H. (2005). Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73(2–3), 171–179.
- Roer, A.-G., Korsaeth, A., Henriksen, T. M., Michelsen, O., & Strømman, A. H. (2012). The influence of system boundaries on life cycle assessment of grain production in central southeast Norway. *Agricultural Systems*, 111, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.05.007>
- Saggar, S., Giltrap, D. L., Davison, R., Gibson, R., de Klein, C. A. M., Rollo, M., Ettema, P. and Rys, G. (2015) 'Estimating direct N₂O emissions from sheep, beef, and deer grazed pastures in New Zealand hill country: accounting for the effect of land slope on the N₂O emission factors from urine and dung'. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 205, pp. 70–78.
- Rasse, D., Økland, I., Barcena, T.G., Riley, H., Martinsen, V., Sturite, I., Joner, E., O'Toole, A., Øpstad, S., Cottis, T. & Budai, A. 2019. Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord. NIBIO rapport Vol 5 (36) 2019. 94 s. : <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2591077>
- Serikstad, G.L., Pommeresche, R., McKinnon, K & Hansen, S. 2018. karbon i jord- kilder, hpdntering og omdanning. NORSØK rapport Vol 3 (9) 2018. <http://orgprints.org/34314/1/NORS%C3%98K%20Rapport%20nr%209%20Jordkarbon.pdf>
- Steinshamn, H., Thuen, E., Bleken, M. A., Brenø, U. T., Ekerholt, G., & Yri, C. (2004). Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Storlien, M.T., Åby, A. B., Harstad, O.M & Aass, L. 2016. Rapport SWOT-analyse av HolosNor. Institutt for husdyr og akvakulturvitenskap, NMBU. 10 s.
- Sturite, I., Rivedal, S. and Dörsch, P. (2014) Nitrous oxide emissions from clover rich leys during the long Northern winter. In: Cordovil C.M.d.S.(Ed.). Proceedings of the 18th Nitrogen Workshop – The nitrogen challenge: building a blueprint for nitrogen use efficiency and food security. 30th June – 3rd July 2014, Lisboa, Portugal, 517-518.
- Sylvester-Bradley, R. et al (2015). Minimising nitrous oxide intensities of arable crop products (MIN-NO), AHDB Cereals & Oilseeds, Project Report No. 548, 228 sider: <https://www.researchgate.net/publication/287801593>
- Sørensen, Mia Vedel, et al. "Draining the Pool? Carbon Storage and Fluxes in Three Alpine Plant Communities." (2018) *Ecosystems*, vol. 21, Springer US, pp. 316–30, doi:10.1007/s10021-017-0158-4.

- Van Groenigen, J. W., Velthof, G. L., Oenema, O., Van Groenigen, K. J., & Van Kessel, C. (2010). Towards an agronomic assessment of N₂O emissions: A case study for arable crops. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 903–913. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01217.x>
- Van der Weerden, T. J., Cox, N., Luo, J., Di, H. J., Podolyan, A., Phillips, R. L., Saggart, S., de Klein, C. A. M., Ettema, P. and Rys, G. (2016). Refining the New Zealand nitrous oxide emission factor for urea fertiliser and farm dairy effluent, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 222, 133–137, doi:10.1016/j.agee.2016.02.007
- Yara 2012, Carbon Footprint, Climate impact and mitigation potential of plant nutrition. http://yara.com/doc/29465_Carbon_footprint_En_0604.pdf
- Viste, J. 2017. Kretsløp stolken. http://www.rogfk.no/st_svithun/Filer-og-bilder/Internett/Bilder_RFK_Internett/Regionalplan/Joern-Viste-bonde-Kretsløp stolken
- Aass, L., & Åby, A.B., 2018. Mulige tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra husdyrsektoren. NMBU, Fakultet for biovitenskap, Institutt for husdyr og akvakulturvitenskap. ISBN: 978- 82- 575- 1574-4. <https://www.nmbu.no/download/file/35442>

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.