

## Bioforsk Rapport

Vol. 9 Nr. 11 2014

# Klimagasser fra jordbruket

## Kunnskapsstatus om utslippskilder og tiltak for å redusere utslippene

Arne Grønlund

Bioforsk Jord og miljø

Odd Magne Harstad

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





Hovedkontor  
Frederik A. Dahls vei 20,  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Fax: 63 00 92 10  
post@bioforsk.no

Bioforsk Jord og miljø  
Frederik A. Dahls vei 20  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Faks: 63 00 94 10  
jord@bioforsk.no

<i>Tittel/Title:</i> Klimagasser fra jordbruket. Kunnskapsstatus om utslipp og tiltak for å redusere utslippene
<i>Forfatter(e)/Autor(s):</i> Arne Grønlund og Odd Magne Harstad

<i>Dato/Date:</i> Dato	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 8456	<i>Arkiv nr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr. Report No.:</i> 11 2014	<i>ISBN-nr.:</i> 978-82-17-01221-4	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 50	<i>Antall vedlegg/Number of appendix:</i>

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Statens landbruksforvaltning	<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Nanna Bergan
--	--

<i>Stikkord/Keywords:</i> Jordbruk, matproduksjon, klimagasser Agriculture, food production, greenhouse gasses	<i>Fagområde/Field of work:</i> Jord og miljø Soil and environment
--	--

*Sammendrag*

Rapporten gir en oversikt over kunnskapsstatus for klimagasser fra jordbruket i Norge, utslippskilder, prosesser og faktorer som påvirker utslippene, metoder for beregning av klimagassutslipp og tiltak for å redusere utslippene, samt synergier og målkonflikter mellom klimatililtak og andre produksjons- og miljømål i landbruket.

I rapporten er det skilt mellom langsiktige tiltak mot klimagassutslipp, kortsiktige tiltak i planteproduksjon og tiltak i husdyrproduksjon. De mest aktuelle tiltakene er estimert til å kunne bidra med en utslippsreduksjon som til sammen tilsvarer 15-20 prosent av dagens utslipp fra jordbruket.

*Summary:*

The report presents a review of the state of the art of greenhouse gasses from the agricultural sector in Norway, including: 1) emission sources, processes and factors that affect the emission, 2) methods for calculation of greenhouse gas emissions, 3) mitigation strategies and option, and 4) synergies and conflicts between mitigation options and other production and environmental goals.

Mitigation options have been grouped into 1) strategic options for long-term mitigation of emissions, 2) short term options in plant production systems and 3) options in livestock production. The suggested options will reduce greenhouse gas emissions from agriculture by an estimated 15-20 percent as compared to current values.

Godkjent / Approved

Prosjektleder / Project leader

Daniel Rasse

Arne Grønlund



## Forord

---

Denne rapporten er en hovedrapport fra arbeidspakke 1 i prosjektet «Kunnskapsstatus og formidling om klimatiltak i landbruket». Prosjektet er finansiert av Statens landbruksforvaltning gjennom Nasjonalt utviklingsprogram for klimatiltak i jordbruket.

Prosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom Bioforsk og Norges Bondelag. Andre samarbeidspartnere er Norges Miljø- og Biovitenskapelig Universitet (NMBU) og Samfunns- og næringsforskning (SNF) i Bergen og Cicero.

Prosjektet omfatter to arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Kunnskapsstatus for klimagassutslipp fra landbruket.

Arbeidspakke 2: Formidlingskampanje om klimagassutslipp fra landbruket.

Bioforsk har ansvaret for arbeidspakke 1 og Norges Bondelag har ansvaret for arbeidspakke 2.

For å styre prosjektet er det etablert ei styringsgruppe med følgende deltaker:

Roald Sørheim, Bioforsk (leder)

Anne Thorine Lundstrøm, Norges Bondelag

Odd Magne Harstad, NMBU

Ås, mars 2014

Arne Grønlund

Prosjektleder

## Innhold

Sammendrag .....	6
1. Innledning.....	9
2. Utslipp av klimagasser fra jordbruket .....	10
2.1 Jordbrukets utslippsregnskap .....	10
2.2 Metan.....	11
2.3 Lystgass .....	12
2.4 Karbondioksid (CO <sub>2</sub> ).....	12
2.5 Klimagassutslipp fra husdyrproduksjon.....	13
3. Prosesser og faktorer som påvirker utslippene .....	14
3.1 Metan (CH <sub>4</sub> ) .....	14
3.1.1 Metan fra fordøyelsen .....	14
3.1.2 Metan fra gjødsellager .....	14
3.2 Lystgass (N <sub>2</sub> O).....	15
3.3 Karbondioksid (CO <sub>2</sub> ).....	17
4. Metoder for beregning av klimagassutslipp.....	20
4.1 Nasjonalt klimagassregnskap.....	20
4.1.1 Metan.....	20
4.1.2 Lystgass .....	21
4.1.3 CO <sub>2</sub> .....	22
4.2 Beregning på gårdsnivå (Holosmodellen) .....	22
5. Tiltak mot klimagassutslipp .....	24
5.1 Generelt .....	24
5.2 Langsiktige tiltak.....	24
5.2.1 Produksjon av matvarer med lave klimagassutslipp .....	24
5.2.2 Valg av driftsform og produksjoner .....	26
5.2.3 Redusert nydyrking av myr .....	28
5.2.4 Restaurering av myr .....	29
5.2.5 Drenering .....	29
5.2.6 Produksjon av biogass fra husdyrgjødsel .....	29
5.3 Kortsiktige tiltak i planteproduksjon .....	31
5.3.1 Balansert N-gjødsling.....	31
5.3.2 Spredemetoder for husdyrgjødsel.....	32
5.3.3 Kalking .....	33
5.3.4 Alternativ bruk av restavlinger .....	33
5.3.5 Dyrking av høstkorn.....	34
5.3.6 Bruk av energi.....	35
5.3.7 Biokull .....	36
5.4 Tiltak i husdyrproduksjon.....	37
5.4.1 Tiltak for å redusere direkte utslipp av klimagasser fra dyr .....	37
5.4.2 Tiltak for å redusere indirekte utslipp fra husdyr .....	39
5.4.3 Produksjon av melk og storfekjøtt .....	41
5.4.4 Produksjon av svinekjøtt.....	44
5.4.5 Kjøttproduksjon på fjørfe .....	44
5.5 Oppsummering av tiltak.....	44
6. Synergier og målkonflikter.....	47
6.1 Synergieffekter .....	47
6.1.1 God agronomi .....	47
6.1.2 Redusert nydyrking av myr .....	47
6.1.3 Biogass av husdyrgjødsel.....	47
6.1.4 Vern av dyrket jord .....	48

6.2	Konflikter mellom klimatiltak og andre målsettinger.....	48
6.2.1	Økt matproduksjon.....	48
6.2.2	Økologisk produksjon.....	48
6.2.3	Andre miljømål.....	49
7.	Referanser.....	50

## Sammendrag

---

### Innledning

Jordbruket bidrar med betydelige klimagassutslipp, hovedsakelig i form av prosessutslipp av metan fra husdyr og husdyrgjødsel, lystgass fra gjødsel og jord og CO<sub>2</sub> fra myr og åkerdyrking. En reduksjon av utslippene er en viktig forutsetning for et bærekraftig jordbruk. Jordbrukets viktigste oppgave er å produsere mat, men all matproduksjon medfører utslipp av klimagasser. Utslippene er betinget av hva som produseres og hvordan produksjonen skjer. Om lag 90 prosent av utslippene av klimagasser fra jordbruket er knyttet til fôr- og husdyrproduksjon. Dyrking av korn og vegetabiliske matvarer gir lavere utslipp enn produksjonen av animalske matvarer basert på gras, men i store deler av jordbruksarealet i Norge er bare egnet til å produsere gras som kan utnyttes av drøvtyggere.

Norske skoger binder mellom 25 og 30 millioner tonn CO<sub>2</sub> per år. Jordbruk og skogbruk kan i noen tilfeller konkurrere om de samme arealene, og målet må være å stimulere fotosyntesen og redusere nedbrytingen av biomasse i landbruket som helhet, og samtidig begrense utslippene av klimagasser fra matproduksjonen.

Flere klimatiltak i jordbruket antas å ha lavere kostnad enn 1000-1500 kr per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalent, som er den beregnede marginalkostanden for å nå Norges mål om å redusere klimagassutslipp med 12-14 mill tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter innen 2020.

### Utslipp av klimagasser fra jordbruket

Klimagasser fra jordbruket omfatter i hovedsak metan fra husdyr og gjødsellager, lystgass fra husdyrgjødsel, mineralgjødsel, biologisk nitrogenfiksering, restavlinger, ammoniakk, avrenning og dyrking av myr, samt CO<sub>2</sub> fra fossilt drivstoff, dyrket myr og åkerjord. De årlige utslippene er totalt estimert til ca 6,35 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og ca 4,7 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter når CO<sub>2</sub>-tap fra jord ikke er medregnet.

Drøvtyggere, det vil si storfe, sau og geit bidrar med ca 90 prosent av utslippene fra husdyrproduksjonen, hvorav mesteparten er metan fra fordøyelsen.

### Prosesser og faktorer som påvirker utslippene

Hovedkildene til metan fra jordbruket er fordøyelsen av fôr og lagring av husdyrgjødsel som bidrar med henholdsvis ca 86 og 14 prosent av metanutslippene fra husdyrproduksjonene. Mesteparten av metan fra fordøyelsen (enterisk metan) stammer fra drøvtyggerne hvor fôret blir utsatt for mikrobiell fermentering, hovedsakelig i vomma. Fermentering er en anaerob prosess hvor en del av karbonet i fôret omdannes til metan. Hvor mye fôr som blir tatt opp og fordøyd i vomma er viktigste faktor, jo høyere fôropptak desto mer metan blir produsert. Gjæringsmønsteret, dvs. forholdet mellom de flyktige syrene som er eddiksyre, propionsyre og smørsyre, er også viktig.

Utslipp av metan fra av gjødsellager øker ved økende vanninnhold, avtakende lufttilgang og økende temperatur. Et gjødsellager har en pH omkring pH 7-8 som er optimalt for metanproduksjon.

Lystgass kan produseres ved denitrifikasjon og ved nitrifikasjon. Produksjon av lystgass er avhengig av tilgang på nitrogen, mengdeforholdet mellom vann og luft, temperatur og pH. Betingelsene for produksjon av lystgass er best i jord med midlere vanninnhold (ca 60 prosent vannfylte porer), dårlig jordstruktur og lav pH (Ca 5) og i organisk jord. Denitrifikasjonen øker ved økende temperatur, men ved lav temperatur hemmes omdanningen av NO til N<sub>2</sub>, slik at produksjonen av N<sub>2</sub>O øker.

Ved forbrenning av fossilt brensel og drivstoff omdannes nærmere 100 prosent av karbonet til CO<sub>2</sub>. Tap av CO<sub>2</sub> fra jord skyldes biologisk nedbryting av organisk materiale og kan føre til både redusert jordkvalitet og økte utslipp av klimagasser. På mineraljord er faren for CO<sub>2</sub>-tap størst ved åkerdyrking, som følge av lengre perioder uten plantevekst og mindre tilførsel av organisk materiale, samt jordarbeiding som fører til raskere nedbryting av organisk materiale. Mesteparten av CO<sub>2</sub>-utslippet fra



jordbruket skjer fra dyrket myr, som følge av drenering, økt lufttilgang og rask nedbryting av organisk materiale som er bygd opp i løpet av lang tid.

### Metoder for beregning av klimagassutslipp

Utslipp av klimagasser i Norge blir beregnet med metoder med ulike detaljeringsgrad. De enkleste metodene har betegnelsen Tier 1 og er basert på faste koeffisienter. Metoder av typen Tier 2 er tilpasset norske forhold med hensyn til f. eks. fôring, melkeytelse og slaktetidspunkt for husdyr.

Metan fra fordøyelse blir beregnet etter Tier 2 metodikk for storfe og sau, mens for de andre kategoriene blir det brukt faste koeffisienter per dyr og år. Metan fra gjødsellager er beregnet etter Tier 1 metoden for sau, geit og hest, og etter Tier 2 metoden for storfe, fjørfe og svin.

Lystgass beregnes etter Tier 1 metoden, hvor en bestemt andel av nitrogenet, avhengig av utslippskilde, forutsettes omdannet til lystgass. Det er tatt hensyn til nasjonale tall for lagringssystemer for husdyrgjødsel.

CO<sub>2</sub> fra fossilt brensel er beregnet på grunnlag av det totale forbruket av karbon i jordbruket, mens CO<sub>2</sub> fra dyrket myr kan beregnes på grunnlag norske estimater for utslipp.

Utslipp av klimagasser på gårdsnivå kan beregnes ved bruk av HolosNor-modellen, på grunnlag av data om jordsmonn, klima, forbruk av egne og innkjøpte driftsmidler og produksjonsresultat i plante- og husdyrproduksjonen.

### Tiltak mot klimagassutslipp

Jordbruket kan bidra til å redusere netto utslippene av klimagasser gjennom reduksjon av egne utslipp, binding av karbon i jord og produksjon av bioenergi for å redusere utslipp av fossilt karbon. Tiltak mot klimagassutslipp kan grupperes i langsiktige tiltak, kortsiktige tiltak i planteproduksjon og tiltak i husdyrproduksjon.

Langsiktige tiltak og beslutninger får konsekvenser for utslippene i mange år framover og omfatter produksjon av matvarer som gir lave utslipp, valg av vekster og driftssystemer som gir lave klimagassutslipp og stor matproduksjon per arealenhet, redusert nydyrking av myr, restaurering av tidligere dyrket myr gjennom gjentetting av dreneringssystem og heving av grunnvannsstanden, bedre drenering av dyrket mark og produksjon av biogass fra husdyrgjødsel.

Kortsiktige tiltak i planteproduksjon er resultat av beslutninger som tas hvert år og får konsekvenser for utslippene inneværende år. Slike tiltak omfatter balansert nitrogengjødsling, spredemetoder for husdyrgjødsel som begrenser NH<sub>3</sub>-tapet, kalking for å redusere lystgassutslipp, produksjon av biogass av restavlinger for redusert lystgassutslipp og samtidig erstatte fossilt drivstoff, dyrking av høstkorn som gir større avlinger og mindre klimagassutslipp per produsert mengde korn, økt produksjon og redusert forbruk av energi, samt produksjon og bruk av biokull for å lagre karbon i jord og erstatte fossilt karbon.

Tiltak som kan redusere utslipp av klimagasser direkte fra husdyr deles gjerne inn i tiltak som virker på selve produksjonen av klimagasser og faktorer som virker indirekte via andre måter. De direkte tiltakene virker ved å påvirke produksjonen av metan under fermenteringa av fôr i vomma og ved nedbryting av gjødsel, og produksjonen av lystgass ved å påvirke utskillelsen av N i gjødsla. Eksempler her er at høsting av graset ved et tidlig utviklingsstadium gir lavere utslipp av metan enn ved utsatt høsting, at økning av fettinnholdet i fôret reduserer produksjonen av metan og at reduksjon av innholdet av protein i fôret gir mindre utslipp av lystgass. Faktorer som virker indirekte på utslippet av klimagasser er slike som påvirker forbruket av fôr per enhet produkt, og følgelig utslippet av klimagasser beregnet per produktenhet. Slike indirekte faktorer kan virke via fôret eller via dyret. Igjen er tidspunktet for høsting av graset viktig, fordi tidlig høsting gir mer melk per enhet fôr enn ved utsatt høsting. Forhold som bidrar til å øke lengden på de ikke produktive periodene (oppfôringstiden, fruktbarhet, helsetilstand etc) vil resultere i et høyere forbruk av fôr per enhet produkt, og følgelig høyere utslipp av klimagasser per enhet produkt.

Potensialet for utslippsreduksjon av de ulike tiltakene går fram av tabellen under:

Tiltak	Tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	Andel av jordbr. utslipp
<b>Langsiktige tiltak</b>		
Produksjon av matvarer med lave klimagassutslipp	Opp til 3 mill	<50 %
Valg av driftsform/ (omlegging fra gras til korn)	250 000	4 %
Stans i nydyrking av myr	200 000 - 440 000	4-7 %
Restaurering av myr	Usikkert	
Drenering	Usikker	
Biogass av husdyrgjødsel	200 000- 500 000	3-8 %
<b>Kortsiktige tiltak i planteproduksjon</b>		
Balansert N-gjødsling	50 000 - 100 000	1-1,5 %
Spredemetoder for husdyrgjødsel	12 000	0,2 %
Kalking	Usikkert	
Alternativ bruk av restavlinger	40 000	0,6
Dyrking av høstkorn	30 000	0,4
Bruk av energi	Usikkert	
Biokull	Anslagsvis 850 000	14 %
<b>Direkte tiltak i husdyrproduksjon</b>		
Tidlig høstetidspunkt av gras som skal ensileres	Noe	
Høgere innholdet av fett i rasjonen	Noe	
Tilpasse bruken av protein til norm	Noe	
<b>Indirekte tiltak i husdyrproduksjon</b>		
Høg kvalitet på føret	Noe	
Øke fôrutnyttelsen ved avl og føring	På lang sikt: Mye	
Bedre helse og fruktbarhet	På lang sikt: Mye	

### Synergier og målkonflikter

Tiltak mot klimagasser kan føre til synergier med andre mål og tiltak:

- God agronomi vil føre til større avling og bedre utnytting av plantenæringsstoffer og mindre utslipp av klimagasser, spesielt når utslippene måles per produsert mengde mat.
- Redusert nydyrking av myr vil bidra til å ivareta de økologiske funksjonene til myr, som f. eks. magasinerer av vann, flomdemping, beiteområder og hekkeplasser for fugler.
- Produksjon av biogass av husdyrgjødsel vil også gi muligheter til en bedre fordeling av fosfor i husdyrgjødsel.
- Vern av dyrket jord har som formål å sikre matproduksjon, men vil også bidra til mindre utslipp av klimagasser som følge av mindre behov for nydyrking og mindre C-tap fra jord og vegetasjon.

Reduksjon av klimagasser kan også være i konflikt med andre målsettinger:

- Økt matproduksjon fordi utslipp av klimagasser er en uunngåelig konsekvens av matproduksjon.
- Økt økologisk produksjon, først og fremst som følge av lavere avling og behov for større arealer, mer nydyrking og større tap av karbon fra jord og vegetasjon.
- Korn dyrking er generelt mer klimavennlig enn gras dyrking, men fører også til større C-tap fra jord, mer erosjon, større utvasking av næringsstoffer og større bruk av plantevernmidler.
- Dyrking av høstkorn gir lavere klimagassutslipp per produsert mengde korn, men forutsetter som regel jordarbeiding på høsten og større risiko for erosjon.

# 1. Innledning

---

Global oppvarming som følge av menneskeskapt utslipp av klimagasser blir betraktet som vår tids største miljøtrussel. En betydelig del av klimagassutslippene kommer fra jordbruket. En reduksjon av utslippene er derfor en stor utfordring og en viktig forutsetning for et bærekraftig jordbruk.

I motsetning til andre sektorer, hvor utslippene hovedsakelig skyldes forbrenning av fossilt karbon, er det aller meste av utslippene fra jordbruket såkalte prosessutslipp av metan fra husdyr og husdyrgjødsel, lystgass fra gjødsel og jord og CO<sub>2</sub> fra myr og åkerdyrking. CO<sub>2</sub> fra forbrenning av fossilt brensel i jordbruket utgjør bare ca 10 prosent av utslippene.

Av Norges totale utslipp på ca 54 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter bidrar landbruket med ca 4,8 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter eller ca 9 prosent, når tap av karbon fra dyrket jord og utslipp fra produksjon av kunstgjødsel og andre driftsmidler ikke er medregnet. Dersom en tar med tap av karbon fra dyrket jord og utslipp fra produksjon av den mineralgjødsla som forbrukes i Norge, blir landbrukets utslipp ca 13 prosent.

Den viktigste oppgaven til jordbruket er å produsere mat. All matproduksjon medfører utslipp av klimagasser, men mengden har sammenheng med hva som produseres og hvordan produksjonen skjer. Dyrking av vegetabiliske matvarer som korn medfører lavere utslipp av klimagasser enn produksjonen av animalske matvarer som melk og storfekjøtt. I store deler av Norge er imidlertid de naturgitte forholdene bedre egnet for å produsere husdyrfôr som gras enn plantevekster som kan brukes direkte til mat. Dette er en viktig årsak til at de grovfôrbaserte husdyrproduksjonene (melk og rødt kjøtt) spiller en sentral rolle i norsk matproduksjon. Om lag 90 prosent av utslippene av klimagasser fra jordbruket er knyttet til husdyrproduksjon når utslippene knyttet til produksjon av fôret er med. Fortrinnet til drøvtyggerne er at de foredler grovfôr, som ikke kan brukes som menneskemat, til høgverdige matvarer. Imidlertid har dette fortrinnet også en kostnadsside i form av høye utslipp av klimagasser. I Norge er det en politisk målsetting å redusere utslippene av klimagasser fra jordbruket samtidig som matproduksjonen skal økes i takt med befolkningsøkningen (St.meld. nr. 39, 2008-2009, Meld. St. 9 2011-2012). Dette er ambisiøse målsettinger. Klimagassene stammer dels fra produksjonen av fôr og dels direkte fra dyrene. Det er mange faktorer som påvirker hvor mye klimagasser som slippes ut, og det er kompliserte avhengighetsforhold mellom faktorene. Dette forklarer hvorfor det ikke bare er ett svar på hvor mye klimagasser som blir produsert per kg matvare. Denne variasjonen i utslipp av klimagasser per enhet produkt gir oss imidlertid mulighet for å sette inn tiltak for å redusere utslippene. Det er disse spørsmålene som skal diskuteres i denne rapporten.

Norske skoger bidrar med en netto binding av mellom 25 og 30 millioner tonn CO<sub>2</sub> per år. Skogen er også den viktigste kilde til bioenergi. Utslipp fra matproduksjon og karbonbinding i skog må sees i sammenheng, fordi jordbruk og skogbruk i noen tilfeller konkurrerer om de samme arealene. Målet for landbruket som helhet må være å stimulere fotosyntesen og redusere nedbrytingen av biomasse i jordbruket og skogbruket, og samtidig begrense utslippene av klimagasser fra matproduksjonen.

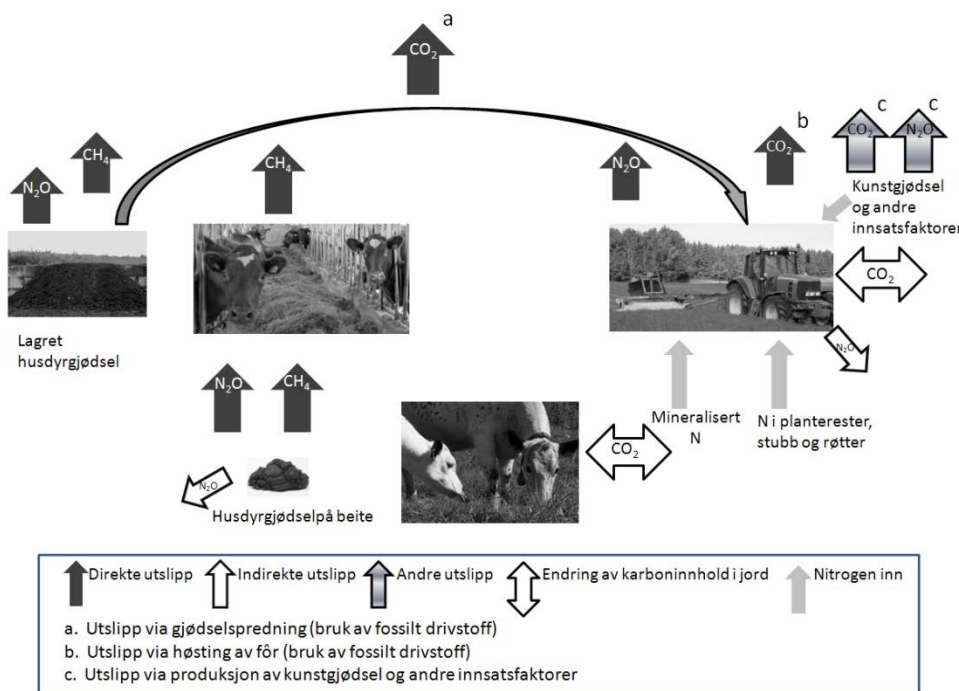
Norge har som mål å redusere innenlandske klimagassutslipp med 12-14 mill tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter innen 2020 (Klimakur 2020). Marginalkostnadene for å nå dette målet er beregnet til 1000-1500 kr per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalent dersom alle sektorene stilles overfor samme pris. Flere tiltak innen landbruket antas å ha lavere pris enn dette.

## 2. Utslipp av klimagasser fra jordbruket

### 2.1 Jordbrukets utslippsregnskap

Matproduksjonen bidrar med betydelige mengder av klimagassene metan ( $\text{CH}_4$ ), lystgass ( $\text{N}_2\text{O}$ ) og karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ). Disse klimagassene stammer dels direkte fra husdyr og dels fra andre kilder knyttet til produksjonen av fôr og vegetabilsk mat. Figur 1 viser de viktigste kildene for klimagassene. Utslippene fra husdyr omfatter metan som blir produsert under fermenteringa av fôr i fordøyelseskanalen (enterisk  $\text{CH}_4$ ), metan som blir produsert under gjødselhåndteringen samt lystgass som blir dannet fra nitrogen (N) i husdyrgjødsel. Andre utslipp er  $\text{CO}_2$  fra jord og maskinparken (fra fossilt drivstoff) og lystgass som har sin kilde fra bruk av handelsgjødsel og biologisk nitrogenfiksering. Det er også betydelige utslipp av klimagasser fra andre kilder som det er naturlig å regne som en del av matvareproduksjonen. Disse blir tatt med i klimagassregnskapet fra andre sektorer. Eksempler her er utslippet av  $\text{CO}_2$  og lystgass fra selve produksjonen av handelsgjødsel (industriektoren) og  $\text{CO}_2$  fra forbrenning av fossilt drivstoff knyttet til transport og lagring av innsatsfaktorer (gjødsel, kraftfôr) og produkter (korn, grønnsaker, melk, kjøtt).

Jordbrukets totale utslipp av klimagasser kan estimeres til ca 6,35 millioner  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter i 2010 når  $\text{CO}_2$ -tap fra dyrket jord er inkludert (tabell 1). Dersom en utelater  $\text{CO}_2$ -tap fra jord, som ikke inngår i Kuyoto-avtalen, er utslippene ca 4,7 millioner tonn  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter som utgjør ca 9 prosent av Norges totale utslipp av klimagasser.



Figur 1. Kilder for utslipp av klimagasser fra jordbruket (forenklet prinsipskisse etter Bonesmo & Harstad, 2013)

Tabell 1. Utslipp av klimagasser fra jordbruket.

	Utslipp per år						Utslipp, 1000 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter <sup>1</sup>				% av jordbr. utslipp
	CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Sum	
	Tonn	%	Tonn	%	Tonn	%					
Husdyr - fordøyelse <sup>1)</sup>	90 095	86					1 892			1 892	29,8
Husdyrgjødsel <sup>1)</sup>	15 000	14	1 965	29			315	609		924	14,6
Mineralgjødsel <sup>1)</sup>		0	1 948	29				604		604	9,5
Biologisk N fiksering <sup>2)</sup>		0	157	2				49		49	0,8
Restavlinger <sup>2)</sup>		0	267	4				83		83	1,3
Nedfall ammoniakk <sup>2)</sup>		0	250	4				78		78	1,2
Avrenning <sup>2)</sup>		0	1 000	15				310		310	4,9
Avløpslam <sup>2)</sup>		0	36	1				11		11	0,2
Halmbrenning <sup>4)</sup>	239	0,2	5	0,1			5	2		7	0,1
Fossilt drivstoff <sup>4)</sup>	37	0	120	2	410 955	20	1	37	411	449	7,1
Dyrking av myr <sup>3)</sup>		0	920	14	1 500 000	73		285	1 500	1 785	28,2
Dyrking av min.jord <sup>5)</sup>		0		0	149 000	7			149	149	2,4
Sum	105 371	100	6 668	100	1 911 104	100	2 213	2 067	2 060	6 340	100,0

1) SSB, statistikkbanken:

[http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default\\_FR.asp?PXSid=0&nvl=true&PLanguage=0&tilside=selecttable/hovedtabellHjem.asp&KortnavnWeb=luft](http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default_FR.asp?PXSid=0&nvl=true&PLanguage=0&tilside=selecttable/hovedtabellHjem.asp&KortnavnWeb=luft)

2) Snellinge Bye et al. (2011)

3) Bioforsk estimat

4) Gundersen et al. (2007)

5) Borgen et al. 2012

## 2.2 Metan

Metan er en klimagass som har et langt større oppvarmingspotensial (klimagasseffekt) enn CO<sub>2</sub>. I atmosfæren blir metan etter hvert omdannet til CO<sub>2</sub>, etter en gjennomsnittlig levetid på ca 12 år. Ved beregning av oppvarmingspotensialet for utslipp av metan tas det hensyn til tidsperspektivet. I forhold til CO<sub>2</sub> er oppvarmingspotensialet til metan 72 ganger så stort i et 20 års perspektiv og 21 ganger så stor i et 100 års perspektiv. Det er vanlig å benytte oppvarmingspotensialet i et 100 års perspektiv, ved å multiplisere mengden av metan med faktoren 21.

Jordbruket bidrar med ca 50 prosent av de totale menneskeskaptede utslippene av metan i Norge. Ca 86 prosent av utslippene kommer fra fordøyelsen av fôret hos husdyr mens ca 14 prosent kommer fra lagring av husdyrgjødsel. I tillegg bidrar forbrenning av halm og fossilt drivstoff med ca 0,3 prosent av metanutslippene fra jordbruket.

Det aller meste av metanutslippene fra fordøyelsen av fôret kommer fra drøvtyggere. Hos drøvtyggerne skjer nedbrytingen i form av gjæring (mikrobiell fermentering), som er en anaerob prosess hvor en del av karbonet i fôret omdannes til metan. Tilsvarende prosess skjer også hos ville hjortedyr. Med unntak av hesten, har enmagede husdyr (svin og fjørfe) svært begrenset mikrobiell fermentering av fôret.

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>-ekvivalenter: Klimagassene har ulik evne til å varme opp atmosfæren. For å kunne sammenligne virkningen av klimagassene, blir de derfor regnet om til karbondioksid (CO<sub>2</sub>)-verdier, og benevnes CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Alle utslipp kan da sammenlignes direkte etter som de får samme enhet. Som omregningsfaktor benyttes gassenes GWP (globalt oppvarmingspotensial) -verdier; Faktorene er 1 for CO<sub>2</sub>, 21 for metan (CH<sub>4</sub>) og 310 for lystgass (N<sub>2</sub>O). <sup>2</sup>Deler av statistikkgrunnlaget er under omlegging, og de oppgitte verdiene er derfor ikke helt nøyaktig, og er uoffisielle<sup>2</sup> (H. Høie (SSB) ,personlige opplysninger. <sup>3</sup> Fordelt etter dyretall og mengde gjødseltørsoff per dyr (Karlengen et al. 2012).

Metan dannes også ved lagring av alle typer husdyrgjødsel som følge av anaerob nedbryting. Av de ca 15 000 tonn metan som slippes ut fra gjødsellagre i Norge, bidrar storfegjødsel med ca 61 prosent.

## 2.3 Lystgass

Lystgass har et oppvarmingspotensial som er 310 ganger større enn for CO<sub>2</sub>. Landbruket bidrar med ca 70 prosent av de totale utslippene av lystgass i Norge. Lystgass dannes hovedsakelig ved denitrifikasjon av nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) til N<sub>2</sub>O, men kan også dannes som et biprodukt ved nitrifikasjon fra ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) til nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Denitrifikasjon kan skje overalt hvor det er tilgjengelig nitrat og mangel på oksygen, blant annet i jord og lager for husdyrgjødsel. I tillegg vil reaktivt nitrogen som tapes ut av jordbrukssystemet bidra til økt denitrifikasjon andre steder.

Mineralgjødsel og husdyrgjødsel er de største kildene til lystgass og bidrar hver med ca 29 prosent av lystgassutslippene fra jordbruket, mens avrenning av nitrogen og dyrket myr bidrar med ca 15 prosent hver. Andre kilder er biologisk nitrogenfiksering (ca 2 prosent), restavlinger (ca 4 prosent), nedfall av ammoniakk (ca 4 prosent), avløpslam (ca 1 prosent), halmbrenning ca 0,1 prosent og forbrenning av fossilt brennstoff ca 2 prosent av lystgassutslippene.

Utslipp av lystgass er mer komplisert og uforutsigbar enn utslipp av metan og varierer sterkt både i rom og tid. Det er gjort relativt få målinger av lystgassutslipp fra jord i Norge og usikkerheten om faktiske utslipp er langt mer usikre enn for metan og CO<sub>2</sub>.

## 2.4 Karbondioksid (CO<sub>2</sub>)

De viktigste kildene til CO<sub>2</sub>-utslipp fra jordbruket er forbrenning av fossile energikilder (olje, gass, kull) og nedbryting av organisk karbon i jord.

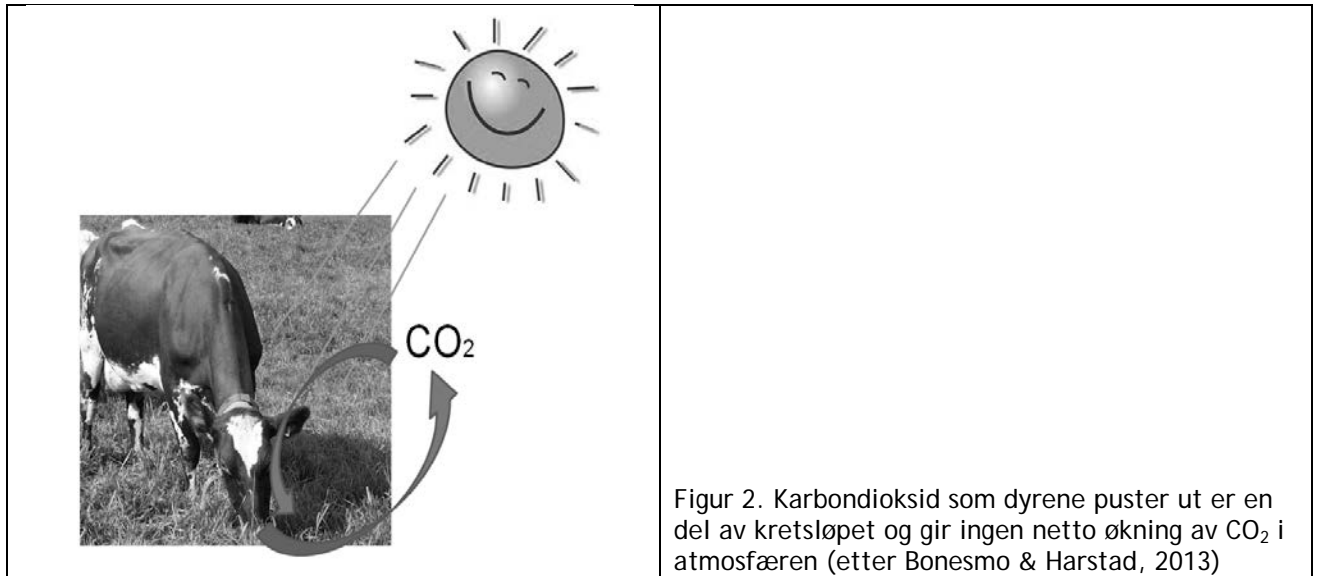
Forbrenning av fossilt karbon utgjør ca 0,4 millioner tonn eller i underkant av 10 prosent av de totale utslippene fra jordbruket.

Naturlig myr inneholder store mengder av organisk karbon som brytes ned og frigjøres som CO<sub>2</sub> når jorda dreneres og dyrkes. Det foreligger svært få målinger av CO<sub>2</sub>-tap fra dyrket myr i Norge. I et EU-prosjekt ble det årlige utslippet fra dyrket myr i Bodø estimert til ca 0,6 tonn C per dekar for årene 2003-2004 (Grønlund et al. 2006). På grunnlag av måling av myrsynking og analyser av askeinnhold i torv på Vestlandet er det årlige tapet estimert til ca 0,8 tonn C per dekar som et gjennomsnitt for årene 1950-1980 (Grønlund et al. 2008). En kan anta at nedbrytingen av torva og dermed også CO<sub>2</sub>-utslippene er blitt redusert i løpet av årene på grunn av mer omdannet torv med høyere mineralinnhold. Det aktuelle utslippet kan derfor være lavere, muligens i størrelsesorden 0,5-0,6 tonn C per dekar. Arealet av dyrket myr er i dag trolig mellom 700 000 og 800 000 dekar og det totale CO<sub>2</sub>-utslippet fra myr kan være i størrelsesorden 1,5 millioner tonn CO<sub>2</sub>.

Riley og Bakkegard (2006) har estimert et årlig CO<sub>2</sub>-tap som følge av ensidig åkerdyrking på Østlandet til 200 kg CO<sub>2</sub> per dekar. Borgen et al. (2012) har estimert det totale CO<sub>2</sub>-utslippet fra mineraljord i Norge til 149 000 tonn CO<sub>2</sub> ved hjelp av en karbonbalansmodell. Det er store variasjoner mellom ulike driftsformer og distrikter og estimatet må betraktes som relativt usikkert.

Karbondrap fra jord inngår ikke i Norges offisielle utslipp i henhold til Kuyoto-avtalen.

Under oksidasjon av næringsstoffer i organismen dannes CO<sub>2</sub> som skilles ut til atmosfæren via utåndingslufta. CO<sub>2</sub> som stammer fra oksidasjon av næringsstoffer i organismen bidrar ikke til nettoøkning av CO<sub>2</sub> i atmosfæren. Dette skyldes at karbonet i føret eller i maten er CO<sub>2</sub> fra atmosfæren som plantene utnytter i sin syntese av plantemateriale via fotosyntesen. CO<sub>2</sub> som stammer fra oksidasjonsprosessene i organismen inngår i et kretsløp, og blir derfor ikke tatt med i klimagassregnskapet. Dette er illustrert i figur 2.



## 2.5 Klimagassutslipp fra husdyrproduksjon

En mer detaljert tabell for utslipp av klimagasser direkte fra husdyrproduksjonen grupper på de viktigste dyrekategoriene, er vist i tabell 2. Storfe bidrar med hele 68 prosent og sauen med 20 prosent av de totale utslippene av klimagasser. Til sammen utgjør altså utslippene fra storfe og sau til nesten 90 prosent av samla klimagass utslipp fra husdyrproduksjonene. Ammekua (ekskl oppdrett) står for åtte prosent av de totale utslippene. For drøvtyggerne (storfe, sau og geit) er det utslippene av metan fra fordøyelsen som er desidert største kilde, etterfulgt av lystgass. Grisen står for fire prosent av utslippene, og har høyest utslipp av lystgass, etterfulgt av metan fra gjødsel. Fjørfe, som bidrar med ca to prosent av samla utslipp av klimagasser fra husdyrproduksjonene, skiller seg ut med lite metan fra fordøyelsen. Hos fjørfe er metan og lystgass fra gjødsel omtrent like store kilder. Utslipet av klimagasser fra de 67 000 hestene som står oppført i statistikken, utgjør ca 2 prosent av samlet utslipp, og er likt fordelt mellom metan fra fordøyelsen, metan fra gjødsel og lystgass. Statistikken over antall hester er usikker. Undersøkelser tyder på at antallet er betydelig høyere enn oppgitt i tabell 2. I følge Bygdeforskning (2012) har vi 125 000 hester, nesten det dobbelte av hva den offisielle statistikken oppgir. Dersom dette stemmer, utgjør utslippet av klimagasser fra hest ca 4,5 prosent av samla utslipp, og er en større kilde enn gris. Hest har altså betydelig utslipp av metan fra fordøyelsen, selv om den er et enmaget dyr. Dette skyldes den utstrakte fermenteringen av fôr i de bakre tarmavsnitt (blindtarm og tykktarm) hos hest.

Tabell 2. Utslipp av klimagasser fra husdyrproduksjonene, i 1000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter<sup>1,2</sup> per år.

Kategori	Antall i 1000	Metan (CH <sub>4</sub> )		Lystgass (N <sub>2</sub> O)	Sum	Fordeling, %
		Fordøyelse	Gjødsel			
Melkeku	204	620	74 <sup>3</sup>	188	882	30
Ammeku	70	174	19 <sup>3</sup>	34	227	8
Annet storfe	476	627	99	157	883	30
<b>Sum storfe</b>		<b>1421</b>	<b>192</b>	<b>379</b>	<b>1992</b>	<b>68</b>
Sau	1513	454	24	124	602	20
Geit	61	17	1	7	25	1
Hest	67	25	24	25	74	2
Gris	561	23	30	52	105	4
Fjørfe	14803	2	36	33	71	2
Pelsdyr	212	0	3	8	11	<1
Andre kategorier		76	14	16	106	4
<b>Sum</b>		<b>2018</b>	<b>324</b>	<b>644</b>	<b>2986</b>	
Fordeling mellom kildene, %		67	11	22		

## 3. Prosesser og faktorer som påvirker utslippene

---

### 3.1 Metan (CH<sub>4</sub>)

Utslipp av metan fra jordbruket har to hovedkilder: Lagring av husdyrgjødsel og fordøyelsen av fôr (særlig drøvtyggere) hos husdyr som bidrar med henholdsvis ca 14 og 86 prosent av de rapporterte metanutslippene fra husdyrproduksjonene.

#### 3.1.1 Metan fra fordøyelsen

Metan er et avfallsprodukt fra omsetninga av fôr (fermentering, dvs uten tilgang på oksygen) hovedsakelig i vomma hos drøvtyggeren. Enmagede dyr har i varierende grad fermentering og produksjon av metan. Under fermenteringsprosessen dannes et overskudd av hydrogen (H<sub>2</sub>) som må fjernes. Dette skjer ved at hydrogen omdannes til metan av spesielle mikrober (metanogener), og blir deretter skilt ut ved raping gjennom utåndingslufta. Metan som blir produsert i blind- og tykktarm blir dels tatt opp i blodet, og skilt ut ved ånding og dels skilt ut ved prompting. Mengden av hydrogen som må fjernes gjennom metan, er bestemt av mange forhold. Mengden fôr som blir tatt opp og fordøyd i vomma er viktigste faktor, jo høyere fôroptak desto mer metan blir produsert. Gjæringsmønstrer, dvs. forholdet mellom de flyktige syrene, som er eddiksyre, propionsyre og smørsyre, er også viktig. Gjæring som gir eddik- og smørsyre resulterer i et overskudd av hydrogen, mens produksjon av propionsyre medfører et netto forbruk av hydrogen. Forholdet mellom disse syrene er påvirket av hvordan rasjonen er satt sammen, og utslippet av metan fra fordøyelsen kan derfor til en viss grad påvirkes av fôringa. Metan er en energirik forbindelse, og noe av energien i fôret vil derfor gå tapt gjennom utslippet av metan. Hos drøvtyggerne kan dette tapet bli så høyt som 10 prosent.

Produksjon av metan er påvirket av førsammensetningen og kvaliteten av fôret. Kraftfôr gir mindre metanproduksjon enn grovfôr hos drøvtyggere. Dette skyldes at fermentering av kraftfôr i vomma gir gunstigere forhold mellom de flyktige fettsyrene sammenlignet med grovfôr, dvs. mer propionsyre i forhold til eddiksyre og smørsyre.

I melk- og kjøttproduksjon står grovfôret sentralt, og kvaliteten på fôret har avgjørende virkning på produksjonsresultatene. Hvordan kvaliteten på grovfôret slår ut på utslippet av klimagasser er derfor av stor betydning. I Norge dominerer surfôr. Trolig har utviklingsstadiet på gras ved høsting både en direkte og indirekte virkning på utslippet av metan fra fordøyelsen. Høsting ved et tidlig utviklings stadium gir lavere utslipp av metan fra fordøyelsen sammenlignet med utsatt høsting. Denne effekten skyldes trolig endringer i forholdet mellom de flyktige syrene i vomma i gunstig retning, dvs. mer propionsyre på bekostning av eddiksyre og smørsyre. Surfôr av gras høstet på et tidlig utviklingsstadium med høy fôrverdi har også en indirekte reduserende virkning på utslippet av metan. Høy fôrverdi gir mer melk, og derigjennom blir utslippet av metan per kg melk lavere enn ved bruk av surfôr med lavere fôrverdi.

Fôret kan også inneholde spesielle stoffer som kan ha en direkte reduserende effekt på utslippet av enterisk metan. Ett eksempel er fett. Høyt innhold av fett i fôret kan senke produksjonen av enterisk metan sammenlignet med et lavere fettinnhold. Effekten av fett skyldes antagelig delvis en reduserende virkning på produksjonen av hydrogen og delvis ved å hemme veksten av de metanproduserende mikrobene.

#### 3.1.2 Metan fra gjødsellager

De samme mikrobielle prosessene som produserer metan i vomma hos drøvtyggere fører også til at det produseres metan i gjødsellagre. Metan produseres under reduserende miljøforhold som kjennetegnes av at oksygen eller andre oksiderende stoffer ikke er til stede, men som gjerne inneholder reduserende stoffer som f.eks hydrogen. Mikrobenes produksjon av metan påvirkes også av tilgangen på lett omsettbart organisk materiale og andre miljøfaktorer som temperatur, surhetsgrad og saltinnhold. Ved lagring som bløtgjødsel er det liten tilgang på luft, og det gir gode forhold for produksjon av metan. I systemer hvor tørrgjødsel lagres med god tilgang på luft, er det derimot mindre metanproduksjon.



Biologisk produksjon av metan skjer gjennom et intrikat samspill mellom mikrober. Mange ulike typer mikroorganismer må være aktive for at metan skal dannes fra organisk materiale. Mikroorganismer som bryter ned komplekse organiske materialer produserer nye celler og ulike avfallsprodukter. Slike avfallsprodukter vil igjen kunne anvendes av andre mikroorganismer. Biologisk produksjon av metan ved nedbryting av organisk materiale kjennetegnes av samspill av svært mange slike forhold hvor avfallsstoffer anvendes av andre organismer.

Protein, sukkerarter og fett er store molekyler som dominerer sammensetningen av organisk materiale. Disse forbindelsene brytes gradvis ned og til slutt dannes en gassblanding av metan og karbondioksid som gjerne kalles biogass. I det første steget i nedbrytingen (hydrolyse) brytes de store molekylene ned i sine mindre komponenter som aminosyrer, enklere sukkerarter og fettsyrer. I neste trinn (fermentasjon) anvendes sukkere, alkoholer og aminosyrer som substrat for mikroorganismer som gjennom ulike fermenteringsprosesser produserer forskjellige organiske syrer og alkoholer. Ulike organismer og miljøforhold kan gi ulike produkter - selv fra samme råstoff. I det tredje trinnet (anaerob oksidasjon) brytes fermenteringsproduktene og fettsyrene videre ned til eddiksyre, karbondioksid og hydrogen. Det er særlig disse tre forbindelsene som er grunnlaget for den endelige metanproduksjonen. Hovedmengden metan produseres normalt fra eddiksyre, men andre mikrober kan produsere metan ved å kombinere karbondioksid og hydrogen. En grundig framstilling av biologisk metanproduksjon er for eksempel gitt av Jarvis og Schnürer (2009).

Til tross for at mye av nedbrytingspotensialet i dyrenes fôr allerede er tatt ut gjennom fordøyelsen, finnes det en stor andel nedbrytbart organisk materiale igjen i gjødselen. Når gjødselen samles i lagre etableres det gode forhold for videre nedbryting og produksjon av metan fra det gjenværende organiske materialet.

### 3.2 Lystgass (N<sub>2</sub>O)

Lystgass kan produseres ved to ulike prosesser:



Av disse prosessene er denitrifikasjon den viktigste for produksjon av lystgass. Prosessen drives av heterotrofe mikroorganismer som skaffer energi fra organisk materiale og bruker nitrat som elektronakseptor i mangel på fritt oksygen.

Produksjon av lystgass er avhengig av tilgang på nitrogen gjennom gjødsel og jord. Sterk gjødsling med mineralgjødsel og husdyrgjødsel vil derfor øke utslippene av lystgass.

Det er nitrogenet i husdyrgjødsel (avføring og urinen) som gir grunnlag for dannelse av lystgass. Mengde nitrogen skilt ut i gjødsel er først og fremst påvirket av hvor mye protein dyret får tilført. Drøvtyggere har en helt annen omsetning og utnyttelse av fôrproteinene enn enmagede dyr, og dette påvirker hvor mye av nitrogenet i fôret som ikke blir avleiret i produktene (melk, kjøtt og egg), dvs skilt ut i gjødsel. Hos drøvtyggerne bryter mikrobene i vomma ned mye av proteinet i fôret, men en varierende del av dette bygges opp igjen i form av mikrobeprotein som transporteres til tarmen. I tarmen hos drøvtyggerne blir det altså tatt opp (absorbert) aminosyrer både fra mikrobeprotein og ikke nedbrutt fôrprotein (by-pass protein). Proteinbalansen i vomma (PBV) er et nyttig mål på hvor effektivt fôrproteinet blir utnyttet. Høg PBV-verdi sier oss at det blir brutt ned mer fôrprotein i vomma enn det mikrobene kan utnytte, noe som betyr stort tap av nitrogen i urinen, og følgelig høgt utslipp av lystgass. Gris og fjørfe utnytter fôrproteinene mer effektivt enn drøvtyggeren, og produksjonen av lystgass blir derfor relativt lavere. Hos enmagede dyr er det først og fremst innholdet av protein i rasjonen i forhold til behovet, og proteinets biologiske verdi (hvor bra proteinet er tilpasset dyret sitt behov) som er avgjørende for hvor stor del av fôrproteinet som

blir skilt ut i gjødsla. Likevel er det først og fremst størrelsen på dyret og produksjonen som avgjør hvor mye nitrogen som blir skilt ut i gjødsla. Dette går klart fram av tabell 3 som viser standardverdier for utskillelsen av nitrogen i gjødsla for noen viktige dyrekategorier. En høgtytende melkeku har nesten dobbelt så høgt utslipp av nitrogen i gjødsla som en ammeku av omtrent samme størrelse. Det er disse N-verdiene som blir lagt til grunn ved beregning av lystgassutslipp fra husdyrgjødsla.

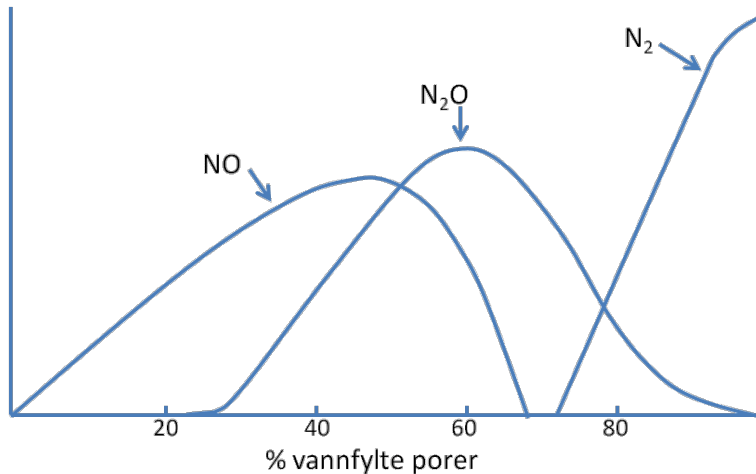
Tabell 3. Utskillelsen av nitrogen i gjødsla (avføring og urin) hos de viktigste dyrekategoriene, kg/dyr/år (Karlengen et al. 2012)

	Kg N)	
	Total N	Ammonium N
Melkekyr (kg/dyr/år) <sup>1</sup>	125	72
Kviger (kg/dyr) <sup>2</sup>	85	46
Okser til slakt (kg/år) <sup>3</sup>	65	40
Kvige til slakt	64	39
Ammekyr (kg/dyr/år)	64,5	36
Slaktekylling (kg/dyr) <sup>4</sup>	0,03	0,011
Verpehøns (kg/årsdyr)	0,7	0,29
Kalkun	0,45	0,18
Purker (inkludert smågris) (kg/årspurke) <sup>6</sup>	34,3	23
Slaktegris (30-115 kg) (kg/dyr)	3,2	2,1
Sau < 1 år (kg/dyr/år)	7,7	4,3
Sau > 1 år (kg/dyr/år)	11,6	6,4
Melkegeit (kg/dyr/år)	15,5	9,3
Hest (kg/dyr/år)	50	25
Mink (kg/dyr/år)	4,3	1,7
Rev (kg/dyr/år)	9,0	1,7

<sup>1</sup> Årsytelse på 7,2 tonn. <sup>2</sup> Kalving ved 25,5 mnd. alder. <sup>3</sup> slaktning ved 17,9 mnd. alder. <sup>4</sup> slaktes ved 1,6 kg. <sup>5</sup> snitt for vanlig produksjon der 45 % er hunnkalkun med slakt ved 5,3 kg, 5 prosent er hunnkalkun med slakt ved 7,5 kg, og 50 prosent er hannkalkun med slakt ved 11,5 kg. <sup>6</sup> Inkludert framføring av 23 spegris/smågris opp til 30 kg.

Produksjon av lystgass i jord er i tillegg til mengden nitrogen sterkt avhengig av mengdeforholdet mellom vann og luft. Figur 3 viser mengdeforholdet mellom produksjon av ulike gasser i forhold til andel vannfylte porer ved denitrifikasjon. Når vannfylte porer utgjør mindre enn 50 prosent, dannes det mest nitrogenmonoksid (NO). Ved høyere vanninnhold, mellom 50 og 80 prosent vannfylte porer, dannes det mest lystgass. Ved vannmetting, mer enn 80 prosent vannfylte porer, dannes mest nitrogengass (N<sub>2</sub>). Faren for lystgassutslipp er altså størst ved et midlere vanninnhold i jorda. Under moderate nedbørforhold vil utslippene være størst i jord som er dårlig drenert, har dårlig struktur eller som er sterkt pakket. Under svært fuktige perioder kan imidlertid lystgassproduksjonen på dårlig drenert jord reduseres som følge av at denitrifikasjonen går videre til dannelse av nitrogengass, mens jord som ellers er tilfredsstillende drenert, kan få store lystgassutslipp.

I likhet med andre biologiske prosesser øker hastigheten av denitrifikasjon med økende temperatur. Ved lav temperatur har det vist seg at det siste trinnet i prosessen, fra NO til N<sub>2</sub>, hemmes mest, slik at større mengder lystgass slippes ut i atmosfæren. Dette har bl. a. vist seg ved høye utslipp av lystgass fra jord om våren, like etter snøsmelting og opptining.



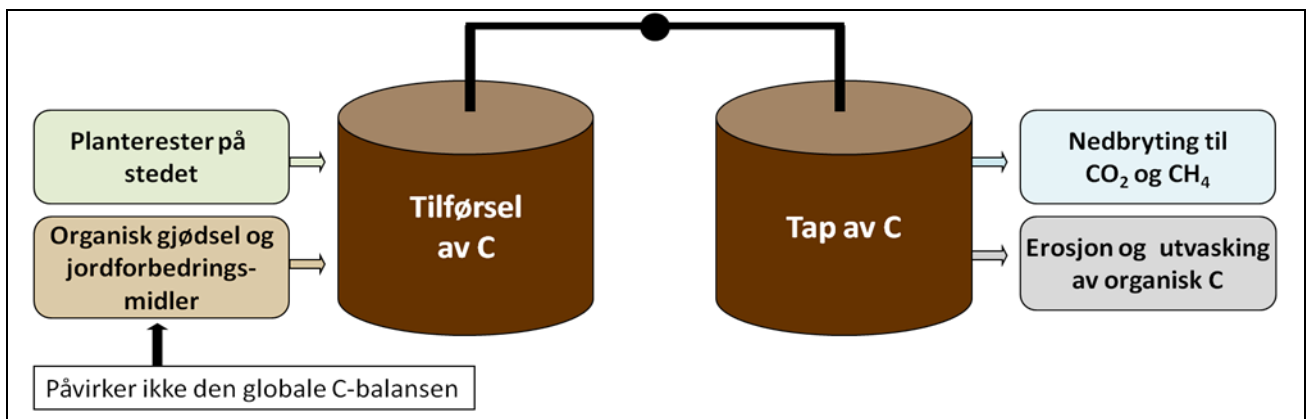
Figur 3. Mengdeforholdet mellom produksjon av NO, N<sub>2</sub>O og N<sub>2</sub> i forhold til andel vannfylte porer

Lystgassproduksjon ser også ut til å være avhengig av pH. Et eksperiment av van den Heuvel et al. (2011) viste at både reduksjon av NO<sub>3</sub><sup>-</sup> og produksjon av N<sub>2</sub> øker med økende pH, mens produksjon av lystgass er størst ved pH 5.

Organisk materiale i jord er også en viktig primærkilde til lystgassutslipp fra jord på grunn av mineralisering av organisk nitrogen. Faren for lystgassutslipp er størst på organisk jord og på jord som nylig er gjødslet med nitrogen.

### 3.3 Karbondioksid (CO<sub>2</sub>)

Hovedkildene for utslipp av CO<sub>2</sub> fra jordbruket er forbrenning av fossilt brensel og nedbryting og tap av karbon fra jord. Utslipp fra fossilt brensel beregnes på grunnlag av C-innholdet i forbrukt drivstoff og brensel, hvor nærmere 100 prosent av C-innholdet antas å ha blitt omdannet til CO<sub>2</sub>.



Figur 4. Karbonbalansen i jord.

Tap av CO<sub>2</sub> fra jord skyldes biologisk nedbryting av organisk materiale. Siden organisk materiale har betydning for mange viktige jordegenskaper, vil nedbryting og tap føre til både redusert jordkvalitet og økte utslipp av klimagasser. Jordas innhold av organisk karbon er bestemt av balansen mellom tilførsel og tap av karbon (figur 4). Tilførselen skjer gjennom fotosyntesen, enten i form av røtter og planterester, eller ved bruk av organisk gjødsel og jordforbedringsmidler. Tap av karbon skjer først og fremst i form av CO<sub>2</sub> som oppstår ved nedbryting og mineralisering av biomasse, men også i form av ulike organiske forbindelser ved erosjon og utvasking.

Når tilførselen og nedbrytingen av organisk materiale er like store, vil det oppstå en likevekt hvor nivået av organisk karbon holder seg uendret. Dersom tilførselen eller nedbrytingen endres, vil også karboninnholdet endres, inntil det er innstilt ny likevekt. Nedbrytingen av organisk materiale i mineraljord er tilnærmet proporsjonal med karboninnholdet. Dette innebærer at det kreves større tilførsel av organisk materiale for å opprettholde et høyere karboninnhold.

Karbonbalansen i jord er bestemt av rekke prosesser og faktorer som påvirker tilførsel og tap (figur 5). Fotosyntesen på stedet er den viktigste prosessen for tilførsel av karbon. Faktorer som stimulerer fotosyntesen vil derfor bidra mest til høyere karboninnhold.

Temperatur og fuktighet er viktige faktorer for både fotosyntesen og nedbrytingen av organisk materiale. Fotosyntesen har lavere temperaturoptimum enn nedbrytingen. Jord i subarktiske områder har derfor generelt høyt karboninnhold, til tross for lavere primærproduksjon enn i varmere områder.

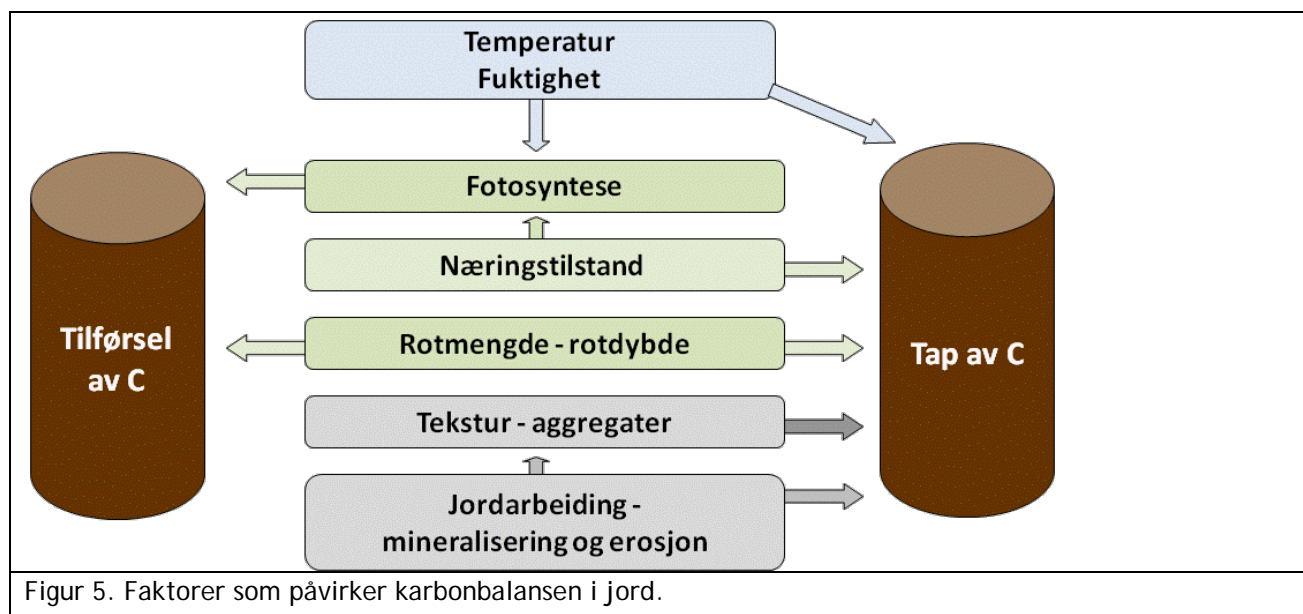
Karboninnholdet i jord øker ofte med økende vanninnhold. Svært høyt vanninnhold kan føre til anaerobt miljø som begrenser nedbrytingen av materialet og fører til høyt karboninnhold. Under tørre forhold kan vanntilgangen imidlertid være en begrensende faktor både for fotosyntesen og nedbrytingen av organisk materiale.

Næringstilstanden i jorda er ofte en begrensende faktor for planteveksten. Optimal tilgang på næringsstoffer bidrar til økt produksjon, større tilførsel av planterester og dermed høyere karboninnhold. Ved høyt innhold av karbon i forhold til nitrogen (høyt C/N-forhold) i jorda, slik som i nylig dyrket myr, kan tilførsel av kalk og nitrogen bidra til raskere nedbryting av torva og dermed lavere karboninnhold.

Karboninnholdet i jord øker generelt med rotmengde og rottybde. Røtter har vist seg å brytes langsommere ned enn overjordiske plantedeler. På grunn av mindre lufttilgang i dybden er dype røtter mer beskyttet mot nedbryting enn grunne røtter.

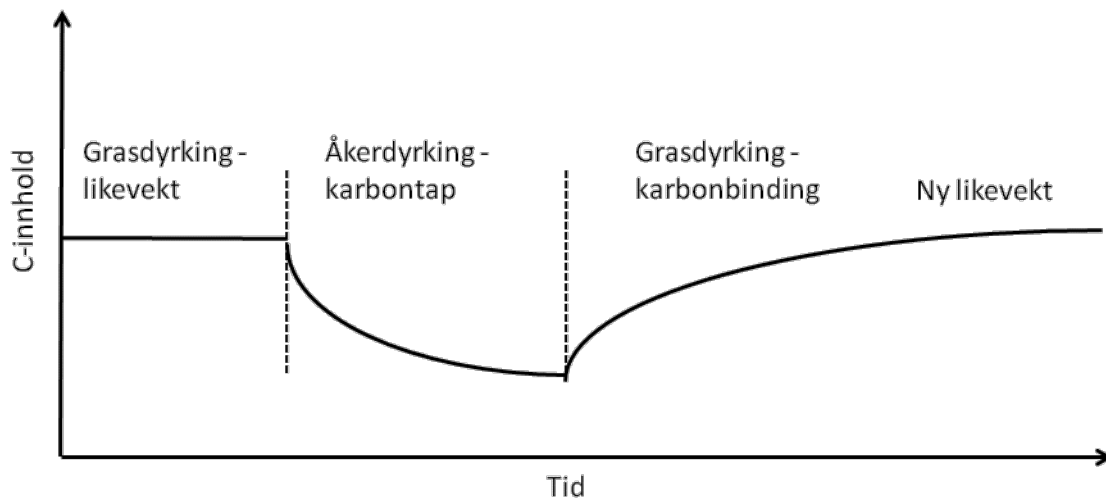
Dannelse av aggregater i jord bidrar til å beskytte det organiske materialet mot nedbryting. Karboninnholdet er derfor generelt høyere i leirjord, som danner aggregater, enn i sandjord med enkeltkornstruktur.

Intensiv jordarbeiding fører raskere nedbryting av organisk materiale som følge av ødeleggelse av aggregater og økt lufttilgang, og til tap av karbon gjennom økt erosjon.



Åkerdyrking fører generelt til lavere karboninnhold enn grasdyrking. Dette skyldes mindre tilførsel av organisk materiale som følge av lengre perioder uten plantevekst, og jordarbeiding som fører til raskere nedbryting av organisk materiale som følge av mer luft i jorda og ødeleggelse av aggregater. Omlegging av

drift fra grasdyrking til åkerdyrking vil føre til et netto tap og utslipp av CO<sub>2</sub>, mens omlegging fra åker til gras kan føre til en netto binding av CO<sub>2</sub>. Endringen i karbonbalansen vil være størst de første årene etter en omlegging og vil avta inntil det innstilles ny likevekt (figur 6).



Figur 6. Endringer i jordas karboninnhold ved omlegging fra åker til gras og omvendt.

Myrjord består hovedsakelig av døde planterester og har et svært høyt innhold av organisk karbon. Nedbrytingen av det organiske materialet er hindret av høyt vanninnhold og anaerobe betingelser, ofte i kombinasjon med lav temperatur. Under slike forhold brytes organisk materiale langsomt ned og kan derfor akkumuleres. Drenering og dyrking av myr fører til store endringer i betingelsene for mikrobiologisk aktivitet og dermed for lagring av karbon. Nedbryting av det organiske laget vil gå raskere og resultere i store utslipp av CO<sub>2</sub>. Nedbrytingshastigheten og CO<sub>2</sub>-tapet er betinget av flere faktorer. Bedre lufttilgang er den viktigste faktoren, og nedbrytingen øker derfor med økende grøftedybde og dypere grunnvannsspeil. Drenering ved profilering har vist seg å gi noe høyere utslipp sammenlignet med tradisjonell røgrøfting (Grønlund et al. 2006). Åkerdyrking med hyppig jordarbeiding kan gi større utslipp enn grasdyrking. Kalking vil også stimulere økt mikrobiologisk aktivitet og bidra til større utslipp. Så lenge dreneringen virker, vil nedbrytingen fortsette og det oppstår ikke likevekt før det opprinnelige torvlaget brutt ned og jorda er omdannet til mineraljord.

Det er utviklet en ny dyrkingsmetode for myr, basert på omgraving av jordmassene, hvor underliggende mineraljord blir gravd opp og lagt som et lokk over torvlaget. Dersom den overliggende mineraljorda er tilstrekkelig tykk, minst 20 cm, kan en anta at nedbrytingen av det organiske laget og CO<sub>2</sub>-utslippene blir mindre enn ved tradisjonell dyrking. En orienterende undersøkelse har vist at CO<sub>2</sub>-tapet fra omgravid myr kan være lavt dersom det organiske innholdet i den overliggende mineraljorda var lavt (Grønlund et al. 2013).

## 4. Metoder for beregning av klimagassutslipp

---

### 4.1 Nasjonalt klimagassregnskap

Etter Klimakonvensjonen og Kyotoprotokollen har Norge en internasjonal forpliktelse til å rapportere om utslippet av klimagasser fra landbruksproduksjonen. Dette omfatter kun såkalte "menneskeskapte" klimagassutslipp. Det betyr at klimagasser som stammer fra ville dyr (ikke husdyr) ikke går inn i klimagassregnskapet. For eksempel slipper ville drøvtyggere (hjort, elg, rådyr, reinsdyr hjort) også ut store mengder metan fra fordøyelsen av fôr, men går altså ikke inn i det nasjonale regnskapet. Klimagasser fra gruppen sports- og familiedyr burde per definisjon (er menneskeskapte) vært med i utslippsstatistikken. Her er det ulik behandling. Hesten er med, mens andre, for eksempel hund og katt, ikke er med.

Det er Miljødirektoratet og Statistisk sentralbyrå som er ansvarlig for regnskapet. Ettersom kildene til klimagassutslipp fra jordbruket er mange, og også vanskelig å måle, blir utslippene beregnet ved hjelp av emisjonsfaktorer eller algoritmer. FNs klimapanel (engelsk: Intergovernmental Panel on Climate Change, forkortet IPCC) foreslår ulike metoder for beregning av utslipp, med ulik detaljeringsgrad. Etter hvor detaljerte metodene er, har de fått betegnelsen Tier 1, Tier 2 og Tier 3. Tier 1 er enklest. Et eksempel her er at det blir brukt en konstant verdi for utslipp av enterisk metan for melkeku, uavhengig av ytelse og rasjonssammensetning. Tier 3 er mest avansert, mens Tier 2 kommer i en mellomstilling. I Norge bruker vi stort sett Tier 2-, eller Tier 1 metodikken. IPCC anbefaler å bruke mest mulig detaljerte metoder, mens de mindre detaljerte metodene er tenkt til land som ikke har mye erfaring med å beregne klimagassutslippet. På grunn av lands forskjellige klimatiske forhold og andre produksjonsforhold, anbefaler IPCC at landene lager sine egne modeller, Tier 3, som tar hensyn til dette.

Det nasjonale klimagassregnskapet for jordbruket omfatter bare primærutslippene, dvs direkte utslipp fra husdyr og utslipp knyttet til selve fôrproduksjonen nasjonalt. Utslipp av klimagasser knyttet til produksjonen av fôr som vi importerer blir belastet produsentlandene. De siste årene har importen av kraftfôr økt. Dette betyr at en stadig større del av klimagassbelastningen knyttet til husdyrproduksjonen har blitt eksportert til utlandet.

#### 4.1.1 Metan

Enterisk metan blir beregnet etter Tier 2 metodikk for storfe og sau, mens for de andre kategoriene blir det brukt faste koeffisienter per dyr og år. For storfe og sau blir det tatt hensyn til både opptaket av energi i fôr og energikonsentrasjonen (forholdet grovfôr: kraftfôr). Det er energikonsentrasjonen som bestemmer hvor stor del av opptatt energi som går tapt i form av metan ( $Y_m$ ), jo høyere energikonsentrasjon, jo lavere metantap. For at dyrene skal kunne ta opp nok energi ved økt ytelse, må energikonsentrasjonen i rasjonen økes. I praksis blir dette gjort ved å øke andelen kraftfôr. På grunn av denne sammenhengen mellom bruk av kraftfôr og  $Y_m$ , vil metantapet utgjøre ca 8 prosent av energiopptaket ved en årsytelse på 5000 kg med 20 prosent kraftfôr i rasjonen mot vel 6 prosent ved 50 prosent kraftfôr i rasjonen ved ytelse på 9000 kg/år. Årsaken til dette er at økt mengde kraftfôr gir mer propionsyre under gjæringa av fôret i vomma, noe som gir lavere overskudd av hydrogen og dermed mindre metan (se kap 3.3.1). Middelverdier for utslipp av enterisk metan for kategorier av husdyr er vist i Tabell 4.

Tabell 4. Norske faktorer og koeffisienter for beregning av gjødsel og metan fra gjødsellager for ulike husdyrslag. Kilde: SSB.

	Antall dyr	Organisk tørrst. i husdyrgjødsel		CH <sub>4</sub> fra fordøyelse		CH <sub>4</sub> fra husdyrgjødsel	
		Kg/dyr	Totalt, tonn	Kg/dyr	Tonn totalt	Kg/dyr	Tonn totalt
Melkeku (årskyr)	203 592	1 480	301 342	144	29 328	18	3 665
Ammeku (årskyr)	70 434	964	67 923	122	8 583	7,4	521
Annet storfe	287 665	765	220 048	109	31 347	5,9	1 697
Kvige til påsett (levetid til kalving)	106 679	946	100 898	110	11 745	7,3	779
Kvige slaktet (levetid til slakting)	24 899	722	17 985	98	2 442	5,6	139
Okse slaktet (levetid til slakting)	156 087	648	101 165	110	17 160	5	780
Høner (årsdyr)	4 050 447	11,8	47 937	0,02	81	0,087	351
Livkylling, dyreplasser	966 488	2,8	2 697	0,02	19	0,02	20
Slaktekylling, dyreplasser	9 816 367	3,7	36 046	0,02	196	0,027	264
Kalkun/gås, avl	11 523	27	311	0,02	0	0,2	2
Kalkun, slakt, dyreplasser	504 892	16	78 294	0,02	10	0,11	57
Ungpurker/ungråner	42 636	102	4 336	1,5	64	1,83	78
Purker (årsdyr)	53 154	394	20 920	1,5	80	7,08	376
Griser, slakt, dyreplasser	465 301	118	55 001	1,5	698	2,13	989
Sauer < 1 år	463 456			5,4	2 503	0,19	88
Sauer > 1 år	1 048 699			17	17 880	0,19	199
Geiter, melk	33 982			5	170	0,12	4
Geiter, andre	26 794			5	134	0,12	3
Hester	77 086			18	1 388	3	227

Beregning av metanutslipp fra lagring av husdyrgjødsel skjer på grunnlag faktorer listet opp i tabell 4. Utslippene er beregnet etter Tier 1 metoden for sau, geit og hest, og etter Tier 2 metoden for storfe, fjørfe og svin.

#### 4.1.2 Lystgass

Utslipp av lystgass fra jordbruket beregnes med IPCCs standardfaktorer. For dyrket myr er faktoren 0,8 kg N<sub>2</sub>O-N per dekar. For de øvrige kildene benyttes faktorene i tabell 5.

Tabell 5. Utslippsfaktorer for lystgass.

Kilde	Andel N <sub>2</sub> O-N av total N
Mineralgjødsel tilført jord	0,0125
Husdyrgjødsel tilført jord på åker og eng	0,0125
Husdyrgjødsel tilført jord på beite	0,02
Husdyrgjødsellager, flytende	0,001
Husdyrgjødsellager, fast	0,02
Biologiske N-fiksering	0,0125
Restavlinger	0,0125
Nedfall av ammoniakk	0,01
Avrenning	0,025

I det nasjonale utslippsregnskapet forutsettes det en fordeling av ulike lagringssystemer for husdyrgjødsel som vist i tabell 6.

Tabell 6. Andel av husdyrgjødsel på ulike lagringssystemer.

	Flytende	Fast	Beite
Melkekyr	0,76	0,06	0,18
Andre storfe	0,64	0,05	0,31
Fjørfe	0,27	0,73	0
Sau	0,26	0,3	0,44
Svin	0,88	0,12	0
Andre	0,26	0,29	0,45

### 4.1.3 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> fra fossilt brensel er beregnet på grunnlag av det totale forbruket av fossilt brensel og drivstoff i jordbruket.

CO<sub>2</sub> fra dyrket myr er anslått til 1,5 mill tonn per år på grunnlag av antatt areal dyrket myr på 750 000 dekar og et årlig utslipp på ca 0,5-0,6 tonn C/dekar for eldre dyrket myr.

CO<sub>2</sub> fra mineraljord er estimert til 149 000 tonn ved en modellberegning (Borgen et al. 2012). Estimatenes for utslippene fra myr og mineraljord må anses som svært usikre.

## 4.2 Beregning på gårdsnivå (Holosmodellen)

Det er tilpasninger av produksjonen på gårdsnivå som bestemmer de totale utslippene fra jordbruket av metan fra vomgjæringa hos drøvtyggere og fra husdyrgjødsel, lystgass fra jord og gjødsel og CO<sub>2</sub> fra bruk av fossilt brensel og karbontap fra jord. Effekten på en gårds totale klimagassutslipp av enkeltendringer, som for eksempel økt melkeytelse per årsku, høyere kraftfôrandel, redusert gjødsling til eng og beite, kan ikke fastsettes uten en helhetlig analyse på gårdsnivå. Årsaken til dette er de mange avhengighetsforhold mellom enkelttiltak innenfor garden. Derfor er det utviklet simuleringsmodeller og enklere kalkulatorer for å beregne klimagassutslipp på gårdsnivå i en rekke land.

For å bidra til reduksjon i klimagassutslippene fra norsk jordbruk, ble det i juli 2009 satt i gang et bilateralt samarbeid mellom forskere i Norge og Canada (BILAT), finansiert av Norges forskningsråd og organisasjonene i landbruket. Agriculture and Agri-food Canada har gjennom noen år utviklet rådgivningsverktøyet Holos for enkeltgarder. Et av målene med BILAT-prosjektet er å tilpasse Holos-modellen til norske forhold (HolosNor) og derved utvikle grunnlaget for et tiltaksorientert rådgivningsverktøy for norske gardsbruk.

En klimagasskalkulator på gårdsnivå, som skal kunne bidra i arbeidet med å senke gassutslippene fra jordbruket, må i tilstrekkelig grad være i stand til å tallfeste variasjonen mellom gårder i utslipp som skyldes ulikheter i naturgrunnlag, innsatsfaktorer og produksjonsresultat i plante- og husdyrproduksjonen. HolosNor er en helhetlig modell som beregner gårdens totale klimagassutslipp på grunnlag av areal, jordsmonn, klima, forbruk av egne og innkjøpte driftsmidler og produksjonsresultat i plante- og husdyrproduksjonen (figur 1). De direkte og indirekte utslippene av CO<sub>2</sub>, metan, lystgass fra vomgjæring, lagrings- og bruksmåter av husdyrgjødsel, dyrking av eng- og åkervekster og forbruk av innkjøpt energi, blir beregnet ved hjelp av forholdsvis enkle algoritmer. De fleste er IPCC-baserte, men tilpasset norske forhold. Ved utvikling av modellen er det lagt større vekt på å synliggjøre sammenhenger mellom de ulike komponentene av gårdens produksjon enn på å utvikle detaljerte, prosessbaserte modeller for de enkelte bestanddelene. Formålet med modellen er å beregne endring i klimagassutslipp ved tiltak på gårdsnivå.

Ettersom den canadiske Holos-modellen bygger på agroklimatiske soner i Canada og lokal sammenheng mellom naturgrunnlag (jord og klima) og klimagassutslipp, kan den ikke brukes uten tilpasninger til våre forhold. I Norge har vi ingen tilsvarende, agroklimatisk soneinndeling. I HolosNor har vi derfor erstattet de geografisk avhengige variablene og algoritmene med modeller som bygger på allmenne jord- og værdata. For endring av karboninnhold i jord har vi valgt å bruke en svensk -karbonmodell (ICBM). ICBM-modellen



beregner endring av karboninnhold i matjordjorda ut fra utgangsnivå, vekstslag, oppnådd avling, jordarbeiding, jordtemperatur og vanninnhold i jorda. For å beregne de direkte lystgass-utslippene fra jord har vi valgt å bruke IPCCs tilnærming der en fraksjon av N-tilgangen (gjødsling, planterester og mineralisering) omdannes til lystgass. Denne utslippsandelen justeres til norske forhold ved jordtemperatur og vanninnhold i matjordlaget etter funksjoner som er avledet fra et omfattende materiale presentert i ei britisk doktoravhandling [se Bonesmo et al. (2013), for detaljert beskrivelse].

## 5. Tiltak mot klimagassutslipp

---

### 5.1 Generelt

Jordbruket har muligheter til å redusere nettoutslippene av klimagasser gjennom:

- Reduksjon av egne utslipp
- Binding av karbon i jord
- Produksjon av bioenergi for å redusere utslipp av fossilt karbon

I mange tilfeller er det konflikter og konkurranse mellom disse hovedstrategiene. Binding av karbon i jord kan oppnås ved flerårig grasproduksjon. Men når graset skal foredles til mat gjennom drøvtyggere slippes det ut store mengde metan som har større oppvaringseffekt enn karbonlagringen i jord.

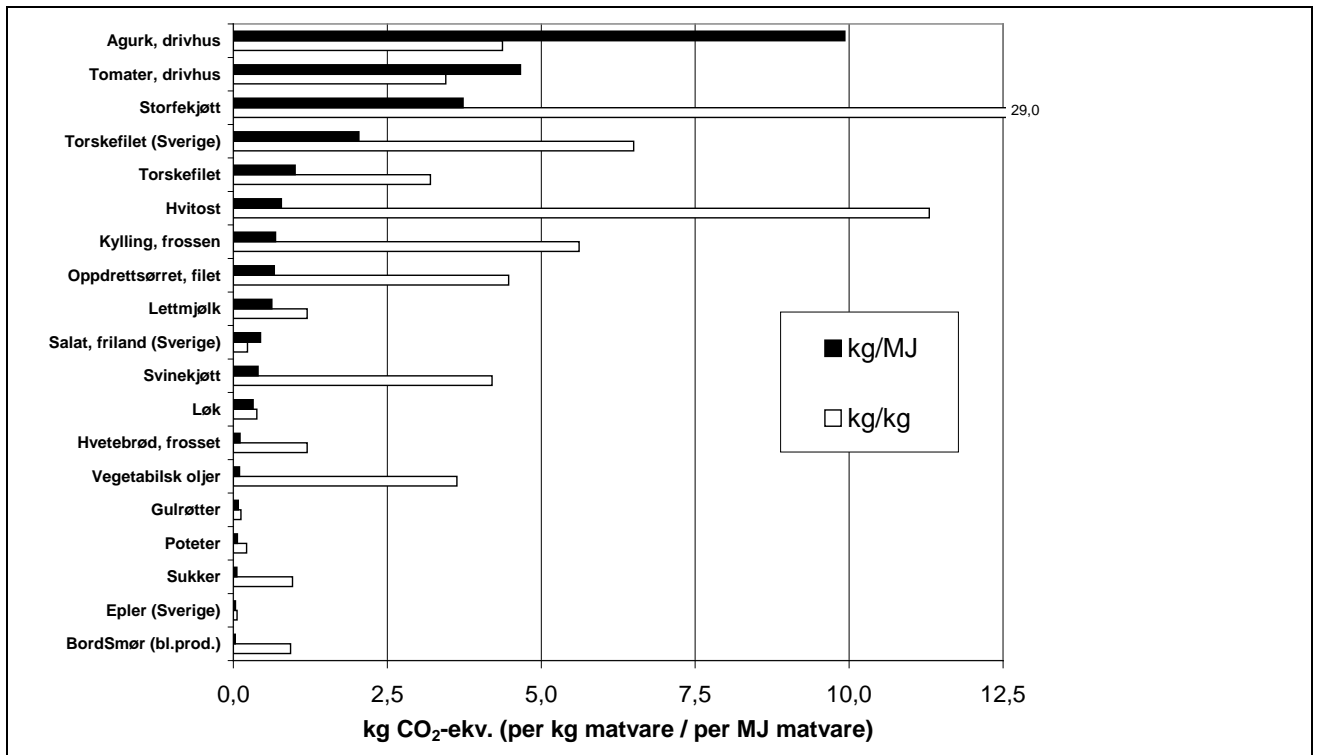
Et høyt karboninnhold i jorda innebærer også et stort potensial for mineralisering av nitrogen og dannelse av lystgass. Lagring av karbon i jord gjennom tilførsel av organisk materiale som f. eks. halm er i konflikt med bruk av halm som bioenergi. I mineraljord bør ikke karboninnholdet være høyere enn det som er optimalt for jordas agronomiske egenskaper. Karbonbinding i jord kan for øvrig ikke betraktes som et tiltak, men et resultat av et samspill mellom naturgitte faktorer, driftsform og flere tiltak.

Tiltak mot klimagassutslipp kan deles inn i langsiktige tiltak eller beslutninger, som får konsekvenser for utslippene i mange år framover, og kortsiktige tiltak eller beslutninger, som har virkning for en kortere periode, f. eks. et år eller en vekstsesong.

### 5.2 Langsiktige tiltak

#### 5.2.1 Produksjon av matvarer med lave klimagassutslipp

Det er stor variasjon i klimagassbelastning mellom ulike matvarer. Eksempler på verdier for klimagassbelastning som omfatter alle innsatsfaktorene med utslipp av klimagasser fram til forbruker (såkalt livsløpsanalyser) i forhold til vekt og energiinnholdet (mega joule, MJ) fra Danmark og Sverige er vist i figur 7. Figuren understreker to forhold. For det første kan det være svært misvisende å uttrykke klimabelastningen per vektenhet av en matvare. Agurk og storfekjøtt kan tjene som et eksempel. Uttrykt pr vektenhet kommer agurk betydelig bedre ut enn storfekjøtt. Uttrykt på energibasis er rangeringen motsatt. For det andre understreker figuren at miljøbelastningen uttrykt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter varierer sterkt mellom matvarer. Med noen få unntak kommer vegetabiliske matvarer gunstigere ut enn animalske matvarer. Kjøtt fra svin og fjørfe har lavere utslippe enn kjøtt fra storfe. Det samme gjelder egg (ikke vist i figuren). Av de grovforbaserte husdyrproduktene kommer melk best ut. Den er på samme nivå som kjøtt fra gris og fjørfe. Derimot skiller sauekjøtt og kjøtt fra spesialisert kjøttproduksjon seg ut i negativ retning. Årsaken til at disse to sistnevnte kjøttproduktene kommer så dårlig ut, skyldes først og fremst at produksjonen er ekstensiv og basert på mye grovfôr. Ved ekstensiv drift går en stor andel av føret med til vedlikehold og relativt lite til vekst, dvs utslippene av klimagasser blir høy per kg kjøtt. Mye grovfôr gir som allerede diskutert opphav til mer enterisk metan enn kraftfôr. Det må understrekes at det er knyttet betydelig usikkerhet og variasjon til slike verdier over klimabelastning. Det er i disse beregningene heller ikke tatt hensyn til at forholdet mellom karbonbinding og tap fra jorda er forskjellig mellom produksjonene. Grasdyrking gir normalt en gunstigere balanse mellom karbonbinding og karbontap enn korndyrking og dyrking av grønnsaker. Når en tar hensyn til karbonbalansen i jord, er forskjellene mellom grovførbaserte produksjoner og kraftførbaserte produksjoner og grønnsaker noe mindre enn det som figur 7 viser.



Figur 7. Utslipp av klimagasser knyttet til produksjon av noen matvarer fram til detaljistledet uttrykt på vektbasis (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg spiselig matvare) og på energibasis (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per MJ spiselig matvare) [se Briseid et al. (2008) for detaljer om materiale].

Mer vegetabilsk mat på bekostning av melk og kjøtt vil bidra til lavere klimagassutslipp fra matproduksjon. Klimagassbelastningen beregnet på energibasis er med noen få unntak betydelig lågere for vegetabilsk enn for animalske matvarer (figur 7). Det betyr at økt konsum av vegetabilsk mat på bekostning av animalske, i utgangspunktet vil bidra til å redusere utslippet av klimagasser fra matproduksjonen. Det kan imidlertid stilles spørsmålsteget med hvor stor effekten vil være. Noen sentrale momenter i diskusjonen om en økning av vegetabilsk mat på bekostning av animalske matvarer i vårt kosthold, er et egnet tiltak for å redusere klimagassbelastningen knyttet til matproduksjonen, er summert opp nedenfor:

- Korn og kornprodukter utgjør en stor del av kosten, og har låg klimagassbelastning. Vi vil oppnå en relativt betydelig reduksjon av klimagassutslippet selv med en moderat prosent økning av konsumet. Vi har muligheter til å øke dyrkingen av matkorn i Norge. Høg andel av korn- og kornprodukter i kostholdet er en god strategi for å redusere utslippet av klimagasser fra matproduksjonen.
- Poteter har låg klimagassbelastning, men konsumet er relativt lavt. Økningen i prosent må derfor være betydelig for å oppnå nevneverdige utslag på utslippet av klimagasser. Potet kan stort sett dyrkes over hele landet, og det er derfor enkelt teknisk sett å øke produksjonen, og være selvforsynt. Utfordringen er antagelig først og fremst å få befolkningen til å spise mer poteter.
- Grønnsaker har betydelig variasjon i klimagassbelastningen mellom produktene. Grove grønnsaker som gulrot og kålrot har betydelig lågere utslipp av klimagasser enn enkelte andre grønnsaker som salater. Grønnsaker utgjør bare 2 prosent av maten på energibasis, og det må derfor skje en kraftig økning i konsumet for å oppnå nevneverdige utslag. Vi har gode muligheter til å øke dyrkingen av grove grønnsaker. Som for potet, er utfordringen antagelig først og fremst å få befolkningen til å spise mer av de grønnsakene som egner seg for dyrking i Norge på bekostning av importerte grønnsaker.
- Frukt og bær har låg klimagassbelastning for mange av produktene. Selv om vi har gode muligheter for å øke produksjonen av mange produkter, importerer vi hele 96 prosent av denne matvaregruppen. Her er også flaskehalsen antagelig å få folk til å spise mer norskproduserte frukt og bær.

Av de grovførbaserte husdyr produksjonene, er det bare melkeproduksjonen som kan konkurrere med kjøttproduksjon på gris og fjørfe mht til klimagassbelastning. Det betyr at melk- og melkeprodukter også ut fra et klimagassperspektiv, bør fortsatt være en viktig del av vårt kosthold. Klimagassbelastningen knyttet til kjøttproduksjon på sau og storfe er derimot betydelig høyere enn for de hvite kjøttslaga (gris- og fjørfekjøtt). I dag utgjør den spesialiserte storfekjøttproduksjonen 25-30 prosent av total kjøttproduksjon på storfe. Den spesialiserte kjøttproduksjonen på storfe kommer vesentlig dårligere ut enn når kjøttproduksjonen er en integrert del av melkeproduksjonen (framføring til slakt av overskuddskalver og utrangerte melkekyr). Det kan derfor ut fra et helhetlig perspektiv stilles spørsmål ved om det kan være fornuftig å øke konsumet av hvitt kjøtt på bekostning av rødt kjøtt. Noen mulige konsekvenser av å øke produksjonen av hvitt kjøtt (svin- og fjørfekjøtt) på bekostning av rødt kjøtt (sau- og storfekjøtt) kan være:

- Behov for mindre areal til å produsere grovfôr. Mye av dette arealet egner seg ikke til å dyrke andre vekster. En viktig fôrressurs, uten alternativ verdi, vil gå tapt.
- Behov for fôrkorn til gris og fjørfe vil nødvendigvis øke. Om totalbehovet for kraftfôr i husdyrproduksjonene øker, beror på "kraftfôrpolitikken" for de grovførbaserte produksjonene.
- Større behov for å importere mer proteinråvarer som soya fordi det kreves mer protein i produksjonene av spesielt fjørfekjøtt enn i produksjonen av kjøtt på sau og storfe. Trekket "bruksendring" av areal inn i beregningene kan klimabelastningen øke betydelig.

### 5.2.2 Valg av driftsform og produksjoner

Klimagassutslippene fra matproduksjon er i stor grad bestemt av hvilke matvarer som produseres. Selv om valg av matvarer er forbrukernes ansvar, har landbruket likevel innenfor visse rammer mulighet til å velge produksjoner som gir mindre klimagassutslipp.

Grasdyrking og produksjon av melk og kjøtt fra storfe og sau bidrar med om lag 80 prosent av klimagassutslippene fra jordbruket. Omtrent alt utslipp fra enterisk metan, mer enn 60 prosent av utslippene fra lagring av husdyrgjødsel, ca 70 prosent av utslippene fra bruk av mineralgjødsel og ca 90 prosent av utslippene fra myr er knyttet til sau- og storfeproduksjon. I gjennomsnitt for landet gir dette et utslipp på mellom 700 og 800 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per dekar grasareal når utslipp fra dyrket myr er medregnet.

Mindre enn halvparten av den dyrka jorda i Norge er egnet til kornproduksjon. Over store deler av landet er produksjon av gras til storfe og småfe (sau og geit) den eneste muligheten til å drive jordbruk. Valg av driftsform mellom korn og gras er selvsagt bare aktuelt i områder hvor det er mulig å dyrke korn.

I korndyrkingsområdene på Østlandet og i Trøndelag har det etter 1990 skjedd en sterk reduksjon i kornareal og en økning i grasareal og antall ammekyr. Dette tyder på at spesialisert kjøttproduksjon basert på gras har økt på bekostning av korn. Tabell 7 viser fordelingen av kornareal, melkekyr, ammekyr og sau i 2012. Som vist i tabellen finnes 43 prosent av ammekyr i korndyrkingsområdene, mens en langt større andel av melkekyr og sau fins i de øvrige distriktene. Disse tallene viser at det bør være et visst potensial for å øke kornarealet på bekostning spesialisert kjøttproduksjon av storfe.

Tabell 7. Prosent av kornareal og antall melkekyr, ammekyr og sau i korndyrkingsområder og landet for øvrig i 2012.

	Prosent av produksjonen			
	Korn	Melkeku	Ammeku	Sau
Lavlandet Østlandet og Trøndelag (sone <sup>1</sup> 1,3 og 4)	93	24	43	15
Dalstrøk, Vestlandet og Nord-Norge (sone 2,5,6,7)	7	76	57	85

<sup>1</sup>Sone som brukes som grunnlag for produksjonstilskudd i jordbruket.

I tabell 9 er det vist beregnet utslipp av klimagasser og produksjon av kjøtt per dekar ved grasdyrking til ammeku og sau og korndyrking til svin og kylling på Østlandet. Beregningene er basert på

gjennomsnittsavling på 370 kg korn og 375 føreheter gras per dekar, gjødsling etter norm, standard utslippskoeffisienter for enterisk metan og lagring av husdyrgjødsel, N-avrenning på 4 kg per dekar for korn og 2 kg for gras, en antatt årlig karbonbinding ved grasdyrking på 10 kg C per dekar og et karbontap ved korndyrking på 30 kg C. Det er forutsatt en at halvparten beiteføret blir tatt opp på utmarksbeite og en kraftforandel på 12 prosent til sau og 18 prosent til storfe. Tabellen viser at kjøttproduksjon av ammeku og sau gir ca 60 prosent større utslipp per dekar som produksjon av gris eller kylling. Grasproduksjon gir også mindre mengde kjøtt per dekar enn kornproduksjon, slik at utslippene per kg kjøtt er mange ganger større for sau- og storfekjøtt enn for svine- og kyllingkjøtt. Dette eksemplet viser at valg av driftsform har svært stor betydning for klimagassutslippene. Har en valgt grasbasert kjøttproduksjon som driftsform, vil utslippene være svært store, uansett hvilke andre klimatiltak som settes i verk.

I beregningene er det forutsatt at importert soya har samme avling og utslipp per dekar som norskprodusert karbohydratkraftfôr. Gjennomsnittlig avling av soyabønner i Brasil er ifølge FAOstat 283 kg for årene 2008-2012, som er ca 23 prosent lavere enn norske kornavlinger. Det er heller ikke tatt hensyn til utslipp som følge av eventuelle arealbruksendringer som følge av produksjon av soya. Dersom produksjon av soya medfører hugging av regnskog, kan utslippene være betydelig høyere enn fra norsk produsert korn. Det gjennomsnittlige karboninnholdet per dekar i en tropisk regnskog er ifølge IPCC (2000) 12,0 tonn C i vegetasjon og 12,4 tonn C i jord. Dersom en forutsetter at alt karbon i vegetasjon går tapt som følge av soyadyrkingen, og tapet fordeles på 20 år, blir det årlig tapet 600 kg C per dekar, som er omtrent det samme som tapet av dyrket myr i Norge. Ifølge Norgesfôr er innholdet av soya i kraftfôrblendinger 10-15 prosent til svin, ca 20 prosent til slaktekylling og 7 prosent til drøvtyggere. Dersom en tar hensyn til klimagassutslipp som følge av arealendringer, avlingsnivå og andel soya i kraftfôrblendinger, blir utslippene per kg kjøtt av svinekjøtt omtrent dobbelt så store som vist i tabell 8. Likevel er utslippene fra gris og kylling mindre enn halvparten så store som fra ammeku og sau.

Disse beregningene viser at en omlegging fra grovfôrbasert til kraftfôrbasert kjøttproduksjon vil redusere klimagassutslippene fra jordbruket i Norge. Dersom 10 000 tonn kjøtt fra drøvtyggere erstattes av kjøtt fra svin eller fjørfe, kan utslippsreduksjonen anslås til ca 235 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Men dersom den reduserte produksjon av grovfôrbasert kjøtt blir kompensert av økt import, vil det ikke nødvendigvis føre til reduksjon i de globale utslippene. Dersom en skal oppnå en betydelig reduksjon av klimagassutslippene fra matproduksjon, forutsettes det endringer i matforbruket til mer klimavennlig mat.

Tabell 8. Klimagassutslipp og kjøttproduksjon ved gras- og korndyrking på Østlandet.

	Grasbasert produksjon			Kornbasert produksjon		
	Sau	Amme-ku	Gj.sn. sau/ammeku	Svin	Kylling	Gj.sn. svin/kylling
Klimagassutslipp, kg CO <sub>2</sub> -ekv. per dekar						
Metan fordøyelse	306	244	275	19	10	15
Metan gjødsellager	6	14	10	25	15	20
Lystgass fra husdyrgjødsel	191	63	127	33	67	50
Lystgass fra min.gjødsel og avrenning	85	92	88	94	99	96
CO <sub>2</sub> -tap fra jord	-17	-9	-13	110	110	110
Sum utslipp	571	403	487	281	301	291
Kg kjøtt per dekar	22	16	19	70	154	112
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per kg kjøtt	26	26	26	4,0	1,9	2,6

Melkeproduksjon kan konkurrere med kjøttproduksjon av gris og fjørfe når det gjelder klimagassutslipp. Kjøttproduksjon i kombinasjon med melkeproduksjon fører også til lavere klimagassutslipp enn spesialisert kjøttproduksjon av drøvtyggere. Det er dessuten liten konkurranse mellom melkeproduksjon og kornproduksjon i Norge. Som vist i tabell 7 foregår mesteparten av melkeproduksjonen i Norge i områder som ikke er egnet for korndyrking, og bare 24 prosent i lavlandet på Østlandet og i Trøndelag.

### 5.2.3 Redusert nydyrking av myr

Dyrket myr er den nest største kilden til klimagasser fra jordbruket. Det er bare husdyr og husdyrgjødsel som bidrar til større utslipp. De årlige utslippene per dekar dyrket myr varierer sterkt avhengig av myrtype, klima og driftsform, men antas å være ca 2 tonn CO<sub>2</sub> og 1,25 kg lystgass (0,8 kg N<sub>2</sub>O-N) som tilsvarer ca 400 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Utslippene fortsetter lå lenge dyrkingen foregår eller til torvlaget er brutt ned og jorda er omdannet til mineraljord. De langsiktige konsekvensene av dyrking av kan beregnes med relativt stor sikkerhet. Karboninnholdet i dyrkbar myr i Norge er estimert til 68 tonn karbon per dekar i gjennomsnitt som tilsvarer ca 250 tonn CO<sub>2</sub>. Dersom dyrkingen fortsetter til jorda er omdannet til mineraljord, vil det akkumulerte CO<sub>2</sub>-tapet tilsvare nesten hele den opprinnelige karbonmengden i torva, det vil si om lag 200 tonn CO<sub>2</sub> per dekar.

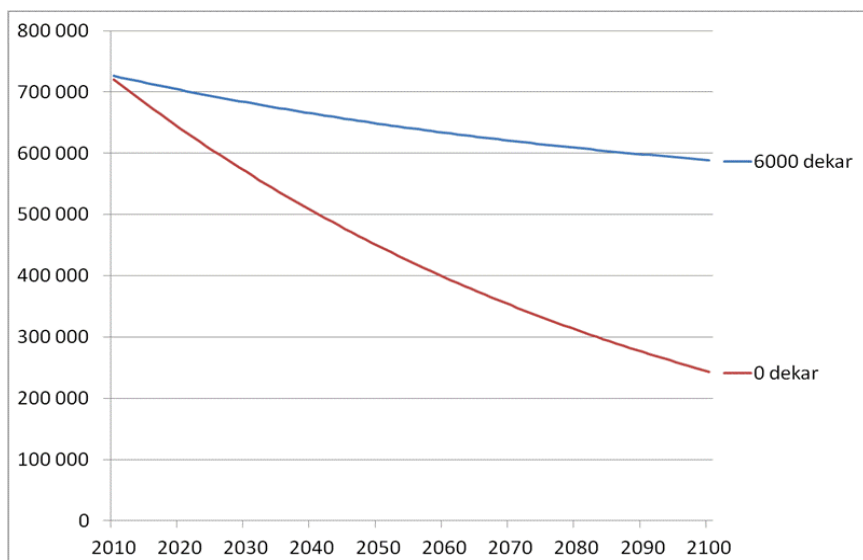
Dersom nydyrkingen av myr stanser, vil arealet av dyrket myr reduseres som vist i figur 8 (nederste kurve) som følge av at myra omdannes til mineraljord eller blir tatt ut av drift. Dersom det fortsatt blir nydyrket myr, vil nedgangen i arealet bli redusert. De siste årene har det vært nydyrket ca 15 000 dekar per år. Det er ikke kjent hvor stor andel av dette arealet som er myr, men dersom denne andelen tilsvarer andelen myr og torvmark av totalarealet av dyrkbar jord, kan nydyrking av myr anslås til ca 6000 dekar. Estimert framtidig areal dyrket myr som følge av en årlig nydyrking på 6000 dekar er vist i figur 8, øverste kurve. Beregnet effekt av en full stans i nydyrking av myr kan beregnes ut fra de to kurvene i figur 8 og er vist i tabell 9. I forhold til dagens utslipp fra jordbruket vil reduksjonen ventes å være ca 4 prosent i 2030 og ca 7 prosent i 2050.

Tabell 9. Estimert framtidig effekt av full stans i nydyrking av myr.

	2030	2050
Redusert areal dyrket myr, dekar	110 000	250 000
Reduserte klimagassutslipp, tonn CO <sub>2</sub> -ekv.	200 000	440 000
Utslippsreduksjon i forhold til dagens utslipp	4 %	7 %

Alternativet til myr som dyrkingsjord er som regel skog. Konsekvensen av å dyrke skog er tapt karbonbinding i skogbiomasse og høyere dyrkingskostnader. Gjennomsnittlig årlig tilvekst i dyrkbar skog i Norge kan beregnes til 0,3 m<sup>3</sup> stammetrevirke som tilsvarer en total karbonbinding på ca 0,5 tonn CO<sub>2</sub>. Utslipet av CO<sub>2</sub> og lystgass fra dyrket myr antas å være 2,4 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, som er ca 1,9 tonn større enn karbonbindingen i skog. Merkostnadene av å dyrke skog sammenlignet med myr kan antas å være i størrelsesorden 6000 kr per dekar som tilsvarer en årlig kostnad på 300 kr ved 5 prosent rente. Kostnaden per tonn CO<sub>2</sub> av å dyrke skog i stedet for myr kan på dette grunnlaget beregnes til ca 160 kr, som er langt lavere enn de aller fleste klimatiltakene som kan gjennomføres i Norge.

Å unngå nydyrking av myr har et betydelig potensial for utslippsreduksjon og er trolig det mest kostnadseffektive klimatiltaket som kan gjennomføres i landbruket.



Figur 8. Estimert framtidig areal med dyrket myr i Norge i dekar, ved stans av dyrking av myr (nederste kurve) og ved årlig dyrking 6000 dekar (øverste kurve)

### 5.2.4 Restaurering av myr

Restaurering av myr innebærer tilbakeføring av dyrket myr eller torvtak til naturtilstand gjennom heving av grunnvannet og reetablering av myrvegetasjon. Det internasjonale klimapanelet har foreslått restaurering av dyrket myr som et av de tiltakene med størst potensial for utslippsreduksjon fra jordbrukssektoren. Effektene av høyere grunnvannstand antas å føre til gjenoppbygging av torva og binding av karbon og lavere utslipp av lystgass på grunn av reduksjon til nitrogengass (N<sub>2</sub>), men også til noe høyere utslipp av metan.

Restaurering av myr er først og fremst aktuelt for myr som er tatt ut av drift som følge av grunn torv over fjell eller steinrik undergrunn, eller for lite fall for drenevang på grunn av lav beliggenhet i forhold til elv eller innsjø. Så lenge dreneringssystemet er i funksjon, vil klimagassutslippene fra myr fortsette selv om jordbruksdriften er opphørt. Restaurering kan også være et aktuelt tiltak for dyrket myr som krever omfattende og kostbar drenering dersom dyrkingen skal fortsett.

En har liten erfaring med restaurering av myr i Norge. De fleste utenlandske erfaringene er fra tidligere torvtak, hvor restaurering kan være relativt kostbar som følge av behov for planering av overflata, blokkering av kanaler og etablering av vegetasjon gjennom spredning av sphagnum-torv. På tidligere dyrket myr kan restaureringen være langt billigere, da at en antar at det er tilstrekkelig å tette igjen kanaler og at vegetasjonen endres relativt raskt som følge av høyere grunnvannstand.

Det pågår nå et prosjekt på Smøla med restaurering av myr som vil framskaffe mer kunnskap om effektene på klimagassutslipp, men det er nødvendig med flere års målinger for å få sikrere resultater av klimagasseffekter. Tilsvarende prosjekter fra andre land har vist at restaurering av myr kan gi betydelige klimagasseffekter. I Finland har Maljanen et al. (2013) påviste netto CO<sub>2</sub>-binding når grunnvannet sto like ved overflata, og konkluderte med at høye utslipp av klimagasser kan unngås når grunnvannsnivået er grunnere enn 30 cm under overflata. I en undersøkelse i Nederland ble det målt en gjennomsnittlig netto årlig CO<sub>2</sub> binding på 1,4 kg m<sup>-2</sup> og et metanutslipp på 19,2 g m<sup>-2</sup> (0,5 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) fra ei myr hvor dreneringen hadde vært gjentatt siden 1998 (Schrier-Uijl et al. 2013). I undersøkelse i Danmark (Herbst et al. 2013) ble det påvist en årlig netto binding på mellom 195 og 983 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> fra en dyrket myr som var restaurert 8-10 år tidligere. I den samme undersøkelsen varierte de årlige metanutslippene mellom 11 og 17 g m<sup>-2</sup>, og målt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter kunne myra være både netto kilde og sluk for klimagasser.

Skogreising kan også være en strategi for å redusere klimagassutslipp fra dyrket myr, som et alternativ til restaurering. Sammenlignet med restaurering antas skogreising å føre til fortsatt nedbryting av torva og CO<sub>2</sub>-utslipp, men lavere metanutslipp. CO<sub>2</sub>-utslippene fra torva kan imidlertid antas å bli kompensert av karbonbindingen i biomassen i skog. Hva som er mest effektivt, restaurering eller skogreising, vil avhenge av lokale forhold, spesielt skogens produksjonsevne. I områder med god muligheter for skogproduksjon er det grunn til å tro at betydelige arealer av tidligere dyrket myr allerede er blitt skog gjennom naturlig gjengroing.

### 5.2.5 Drenering

En betydelig del av den dyrkede jorda i Norge antas å ha behov for ny drenering. De primære effektene av drenering er mer luft i jorda, bedre struktur og bæreevne for maskiner. Dette vil resultere i bedre muligheter for rotutvikling, større avlinger og bedre utnyttelse av plantenæringsstoffer i jorda. Større avling innebærer at klimagassutslippene per produsert enhet mat blir mindre.

Bedre drenering ventes også å føre til redusert dannelse av lystgass som følge av raskere opptørking av jorda. I spesielle nedbørrike perioder har lystgassutslippene vist seg å være lavere på svært dårlig drenert jord enn på bedre drenert jord. Årsaken er denitrifikasjonen resulterer i N<sub>2</sub>-gass i svært anaerobe miljøer. Under slike forhold er både planteveksten og bæreevnen så dårlig at drenering uansett er å anbefale.

### 5.2.6 Produksjon av biogass fra husdyrgjødsel

Ved nedbryting av organisk materiale under anaerobe forhold dannes det biogass som består av ca 60-65 prosent metan og 35-40 prosent CO<sub>2</sub> på volumbasis. Metan er en klimagass, men kan også brukes som biodrivstoff i stedet for fossilt drivstoff. Produksjon av biogass fra husdyrgjødsel kan føre til både

reduserte utslipp av klimagasser fra gjødsellager og redusert forbruk av fossilt karbon. Utslipp av klimagasser fra lager omfatter metan, lystgass og ammoniakk hvor det forutsettes at en prosent av nitrogenet i ammoniakk omdannes til lystgass. Beregnet utslipp av klimagasser fra husdyrgjødsellager og potensial for utslippsreduksjon som følge av biogassproduksjon per tonn organisk tørrstoff i husdyrgjødsel for like husdyrslag er vist i tabell 10. Utslipp fra beite, som forutsettes å utgjøre 18 prosent av gjødsel fra melkekyr, 31 prosent av gjødsel fra ammekyr og annet storfe og 44 prosent av gjødsel fra avlssau, inngår ikke i utslipp fra lager. Det kan antas at utslippene fra husdyrgjødsel kan reduseres med ca 90 prosent som følge av biogassproduksjon. Bioresten etter produksjon av biogass forutsettes bruk som biogjødsel som kan antas å gi samme utslipp av utslipp av lystgass fra jord og ammoniakk fra spredning som vanlig husdyrgjødsel. Utslippene fra disse kildene antas derfor ikke å bli redusert som følge av biogassproduksjon.

Tabell 10. Beregnet utslippsreduksjon og biogassproduksjon som følge av biogassproduksjon av husdyrgjødsel.

	Utslippsred. fra lager/spredning, kg CO <sub>2</sub> -ekv./tonn organisk TS				B <sub>0</sub> -faktor m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonn TS	Biogasspotensial/tonn organisk TS		Total effekt, kg CO <sub>2</sub> /kg TS
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	Sum		Kg CH <sub>4</sub>	Subst. eff. kg CO <sub>2</sub> -ekv.	
Melkeku	188	71	95	355	0,23	88	263	617
Voksen ammeku	101	47	74	222	0,17	54	163	385
Annet storfe	101	67	108	276	0,17	54	163	439
Sau > 1 år	14	224	104	342	0,17	44	132	474
Avlssvin	340	187	209	736	0,30	139	417	1 153
Slaktesvin	340	128	128	596	0,30	139	417	1 013
Kylling	139	343	55	537	0,32	148	445	982
Verpehøne	139	297	67	503	0,32	148	445	948

Potensialet for biogassproduksjon per tonn organisk tørrstoff i husdyrgjødsel kan beregnes på grunnlag av mengde organisk tørrstoff i husdyrgjødsel (tabell 4), m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> per tonn tørrstoff i husdyrgjødsel (B<sub>0</sub>-faktor) og tettheten av metan som er 0,662 kg/m<sup>3</sup> (se tabell 10). I beregningen er forutsatt et tap på 30 prosent som følge av transport og energiforbruk under produksjonen av biogass.

Effekten av redusert bruk av fossilt karbon (substitusjonseffekten) kan beregnes som CO<sub>2</sub>-utslipp fra alternativ fossil energikilde. Energiinnholdet i ulike brenseltyper er oppgitt til 50,2 MJ/kg for metan, 43,9 MJ for bensin og 43,1 MJ for dieselolje

(<http://www.energifakta.no/documents/Fakta/Omregning/Brenslar.htm>). En dieselmotor har imidlertid høyere virkingsgrad enn en motor som kan gå på biogass. På grunnlag av en britisk rapport om biogass som drivstoff (NSCA 2006,

[http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/UK/nsca\\_biogas\\_as\\_a\\_road\\_transport\\_084926300\\_101\\_1\\_24042007.pdf](http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/UK/nsca_biogas_as_a_road_transport_084926300_101_1_24042007.pdf)) kan det anslås at 1 kg biogass kan erstatte 0,93 kg dieselolje. 1 kg dieselolje antas å gi et utslipp på 3,2 kg CO<sub>2</sub>, og 1 kg metan vil dermed kunne erstatte et utslipp på 3,0 kg CO<sub>2</sub> fra dieselolje.

Beregnet potensial for biogassproduksjon og utslippsreduksjon som følge av biogass fra husdyrgjødsel i Norge er vist i tabell 11. Dersom det blir produsert biogass av all husdyrgjødsel utenom beite vil det omfatte ca 27 500 bruk og gi ca 71 000 tonn metan som kan gi en substitusjonseffekt på ca 214 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Utslippsreduksjonen fra gjødsellager er beregnet til ca 321 000 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og den totale klimagasseffekten er beregnet til ca 535 000 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Tabell 11 viser også at bruk med mer enn 45 tonn organisk tørrstoff husdyrgjødsel utgjør 6 165 bruk og bidrar med 60 prosent av all husdyrgjødsel, mens bruk med mer enn 92 tonn tørrstoff i husdyrgjødsel utgjør 1 932 bruk og bidrar med 30 prosent av all husdyrgjødsel.

Som det går fram av tabell 10 er biogasspotensial og utslippsreduksjon per mengde gjødsel omtrent dobbelt så stort for svin og fjørfe som for storfe og sau. Gårdsbruk med store mengder husdyrgjødsel har generelt større andel svin- og fjørfe gjødsel enn bruk med mindre mengder gjødsel. Dette er årsaken til at



en kan oppnå 65 prosent av den totale klimagasseffekten ved å lage biogass av 60 prosent av gjødselmengden, og 35 prosent av effekten av 30 prosent av gjødsel (kolonnen lengst til høyre i tabell 11).

Tabell 11. Potensial for biogassproduksjon og utslippsreduksjon som følge av biogass fra husdyrgjødsel.

Tonn org. TS i husdyrgj.	Andel av husdyrgjødsel	Antall bruk	1000 tonn					Utslipps- red. lager, CO <sub>2</sub> -ekv.	Sum CO <sub>2</sub> -effekt	Andel av total CO <sub>2</sub> -effekt
			TS husdyrgjødsel		Biogasspotensial		Subst. eff. CO <sub>2</sub> -ekv.			
			Totalt	Eksl. beite	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> -ekv.				
>0	100 %	27 568	882	682	71	214	321	535	100 %	
>45	60 %	6165	529	432	48	144	203	347	65 %	
>92	30 %	1 932	265	223	26	78	106	184	35 %	

## 5.3 Kortsiktige tiltak i planteproduksjon

### 5.3.1 Balansert N-gjødsling

Nitrogengjødsel er en viktig faktor for god avling, men er også en betydelig kilde til utslipp av lystgass fra jord og avrenning. Sterk nitrogengjødsling indikerer intensiv drift med høy avling, men gjødsling utover plantenes behov fører til høyt utslipp av lystgass. Svak nitrogengjødsling innebærer lavere utslipp av lystgass, men også lavere avling, større arealbehov og redusert karbonbinding i skog. Optimal nitrogengjødsling er det nivået som gir minst miljøbelastning totalt per produsert enhet mat.

Forbruket av nitrogengjødsel er blitt redusert med 15 prosent de siste 20 årene, målt som omsatt mengde. Gjennom bedre gjødslingsplanlegging, presisjonsgjødsling og bedre utnyttning av husdyrgjødsel kan en anta at forbruket kan reduseres ytterligere. På landsbasis kan en anta at forbruket kan reduseres med ca 10 prosent uten av avlingene går ned. Dette vil gi en reduksjon i beregnet utslipp av lystgass fra jord på ca 50 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i året, som utgjør ca 0,8 prosent av dagens utslipp fra jordbruket. Redusert N-gjødsling må også antas å føre til redusert utslipp av lystgass fra avrenning. Den totale effekten av 10 prosent redusert kan anslås til mellom 50 000 og 100 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som tilsvarer mellom 1 og 1,5 prosent av jordbrukets utslipp.

En reduksjon av nitrogengjødslingen til under det optimale nivået må antas å føre til avlingsnedgang. For å opprettholde produksjonen må arealet øke ved nydyrking av skog eller myr. Konsekvensen blir enten redusert CO<sub>2</sub>-binding i skog eller økte utslipp fra dyrket myr som antas å være henholdsvis 0,5 og 2,4 tonn CO<sub>2</sub> per dekar. Effekten per dekar kan illustreres ved et eksempel, hvor en forutsetter at 5 prosent redusert gjødsling vil føre til prosent avlingsnedgang, som må kompenseres med nydyrking av 2 prosent større areal:

Normgjødsling	10 kg N/dekar
2 % utvidet areal for å kompensere avlingsnedgangen	0,02 dekar
5 % redusert gjødsling	0,5 kg N
Forbrukt gjødsel på utvidet areal (9,5 kgN/dekar*0,02 dekar)	0,2 kg N
Netto redusert gjødsling	0,3 kg N
Redusert N <sub>2</sub> O-utslipp som følge av redusert gjødsling (0,3 kg N*0,0125 kg N <sub>2</sub> O-N/kg N*44/28*310 kg CO <sub>2</sub> ekv./kg N <sub>2</sub> O)	2 kg CO <sub>2</sub> -ekv.
Redusert CO <sub>2</sub> -binding i skog (500 kg CO <sub>2</sub> /dekar *0,02 dekar)	10 kg CO <sub>2</sub>
Økt utslipp fra nydyrket myr (2400 kg CO <sub>2</sub> -ekv./dekar *0,02 dekar)	48 kg CO <sub>2</sub> -ekv.

I eksemplet vil en reduksjon i gjødsling på 5 prosent under norm føre til redusert lystgass-utslipp på ca 2 kg CO<sub>2</sub>-ekv./dekar, som er langt mindre enn den reduserte CO<sub>2</sub>-bindingen i skog (10 kg CO<sub>2</sub>) og det økte utslippet som følge av nydyrking av myr (48 kg CO<sub>2</sub>-ekv.).

### 5.3.2 Spredemetoder for husdyrgjødsel

Det tapes betydelige mengder plantenyttbart nitrogen i form av ammoniakk under spredning av husdyrgjødsel. Andelen som tapes er større på eng enn på åker og varierer med landsdel og årstid som vist i tabell 12.

Tabell 12. Tapskoeffisienter for ammoniakk etter spredning av husdyrgjødsel (Sandmo 2012).

	Åker		Eng	
	Vår	Høst	Vår	Høst
Sør- og Østlandet	32,9 %	28,9 %	44,4 %	33,3 %
Hedmark og Oppland	35,3 %	28,9 %	28,9 %	33,2 %
Rogaland	23,2 %	21,3 %	48,2 %	34,4 %
Vestlandet	4,0 %	10,0 %	40,2 %	28,9 %
Trøndelag	28,4 %	39,2 %	36,9 %	34,4 %
Nord-Norge	5,1 %	11,0 %	47,6 %	33,2 %

Det totale tapet av NH<sub>3</sub>-N fra spredning av husdyrgjødsel kan estimeres til ca 14 000 tonn og antas å føre til et utslipp av lystgass på ca 66 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som tilsvarer ca 1,1 prosent av landbrukets klimagassutslipp på landsbasis. I noen kommuner med stor husdyrtetthet utgjør utslippet fra spredning av husdyrgjødsel mer enn en prosent av landbrukets totalutslipp.

Tap av ammoniakk innebærer også et tap av plantetilgjengelige plantenæringsstoffer som må kompenseres med kjøp av mineralgjødsel. Med en pris på 10 kr per kg per nitrogen i gjødsel representerer dette en kostnad på ca kr 80 millioner.

Den vanligste spredemetoden for husdyrgjødsel er såkalt breispredning som antas å utgjøre ca 90 prosent av spredningen i dag. Bedre spredemetoder for husdyrgjødsel kan bidra til å redusere tapet av ammoniakk og dermed redusert utslipp av lystgass fra nedfall av ammoniakk. Tabell 13 viser redusert tap av ammoniakk ved alternative spredemetoder for husdyrgjødsel. Stripespredning innebærer at gjødsel legges med 5-8 cm brede striper med 20-40 cm avstand mellom stripene. Ammoniakk-tapet kan reduseres med ca 20 prosent sammenlignet med breispredning på av mindre eksponert overflate mot luft, og avtar med økende vanninnhold på grunn av raskere infiltrasjon i jorda. Ved nedfelling plasseres gjødsel ned i jorda ved ulike metoder. Ammoniakk-tapet reduseres på grunn av liten eller ingen eksponering mot luft. Ved dyp nedfelling kan tapet reduseres opp til 90 prosent av tapet ved breispredning. Både stripespredning og nedfelling forutsetter god arrondering og liten helling. Nedfelling forutsetter også lite stein i jorda. Disse to metodene kan antas å være aktuelle for om lag halvparten av arealet på gårdsbruk med husdyr i Norge. Dersom 25 prosent av husdyrgjødsel spres ved stripespredning og 25 prosent ved nedfelling, vil utslippsreduksjonen være omtrent 12 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som tilsvarer ca 0,2 prosent av landbrukets totale utslipp.

Investeringskostnadene til stripespredning og nedfelling antas å være henholdsvis ca 320 000 og 845 000 kr per enhet, som er vesentlig mer enn kostnadene til utstyr til breispredning.

Tabell 13. Redusert NH<sub>3</sub>-tap og N<sub>2</sub>O-utslipp ved ulike spredemetoder for husdyrgjødsel.

	Redusert NH <sub>3</sub> -tap i forhold til breispredning	Maks. potensial for utslippsred.	
		Tonn CO <sub>2</sub> -ekv.	Av landbrukets utslipp
Stripespreder	20 %	6 292	0,10 %
Vanntilsetning + stripespredning	40 %	12 585	0,20 %
Stripespreder og vanntilsetning	60 %	18 877	0,31 %
Nedfelling med DGI*	60 %	18 877	0,31 %
Nedfelling med skivenedfeller	60 %	18 877	0,31 %
Dyp nedfelling	90 %	28 315	0,46 %
Svartjordsnedfeller	60 %	18 877	0,31 %
Nedharving i løpet av tre timer	40 %	12 585	0,20 %
Nedpløying i løpet av tre timer	60 %	18 877	0,31 %

\*DGI=direct ground injection=direkte innsprøyting i jord

### 5.3.3 Kalking

Dannelse av lystgass i jord favoriseres i sur jord. Kalking vil derfor antas å føre til redusert utslipp av lystgass, i tillegg til andre positive effekter på jord og avlingsnivå. Som rent klimatiltak er kalking med vanlig jordbrukskalk neppe noen god strategi. Kalksteinmel ( $\text{CaCO}_3$ ) inneholder 44 prosent  $\text{CO}_2$  som frigjøres når kalken løses opp i jorda. En normal vedlikeholdskalking på 50-120 kg kalksteinmel per dekar år vil føre til et utslipp på 20 -50 kg  $\text{CO}_2$ , som er nesten like stort som det antatt utslippet av lystgass fra mineralgjødsel i jord, uttrykt i  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter.

Andre typer kalkingsmidler, f. eks. aske fra biobrensel, biokull eller steinmel av ikke karbonholdige mineraler, kan gi pH-økning uten  $\text{CO}_2$ -utslipp, med det flere usikkerheter med hensyn til tilgang, transport og kostnader ved like midler.

### 5.3.4 Alternativ bruk av restavlinger

Restavlinger er kilde til utslipp av lystgass og er beregnet til å bidra med ca 1,3 prosent av landbrukets totale klimagassutslipp. For enkelte vekster kan restavlinger utgjøre et viktig råstoff for biogassproduksjon. Innsamling av restavlinger og produksjon av biogass vil både redusere lystgassutslippene og produsere  $\text{CO}_2$ -nøytral energi som kan erstatte fossilt drivstoff. De vekstene som antas å være aktuelle for biogassproduksjon er først og fremst poteter og grønnsaker. Lystgassutslippet fra restavlinger beregnes på grunnlag av en koeffisient på 1,25 prosent  $\text{N}_2\text{O-N}$  av total N. Koeffisienter for beregning av nitrogen i restavlinger av poteter og grønnsaker er vist i tabell 14.

Tabell 14. Areal, avling, beregnet restavling og innhold i restavling av potet og grønnsaker.

	Areal	Avling, kg/dekar	Avling, tonn	Restavling Tonn	Innhold i restavling, tonn	
					Tørrestoff	Nitrogen
Potet	126 531	2 473	312 911	125 164	25 033	275
Grønnsaker	62 592	2 359	147 645	75 548	15 110	166
Sum	189 123		460 556	200 712	40 142	442

Potet og grønnsaker utgjorde til sammen et areal på ca 190 000 dekar i 2012 (tabell 14). Avling per dekar er beregnet som gjennomsnittsavling for potet og 20 grønnsakslag for årene 2008-2012 på grunnlag av SSBs statistikkbank. Total mengde restavling av potet og grønnsaker er beregnet til ca 243 tusen tonn totalt. Tørrestoffinnholdet og N-innholdet er beregnet til henholdsvis ca 48 600 og 393 tonn.

Lystgassutslippet fra restavlinger av poteter og grønnsaker kan beregnes til ca 8,7 tonn  $\text{N}_2\text{O}$  som tilsvarer ca 2 400 tonn  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter. Forutsatt en høstbar andel på 0,9, kan det totale potensialet for utslippsreduksjon som følge av innsamling av restavlinger fra potet og grønnsaker beregnes til ca 7,7 tonn  $\text{N}_2\text{O}$  og ca 2150 tonn  $\text{CO}_2$ -ekvivalenter (se tabell 15).

Tabell 15. Potensial for klimagasseffekter av biogassproduksjon av restavlinger.

	Utslippsred. tonn		Biogasspotensial		Sum effekt		
	$\text{N}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$ -ekv	Tonn $\text{CH}_4$	Subst. eff. tonn $\text{CO}_2$ -ekv.	Tonn $\text{CO}_2$ -ekv	% av utslipp fra restavlinger	% av utslipp fra jordbruket
Potet	4,9	1 509	4 176	12 528	14 037	19	0,22
Grønnsaker	2,9	912	2 521	7 562	8 474	12	0,13
Totalt	7,8	2 421	6 697	20 090	22 512	31	0,36

Biogasspotensialet av restavlinger av potet og grønnsaker antas å være 400  $\text{m}^3$  metan per tonn tørrestoff. Det er forutsatt et tap på 30 prosent som følge av transport og energiforbruk under produksjon av biogass, tilsvarende som for husdyrgjødsel. Det totale potensialet for biogassproduksjon og utslippsreduksjon av

avlingsrester er vist i tabell 15. Substitusjonseffekten av biogass er ca 8 ganger større enn effekten av reduserte lystgassutslipp, forutsatt at biogassen blir oppgradert til drivstoff. Det totale potensialet, målt som sum utslippsreduksjon og substitusjonseffekt, er beregnet til ca 22 500 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, som utgjør ca 31 prosent av utslippene fra restavlinger og ca 0,36 prosent av landbrukets totale klimagassutslipp.

Produksjon av biogass av alle avlingsrestene av poteter, grønnsaker og belgvekster er ikke realistisk, men et ambisjonsnivå på 50 prosent bør være mulig. Det kan for eksempel oppnås ved å samle inn avlingsrestene fra de 207 største produsentene av potet og grønnsaker i landet, eller alle avlingsrestene i de 12 kommunene som har størst produksjon av potet og grønnsaker.

Restavlinger av poteter og grønnsaker har et relativt høyt biogasspotensial og kan sammenlignes med vegetabilsk matavfall. De egner seg godt til produksjon av biogass i kombinasjon med husdyrgjødsel. I de områder hvor det etableres biogassanlegg for husdyrgjødsel eller matavfall må biogassproduksjon av restavlinger antas å være et kostnadseffektivt tiltak for reduksjon av klimagasser.

### 5.3.5 Dyrking av høstkorn

Dyrking av høstkorn gir generelt større avling enn vårkorn. Klimagassutslippene er omtrent de samme per arealenheter, men på grunn av høyere avling kan den samme mengden korn produseres på et mindre areal ved høstkorndyrking, slik at klimagassutslippene per kg korn blir mindre.

Tabell 16. Avling av vårhvete og høsthvete

År	Hveteareal, dekar		Avling kg per dekar		
	Hvete totalt	Høsthvete	Vårhvete	Høsthvete	Forskjell
2000	305 262	245 121	395	515	120
2001	398 409	97 812	430	320	-110
2002	378 250	127 749	373	473	100
2003	338 756	287 690	409	464	55
2004	390 256	305 480	414	530	115
2005	405 900	246 471	460	537	78
2006	424 230	271 568	366	487	121
2007	391 889	346 379	379	492	113
2008	415 434	335 971	407	582	175
2009	405 605	222 201	322	339	17
2010	390 446	174 253	423	524	101
2011	447 931	124 366	366	367	1
Alle			394	487	93
Alle unntatt 2001			390	494	104

Tabell 16 viser arealer og avling per dekar av høsthvete og vårhvete for årene 2000-2011, som gjennomsnitt for fylkene Østfold, Akershus, Buskerud, Vestfold og Telemark. Gjennomsnittlig vårhveteavling er beregnet på grunnlag av søknad om produksjonstilskudd og registrerte kornavlinger som sum kornavling dividert med sum kornareal for alle brukene hvor vårhvete utgjør 100 % av hvetearealet. Avling av høsthvete er beregnet på tilsvarende måte for alle bruk hvor høsthvete utgjør 100 % av hvetearealet.

Med unntak av 2001 og 2011 var avlingene av høsthvete betydelig høyere enn av vårhvete. Vinteren 2000/2001 ble mesteparten av høsthveten ødelagt på grunn av store nedbørsmengder på førjulsvinteren etterfulgt av en lang og sterk kuldeperiode. Avlingene i 2011 ble trolig redusert på grunn av mye nedbør høsten 2010. For de andre årene varierer avlingsforskjellen mellom høst- og vårhvete fra 17 kg i 2009 til 175 kg i 2008. For alle årene er gjennomsnittlige avlingsforskjellen 93 kg per dekar og for alle årene unntatt 2001 er forskjellen 104 kg per dekar.

Klimagassutslipp fra vårhvete og høsthvete er vist i tabell 17. Det er forutsatt en avling som tilsvarer gjennomsnittet for årene 2000-2011 og N-gjødsling etter norm, basert på oppnådd gjennomsnittsavling. Det er forutsatt et drivstofforbruk på 30 liter diesel per dekar med et utslipp på 2,72 kg CO<sub>2</sub> per liter (3,2 kg CO<sub>2</sub> per kg). Det er videre forutsatt like stort C-tap fra åkerdyrking (30 kg C/dekar) og N-avrenning (4 kg N/dekar) fra vår- og høstkorndyrking. I beregningen er det tatt hensyn til at korndyrking på Østlandet skjer på bekostning av karbonbinding i skog. I de fylkene hvor høstkorn er aktuelt er den gjennomsnittlige årlige tilveksten i skog som kan oppdyrkes 0,6 m<sup>3</sup> per dekar, som tilsvarer en årlig karbonbinding på ca 1 tonn CO<sub>2</sub> per dekar.

Som tabell 17 viser er utslippene per dekar omtrent like stor ved vår- og høstkorndyrking, men på grunn av høyere avling er utslippene per kg korn ca 19 prosent lavere fra høstkorn. En økning av arealet med høstkorn på bekostning av vårkorn på 100 000 dekar vil gi en forventet avlingsøkning på 9 300 tonn korn. For å få samme avlingsøkning med vårkorn ville det vært behov for et areal på 23 600 dekar som ville gitt et klimagassutslipp på ca 30 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter når tapt C-binding i skog er medregnet.

Tabell 17. Beregnet klimagassutslipp fra vår- og høstkorn.

	Vårhvete	Høsthvete
<b>Forutsetninger</b>		
Avling, kg korn per dekar	394	487
N-gjødsling, kg N per dekar	9,4	10,9
N-avrenning, kg N per dekar	4	4
Drivstoff, liter diesel per dekar	30	30
C-tap fra jord, kg C per dekar	30	30
<b>Utslipp av klimagasser, kg CO<sub>2</sub>-ekv. per dekar</b>		
N <sub>2</sub> O-mineralgjødsel	57	66
N <sub>2</sub> O-avrenning	31	31
Drivstoff	82	82
CO <sub>2</sub> -tap fra jord	110	110
Tapt CO <sub>2</sub> -binding skog	1000	1000
Sum utslipp per dekar	1280	1289
<b>kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg korn</b>	<b>3,25</b>	<b>2,65</b>

### 5.3.6 Bruk av energi

Landbruket kan bidra til reduserte klimagassutslipp gjennom:

- Økt produksjon av bioenergi
- Redusert totalforbruk av energi
- Økt andel fornybar energi

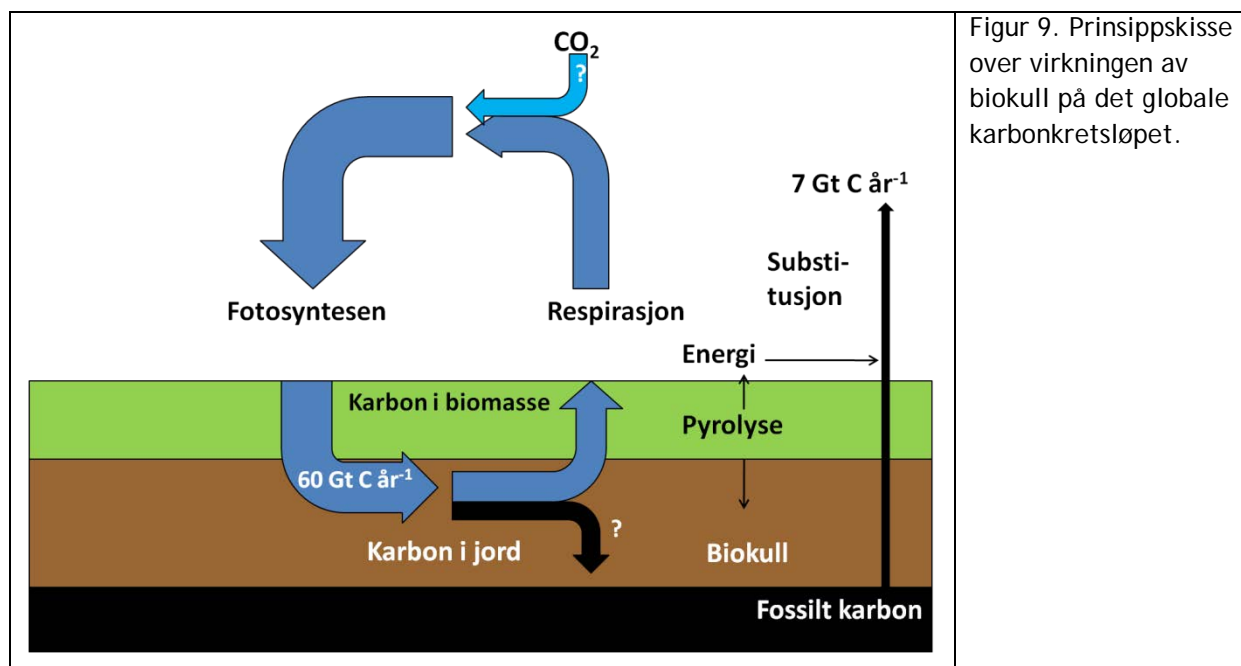
Produksjon av bioenergi i landbruket omfatter særlig husdyrgjødsel og restavlinger som råstoff til biogassproduksjon og halm, trevirke og skogsavfall til brensel og evt. biokull og 2. generasjons biodrivstoff. Landbruket har potensial til å produsere langt mer energi enn det som det forbruker. En generell reduksjon i energiforbruket i landbruket vil øke det netto energioverskuddet som kan bidra til lavere forbruk av fossil energi i andre sektorer.

Forbruk av fossil energi i landbruket omfatter fyringsolje til oppvarming og drivstoff til maskiner. Landbruket har store muligheter til å erstatte fossil olje til oppvarming med egen produsert bioenergi eller elektrisitet. Forbruket av drivstoff kan reduseres gjennom optimalisering av kjøremønstre og transport.

Bruk av biodrivstoff kan også bidra til å redusere landbrukets klimagassutslipp, men det vil ikke føre til reduserte utslipp total. Biodrivstoff vil i uoverskuelig framtid bare dekke en liten del av det totale drivstoffbehovet. Økt bruk av biodrivstoff i landbruket vil derfor skje på bekostning av bruk i andre sektorer. Bruk av biogass som erstatning for diesel vil trolig forutsette kostnader til oppgradering eller nye typer motorer i kjøretøyer. De totale kostnadene må antas å ble lavere dersom biogass brukes på kjøretøyer med stort drivstofforbruk, som f. eks. busser. I tettbebygde strøk vil bruk av biogass i stedet for diesel gi en ekstra miljøeffekt i form av bedre luftkvalitet.

### 5.3.7 Biokull

Biokull er forkullede rester av biomasse, f. eks. halm, trevirke og skogsavfall, og har høyt karboninnhold. Karbonet i biokull er svært motstandsdyktig mot nedbryting og kan lagres i jord i mer enn tusen år. Ved produksjon av biokull vil karbon som er bundet gjennom fotosyntesen tas ut av det naturlige karbonkretsløpet.



Biokull kan dannes ved naturlige skogbranner eller ved pyrolyse, som innebærer oppvarming til 500-600 grader ved lav oksygentilgang (Lehmann & Joseph, 2009). Ved pyrolyse dannes det tre hovedtyper av produkter (Lehman (2007):

- Biokull som kan inneholde opp til ca 50 prosent av karbonet i opprinnelig biomasse.
- Olje som kan inneholde ca 30 prosent av karbonet i opprinnelig biomasse. En del av oljen bør kunne foredles til biodrivstoff og erstatte fossilt drivstoff, mens resten kan anvendes til brensel eller andre formål.
- Gasser som betegnes som syngasser og består av flyktige, ikke kondenserbare gasser (f. eks. CO<sub>2</sub>, CO og CH<sub>4</sub>) og som kan utgjøre ca 20 prosent av karbonet i opprinnelig biomasse. Syngassene forbrennes som regel direkte og overskuddsvarmen brukes for å opprettholde temperaturen og til å drive pyrolyseprosessen. Dersom overskuddsvarmen gjenvinnes i en varmesentral, kan den erstatte annen energi, f. eks. bioenergi.

Produksjon av biokull kan foregå ved ulike teknologier, bl. a. stasjonære kullmiler som har vært i drift i lang tid til produksjon av grillkull, mobile pyrolyseanlegg som har vært brukt i forsøksanlegg i Sverige og mikrobølgeanlegg er bl. a. bruk ved NMBU og en pilotfabrikk for biokull og olje i Notodden.

Bruk av biokull i jordbruksjord har fått stor internasjonal interesse de senere år. På grunn av den høye stabiliteten kan produksjon av biokull betraktes som "karbon-negativ", siden den bryter syklusen hvor

nedbryting av plantemateriale fører til utslipp av CO<sub>2</sub> som er bundet gjennom plantevekst. Resultatet blir et forbruk av atmosfærisk CO<sub>2</sub> (se figur 9). Det har vært antydning at produksjon av biokull kan bidra til å fjerne opp til 4 Gt atmosfærisk karbon per år, som er omtrent like mye som utslippet fra forbrenning av fossilt karbon (Mathews, 2008).

Utslippseffekten av biokull kan beregnes som summen av lagringseffekten av karbon i biokull (ca 50 % av karbon i opprinnelig biomasse) og substitusjonseffekten av energien i oljen. Den delen av oljen som brukes som drivstoff kan antas å erstatte tilsvarende mengde fossil olje. Klimaeffekten av den oljen som ikke brukes til drivstoff antas å være noe mindre, siden den ikke fullt ut kan antas å erstatte fossilt karbon). Den samlede utslippseffekten kan antas å være mellom 60 og 70 % av karboninnholdet i opprinnelig biomasse.

Karbonlagringseffekten av biokull oppnås på det tidspunktet hvor biomassen blir omdannet til biokull, og er i prinsippet den samme enten biokullet brukes i jord eller lagres på et deponi. En forutsetning for å tilføre biokull til jord må være at den har positiv effekt på jordkvalitet og fører til økte avlinger eller andre positive miljøeffekter. Mulige effekter av biokull i jord er:

- Forbedret vannlagringsevne og evne til å binde næringsstoffer i grovkornet sandjord, som kan føre til større avlinger om mindre utvasking av næringsstoffer fra jorda.
- Økt pH og mindre behov for kalking. Dette vil også føre til redusert utslipp av CO<sub>2</sub> fra alternative kalkingsmidler (kalksteinmel og dolomittkalk)
- Redusert utslipp av lystgass fra jord, som kan skyldes pH-effekten, immobilisering av mineralisk nitrogen eller direkte absorpsjon av lystgass i jorda.

Det er satt i gang flere forskningsprosjekter i Norge om produksjon og bruk av biokull. Bioforsk er engasjert i flere av dem og vil studere både lagringstiden og effekten på jordkvalitet.

De mest aktuelle råstoffene til produksjon av biokull i Norge antas å være halm, kornavrens, ved og skogsavfall. Nedmolding av halm i jorda fører til at halmen brytes raskt ned og gir marginal effekt på karbonbindingen sammenlignet med biokull. Et alternativ til produksjon av biokull kan være direkte forbrenning, som gir større energiutbytte, men bare som brensel til oppvarming.

Det produseres i dag i underkant av en million tonn halm (etter svinn), med et karboninnhold på ca 400 000 tonn. Produksjon av biokull av denne halmmengden kan antas å gi en total utslippsreduksjon på ca 850 000 tonn CO<sub>2</sub> i form av karbonlagring og erstatning av fossilt karbon. Det forutsettes av halvparten av karbonet fra halmen lagres i jord, at en tredel av karbonet omdannes til bioolje og at en tredel av biooljen erstatter fossilt karbon. Andre klimaeffekter er ikke medregnet. Potensialet for produksjon av skogsavfall med lav alternativ verdi antas å være minst like stor.

Den største flaskehalsen for biokull som klimatiltak er trolig kostnadene. Utvikling av pyrolyseanlegg med stor kapasitet som kan drives med lave kostnader er en forutsetning for at biokull kan bli et kostnadseffektivt klimatiltak.

## 5.4 Tiltak i husdyrproduksjon

Tiltak som kan redusere utslipp av klimagasser fra husdyrproduksjon kan deles inn etter om de påvirker utslippene knyttet til forproduksjonen eller om de påvirker utslippene fra dyrene. Aktuelle tiltak knyttet til forproduksjonen er diskutert under kap 5.3. Her skal vi diskutere tiltak som kan redusere utslippet av klimagasser fra dyrene. Vi deler gjerne disse tiltakene inn etter virkemåte; tiltak som virker direkte på utslippene og faktorer som virker indirekte via andre måter enn selve produksjonen av klimagassene.

### 5.4.1 Tiltak for å redusere direkte utslipp av klimagasser fra dyr

Husdyr er kilde for utslipp av metan og lystgass. Direkte tiltak virker ved å påvirke produksjonen av metan under fermenteringa av fôr i vomma og ved nedbryting av gjødsel, og produksjonen av lystgass ved å påvirke utskillelsen av N i gjødsla.

### Forholdet kraftfôr: grovfôr

Isolert sett vil en ved å bytte ut grovfôr med kraftfôr redusere utslippet av enterisk metan. Dette skyldes at fermentering av kraftfôr i vomma gir gunstigere forhold mellom de flyktige fettsyrene sammenlignet med grovfôr, dvs mer propionsyre i forhold til eddiksyre og smørsyre. Imidlertid er den praktiske nytten av dette potensielle tiltaket begrenset fordi forholdet mellom kraftfôr og grovfôr i rasjonen allerede er høy i mange situasjoner, og prisforholdet mellom disse forslagene tilsier at det er lønnsomt å maksimere bruken av grovfôr.

### Høstetidspunkt av gras ved ensilering

I melk- og kjøttproduksjon står grovfôret sentralt, og kvaliteten på fôret har avgjørende virkning på produksjonsresultatene. Hvordan kvaliteten på grovfôret slår ut på utslippet av klimagasser er derfor av stor betydning. I Norge dominerer surfôr. Trolig har utviklingsstadiet på gras ved høsting både en direkte og indirekte (se senere) virkning på utslippet av metan fra fordøyelsen. Høsting ved et tidlig utviklingsstadium gir lavere utslipp av metan fra fordøyelsen sammenlignet med utsatt høsting. Effekten oppnås trolig gjennom et gunstigere forhold mellom de flyktige syrene i vomma, dvs mer propionsyre på bekostning av eddiksyre og smørsyre.

### Spesielle egenskaper ved fôret og tilsetningsstoffer

Spesielle egenskaper ved eller tilsetning av spesielle stoffer sammen med fôret kan ha en direkte reduserende effekt på utslippet av enterisk metan. Tilsetning av ekstra fett i rasjonen eller bruk av fôrmidler med høgt innhold av fett, er så langt det tiltaket som har gitt størst og mest konsistent senkende virkning på produksjonen av enterisk metan. Effekten av fett skyldes antagelig dels en reduserende virkning på produksjonen av hydrogen og ved å hemme veksten av de metanproduserende mikrobene. Imidlertid kan fett ha negative virkning på fordøyeligheten av fôret, og kan ha stor virkning på fettsyresammensetningen og dermed ernæringsmessig kvalitet og smaksegenskaper til melk og kjøtt. Utfordringen ligger i å komme fram til hensiktsmessige kilder for fett, og optimal nivå for tilsetning. Det er lagt ned mye forskning for å komme fram til spesielle tilsetningsstoffer som kan redusere produksjonen av enterisk metan. Stoffer som kan ha en slik effekt er blant annet tanniner, saponiner, etriske oljer gjær og propionproduserende bakterier. Det kan her nevnes at kløver inneholder naturlig noe saponiner, og dette kan forklare at kløver har gitt mindre utslipp av enterisk metan enn gras. Status er likevel, at bortsett fra fett, er det ingen av de andre studerte komponentene i enkelte forslag eller tilsetninger som har slått igjennom.

### Tiltak for å redusere produksjonen av metan ved nedbryting av gjødsel

Selve prosessen i gjødsla som fører fram til metan og viktige faktorer som påvirker hvor mye metan som blir produsert er diskutert i kapittel 3.1.2. Her skal bare nevnes at faktorer som høgt fôrnivå, høy andel kraftfôr, høgt innhold av fett og liten fysisk struktur, kan ved å redusere fordøyeligheten av fôret, øke innholdet av energi i gjødsla, og dermed potensialet for å øke produksjonen av metan. Disse faktorene virker gjerne reduserende på produksjonen av metan i vomma. Dette er viktig fordi en positiv effekt oppnådd ved mindre produksjon av metan i vomma, gjerne kan bli mer eller mindre "spist opp" ved økt produksjon av metan ved nedbryting av gjødsla. Dette understreker viktigheten av å tenke helhetlig.

### Tiltak for å redusere utskillelsen av N i gjødsla

Prosessene som N i gjødsla gjennomgår fram lystgass, og noen mer generelle faktorer som bestemmer hvor mye N som blir skilt ut i gjødsla er diskutert i kapittel 3.2. Sentrale tiltak knyttet fôr og fôring er diskutert nedenfor.

### Fôring med protein etter behov

Er tilførselen av protein høyere enn det fysiologiske behovet til dyrene, vil utskillelsen av nitrogen i gjødsla øke uten at produksjonen (melk/kjøtt) øker, og det vil øke utslippet av lystgass per enhet produkt. Derimot vil en økning av proteintilførselen opp til norm kunne senke utslippet av lystgass per enhet produkt fordi avleiringen av nitrogen øker mer enn det ekstra tapet av nitrogen i gjødsel som økingen i



proteintilførsel fører med seg. Også i klimagass-sammenheng er det altså viktig å tilpasse proteinføringa til behovet. Det betyr at grovføret og kraftføret må "passe sammen". I praktisk føring av melkeku betyr dette at et grovfør med positiv PBV skal suppleres med kraftfjør som har tilsvarende negativ PBV.

#### Riktig sammensetning av førproteinet hos enmagede dyr

Hos enmagede dyr er det viktig at balansen mellom de aminosyrene som blir tatt opp fra tarmen stemmer godt overens med sammensetningen av det avleira proteinet i melk og kjøtt (høg biologisk verdi). Desto bedre overensstemmelse det er mellom tilført og avleiret protein, desto mindre tap av N i gjødsla og påfølgende utslipp av lystgass. De siste tiårene har vi fått stadig bedre kunnskaper om hvilke behov for aminosyrer de enmagede dyrene har i ulike produksjonssituasjoner, og de aminosyrene det blir først mangel på blir produsert "kunstig" og tilsatt føret. Forskningen på dette området har utvilsomt bidratt til å øke effektiviteten i utnyttelsen av nitrogen i føret og derfor bidratt til å redusere utslippet av lystgass per produktenhet.

### **5.4.2 Tiltak for å redusere indirekte utslipp fra husdyr**

Faktorer som virker indirekte på utslippet av klimagasser er slike som påvirker forbruket av før per enhet produkt, og følgelig utskillelsen av klimagasser beregnet per produktenhet. Slike indirekte faktorer kan virke via føret eller via dyret. Eksempler på indirekte faktorer som virker via egenskaper ved føret:

- Utviklingsstadium på graset ved høsting
- Innhold av protein i grovføret
- Innhold av protein i rasjonen

Eksempler på indirekte faktorer som virker via dyret:

- Lengden på oppføringstiden
- Levetid
- Fruktbarhet
- Helsestilstand
- Lengde på ikke produktive perioder
- Ytelsesnivået i melkeproduksjonen
- Tilveksthastighet i kjøttproduksjonen

#### Høg førverdi og effektiv utnyttelse av føret

For alle dyreslag er det viktig at føret har høg førverdi som er grunnlaget for høg produksjon og dermed flest mulig produktenheter å fordele utslippet av klimagasser på. Systematisk arbeid med å øke før effektiviteten gjennom avl og føring er særdeles viktig. Dette arbeidet har bidratt til at utslippet av klimagasser per produktenhet har gått betydelig ned både hos svin og fjørfe. Grovføret står i en særstilling fordi energikonsentrasjonen (FEm/ kg tørrstoff) i graset og innholdet av protein avtar ved utsatt høsting. Utsatt høsting har derfor negativ virkning på produksjonen, noe som vil bidra til å øke utslippet av klimagasser per enhet produkt. I tillegg kommer den direkte negative effekten av utsatt høsting på produksjonen av metan fra fordøyelsen av føret som diskutert ovenfor.

#### Ytelsesnivået i melkeproduksjonen

I melkeproduksjonen har avl og bedre føring resultert i stadig høgere ytelse per ku. Det blir produsert klimagasser under oppdrettet fram til 1. kalving, og gjennom resten av livsløpet produseres også daglig en viss mengde klimagasser fra føret som skal til for å dekke vedlikeholdsbehovet. Utslippet av klimagasser fra vedlikeholdsføringen er konstant og uavhengig av ytelsesnivået. I sum betyr dette at utslippet av klimagasser beregnet per kg melk vil avta med økt ytelse fordi utslippet av klimagasser fra oppdrettet og fra vedlikeholdsføret kan fordeles på en større melkemengde. Utslagene er store når en øker fra et lavt nivå, men avtar gradvis med økt ytelse, og en ytterligere økning utover 6-7000 kg per år gir relativt små utslag. I praksis er det også andre endringer som følger med en økning av ytelsesnivået. Det er vanlig at andelen av kraftfjør i rasjon og innholdet av protein i rasjonen øker. Økt andel kraftfjør og høyere innhold av protein i føret motvirker hverandre fordi økt kraftfjørandel isolert sett gir mindre enterisk metan, mens

mer protein lett kan bidra til å øke utslippet av lystgass. Beregninger presentert i tabell 18, viser imidlertid at utskillelsen av både nitrogen og gjødseltørrstoff, som er grunnlaget for utslippet av henholdsvis lystgass og metan, går noe ned per enhet melk med økt ytelse, også utover årsytelse på 7000 kg. Her er det viktig å understreke at tabell 18 ikke omfatter alle utslippskildene. Det er komplekse sammenhenger mellom faktorene som virker inn på utslippet av klimagasser. En helhetlig analyse av norske melkeproduksjonsbruk viser at det er lite å hente mht utslipp av klimagasser per enhet melk ved å øke ytelsen utover det som er vanlig i Norge i dag (se senere).

Tabell 18. Effekten av å øke ytelsen i melkeproduksjonen på utskillelsen av nitrogen (N) og gjødseltørrstoff beregnet per enhet melk og gjødseltørrstoff (Karlengen et al. 2012).

	Kg energikorrigert melk (EKM)			
	5 000	7 000	9 000	11 000
Nitrogen (N):				
N utskilt totalt, kg	106,1	122,1	138,0	154,0
N, kg/kg EKM	0,021	0,017	0,015	0,014
Gjødsel:				
Mengde gjødseltørrstoff, kg	1 771	2 054	2 337	2 620
Gjødseltørrstoff, kg/kg EKM	0,354	0,293	0,260	0,238

Ved økning i melkeytelsen kreves mer kraftfôr per ku og høyere proteininnhold i kraftfôret. Opptaket av grovfôr per ku er relativt uavhengig av ytelsen. Virkningen som ytelsesnivået i melkeproduksjonen har på forgrunnlaget er tydelig illustrert i tabell 19. Med en konstant landskvote på 1500 mill liter melk/per år vil naturlig nok en økning av ytelsen per ku redusere antallet av melkekyr. Fordi opptaket av grovfôr er relativt konstant og uavhengig av ytelsesnivå, vil færre kyr på grunn av høyere ytelse, resultere i et betydelig lavere behov av areal for å dyrke grovfôr. I stedet for å utnytte egen jord til forproduksjon, legger vi beslag på betydelige arealer i utlandet for å dyrke kraftfôr, og særlig kraftfôrslag med høgt innhold av protein. Dette er nødvendig for å kunne dekke opp det økte proteinbehovet som er en følge av høyere ytelse. Behovet for areal til å produsere fôrkorn er relativt stabil, uavhengig av ytelsesnivå. Nedgangen i antall kyr blir kompensert med mer behov for kraftfôr per ku. Konsekvensen av at vi flytter en betydelig del av forproduksjonen til utlandet, er at vi også flytter noe av klimagassbelastningen knyttet til melkeproduksjonen til de utenlandske eksportlandene.

Tabell 19. Noen viktige virkninger av ytelsesnivået i melkeproduksjonen på forgrunnlaget (Volden, H. personlige opplysninger)<sup>1</sup>

Ytelse, kg EKM/ku	Antall årskyr	Mill dekar til grovfôr	Mill dekar til korn- produksjon	Importbehov av kraftfôr, mill kg Ts
6 000	275 000	2,851	0,878	105
7 000	235 714	2,605	0,881	135
8 000	206 250	2,252	0,919	170
9 000	183 333	1,983	1,044	225
10 000	165 000	1,771	0,945	230

<sup>1</sup> Forutsetninger: Landskvote: 1500 mill liter/år. Behovet for rekruttering (kvigeoppdrett) er inkludert. Engavlinga er satt til til 490 kg Ts/daa. Andel norsk korn er beregnet som bygg, 353 kg/daa.

#### Perioder uten produksjon - kortest mulig

Eksempler på indirekte faktorer i melkeproduksjonen som påvirker utslippet av klimagasser per kg melk er lengden på perioden fram til første kalving, antall laktasjoner, fruktbarhet og helsetilstand. Ved å korte ned på kvigeperioden og/eller øke antall laktasjoner vil utslippet av klimagasser under oppdrettet bety mindre i forhold til samla produksjonsvolum, og dermed bidra til å redusere utslippet av klimagasser per enhet melk. God fruktbarhet står sentralt fordi den er avgjørende både for alder ved første kalving, lengden på tørrperiodene og antall laktasjoner. For alle dyreslag gjelder det å minimere lengden på de ikke produktive periodene. God helse vil bidra i høyeste grad positivt både ved å hindre nedsatt daglig produksjon og ved å unngå ikke produktive perioder.

### De indirekte faktorene har stor betydning

De indirekte faktorene har uten tvil stor betydning for utslippet av klimagasser beregnet per produktenhet. Svært ofte gjelder dette tiltak som samtidig har stor betydning for økonomien. Dårlig helsestatus og lav fruktbarhet gir dårlig økonomi ved tapte produktinntekter og økte kostnader. Tiltak som bedrer helsetilstanden og fruktbarheten vil derfor slå positivt ut både på økonomien samtidig som utslippet av klimagasser vil bli redusert. Imidlertid har vi per dato ikke et egnet "verktøy" til å beregne kvantitativt hvor mye de hver for seg eller samla sett slår ut på utslippet av klimagasser. Vi har planer om å ta noen av de viktigste indirekte faktorene inn i "HolosNor" (se senere).

### **5.4.3 Produksjon av melk og storfekjøtt**

Det er komplekse sammenhenger mellom faktorene som virker inn på utslippet av klimagasser, og mange forhold er det lite kunnskaper om. Det er derfor knyttet stor usikkerhet til hvordan sum effektene slår ut på nettoutslippet av klimagasser. HolosNor tar hensyn til helheten, og eksempler på resultater fra bruk av denne modellen blir diskutert nedenfor.

Norsk melke- kjøttproduksjon kjennetegnes ved en stor variasjon i driftsintensitet og produksjonsopplegg mellom produsenter. For å undersøke muligheter til å produsere melk og kjøtt med lavere klimagassutslipp per enhet matvare, innenfor nåværende økonomiske og politiske rammer for landbruket, er det interessant å tallfeste variasjonen i klimagass utslipp mellom garder og undersøke sammenhenger mellom karakteristikk av produksjonsopplegget og klimagassutslipp; kan noen produksjonsintensiteter/ opplegg være bedre enn andre? For å tallfeste variasjonen i klimagassutslipp under norske forhold, ble det satt sammen et datasett for ulike driftsformer: 95 planteproduksjonsgarder (korn, oljevekster, poteter), 15 garder med kombinasjonen gris (purker og framføring av slaktgris) og åkervekster, og 30 melke- og storfekjøttproduksjonsgarder. Norsk institutt for skog og landskap har skaffet detaljerte jordsmonndata, Meteorologisk institutt interpolerte, daglige værdata og Norsk institutt for landbruksøkonomisk institutt (NILF) driftsgranskningsdata for 2008 (NILF 2009), alle for hver enkelt gard i tallmaterialet. Med utgangspunkt i dette materialet ble klimagasskalkulatoren HolosNor brukt for å beregne klimagassutslipp per produsert matvare enhet «ved gardsgrinda». De viktigste resultatene for melk og kjøttproduksjon på storfe er diskutert nedenfor. De viktigste resultatene for svinekjøttproduksjonen er diskutert under kap 5.4.2.

Gjennomsnittlig klimagassbelastning per enhet for de 30 melke- og storfekjøttgardene var 1,02 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg fett- og proteinkorrigert (FPK) melk (tabell 20), 21,67 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for kyr og kviger og 17,25 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for ung okse (tabell 21). Det er viktig å understreke at det var stor variasjon i de beregnede klimagassutslippene mellom gårdsbruk (tabell 20 og 21). Dette viser at det i praksis er rom for å redusere utslippet av klimagasser fra melke- og kjøttproduksjonen. Dette blir nærmere diskutert senere.

Tabell 20. Gjennomsnittlig, minimum og maksimum klimagassbelastning for melk, uttrykt som kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg fett- og proteinkorrigert (FPK) melk basert på data fra 30 melkebruk i 2008 beregnet ved bruk av modellen HolosNor. Verdier lavere enn 0 indikerer karbonlagring i jord (Bonesmo et al. 2013).

	kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per kg FPKM		
	Gjennomsnitt	Variasjon [min; maks]	Andel, %
Total klimagassbelastning	1,02	[0,82; 1,36]	100,0
Enterisk CH <sub>4</sub>	0,39	[0,36; 0,45]	38,2
Husdyrgjødsel CH <sub>4</sub> og N <sub>2</sub> O	0,18	[0,13; 0,23]	17,6
Jord N <sub>2</sub> O	0,21	[0,11; 0,41]	20,5
Karbon endring i jord	-0,03	[-0,14; 0,10]	2,9
Bygg fra andre gardar, CO <sub>2</sub> -ekv.	0,06	[0,00; 0,13]	5,9
Importert soya, CO <sub>2</sub> -ekv.	0,09	[0,00; 0,17]	8,8
Indirekte energi, CO <sub>2</sub> -ekv.	0,07	[0,00; 0,14]	6,8
Direkte energi, CO <sub>2</sub>	0,05	[0,01; 0,11]	4,9

I gjennomsnitt var CH<sub>4</sub> fra fordøyelsen (enterisk) den største kilde både per kg FPK melk og kg slaktevekt: 0,39 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg FPK melk, 8,34 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for kyr og kviger, og 6,84 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kg slaktevekt for ung okse. Av de totale klimagassutslippene fra garden utgjorde de direkte utslippene fra dyrene, enterisk metan samt metan og lystgass fra lagring av husdyrgjødsel, 56 prosent.

Den nest største enkeltkilden var lystgass fra jord som sto for 0,21 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg FPK melk, 4,37 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for utrangerte kyr og kviger, og 3,08 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for ung okse. Summen av utslippene av metan og lystgass fra lagring av husdyrgjødsel var i samme størrelsesorden som lystgass fra jord.

Karbonbalansen i jorda ble beregnet til å være positiv, det vil si at karboninnholdet i jorda hos de undersøkte gardene i gjennomsnitt økte noe. Melke- og storfekjøttproduksjonen skiller seg derfor fra ensidig korndyrking hvor det normalt er tap av karbon fra jord.

Forbruk av drivstoff var den minste klimagassutslippskilde og sto for 0,05 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg FPK melk, 1,09 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for kyr og kviger, og 0,75 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for ung okse.

Tabell 21. Gjennomsnittlig, minimum og maksimum klimagassbelastning for storfekjøtt, uttrykt som kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per slaktevekt basert på data fra 30 melkebruk i 2008. Verdier lavere enn 0 indikerer karbon lagring i jord (Bonesmo et al. 2013).

	kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per kg slaktevekt			
	Utrangerte kyr og kviger		Ung okse	
	Gj.sn.	Variasjon [min; maks]	Gj.sn.	Variasjon [min; maks]
Total klimagassbelastning	21,67	[12; 37,46]	17,25	[11,75; 22,90]
Enterisk CH <sub>4</sub>	8,34	[5,05; 15,44]	6,84	[4,12; 8,06]
Husdyrgjødsel CH <sub>4</sub> og N <sub>2</sub> O	3,89	[2,62; 7,48]	2,98	[2,21; 3,59]
Jord N <sub>2</sub> O	4,37	[1,84; 8,27]	3,08	[0,29; 6,78]
Karbon endring i jord	-0,82	[-4,79; 2,08]	-0,51	[-1,64; 1,45]
Bygg fra andre gardar, CO <sub>2</sub> -ekv.	1,33	[0,00; 3,93]	1,26	[0,00; 4,11]
Importert soya, CO <sub>2</sub> -ekv.	2,08	[0,00; 5,00]	1,88	[0,00; 5,22]
Indirekte energi, CO <sub>2</sub> -ekv.	1,39	[0,10; 3,01]	0,97	[0,09; 1,99]
Direkte energi, CO <sub>2</sub>	1,09	[0,33; 3,42]	0,75	[0,19; 1,45]

Fordelingen av klimagassutslipp mellom melk og kjøtt fra kyr og kviger følger metodikken til The Internasjonale Dairy Federation (IDF, 2010) som anbefaler en fôrforbruksbasert fordeling. Denne metodikken innebærer at klimagassutslippene blir fordelt mellom melk og kjøtt ved bruk av forholdstallet mellom fôr til melkeproduksjon og fôr til vekst. I gjennomsnitt for de undersøkte gardene var det 67 prosent av fôret som gikk til melkeproduksjon, altså ble 67 prosent av klimagassutslippene belastet melk mens 33 prosent ble belastet kjøtt fra kyr. En annen metode som blir brukt for å beregne fordelingen mellom melk og kjøtt fra kyr er å bruke forholdstallet mellom salgsinntektene fra melk og kjøtt, det finnes også undersøkelser hvor alle utslipp blir belastet melkeproduksjonen.

Valg av metode for fordeling mellom av utslippene mellom melk og kjøtt fra kyr er ikke uvesentlig for beregnet klimagassbelastning per produsert enhet melk og kjøtt. I Norge, hvor kjøtt fra melkekyr utgjør en viktig del av storfekjøttforbruket, er det i alle fall riktig å allokere klimagassutslipp til kjøtt fra melkekyr.

Det var stor variasjon i de beregnede klimagassutslippene mellom gardsbruk (Tabell 20 og 21). Maksimum klimagassutslipp per kg FPK melk var 1,7 ganger høyere enn minimum, en differanse på 0,56 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg FPK melk. For klimagassutslippene per kg slaktevekt var maksimumsnivået tre og to ganger høyere enn minimumsnivået for henholdsvis kyr/kviger og ung okse; forskjellen utgjorde 25,5 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for kyr/kviger, og 11,2 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for ung okse. Variasjonen i

lystgass fra jord var den viktigste årsaken til variasjonen i utslipp mellom garder. Forskjellen mellom maksimum og minimum for lystgassutslipp var 0,31 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg FPK melk, og 6,45 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kg slaktevekt. Forskjell i karbonendring i jord var den nest største årsaken til variasjonen mellom gardene, med differanse mellom maksimums- og minimumsnivå på 0,23 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg FPK melk, 6,87 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt kyr/kviger, og 3,10 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt ung okse.

Årsaken til høyere klimagassbelastning per kg FPK melk eller per kg slaktevekt hos noen garder var derfor i hovedsak høye lystgassutslipp fra jord og karbontap fra jord. Indirekte energibruk ved produksjon av forbrukt kunstgjødsel var også med på å forklare forskjellen mellom garder. Utslippene av enterisk CH<sub>4</sub> var imidlertid ikke med på å forklare forskjellen i totale klimagassutslipp mellom garder. En konsekvens av dette er at garder med lave klimagassutslipp gjerne har en høy andel metanutslipp. Våre verdier diskutert ovenfor stemmer godt overens med sammenlignbare verdier oppnådd i utenlandske undersøkelser [se Bonesmo et al. (2013) for nærmer diskusjon].

En undersøkelse av statistiske sammenhenger mellom et utvalg av gårds karakteristikk og de beregnede klimagassutslippene ga få klare sammenhenger. Det var en økning i klimagassutslipp per kg FPK melk og kg slaktevekt ved høyere forbruk av kunstgjødsel N. Men, det var ingen endring i klimagassutslipp per kg melk eller kjøtt med endring i melkeytelse. Det var heller ingen sammenheng mellom lønnsomhet (oppnådd dekningsbidrag) og klimagassutslipp.

#### Kompliserte sammenhenger i melke- og kjøttproduksjonen på storfe

Kjøttproduksjon på storfe foregår både i kombinasjon med melkeproduksjon eller som ren kjøttproduksjon. Disse to måtene å produsere storfekjøtt på har forskjellig klimagassbelastningen. Øker vi avdråttsnivået i melkeproduksjonen, behøves færre kyr for å nå den samme kvoten (se tabell 22). Dette resulterer i at det blir produsert færre kalver knyttet til melkeproduksjonen (og færre utrangerte melkekyr), og mer kjøtt må produseres ved spesialisert kjøttproduksjon for å opprettholde det samme volumet. Hvordan en ytelsesøkning i melkeproduksjonen vil virke inn på behovet for spesialisert kjøttproduksjon fram til 2030 er illustrert i tabell 22. Med de gitte forutsetningene må antall ammekyr tredobles fram til 2030, og av den totale kjøttproduksjonen på storfe, må andelen fra spesialisert kjøttproduksjon øke fra ca 28 prosent i dag til 62 prosent i 2030. Utslipet av klimagasser per kg kjøtt er betydelig høyere for spesialisert enn kombinert kjøttproduksjon. I den spesialiserte kjøttproduksjonen må alle klimagassutslipp belastes kjøttproduksjonen, mens i kombinert kjøttproduksjon blir utslippet av klimagasser fordelt mellom melkeproduksjonen og kjøttproduksjonen. Disse prinsippene er forklart i kap 5.1. En dreining av storfekjøtt produksjonen fra melkeproduksjonen til kjøttfe vil derfor øke utslippet av klimagasser fra kjøttproduksjonen på storfe betydelig.

Tabell 22. Sammenhengen mellom en økning i ytelsesnivået i melkeproduksjonen og behovet for spesialisert kjøttproduksjon på storfe fram til 2030 <sup>1</sup>(L. Aass og A. Hegrenes, personlige opplysninger)

År	Totalt antall melkekyr	Totalt antall ammekyr	Kjøttproduksjon i tonn	Fordeling av kjøttproduksjon mellom	
				Melkeprod,%	Kjøttfe,%
2013	228032	80473	79670	72,1	27,9
2016	213464	111880	84680	63,5	36,5
2019	200645	141693	89690	56,3	43,7
2022	189279	170182	94700	50,3	49,7
2025	179132	197560	99710	45,2	54,8
2028	170017	223998	104720	40,9	59,1
2030	164439	241168	108060	38,3	61,7

<sup>1</sup> Viktige forutsetninger. Melkekvote = 1500 mill/år. Ytelsesøkning= 2% per ku/år, dvs 10 300 kg i 2030. Kjøttproduksjon: Økning i takt med befolkningsøkningen, dvs + 1670 tonn per år.

#### 5.4.4 Produksjon av svinekjøtt

Gjennomsnittlig utslipp av klimagasser per kg slaktevekt i vårt materiale fra de 15 besetningene var på 2,65 kg CO<sub>2</sub>-ekv. (tabell 23). Dette stemmer godt overens med verdier fra undersøkelser i utlandet (Bonesmo et al. 2012). I kombinert svinekjøttproduksjon utgjør utslippet av klimagasser knyttet til produksjonen av fôr (på gården og innkjøpt) den største kilden til klimagass utslipp, hele 80 prosent av totalt utslipp. De dyrerelaterte utslippene (metan fra fordøyelsen og gjødsel samt lystgass fra lagring av gjødsel) utgjorde bare 20 prosent. Tap av lystgass fra jorda var den største enkeltkilden, og utgjorde 21 prosent av totalt utslipp. Minste kilden var karbonendring i jorda som utgjorde bare vel 2 prosent av totalt utslipp. Videre ser vi at utslipp fra bruk av fossilt drivstoff knyttet til fôrproduksjonen og til andre innsatsfaktorer som gjødsel utgjorde henholdsvis 7- og 8 prosent. Kjøttproduksjon på gris (tabell 22) skiller seg fra kjøttproduksjon på storfe (tabell 21) mht utslipp på klimagasser særlig ved:

- Betydelig lavere utslipp av klimagasser totalt per kg slaktevekt
- Langt høyere andel av utslippet er relatert til fôrproduksjon

Effektiviteten i produksjonene av svinekjøtt mht utslipp av klimagasser varierte betydelig (tabell 23). På gården med høyest utslipp per kg slaktevekt var utslippet mer enn tre ganger høyere enn på gården med lavest utslipp. Viktigste variasjonsårsak var utslipp av lystgass fra jorda med en forskjell mellom høyeste og laveste verdi på hele 1,56 kg CO<sub>2</sub>-ekv. per kg slaktevekt.

Tabell 23. Gjennomsnittlig, minimum og maksimum verdier for utslipp av klimagasser, uttrykt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg slaktevekt for 15 gårdsbruk i Norge med kombinert smågris og slaktegrisproduksjon. Verdier lavere enn 0 indikerer karbonlagring i jord (Bonesmo et al. 2012).

	kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per kg slaktevekt		
	Gjennomsnitt	Variasjon [min; maks]	Andel,%
Total klimagassbelastning	2,65	[1,24; 4,03]	100,0
Enterisk CH <sub>4</sub>	0,14	[0,07; 0,18]	5,3
Husdyrgjødsel CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O <sup>a</sup>	0,38	[0,18; 0,55]	14,3
Jord N <sub>2</sub> O <sup>a</sup>	0,56	[0,11; 1,68]	21,1
Karbon endring i jord <sup>a</sup>	0,06	[-0,07; 0,49]	2,3
Bygg fra andre gardar	0,41	[0,00; 0,98]	15,5
Importert soya	0,71	[0,28; 1,22]	26,8
Indirekte energi	0,21	[0,04; 0,65]	7,9
Direkte energi	0,18	[0,0; 0,35]	6,8

<sup>a</sup> Gjelder bare gården

#### 5.4.5 Kjøttproduksjon på fjørfe

Som for gris, representerer lystgass den kvantitativt viktigste kilden til klimagasser i kjøttproduksjonen på fjørfe. Bedre fôring og systematisk avlsarbeide har økt den daglige tilveksten vesentlig og dermed kortet ned på framfôringstiden. Beregninger indikerer at utskillelsen av nitrogen per produktenhet slaktekylling har blitt redusert med hele 40 prosent siden 1990.

### 5.5 Oppsummering av tiltak

En oppsummering av effekter og potensial for utslippsreduksjon av ulike tiltak er presentert i tabell 24.

Tabell 24. Klimagass- og miljøeffekter og potensial for utslippsreduksjon av ulike klimatiltak

Tiltak	Klimagasseffekt	Andre effekter	Potensial for utslippsreduksjon	Kostnadsnivå
<b>Langsiktige tiltak</b>				
Produksjon av matvarer med lave klimagassutslipp	Reduksjon av alle klimagasser	Positive miljøeffekter	Opp til 50 %	Lavt
Valg av driftsform/ (omlegging fra gras til korn)	Redusert utslipp av CH <sub>4</sub> og N <sub>2</sub> O, lavere binding av CO <sub>2</sub> fra jord	Økt erosjon og vannforurensing	250 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv., 4 % av jordbrukets utslipp	Lavt
Stans i nydyrking av myr	Redusert utslipp av CO <sub>2</sub> og N <sub>2</sub> O	Bevaring av myr som økosystem	200 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv. (4%) innen 2030 og 440 000 tonn CO <sub>2</sub> (7%) innen 2050	Lavt
Restaurering av myr	Redusert utslipp av CO <sub>2</sub> og N <sub>2</sub> O og økt utslipp av CH <sub>4</sub>	Økt biologisk mangfold	Usikkert	Lavt
Drenering	Redusert utslipp av N <sub>2</sub> O	Økte avlinger	Usikker	Middels høyt
Produksjon av biogass av husdyrgjødsel	Redusert utslipp av CH <sub>4</sub> og N <sub>2</sub> O fra gjødsellager, redusert forbruk av fossilt C	Bedre fordeling av P i husdyrgjødsel	200 000- 500 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv. (3-8%)	Middels - høyt
<b>Kortsiktige tiltak i planteproduksjon</b>				
Balansert N-gjødsling	Redusert utslipp av N <sub>2</sub> O	Mindre N-utvasking	50 000 - 100 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv. (1-1,5%)	Lavt
Sprede metoder for husdyrgjødsel	Redusert utslipp av N <sub>2</sub> O	Bedre utnyttning av husdyrgjødsel	12 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv. (0,2%)	Høyt
Kalking	Redusert utslipp av N <sub>2</sub> O, økt utslipp av CO <sub>2</sub> fra kalk	Bedre jordstruktur, høyere avlinger	Usikkert	Usikkert
Alternativ bruk av restavlinger	Redusert utslipp av N <sub>2</sub> O fra restavlinger, redusert forbruk av fossilt C	Mindre C tilbakeført til jord	40 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv (0,6%)	Lavt/middels
Dyrking av høstkorn	Redusert utslipp av N <sub>2</sub> O og CO <sub>2</sub> per kg korn	Økt erosjon	30 000 tonn CO <sub>2</sub> -ekv. (0,4 %)	Lavt
Bruk av energi	Redusert utslipp av CO <sub>2</sub>	Sparte kostnader	Usikker	Lavt

Tiltak	Klimagasseffekt	Andre effekter	Potensial for utslippsreduksjon	Kostnadsnivå
Biokull	Økt C-lagring i jord, redusert forbruk av fossilt C	Bedre jordkvalitet, økte avlinger	Ca 850 000 tonn CO <sub>2</sub>	Høyt
<b>Tiltak i husdyrproduksjonene</b>				
<b>Direkte tiltak:</b>				
Tidlig høstetidspunkt av gras som skal ensileres	Mindre enterisk metan	Høyere produksjon	Noe	Lavt
Høgere innholdet av fett i rasjonen	Mindre enterisk metan	Kan påvirke produktkvaliteten	Noe	Usikkert
Tilpasse bruken av protein til norm	Mindre lystgass	Sparte kostnader	Noe	Lavt
<b>Indirekte tiltak:</b>				
Høg kvalitet på fôret	Mindre metan, lystgass og CO <sub>2</sub> per produktenhet	Høyere produksjon. Sparer førkostnader	Noe	Lavt
Øke fôrutnyttelsen ved avl og fôring	Mindre metan, lystgass og CO <sub>2</sub> per produktenhet	Høyere produksjon. Sparer førkostnader og areal	På lang sikt: Mye	Lavt
Bedre helse og fruktbarhet	Mindre metan, lystgass og CO <sub>2</sub> per produktenhet	Høyere produksjon. Sparer utgifter	På lang sikt: Mye	Lavt



## 6. Synergier og målkonflikter

---

Tiltak for å redusere klimagassutslipp kan føre til både synergier og målkonflikter med andre produksjons- og miljømål i jordbruket.

### 6.1 Synergieffekter

Utslipp av klimagasser fra landbruket innebærer forbruk og tap av energi, tap av næringsstoffer eller redusert jordkvalitet:

- Metan fra fordøyelse representerer tap av energi i føret
- Metan fra gjødsellager representerer tap av energi i form av biogass
- Lystgass representerer tap av nitrogen som plantenæringsstoff
- Tap av CO<sub>2</sub> fra jord kan innebære redusert jordkvalitet
- Tap av CO<sub>2</sub> fra fossile kilder representerer forbruk av energi

God avling og god utnyttelse av føret hos husdyr vil generelt føre til mindre overskudd av energi og næringsstoffer, og dermed mindre utslipp av klimagasser, spesielt per produsert mengde mat. Men høye avlinger forutsetter også at de beste jordbruksarealene blir vernet mot nedbygging og fortsatt forbeholdt jordbruk og matproduksjon.

#### 6.1.1 God agronomi

God agronomi i plantedyrkingen gjelder bl. a. god drenering, god jordstruktur, mindre jordpakking, riktig metode og tidspunkt for jordarbeiding og riktig sortsvalg, såtid, gjødsling, kalking, plantevern og høstetidspunkt. I tillegg til at god agronomi kan redusere de direkte klimagassutslippene, vil høye avlinger føre til at maten kan produseres på et mindre areal og på den måten begrense behovet for nydyrking som innebærer tap av biologisk mangfold og store utslipp fra myr eller redusert karbonbinding i skog.

God drenering resulterer i mer luft i jorda, bedre rotutvikling, bedre jordstruktur, mindre jordpakking, bedre plantevekst og generelt lavere utslipp av lystgass.

Kalking til riktig pH har en rekke positive effekter i jord. De viktigste er å unngå skadelig effekt av aluminium og redusere opptak av tungmetaller, økt biologisk aktivitet, forbedret jordstruktur, og som et resultat, økte avlinger. Nyere forskning har vist at kalking også kan være et klimatiltak for å redusere utslipp av lystgass fra jord.

#### 6.1.2 Redusert nydyrking av myr

Dyrket myr bidrar til ca 30 % av klimagassutslippene fra landbruket. Redusert nydyrking av myr vil derfor være et effektivt klimatiltak, men vil også bidra til andre positive miljøeffekter. Naturlig myr har flere økologiske funksjoner. De viktigste er lagring av organisk karbon, magasinering av vann, flomdemping, beiteområder og hekkeplasser for fugler. Det er opprettet et stort antall naturreservater på myr.

#### 6.1.3 Biogass av husdyrgjødsel

Produksjon av biogass av husdyrgjødsel er tiltak med stort potensial for klimagassutslipp. Men dette tiltaket vil også gi muligheter til en bedre fordeling av fosfor i husdyrgjødsel. Mange husdyrbruk har i dag et stort overskudd av fosfor i forhold til spredearealet på gården. I mange tilfeller brukes husdyrgjødsel bare på en del av spredearealet. Dette fører til et fosforoverskudd som representerer en stor risiko for avrenning og vannforurensning. Når husdyrgjødsel blir brukt til biogassproduksjon, vil alt fosforet i gjødsel være igjen i den gjenværende bioresten. Denne bioresten kan separeres i en flytende fase, som inneholder mesteparten av nitrogen og kalium, og en fast fase, hvor mesteparten av fosfor finnes. Den flytende fasen bør brukes som gjødsel i nærheten av biogassanlegget for å begrense transporten. Den

faste fasen kan tørkes eller omdannes til biokull og transporteres til områder med lite husdyr hvor det er fortsatt er behov for fosforgjødsel

#### **6.1.4 Vern av dyrket jord**

Formålet med jordvern er å sikre ressurser til fremtidig matproduksjon og bevare kulturlandskapet. Men vern av den beste jorda vil også bidra til å redusere klimagassutslippene fra matproduksjonen. Nedbygging av jord må kompenseres av nydyrking dersom matproduksjonen skal opprettholdes. I mange tilfeller er det de beste jordbruksarealene, ofte arealer egnet til matkorn dyrking, som står i fare for å bli nedbygd. Nydyrket jord gir som regel lavere avling enn gammel dyrket jord, delvis fordi den beste jorda allerede dyrket, og delvis fordi det kan ta mange år før nydyrket jord får samme avling som eldre dyrket jord med samme avlingspotensial. For å opprettholde matproduksjonen må det derfor nydyrkes et større areal enn det som nedbygges. Dette innebærer redusert CO<sub>2</sub>-binding i skog eller økte utslipp fra dyrket myr. Dersom kornjord blir erstattet av areal bare egnet til grasdyrking, vil nedbygging også føre til økte metanutslipp fra husdyrproduksjon.

### **6.2 Konflikter mellom klimatiltak og andre målsettinger**

#### **6.2.1 Økt matproduksjon**

Norge har som mål å redusere de totale utslippene av klimagasser og samtidig øke matproduksjonen i takt med befolkningsøkningen. Siden utslipp av klimagasser er en unngåelig konsekvens av matproduksjon, vil økt matproduksjon under ellers like forhold føre til økte klimagassutslipp. Det kan derfor bli vanskelig å redusere utslippene fra jordbruket like mye som i andre sektorer. Det primære målet bør være å redusere utslippene per produsert enhet mat.

Norge importerer store mengder proteinkraftfôr. Dette bidrar til å redusere den reelle selvforsyningsgraden av mat. Et av de mest effektive tiltakene for å redusere importbehovet er å øke proteininnholdet i norsk produsert korn. Men dette forutsetter økt nitrogen gjødsling og fare for større utslipp av lystgass fra jord og avrenning.

#### **6.2.2 Økologisk produksjon**

Norge har som mål at 15 prosent av jordbruksarealet skal drives økologisk. Økologisk produksjon tillater ikke bruk av mineralisk nitrogen gjødsel, og bidrar derfor ikke til klimagassutslipp ved produksjon av mineralgjødsel. Det er imidlertid flere sider ved økologisk produksjon som samlet fører til større klimagassutslipp enn gevinsten ved gjødselproduksjon.

Økologisk dyrking gir som regel 20-50 prosent lavere avling enn konvensjonell dyrking. I en situasjon hvor matproduksjonen skal økes i takt med befolkningsøkningen, vil 15 økt økologisk areal nødvendigvis medføre større behov for nydyrking av skogsmark eller myr. Dette vil enten resultere i redusert karbonbinding i biomasse i skog (i gjennomsnitt 0,5 tonn CO<sub>2</sub> per dekar og år), eller store klimagassutslipp fra myr (ca 2 tonn CO<sub>2</sub> per år i tillegg til lystgass).

Økologisk drift er mer avhengig av husdyr enn tilfellet er for konvensjonell drift. Det er spesielt behov for drøvtyggere, delvis av hensyn til biologisk nitrogenbinding i eng, behov for vekstskifte og for å skaffe husdyrgjødsel. Økologiske driftsopplegg med en stor andel eng kan bidra til høyere karboninnhold i jorda, men når grasen blir fordøyd av drøvtyggere, er metanutslippene, uttrykt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, flere ganger så stor som summen av effekten av fravær av mineralgjødsel og karbonbinding i jord.

I økologisk åkerdyrking brukes i noen tilfeller grønn gjødsling som metode for å skaffe nitrogen. Ifølge Debios statistikkhefte utgjorde grønn gjødsling ca 8000 dekar som tilsvarer ca 9 prosent av det økologiske kornarealet inkl. karensareal. Ved grønn gjødsling frigjøres en betydelig del av nitrogenet utenfor vekstsesongen og er kilde til utvasking og produksjon av lystgass. Risikoen for lystgassutslipp ved grønn gjødsling antas å være betydelig større enn ved bruk av mineralgjødsel.

### **6.2.3 Andre miljømål**

Dyrking av korn på bekostning av gras resulterer i lavere utslipp av klimagasser. Dette skyldes at korn kan brukes til mat, at det utnyttes mer effektivt som fôr enn gras og at det bidrar til langt lavere utslipp av metan fra fordøyelsen hos husdyr. Men korndyrking innebærer større miljørisiko enn grasdyrking på mange andre områder. Det er svært vanskelig å kombinere korndyrking med økt karbonbinding i jord. Dessuten innebærer korndyrking mer erosjon, større utvasking av næringsstoffer og som regel større bruk av plantevernmidler enn grasdyrking. Lange perioder med åpen åker uten vegetasjon bidrar til redusert biologisk mangfold. I enkelte utsatte vassdrag blir det gitt tilskudd til omlegging fra korn til permanent gras som et tiltak for å bedre vannkvaliteten.

Dyrking av høstkorn fører til større avlinger enn vårkorn, og vil derfor føre til lavere klimagassutslipp per produsert mengde korn. Men høstkorn forutsetter som regel jordarbeiding på høsten og gir omtrent like stor erosjon annen høstpløyd jord.

## 7. Referanser

---

- Bonesmo, H., S.M. Little, O.M. Harstad, K.A. Beauchemin, A.O. Skjelvåg and , O. Sjelmo, 2012. Estimating farms -scale greenhouse gas emission intensity of pig production in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*, 62:318-325.
- Bonesmo, H., O.M. Harstad, 2013. Størfe og klimagasser: fakta, utfordringer og muligheter. In: *Fram mot ein berekraftig og klimatilpassa norsk landbruksmodell* (R. Almås, H. Bjørnhaug, H. Campell, A. Smedshaug, eds), 203-227. Akademika forlag, postboks 2461, Sluppen 7005 Trondheim
- Bonesmo, H., K.A. Beauchemin, O.M. Harstad, A.O. Skjelvåg, 2013. Greenhouse gas emission intensities of grass silage based dairy and beef production: A systems analysis of Norwegian farms. *Livestock Science*, 152:239-252.
- Borgen, S., A. Grønlund, O. Andren, T. Kätterer, O. E. Tveito, L. R. Bakken & K. Paustian, 2012. CO<sub>2</sub> emissions from cropland in Norway estimated by IPCC default and Tier 2 methods. *Greenhouse Gas Measurement and Management*, DOI: 10.1080/20430779.2012.672306.
- Bygdeforskning. 2012. Rapport 2/2012, ISSN 1503-2035
- Grønlund, A., T.E. Sveistrup, A. K. Søvik, D. P. Rasse & B. Kløve, 2006. Degradation of cultivated peat soils in northern Norway based on field scale CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emission measurements. *Arch Agron Soil Sci* 52: 149-159.
- Grønlund, A., A. Hauge, A. Hovde A. & D. Rasse, 2008. Carbon loss for cultivated peat soils in Norway: a comparison of three different methods. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 81: 157-167.
- Grønlund, A., S. Weldon, S. Øpstad, M. Zielke & E. Fjellidal 2013. Klimagasser fra omgravid myr. Orienterende undersøkelser av utslipp fra omgravid myr sammenlignet med tradisjonell dyrket myr og mineraljord. *Bioforsk Rapport Vol. 8 nr 131 2013*. ISBN nr 978-82-17-00976-4. 23 s.
- Gundersen, G. I., A. Snellingen Bye, T. Sandmo & G. Berge, 2007. *Jordbruk og miljø. Resultatkontroll jordbruk 2007*. SSB. ISBN 978-82-537-82-7303-2.
- Herps, M., Friborg, T., Schelde, K., Jensen, R., Ringgard, R., Vasques, V., Thomsen, A-G. & Søgaard, H. 2013. Climate and site management driving factors for the atmospheric greenhouse gas exchange of a restored wetland. *Biogeosciences*, 10, 39-52.
- IDF. 2010. A Common Carbon Footprint Approach from Dairy. The IDF Guide to Standard Lifecycle Assessment Methodology for the Dairy Sector. Bulletin 445/2010 of the International Dairy Federation. Lasted ned 2. juni 2013 fra: <http://www.fil-idf.org/Public/Publication.php?ID=38058>.
- Jarvis, Å. & A. Schnürer. 2009. Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar. SGC rapport 207. Svenskt Gastekiskt Center, juni 2009. 118 s Karlengen, I.J., B. Svihus, N.P. Kjos & O.M. Harstad, 2012. Husdyrgjødsel; oppdartering av mengder gjødsel og utskillelse av nitrogen, fosfor og kalium. Rapport av 17.12.2012, institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap, Universitetet for miljø- og biovitenskap.
- Landbruks- og matdepartementet 2008. St.meld. nr 39. 2008-2009. Klimautfordringene - landbruket en del av løsningene. 301 s.
- Landbruks- og matdepartementet 2011. Meld. St. 9. 2011-2012. Melding til Stortinget. Landbruks- og matpolitikken. Velkommen til bords. 301 s.
- Lehmann, J. & S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management: An introduction. In: Lehmann J. and S. Joseph (eds.) *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, pp.1-9. Earthscan, London, UK.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447:143-144.

- Maljanen, M., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Laine, J., Minkkinen, K. & Martikainen, P.J. 2013. Atmospheric impact of abandoned agricultural soils depends on hydrological conditions. *Boreal Environmental Research* 18. ISSN 1239-6095 (print) ISSN 1797-2469 (online).
- Mathews, J.A. 2008. Carbon-negative biofuels. *Energy Policy* 36: 940-945.
- Nordberg, Å. 1996. One- and two-phase anaerobic digestion of ley crop silage with and without liquid recirculation. Doktorsavhandling. Rapport 64, Institutionen för mikrobiologi, SLU, Uppsala, ISBN 91-576-5135-3.
- Riley, H. & M. Bakkegård, 2006. Declines in soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 56: 217-223.
- Sandmo (ed) 2012. The Norwegian Emission Inventory 2012. Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants. Statistisk sentralbyrå Oslo-Kongsvinger. Documents 43/2012. 273 s.
- Schrier-Uijl, A.P., Kroon, P.S., Hendriks, D.M.D., Hensen, A., Van Huissteden, J.C., Leffelaar, P.A., Berendse, F. & Veenendaal, E.M. 2013. Agricultural peat land; towards a greenhouse gas sink - a synthesis of a Dutch landscape study. *Biogosciences Discuss*, 10, 9697-9738.
- Snellingen Bye, A., P.A. Aarstad, A. I. Løvberget, C. Skjerpen & B. Hoem, 2011. *Jordbruk og miljø. Tilstand og utvikling 2011*. SSB. ISBN 978-82-537-8251-5.
- Van den Heuvel, R. N., S. E. Bakker, M.S.M. Jetten & M. M. Hefting, 2011. Decreased N<sub>2</sub>O reduction by low soil pH causes high N<sub>2</sub>O emissions in a riparian ecosystem. *Geobiology*. Volume 9, issue 3, 294-300.