

Økologisk landbruk og klimagasser

- Metan, lystgass og CO₂

NORSØK RAPPORT | VOL. 3 | NR.2 | 2018



TITTELØkologisk landbruk og klimagasser – metan, lystgass og CO₂**FORFATTER(E)**

Grete Lene Serikstad

DATO	RAPPORT NR.	TILGJENGELIGHET	PROSJEKTNR.:	
16.03.2018	3/2/2018	Åpen	3021	
ISBN:		ISSN:	ANTALL SIDER	ANTALL VEDLEGG
978-82-8202-056-5			52	1

OPPDRAKSGIVER

Stiftelsen Eir

KONTAKTPERSON

Erik Siem

STIKKORD

Økologisk landbruk, klimagasser, karbonlagring

Organic agriculture, climate gases, carbon sequestration

FAGOMRÅDE

Miljø

Environment

SAMMENDRAG

Alle former for landbruk bidrar til utslipp av klimagasser, særlig av lystgass og metan. Måling av klimagassutslipp fra landbruket og lagring av karbon i jord er komplisert og er både tids- og stedsavhengig. Offisiell statistikk for landbruk omfatter ikke alle utslipp som hører med i landbruksproduksjonen, som utslipp ved produksjon av kunstgjødsel. Innhold av karbon i dyrkajord regnes heller ikke med. Kostholdsammensetning og matsvinn betyr dessuten mye for samlet utslippsmengde fra matproduksjon. Ved sammenligning av driftsformer er det viktig å ha med alle faktorer av betydning for klimapåvirkning.

De fleste vitensynteser og metaanalyser om klimagassutslipp fra ulike driftsformer konkluderer med at økologisk drift gir mindre utslipp per arealenhet sammenlignet med konvensjonell drift. Beregnes dette per produsert enhet kommer økologisk drift ofte dårligere ut enn konvensjonelt landbruk, noe som delvis skyldes lavere avlinger. Få sammenligninger mellom driftsformer mht. karbonlagring er gjort, men resultatene i undersøkelsene som er gjengitt i rapporten tyder på økologisk landbruk kan bidra til større karbonlagring i jord enn konvensjonell drift. Mange faktorer som vektlegges i økologisk landbruk kan bidra til en reduksjon av landbrukets klimagassutslipp, men benevnelsen økologisk landbruk gir ingen garanti for lave utslipp av klimagasser og økt karbonlagring. Store variasjoner i klimagassutslipp mellom enkeltgårder er registrert, både ved

konvensjonell og økologisk driftsform. Det betyr at potensialet for reduksjon av utslipp er tilstede i begge driftsformer.

Klimapåvirkninger er bare en av flere miljøeffekter av landbruk, andre viktige effekter er biodiversitet, erosjon, vannforurensning, jordkvalitet osv. Livsløpsanalyser (LCA) er ofte brukt når miljøeffekter skal vurderes.

Summary

Agriculture contributes to emissions of greenhouse gases (GHG) such as CH₄ and N₂O. Measurements of GHG emissions from agriculture and carbon sequestration in soil are complicated, and are dependent of both time and location. Official statistics about agriculture doesn't include all kinds of relevant emissions, for example production of chemical fertilizers. The carbon content in agricultural soils is also not included. Diet composition and losses in the food chain have great impact on total emissions from food production. When organic and conventional agriculture are compared all relevant factors must be included.

Most meta studies and literature studies about GHG emissions from different agriculture methods conclude with less emissions from organic agriculture per unit of area, compared to conventional agriculture. Per unit of product are the emissions about the same from the two agricultural methods. Comparisons of carbon sequestration between the two methods are few, but results quoted in the report indicate that organic agriculture might sequester more carbon than conventional agriculture. The label "organic agriculture" gives no guarantee for low GHG emissions and high carbon sequestration. Big variations in emissions between farms are observed in both organic and conventional agriculture, which means that there are potentials for reduction in both methods.

LAND: Norge
STED: Tingvoll

GODKJENT

Turid Strøm

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER

Grete Lene Serikstad

NAVN/NAME

Forord

Økologisk landbruk, inklusive den biodynamiske driftsformen, har vist seg å kunne gi positive bidrag til noen av de miljømessige utfordringene som dagens landbruk står overfor. Et landbruk uten bruk av kjemiske sprøytemidler og nitrogen i form av kunstgjødsel kan gi flere miljømessige fordeler, blant annet med hensyn til biologisk mangfold og redusert forurensning av hav og vassdrag.

Et virkelig økologisk bærekraftig landbruk må også være ledende når det gjelder lavt utslipp av klimagasser. Har økologisk landbruk, slik det praktiseres i dag, en slik spydspissposisjon? Kan økologisk landbruk bidra til å redusere klimagassutslippene og øke lagringen av karbon i jord? Hvordan kan det økologiske landbruket forbedres, slik at driftsformen gir så små negative klima-effekter som mulig og på den måten fortsatt kan være en spydspiss for hele landbruket? Hva slags kosthold kan vi ha, som er bærekraftig og bidrar til å redusere klimagassutslippene? Dette er omfattende spørsmål, som mange er interessert i å få svar på.

Disse spørsmålene vil Stiftelsen Eir bidra til å belyse og har derfor bevilget midler til Stiftelsen Fokhol Gård til prosjektet «Klimaregnskap for norsk landbruksproduksjon og tiltaksvurderinger». Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK) har hatt prosjektledelsen. Denne rapporten presenterer en kort kunnskapsstatus om økologisk landbruk og klimagasser, både mht. utslipp og lagring. Betydningen av kosthold og matvaresystemer for klimagassutslipp fra landbrukssektoren er også nevnt. Dagens kunnskapsgrunnlag er mangelfullt og ny viten på området publiseres stadig. Rapporten gir på ingen måte en fullstendig oversikt. Konklusjonene er skrevet på grunnlag av forskningen som presenteres. Et mål for rapporten er å danne et grunnlag for videre studium og debatt.

I prosjektet har forsker Artur Granstedt beregnet klimagassutslipp fra norsk matproduksjon og har foretatt en vurdering av hvordan kretsløpsprinsipper kan tilpasses i sammenheng med gårdsdrift og bærekraftig forbruk av mat, med utgangspunkt i Fokhol Gård i Stange, som drives bio-dynamisk. Med forbehold om de spesielt gode forutsetninger denne gården har med hensyn til jord og andre dyrkingsforhold, kan kunnskap derfra gi verdifull informasjon om hva et allsidig driftsopplegg med husdyrhold, fôr- og matdyrking kan bety for å redusere klimagassutslipp fra matproduksjon. Forpakterne på Fokhol Gård har bidratt med tallmateriale og stilt gården til disposisjon for prøvetaking. Denne delen av prosjektet presenteres i egen rapport.

Takk til Emil Mohr som tok initiativet til at søknaden ble skrevet og som ga nødvendig hjelp i oppstartsfasen. Han har også gitt nyttige kommentarer til teksten.

Takk til alle på Fokhol Gård som har lagt til rette for konstruktive og hyggelige prosjektsamlinger på gården, med fantastisk mat og god forpleining.

Takk til Sissel Hansen som har lest gjennom og bidratt med verdifulle innspill til teksten.

Takk til Stiftelsen Eir som gjorde dette arbeidet mulig.

Tingvoll, 16.03.18

Grete Lene Serikstad

Innhold

1	Innledning.....	9
2	Klimagassutslipp i landbruket	11
2.1	Metan (CH ₄).....	12
2.2	Lystgass (N ₂ O)	13
2.3	Karbondioksid (CO ₂).....	14
2.4	Ammoniakk (NH ₃).....	14
2.5	Produksjon av kunstgjødsel	14
2.6	Biologisk nitrogenfiksering.....	15
2.7	Produksjon av kjemiske sprøytemidler	16
3	Klimagassutslipp i økologisk landbruk.....	18
3.1	Vitensynteser og metaanalyser	18
4	Nitrogeneffektivitet.....	22
5	Binding, lagring og frigjøring av karbon i jord	24
5.1	Innhold av organisk materiale i norsk jord	25
5.2	Driftsformens betydning for innholdet av organisk materiale i jord	26
5.3	Binding av karbon i jorda ved økologisk drift.....	28
5.4	Biokull.....	30
6	Bruk av livsløpsanalyser (LCA) ved sammen-ligning av driftsformer	31
6.1	Mangler ved metoden	34
7	Diskusjon	36
7.1	Utfordringer for økologisk landbruk	38
7.2	Viktige faktorer uavhengig av driftsform	40
8	Konklusjon.....	42
9	Litteraturreferanser	44
10	Vedlegg.....	50
10.1	Prosjekter	50

1 Innledning

Dagens landbruk bidrar til utslipp av klimagasser. Globalt står utslippene fra denne sektoren for omlag 13,5-18 % av de globale menneskeskapte klimagassutslippene (Stolze 2000, Bouwman 2001, Steinfeld m.fl. 2006, Schärer 2013). I Europa står jordbrukssektoren for i overkant av 10 % av de offisielt estimerte, samlede utslippene (Steinemann m.fl. 2015). I følge offisiell statistikk for Norge stod landbruket for 9,2 % av det totale estimerte utslippet på ca. 54 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i 2015. Av dette var 52 % metan, 38 % lystgass og 10 % karbondioksid. Landbrukets del av totalt utslipp i Norge var 50 % for metan og 72 % for lystgass i 2015 (Bye m.fl. 2017).

De offisielle tallene for utslipp fra jordbruket omfatter ikke alle utslippene som hører med i matproduksjonen. Dette gjelder for eksempel utslipp ved produksjon av kunstgjødsel og forbrenning av fossilt drivstoff ved transport og lagring av innsatsfaktorer, som gjødsel og kraftfôr, og transport av produkter. Dessuten bidrar jordbruket til lagring av karbondioksid (CO₂) gjennom organisk materiale i jord og binding i produkter. Dette må trekkes fra i et fullstendig regnskap, men inngår ikke i offisielle tall for utslipp fra landbruket. Tap av CO₂ fra dyrka jord inngår heller ikke i den offisielle utslippsstatistikken.

Andre faktorer som bør være med i et totalregnskap for utslipp er f. eks produksjon og bruk av investeringer som bygninger og maskinelt utstyr. Dette gjør det samtidig vanskelig å si noe generelt om utslipp fra en bestemt driftsform. Alder og byggemateriale på driftsbygningene kan i en slik sammenheng ha større betydning enn driftsmåte.

Der det brukes kraftfôr produsert i andre land, bør også utslipp knyttet til denne produksjonen være med i et fullstendig regnskap. Det kan for eksempel være at områder som nå brukes til soya-produksjon, tidligere har vært regnskog, og hogging/brenning av regnskogen på dette arealet bør da regnes med.

Landbruk, sammen med transport, er pekt på som en samfunnssektor hvor de innenlandske utslippene skal reduseres i henhold til internasjonale klimaavtaler. Disse sektorene er ikke omfattet av det internasjonale systemet for handel med CO₂-kvoter og er derfor pålagt spesielle krav til reduksjoner.

Det er helt nødvendig å utvikle driftsformer som bidrar minst mulig til klimaendringene. En reduksjon av de negative effektene fra landbruket kan oppnås gjennom reduksjon av utslippene av klimagassene karbondioksid, metan og lystgass og binding av karbon i jord og biomasse. I dette ligger også bruk av fornybar energi og produksjon av bioenergi for å redusere bruken av fossilt karbon. Videreforedling og transport av mat forårsaker også klimagassutslipp etter at produktene har forlatt gården, på veien fram til forbrukerne. Kostholdsammensetning og matsvinn betyr dessuten mye for den samlede utslippsmengden fra matproduksjonen.

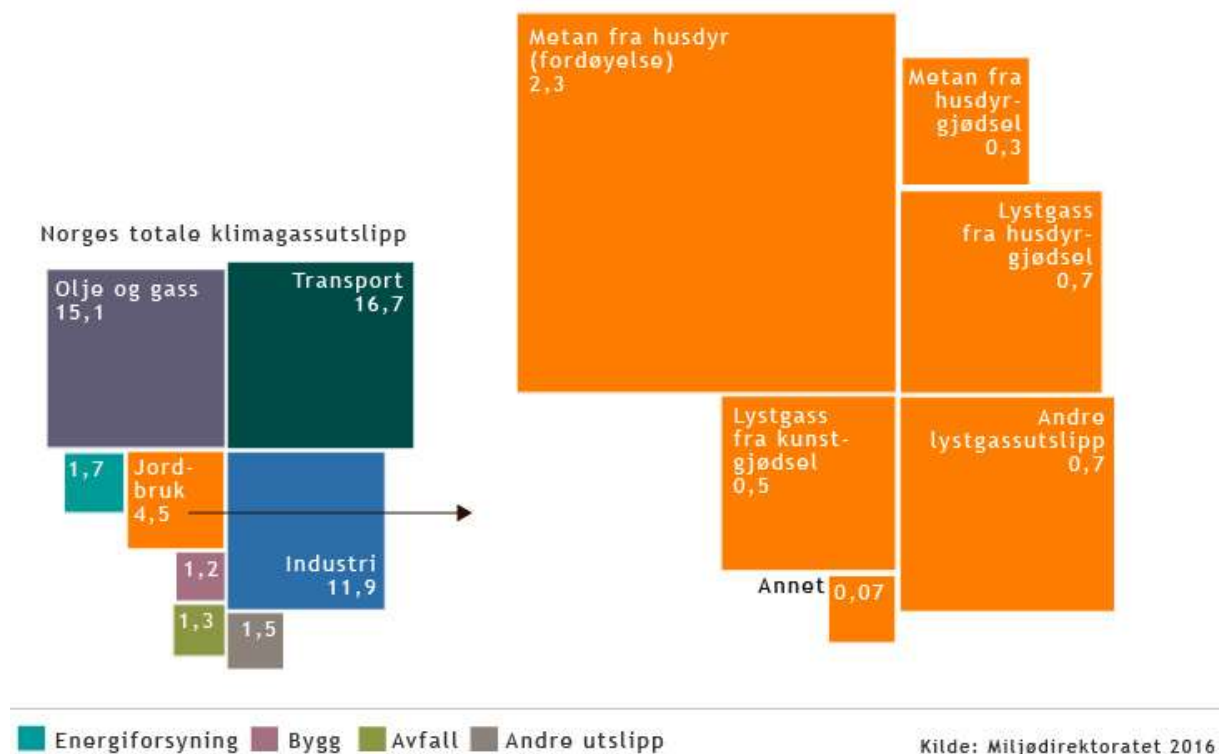
Matproduksjon som samfunnssektor stopper ikke ved gårdsgrinda. Transport, foredling og salg av mat bør tas med når en skal vurdere ulike driftsformer mht. klimaeffekter eller andre miljøeffekter. Ikke minst gjelder det sammensetningen av kostholdet, og dermed fordelingen av produksjoner i jordbruket. Denne rapporten diskuterer noen problemstillinger knyttet til dette og hvilken betydning økologisk landbruk kan ha i en slik sammenheng.

Benevnelsen «økologisk landbruk» i denne rapporten refererer til retningslinjene gitt av paraplyorganisasjonen IFOAM Organics International og det lovfestede regelverket i EU og EØS. «Konvensjonelt landbruk» er ikke et definert begrep og i denne sammenhengen kan betegnelsen sidestilles med «ikke-økologisk landbruk».

I rapporten presenteres vitensynteser og metaanalyser som diskuterer klimagassutslipp og karbonlagring i økologisk landbruk. Noe av det som fins av undersøkelser i Norge er også med, men det er hittil gjort svært få målinger her i landet. Eksempler på hva som kan påvirke klimagass-utslippene fra landbruksproduksjon er tatt med. Mange relevante og viktige problemstillinger blir ikke behandlet i denne rapporten. Rapporten bygger på internasjonale undersøkelser og diskusjon og konklusjon i rapporten kan derfor ikke relateres til norske forhold alene.

Utslipp av klimagasser fra jordbruk i 2015

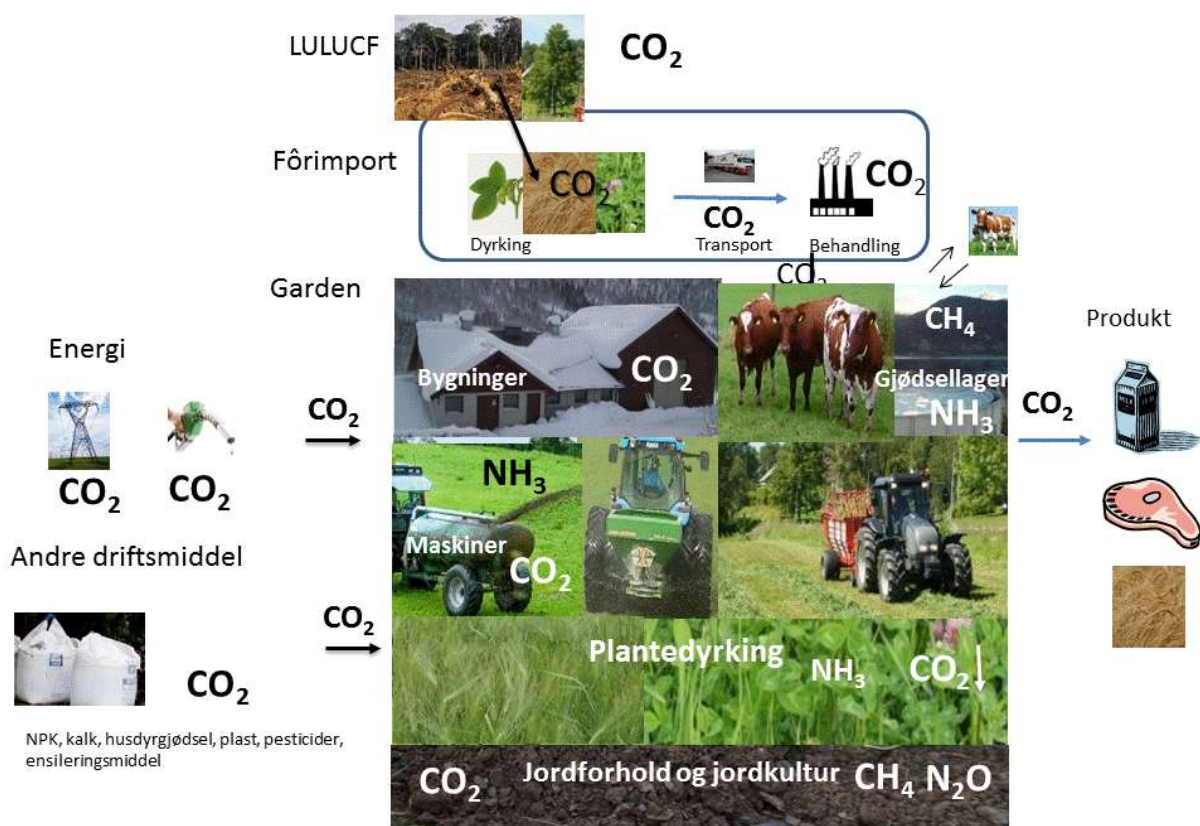
Utslipp til luft (millioner tonn CO₂-ekvivalenter)



Figur 1. Norges totale utslipp av klimagasser og fra jordbruk i 2015. Utslipp til luft, mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Kilde: Miljødirektoratet 2016

2 Klimagassutslipp i landbruket

All matproduksjon medfører utslipp av ulike klimagasser. De største bidragene til klimagassutslipp fra landbruket kommer fra metan (CH_4) og lystgass (N_2O). For å forenkle sammenligningen av utslippene fra de ulike gassene, blir mengden av andre klimagasser omregnet til den mengden karbondioksid (CO_2) som i løpet av 100 år ville gitt samme oppvarmingspotensial (drivhuseffekt), dvs. CO_2 -ekvivalenter. Drivhuseffekten av metan og lystgass er mye kraftigere enn av CO_2 (se nedenfor). I følge offentlig statistikk var utslippene fra landbruket fordelt slik i 2014: 53 % metan, 36 % lystgass og 11 % CO_2 (Bye m.fl. 2016).



Figur 2. Kilder til utslipp av klimagasser fra gården og innsatsmidler som brukes i gårdsdrifta. De dominerende klimagassene fra jordbruket er metan (CH_4) og lystgass (N_2O). En viktig årsak til dette er at de har en mye sterkere drivhuseffekt enn karbondioksid (CO_2). Selv om ammoniakk (NH_3) ikke har en direkte drivhuseffekt, tas den med i beregningene da den er en kilde til produksjon av lystgass. LULUCF står for «land use, land use change and forestry» og er her brukt om klimagassutslipp ved avskoging og oppdyrking av areal i andre land som det importeres kraftfôr fra. Kilde: Sissel Hansen, upubliseret

De største utslippene fra jordbruket stammer fra biologiske og kjemiske prosesser i husdyr, husdyrgjødsel og jordsmonn. I tillegg kommer utslipp fra forbrenning, både fra oppvarming og kjøretøy. I følge offentlig statistikk utgjør jordbrukets andel av de totale norske utslippene 9,2 % i 2015 (Bye m.fl. 2017). Utslipet av klimagasser er også betydelig fra andre kilder som hører naturlig med i matproduksjonen, men i offisiell statistikk inngår disse i utslippene fra sektorer som transport, industri, skog og andre arealer. Dette gjelder f.eks. utslipp av CO₂ og lystgass ved produksjon av kunstgjødsel og CO₂ fra forbrenning av fossilt drivstoff ved transport og lagring av innsatsfaktorer, som gjødsel og kraftfôr, og transport av produkter (Grønlund & Harstad 2014). Tap av CO₂ fra dyrka jord inngår heller ikke i den offisielle utslippsstatistikken. Grønlund & Harstad (2014) har regnet ut at inkludert disse utslippene var utslippet fra landbrukssektoren i Norge ca. 6,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2010, noe som utgjorde ca. 13 % av landets totale utslipp.

Det har de siste årene vært en liten nedgang i utslippene fra jordbruket, fra 1990 til 2016 ble utslippene redusert med 4 %. Dette skyldes bla. lavere forbruk av nitrogenholdig mineralgjødsel, bruk av mer kraftfôr og færre mjølkekyr. I 2015 tilsvarte utslippene fra jordbruket 4,5 mill. tonn CO₂-ekvivalenter (Miljødirektoratet 2017).

Det er mye usikkerhet knyttet til disse tallene, og variasjonene er store ut fra bla. lokale forhold og variasjoner i værforhold og klima. Usikkerheten knytter seg særlig til utslipp av lystgass fra jord (Miljødirektoratet 2017). Tallene for dyrking av myr er også svært usikre. Målinger på dyrka myr på Nord-Vestlandet viste f.eks. store utslipp av metan, mens det var ubetydelige utslipp av lystgass (pers. med. S. Hansen 2018).

2.1 Metan (CH₄)

Metan dannes ved anaerob nedbrytning av organisk materiale som sukker og cellulose. Dette skjer i vom og tarmer hos drøvtyggere, i gjødsellager og i tett jord, ikke minst myrjord. Størsteparten av metanutslippene fra jordbruket stammer derfor fra husdyr. Sammenlignet med CO₂ har metan 25 ganger sterkere oppvarmingspotensial. Jordbrukets bidrag til de samlede menneskeskapt utslippene av metan i Norge er rundt 50 % (Miljødirektoratet 2017). Metan fra jordbruket inngår imidlertid ikke i et biologisk kretsløp og tilfører ikke atmosfæren fossilt CO₂. I motsetning til CO₂ fra fossile kilder, som vil akkumuleres i atmosfæren, vil det meste av metanet være forsvunnet etter ti år, og etter 50 år fins det bare noen få prosent igjen (Jewert 2017).

I beregningene av jordbrukets utslipp av metan i 2015 kom 90 % fra husdyras fordøyelse, mens 10 % kom fra anaerob nedbrytning ved lagring av husdyrgjødsel. Andelen er noe større enn det tallene fra 2010 i tabellen over viser. En overveiende del av metanutslippene fra husdyras fordøyelse skyldes drøvtyggenes mikrobielle gjæring av fôret, hvor en del av karbonet i fôret omdannes til metan. Utslipp fra storfe ble estimert til rundt 74 % av utslippet fra drøvtyggenes fordøyelse (Bye m.fl. 2017). Forbrenning av halm og fossilt drivstoff står for mindre enn en halv prosent av utslippene (Grønlund & Harstad 2014). Metanutslipp fra dyrket myr og våt mineraljord er ikke med i disse beregningene.

I aerob jord brytes metan ned av metanoksiderende bakterier. Denne prosessen bidrar med rundt 15 % av global metannedbrytning. Det har vært drevet gjødslingsforsøk i 150 år i England. Her ga lang-

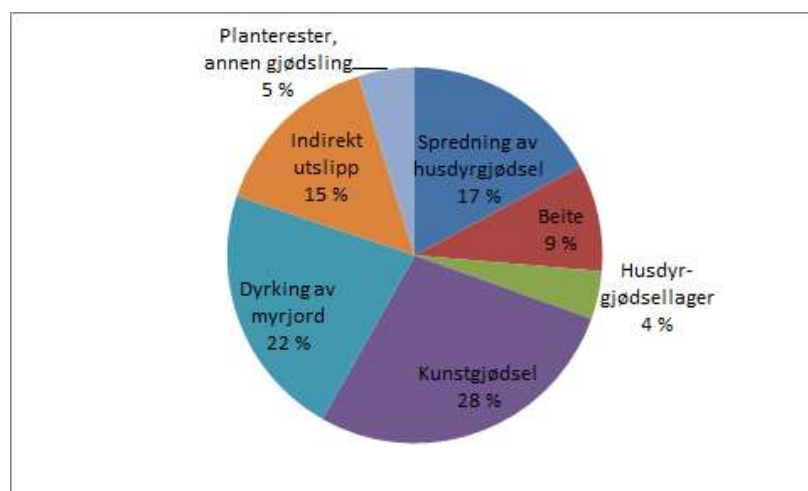
varig tilførsel av ammoniumbasert nitrogen gjødsel fullstendig blokkering av metanoksidasjonen i jorda. Tilførsel av husdyrgjødsel med mer nitrogen ga ikke slik blokkering av metanoksidasjonen, heller ikke nitratbasert N-gjødsel (Powlson m.fl. 1997). Stolze m.fl. (2000) refererer to studier hvor metanoksidasjonen i jorda var opptil dobbelt så stor i jord gjødslet med organisk gjødsel, sammenlignet med konvensjonelt drevet jord gjødslet med kunstgjødsel. Hansen m.fl. (1993) fant at både gjødsling og jordpakking reduserte opptaket av metan i jorda. Reduksjonen i metanopptaket var like stor ved gjødsling med ammoniumnitrat (NH_4NO_3) som ved bruk av bløtgjødsel.

2.2 Lystgass (N_2O)

Lystgass dannes ved mikrobiologisk aktivitet i jordsmonnet, særlig ved denitrifikasjon av nitrat (NO_3^-), men også ved nitrifikasjon fra ammonium (NH_4^+) til nitrat. Denitrifikasjon skjer der nitrat er tilgjengelig og det samtidig er anaerobe forhold, og kan dermed også skje ved lagring av husdyrgjødsel.

Lystgass dannes også ved oksidering av ammoniakk (NH_3) til nitrat (NO_3^-) ved produksjon av nitrat og salpetersyre og ved sterk oppvarming ved forbrenning av fossilt brensel. Jo mer nitrogen som tilføres jorda, jo større er potensialet for utslipp av lystgass - uansett hvor nitrogenet kommer fra.

Lystgass har et oppvarmingspotensial som er ca. 300 ganger større enn for CO_2 . Landbruket stod for 72 % av de estimerte utslippene av lystgass i Norge i 2015. Kunstgjødsel og husdyrgjødsel er de største kildene til lystgassutslipp fra landbruket, og utgjorde hhv. 26 og 35 % av de estimerte utslippene av lystgass i landbruket i 2015. Samme år stod avrenning av nitrogen for 9 % og dyrking av myr for 21 % av landbrukets lystgassutslipp (Bye m.fl. 2017). Andre kilder er nedbrytning av restavlinger, nedfall av ammoniakk, bruk av avløps slam og forbrenning av fossilt drivstoff (Grønlund & Harstad 2014).



Figur 3. Fordeling av N_2O -utslipp fra norsk jordbruk i 2014. Kilde: SSB

2.3 Karbondioksid (CO₂)

Utslipp av karbondioksid, CO₂, fra jordbruket stammer fra forbrenning av fossile energikilder, nedbryting av organisk karbon i jord og tilførsel av urea og kalk på jordbruksareal. Landbrukets andel av Norges samlede utslipp av CO₂ er rundt 1,0 %. Drivstoffforbrenningen utgjør i underkant av 10 % av de totale utslippene fra landbruket (Grønlund & Harstad 2014).

Nedbrytning og oppbygging av karbonforbindelser skjer i alle typer jord med et minimum av innhold av organisk materiale. Myrjord inneholder store mengder organiske karbonforbindelser som brytes ned og frigjør CO₂ når jorda dyrkes og grøftes. Det er uklart hvor store mengder CO₂ som dannes på denne måten under norske forhold, men med grunnlag i rundt 7-800 000 daa dyrket myrjord har Grønlund & Harstad (2014) beregnet årlige utslipp fra dyrka myrjord til rundt 1,5 mill. tonn CO₂.

Utslipp av CO₂ fra produksjonen av kunstgjødsel bør også regnes med til utslippene fra landbrukssektoren. Grønlund m.fl. (2008b) har beregnet årlig mengde til 0,3 mill. tonn for gjødsel brukt i norsk jordbruk. Per kg N utgjør dette ca. 3 kg CO₂. I tillegg produseres CO₂ ved utvinning, rensing og transport av fosfat i kunstgjødsel, utvinning og transport av jordbrukskalk, og produksjon av kjemiske sprøytemidler.

2.4 Ammoniakk (NH₃)

Ammoniakk bidrar ikke direkte til drivhuseffekten, men gassen fraktes i luft og faller ned sammen med nedbør. Noe av nitrogenet i ammoniakken kan omdannes til lystgass. Ammoniakk bidrar dessuten til forsuring og eutrofiering i jord og vann.

Bruk av kunstgjødsel og husdyrgjødsel gir fordamping og deretter nedfall av ammoniakk. Dette gir indirekte utslipp av N₂O. Jordbruket står for rundt 90 % av de totale ammoniakktutslippene i Norge, av dette utgjør utslipp fra husdyrgjødsel mesteparten, rundt 87 %. Bruk av kunstgjødsel står for 9 % og ammoniakkbehandling av halm og bruk av kloakkslam utgjør rundt 5 % (Bye m.fl. 2017).

Utslipp av ammoniakk fra husdyrgjødsel avhenger av flere faktorer, blant annet dyreslag, nitrogeninnhold i fôr, gjødsellagring, klima, gjødselspredning og jordas egenskaper. En driftsform med dyr på beite antas å gi mindre ammoniakktap enn om dyra holdes inne. Dette skyldes at urinen fra beitedyra absorberes raskt i jorda, mens den i fjøset lettere vil omdannes til ammoniakk.

2.5 Produksjon av kunstgjødsel

Produksjon av kunstgjødsel, særlig nitrogengjødsel, bidrar med klimagassutslipp. Som nevnt er disse utslippene vanligvis ikke med i tall for utslipp fra landbruket. Produksjon av 1 tonn nitrogen i form av ammoniumnitrat ga utslipp tilsvarende 6,8 tonn CO₂-ekvivalenter i form av lystgass og karbondioksid ved europeiske gjødselprodusenter i 2003 (Yara 2008). Ved hjelp av lavt energiforbruk i ammoniakktaproduksjonen i tillegg til katalytisk rensing av lystgassutslippene fra salpetersyreproduksjonen har utslippene ved Yaras anlegg blitt redusert. De garanterer at klimagassutslippet fra deres gjødsel som selges i Norden er lavere enn 3,6 kg CO₂-ekvivalenter per kg nitrogen. Ved hjelp av den nye

renseteknologien har utslippene av N₂O blitt redusert med opptil 90 % i forhold til utslippene før teknologien ble innført (Yara 2017). Yaras produksjonsanlegg for kunstgjødsel i Norge produserer årlig rundt 3,5 mill. tonn gjødsel, noe som bidrar til et utslipp av rundt 2,5 mill. tonn CO₂-ekvivalenter (Røed 2007). Andelen kunstgjødsel som brukes i det norske landbruket forårsaker ca. 0,64 mill. tonn av dette (Grønlund m. fl. 2008b). Yara oppgir at gjennomsnittlig utslipp fra jordet ved bruk av ammoniumnitrat er 5,6 kg CO₂-ekvivalenter per kg nitrogen (Yara 2017).

Muller m. fl. (2016) oppgir at produksjon av mengden mineralgjødsel-nitrogen som brukes i EU-28 pluss Island utgjør 18 % av de totale utslippene fra matvareproduksjonen i det samme området. Dette utgjør 80 Mt (megatonn) CO₂-ekvivalenter per år. Den globale produksjonen av mineralisk N-gjødsel har de beregnet gir et utslipp tilsvarende 410 Mt CO₂-ekvivalenter per år.

2.6 Biologisk nitrogenfiksering

Belgvekster som f.eks. kløver, erter og bønner har rotknoller som inneholder Rhizobiumbakterier. Disse omdanner luftas nitrogen til plantetilgjengelig nitrogen. Prosessen kalles biologisk nitrogenfiksering. Før kunstgjødsel ble tatt i bruk var jordbruket helt avhengig av denne prosessen. På samme måte som ved fabrikkframstilling av nitrogen, slippes det ut CO₂ når belgvekstene samler nitrogen. Ved biologisk nitrogenfiksering slippes det ut mer CO₂ enn ved fabrikkframstilling, regnet per kg nitrogen. Klimamessig kommer belgvekstene likevel godt ut av det, fordi *kilden* til CO₂-forbruket i denne nitrogen-produksjonen er luft, gjennom fotosyntesen, og prosessen gir derfor ikke noe tilskudd til atmosfærisk CO₂. Ved fabrikkproduksjon av nitrogen kommer CO₂ fra ikke-fornybar energi, særlig naturgass, og utslipp av dette gir derfor netto tilskudd til atmosfærisk CO₂ (Jensen m.fl. 2012).

Fram til 2006 beregnet FNs klimapanel IPCC at belgvekster slapp ut 1,25 % av det fikserte nitrogenet som lystgass i fikseringsprosessen. Mer kunnskap har imidlertid endret på dette, og IPCC antar nå at lystgassutslippene ved biologisk nitrogenfiksering er så små at de settes til null. Årsaken til lave utslipp fra voksende belgvekster er at de nitrogenfikserende bakteriene på belgvekstenes røtter bare i liten grad slipper ut lystgass mens plantene er i vekst. Lystgass kan imidlertid bli frigjort fra døde knoller og dødt eller høstet plantemateriale. Dette nitrogenet regnes som en potensiell kilde for lystgass, som annet biologisk aktivt nitrogen. Når det er mye nitrogen oppsamlet i belgvekster kan det være fare for høye N₂O-utslipp og tap av nitrogen. Dette kan skje både ved grønnngjødsling og ved pløying av kløverrik eng dersom det ikke finnes andre vekster som kan nyttiggjøre seg det frigjorte nitrogenet (Jensen m.fl. 2012).

Tall fra i alt 70 studier over hele verden viser at det er store variasjoner i utslipp av lystgass fra belgvekster. Utslippene er likevel lavere enn ved dyrking av mange andre vekster. Gjennomsnittsverdiene for utslipp per daa er regnet ut for dyrking av henholdsvis belgvekster og kunstgjødslet gras, raps, hvete og mais. Belgvekstene slapp i snitt ut 129 g N₂O, mens for de andre vekstene var utslippet i gjennomsnitt 322 g N₂O. Utslippene fra belgvekstene var på nivå med utslipp fra ugjødslede arealer, 120 g N₂O per daa (Jensen m.fl. 2012).

2.7 Produksjon av kjemiske sprøytemidler

Produksjonen av kjemiske sprøytemidler bidrar også til landbrukets totale utslipp av klimagasser. Dette er heller ikke med i offisiell utslippsstatistikk for landbruket. I følge Audsley m.fl. (2009) er utslippene fra kjemiske sprøytemidler i alt vesentlig knyttet til energibruk ved framstilling. De har derfor regnet ut utslippsmengden ut fra energibruken, noe som gir et utslipp på 9,4 kg CO₂-ekvivalenter per dekar åkerareal i snitt. Utslippet av klimagasser ved produksjon av sprøytemidler ved dyrking av poteter, sukkerbeter og hvete ligger høyere, mens utslipp ved dyrking av bygg, fôrmais og raps er lavere enn snittet. Dette er tall for engelsk jordbruk, og kan ikke direkte overføres til norske forhold.

Muller m.fl. (2016) oppgir at den globale produksjonen av mengden kjemiske sprøytemidler gir utslipp tilsvarende 70 Mt CO₂-ekvivalenter per år.

Produksjonen av kjemiske sprøytemidler per i dag er mer effektiv enn den var tidligere. Variasjonen i utslipp av klimagasser blant de ulike midlene som er i bruk er imidlertid stor, og størst er variasjonen blant ugrasmidlene. Det mye brukte aktive stoffet glyfosat bidrar med 9,1 kg CO₂-ekvivalenter/kg aktivt stoff. I tillegg må en regne med 0,4 kg CO₂-ekvivalenter per kg aktivt stoff for klebemidler osv. i handelspreparatet (Lal 2004).

Gjødselbiller reduserer klimagassutslipp

Gjødselbiller har larver som utvikler seg i møkk. Mange arter av disse regnes som truede, blant annet på grunn av endringer i husdyrholdet, som redusert beiting. De er viktige bidragsyttere til nedbrytningen av møkk. Forskning har vist at gjødselbiller kan redusere klimagassutslipp fra gjødsel fra beitende storfe. Dette skyldes at gjødselbillene graver ganger i gjødselhaugene, noe som tørker opp gjødsel, tilfører oksygen og øker nedbrytningshastigheten. Lufttilgangen medfører også mindre metangassproduksjon til fordel for andre forbindelser som ikke bidrar til klimagassutslipp.

Med finske forhold som eksempel har forskere beregnet effekten gjødselbillene har på klimagassutslipp på ulike nivå i mjølk- eller storfekjøttproduksjon. Ved å studere utslippene fra hver kuruke, fant de at gjødselbillene reduserte metanutslippene med 14,5 % og lystgassutslippene med 2 %, sammenlignet med utslipp fra kuruker der slike biller ikke var tilstede. Det var særlig de første 20 dagene forskjellen var størst, så total reduksjon av utslipp regnet i CO₂-ekvivalenter i løpet av 59 dager var 7 % når gjødselbiller var tilstede.

Billene hadde også stor effekt på utslippene beregnet for et helt beiteområde. Permanent beite kan være en god kilde til karbonlagring i jord, men klimagassutslippene fra gjødsel som slippes i beitetida vil bidra negativt til det totale klimaregnskapet. I løpet av beitesesongen reduserte gjødselbillene de daglige metangassutslippene fra gjødsel med 17 %, sammenlignet med utslipp fra gjødsel uten biller. Regnet i CO₂-ekvivalenter for både metan og lystgass var reduksjonen 12 % for hele beitesesongen. Økt beitesesong vil generelt øke utslippene, men det vil også øke den relative effekten av gjødselbillene.

Forskerne beregnet også effekten av gjødselbillene ut fra livsløpsanalyser(LCA) av hele produksjonen av mjølk eller storfekjøtt. Effekten på dette nivået blir liten fordi utslippene av metan og lystgass fra kuruker på beite bare utgjør opp mot 6 % av totale klimagassutslipp fra intensiv drift med begrenset beiteperiode i kjølig klima. Forskerne tror at effekten av gjødselbiller på klimagassutslipp øker nærmere ekvator, på grunn av økt temperatur og lenger beitesesong. Dette mener de vil gjelde på alle de tre nivåene de har undersøkt.

Antibiotika påvirker tarmfloraen hos drøvtyggere og kan slik ha betydning for metangassproduksjonen i vomma. Men antibiotika har også betydning for gjødselkvaliteten og dermed også for mikro- og makroorganismer som lever av og i husdyrgjødsel. Gjødsel fra storfe behandlet med det bredspektrede antibiotikumet tetracyclin ble sammenlignet med gjødsel fra dyr som ikke var behandlet. Gjødselbillene som levde på gjødsel fra behandlede dyr fikk en annen tarmflora. Undersøkelsene viste at gjødsel fra antibiotikabehandlede dyr produserte nesten dobbelt så mye metangass som gjødsel fra dyr som ikke var behandlet. Dette kan skyldes behandlingen hemmer andre bakterier i vomma, og at dette «forspranget» som de metanproduserende organismene får i forhold til andre mikroorganismer videreføres til gjødsel. Forskerne påpeker at bruk av antibiotika kan ha økologiske effekter langt ut over dyret som behandles og at omfanget av dette må undersøkes nærmere (Slade m.fl. 2016, Hammer m.fl. 2016).

3 Klimagassutslipp i økologisk landbruk

I dette kapitlet omtales vitensynteser og metaanalyser om klimagassutslipp i økologisk landbruk. Enkeltundersøkelser er ikke gjengitt her, i stedet henvises det til referansene i de enkelte oversiktsarbeidene.

3.1 Vitensynteser og metaanalyser

Det er tidligere gjennomført flere vitensynteser og metaanalyser av vitenskapelige arbeider som omhandler miljøeffekter av økologisk og konvensjonell drift i landbruket, hvor klimagassutslipp er en av miljøeffektene som blir undersøkt, bla. Stolze m.fl. (2000), Stockdale m.fl. (2001), Kasperczyk & Knickel (2006), Gomiero m.fl. (2008) & Gomiero m.fl. (2011). Her presenteres konklusjonene fra vitensynteser som har konsentrert seg om klimagassutslipp, publisert siden 2007.

Niggli m.fl. (2007) har gjennomgått sammenligninger mellom konvensjonell og økologisk drift på ulike systemnivåer, med basis i utslipp av CO₂-ekvivalenter per kg produkt. To beregninger på feltforsøksnivå viste begge 18 % lavere utslipp regnet i CO₂-ekvivalenter for økologisk drift, sammenlignet med tilsvarende konvensjonell drift, for hele vekstskiftet. Sammenligninger på gårdsnivå viste imidlertid både lavere og høyere klimagassutslipp for økologisk drift, fra 14 % lavere til 53 % høyere enn konvensjonell drift. Resultatene varierte også per kg produkt, fra 41 % mindre utslipp i økologisk ertedyrking til 22 % mindre utslipp i konvensjonell purreproduksjon. To av i alt 11 undersøkelser av utslipp per produktenhet viste lavere utslippstall for konvensjonell produksjon.

Mondelaers m.fl. (2009) gikk to år seinere gjennom tilsvarende sammenligninger som var gjort fram til da. De fant at klimagassutslippene fra økologisk landbruk var lavere enn fra konvensjonell drift, regnet på arealbasis, mens det var like eller høyere utslipp fra økologisk drift hvis det regnes per produsert enhet. De konkluderte med at årsaken til dette først og fremst var lavere avlinger i økologisk drift.

To år seinere videreførte og oppdaterte den FAO-støttede forskergruppen «The round table on organic agriculture and climate change» gjennomgangen av studier med sammenligninger mellom konvensjonelt og økologisk landbruk med hensyn til miljøeffekter. De fleste studiene er gjort under europeiske eller nord-amerikanske forhold. En oppsummering av konklusjonene som har med klimagassutslipp å gjøre viser at

- Mengden organisk materiale i jord er i gjennomsnitt høyere i økologisk, sammenlignet med konvensjonell drift
- Klimagassutslippene fra økologisk er lavere enn i konvensjonell drift, regnet per arealenhet, mens regnet per produktenhet er denne forskjellen enten mindre eller ikke til stede. Dette skyldes lavere avlinger i økologisk drift i I-landene (FAO 2011).

Samme år sammenlignet kanadiske forskere energibruk og klimagassutslipp i økologisk og konvensjonell drift på gårdsnivå. De analyserte 130 ulike studier og fant at økologiske gårder hadde lavere energibruk og bedre energieffektivitet enn konvensjonelle gårder for de fleste produksjoner, både per areal og per produsert enhet. For klimautslipp var det for få data til å kunne trekke generelle konklusjoner. For noen produksjoner var det nok data til at forskerne kunne konkludere

med at økologisk drift ga minst klimagassutslipp. Dette var tydeligst per arealenhet, i mindre grad når det ble regnet per produsert enhet (Lynch m.fl. 2011).

I Norge er det hittil gitt ut én rapport om økologisk jordbruk og klima, som inneholdt en vurdering av potensial og begrensninger for reduksjon av jordbruksrelaterte klimagassutslipp (Swensen 2010). I sammendraget står det blant annet: *«I de undersøkelsene som tross alt er gjort, kommer økologisk jordbruk som regel bedre ut enn konvensjonelt når det gjelder miljømessige forhold som klimagassutslipp målt per arealenhet,....og energibruk. Dette gjelder selv om mye av dagens økologiske jordbruk drives etter regelverkets minimumskrav. Forsøk som har inkludert forsøksledd med et driftsopplegg mer i samsvar med det økologiske jordbrukets idegrunnlag, har registrert de største forskjellene i favør av økologisk. Det synes derfor å være et potensial for ytterligere positive effekter hvis en større andel av økologiske gårder utvikler en drift som er mer i tråd med IFOAMs definisjon enn det tilfellet er i dagens praksis....Dagens økologiske jordbruk har 20-40 % lavere avlingsnivå enn konvensjonelt, og dette gjør at utslippet av klimagasser ikke blir entydig lavere per produktenhet enn for konvensjonelle produkter, selv om utslippene beregnet per arealenhet gjennomgående er lavere. Å sette fokus på humusdannelse og god balanse i jordas biologiske prosesser, bør ha høy prioritet ved en videreutvikling av økologisk jordbruk.....»*

En metaanalyse av 71 forskningsprosjekter ble utført av britiske forskere i 2012. De sammenlignet miljømessige effekter av økologisk og konvensjonelt landbruk i Europa, deriblant utslipp av klimagasser. De fant at økologisk landbruk generelt hadde positiv effekt på miljøet regnet per arealenhet, men ikke nødvendigvis per produsert enhet. Dette gjaldt blant annet høyere innhold av organisk materiale i jord og lavere tap av nitrogen, hvor økologisk kom ut bedre enn konvensjonell drift.

Per produsert enhet var ammoniakkutslipp, nitrogenavrenning og lystgassutslipp høyest i økologisk landbruk. Det var klare forskjeller mellom ulike produktgrupper mht. utslipp av drivhusgasser. For mjølkeproduksjon var det høyere utslipp fra økologisk drift på grunn av høyere utslipp av metan og lystgass, og lavere mjølkeytelse per dyr. Forskerne påpeker at det var stor variasjon i resultatene mellom de ulike studiene, både på grunn av de ulike driftssystemene som ble undersøkt og forskningsmetodene som ble brukt. Det var også store forskjeller i miljømessige effekter innen hvert av de to driftssystemene. Forskerne konkluderer med at hovedutfordringene for landbruk i Europa er å øke avlingene uten å ødelegge miljøet i økologisk landbruk, mens for konvensjonelt landbruk er det økt jordkvalitet, resirkulering av næring og bevaring av biologisk mangfold (Tuomisto m.fl. 2012).

I 2013 utga «EPOK- Centrum för ekologisk produktion och konsumtion» ved Sveriges Lantbruksuniversitet en rapport med sammenstilling av kunnskapsstatus om økologisk produksjon og klimapåvirkning (Röös m.fl. 2013). Rapporten konkluderer med at økologisk landbruk har muligheter til å bidra til reduserte klimagassutslipp fra matvaresektoren gjennom økt nitrogeneffektivitet, økt avlingsnivå, mer karbon i jorda, ressurseffektive systemer og mer plantebasert mat. Forfatterne konkluderer med at ved sammenligninger mellom økologisk og konvensjonell produksjon er det svært vanskelig å trekke generelle konklusjoner om klimapåvirkning, og at det heller ikke var hensikten med rapporten.

Svært forenklet kan kunnskapsstatusen for de to produksjonssystemene under svenske forhold, sammenfattes slik:

1. *Klimapåvirkning per arealenhet – fordel økologisk*
2. *Klimapåvirkning per produsert enhet – svært stor variasjon for ulike produkter, men generelt: uavgjort*
3. *Klimapåvirkning per produsert enhet, inkludert varig karbonlagring i jord – fordel økologisk for animalske produkter, uklart for planteprodukter*
4. *Klimapåvirkning per produsert enhet ut fra arealbruk og at bioenergi som erstatning for fossilt brensel blir produsert på ledige jordbruksarealer – fordel konvensjonell*

Rapporten oppsummerer de fire punktene med at relativt mye forskning er gjort omkring punkt 1 og 2, og at disse resultatene ansees som temmelig sikre. Derimot fins det få studier utført omkring punkt 3 og 4, og sammenligninger her vil være mye mer kompliserte. Konklusjoner her vil være langt mer usikre (Röös m.fl. 2013).

I 2014 ble det gjort en metaanalyse av 19 studier i temperert klima på den nordlige halvkule. Disse studiene sammenlignet økologisk og konvensjonell drift mht. utslipp og opptak av klimagasser på gårdsnivå, ved å sammenligne parvise gårdssystemer. Forskerne fant at de årlige lystgassutslippene per hektar fra de økologiske arealene var 492 ± 160 kg CO₂-ekvivalenter lavere enn fra de konvensjonelle arealene, noe som ga en signifikant forskjell. Imidlertid var utslippene per produsert enhet 41 ± 34 kg CO₂-ekvivalenter per tonn tørrstoff høyere fra økologisk drift, sammenlignet med konvensjonell drift. For å oppveie denne forskjellen ble det beregnet at de økologiske avlingene måtte øke med rundt 9 %.

Uansett driftsform tok jord på åkerarealene opp metan. De økologiske åkerarealene tok opp $3,2 \pm 2,5$ kg CO₂-ekvivalenter mer hvert år enn tilsvarende konvensjonelle arealer. Forskerne fant også at klimagassutslippene fra konvensjonelt drevne arealer bestemmes av de totale mengdene nitrogen som tilføres, mens på økologiske arealer bestemmes utslippene av jordegenskapene, særlig den totale nitrogenkonsentrasjonen i jord (Skinner m.fl. 2014).

På oppdrag fra NaturErhvervstyrelsen i Danmark har «Internationalt Center for Forskning i Økologisk Jordbrug og Fødevarer-systemer» (ICROFS), kartlagt eksisterende viten om det samfunnsmessige bidraget som kan tilskrives økologisk landbruk (Jespersen 2015). Et av kapitlene i vitenssynesen omhandler energi og klima. Her konkluderer forfatterne med at forskjellen mellom økologisk og konvensjonell produksjon med hensyn til energibruk og klimagassutslipp er dårlig belyst, og at det er betydelig usikkerhet knyttet til konklusjonene. Med dette som forbehold mener forskerne å se en tendens til at klimagassutslippene fra økologisk landbruk er høyere enn utslippene fra konvensjonell drift, hvis det måles per produsert enhet. De fremholder at det i internasjonale undersøkelser er funnet en bred variasjon, fra – 38 % til + 53 % i klimagassutslipp fra økologisk melkeproduksjon, sammenlignet med konvensjonell produksjon, og at slike resultater viser at driftsforholdene på den enkelte gård spiller en stor rolle i tillegg til selve driftsformen (Fog m.fl. 2015).

I regi av “International Society of Organic Agricultural Research”, ISOFAR, har en gruppe forskere utarbeidet en oversikt over status for forskningen innen økologisk landbruk. De mener at økologisk landbruk kan bidra til å begrense klimaendringene hovedsakelig gjennom valg av driftssystem, ulike driftsmetoder innen plantedyrking og beiting og innen husdyrhold. På grunn av færre innkjøpte

driftsmidler som kunstgjødsel og pesticider er energiforbruket og utslippene av drivhusgasser lavere per arealenhet i økologisk drift, sammenlignet med konvensjonelt landbruk. Per produsert enhet gir tilsvarende sammenligninger varierende resultater, noe som betyr at høyere avlinger og bedre nitrogener effektivitet i økologisk drift er viktig for å redusere klimagassutslippene per produsert enhet. Forskerne framholder også mulighetene for økt karbonlagring i jord, som økologiske driftsmåter gir. Med hensyn til metangassutslipp nevner forskerne at økologiske drøvtyggere lever lenger, noe som gir reduserte utslipp. Biogassproduksjon av bløtgjødsel og bedre oppbevaring og spredning av kompost og husdyrgjødsel kan også gi reduserte utslipp (Rahmann m.fl. 2016).

4 Nitrogeneffektivitet

Mengden nitrogen i plante- og husdyrprodukter i forhold til mengde nitrogen satt inn i produksjonen av disse kalles nitrogeneffektivitet. En høy nitrogeneffektivitet er viktig for å unngå forurensning til luft og vann i form av nitrat, ammoniakkfordamping eller lystgass og kan dessuten være økonomisk fordelaktig for gårdbrukeren. Nitrogeneffektivitet kan derfor også være et mål på hvor stor klimabelastningen fra en gård eller en viss driftsform er. Mange faktorer påvirker denne produktiviteten, blant annet driftsintensitet og mengde nitrogengjødsel.

FN's klimapanel regner med at for hver 100 kg N inn i systemet vil 1 kg N i form av lystgass forsvinne fra jorda og at dette forholdet er konstant uansett mengde N som tilføres, altså en lineær sammenheng mellom tilførsel og utslipp. Tyske forskere fant en slik lineær sammenheng mellom tilførsel av nitrogen og energi og utslipp av drivhusgasser per arealenhet da de undersøkte 33 økologiske og 48 konvensjonelle gårder i Tyskland (Küstermann & Hülsbergen 2008).

Målinger har imidlertid vist at økningen i utslipp er mer eksponentiell enn lineær når det tilføres mer nitrogen enn det plantene klarer å ta opp. Amerikanske forskere studerte dette nærmere, og analyserte resultater fra 78 forsøk med minst tre ulike nivåer for N-gjødsling og hvor lystgassstapene fra den gjødsla jorda ble målt. De fant at økende gjødsling med syntetisk nitrogen ga en responskurve mer lik eksponentiell enn lineær for lystgassutslippene fra jorda når gjødselmengden oversteg plantenes behov (Shcherbak m.fl. 2014).

Ekstensiv drift basert på fôr produsert på egen gård er den mest effektive måten å bedre nitrogeneffektiviteten på innen mjølkeproduksjon. N-effektiviteten går ned og N-utslippene per produsert enhet øker, dersom innkjøpet av fôr er høyt i forhold til planteproduksjonspotensialet på gården. En balansert husdyrproduksjon tilpasset planteproduksjonen på gården ser ut til å være avgjørende for å oppnå best mulig N-effektivitet. Denne konklusjonen kom fram i et studium av nitrogenbalanser fra 21 publiserte undersøkelser av mjølkekusystemer, fra Italia i sør til Norge i nord (Bleken m.fl. 2005).

Nitrogeneffektiviteten ble undersøkt på 10 økologiske og 10 konvensjonelle mjølkeproduksjonsgårder i Møre og Romsdal fra 2010 til 2012. Overskuddet ble regnet ut både per arealenhet og per produsert enhet. Det var store forskjeller på N-overskuddet mellom gårdene som ble undersøkt, også mellom gårdene internt i de to gruppene. I snitt var overskuddet 8,9 kg N/daa på de økologiske gårdene, mens på de konvensjonelle var det i snitt 22 kg N/daa. Per produsert kg N i melk og kjøtt var overskuddet hhv. 4,2 og 6,3 kg N per kg. Forskjellen mellom de to driftsformene var særlig stor når overskuddet ble beregnet for kun fulldyrka areal. Da var N-overskuddet 25 kg per daa på de konvensjonelle gårdene og mindre enn 10 kg N per daa på de økologiske gårdene. Forskerne anbefaler derfor at N-balansen på gårder hvor mengden nitrogen som tilføres varierer mellom arealene (f.eks. utmarksbeite og fulldyrka areal) bør beregnes på skiftenivå og ikke bare som et gjennomsnitt. Blir gjennomsnittet for hele gården brukt, kan tapene fra noen av skiftene bli undervurdert (Koesling m.fl. 2017).

Oregano i fôret reduserer utslipp

Fordøyelsen av grovfôr hos drøvtyggere medfører blant annet dannelse av klimagassen metan. Mengden av slik gass kan reduseres med ulike fôrtilsetninger, f.eks. fett eller nitrat. Slike tilsetninger er ikke tillatt i økologisk mjølkeproduksjon. Forskning i USA har vist at tilsetning av oregano kan ha slik effekt. Universitetet i Århus startet i 2016 et fireårig prosjekt hvor målet er å redusere utslipp av metan fra mjølkekyr med opptil 25 %.

Oregano – særlig arten gresk oregano (*Origanum vulgare spp. Hirtum*)- har et høyt innhold av eteriske oljer og er kjent for å ha antimikrobiell effekt. I prosjektet skal en først undersøke hvordan en best kan dyrke oregano økologisk. Dette skal omfatte sortsutvikling, hvor høyt innhold av eteriske oljer vil være en viktig egenskap. Deretter må en utvikle høste- og lagringsmetoder for fôret, som er egnet for å bevare de gode egenskapene og gi godt fôropptak. Deretter skal kyr i forsøksfjøs få fôr tilsatt oregano. I dette fjøset kan metanmengdene registreres og fôropptaket ved ulike mengder oregano skal måles. Seinere skal slikt fôr prøves ut i praksisfjøs på økologiske gårder, som leverer melk til meieriet Naturmælk.

I tillegg til en positiv klimaeffekt, skal forskerne undersøke om oregano i fôret også kan bidra til å gi melka en bedre fettsyresammensetning.

5 Binding, lagring og frigjøring av karbon i jord

Landbruket slipper ut klimagasser, men bidrar samtidig med binding av karbon i jord gjennom tilførsel av organisk materiale. Dette må tas med ved beregning av landbrukets samlede bidrag til klimapåvirkningene.

Store mengder karbon er lagret i jordsmonnet. Globalt er det beregnet at mengden karbon i jorda er større enn mengdene som fins i vegetasjon og i luft (Scharlemann m.fl. 2014). Jord er derfor viktig som regulator av karboninnholdet i atmosfæren, både som lager og kilde for utslipp av klimagasser. Angitte mengder for hvor mye karbon som fins i hav, jord, atmosfære og vegetasjon varierer noe, men mengden som oppgis lagret i jord er større enn det som fins i atmosfæren. Hessen (2015) oppgir f.eks. at den totale mengden av er 42 000 gigatonn (Gt), dvs. 42 000 milliarder tonn. Av dette fins

- 37 000 Gt i dyphavene
- 600 Gt i vegetasjon
- 1 600 Gt i jord og annet dødt org materiale
- 1 000 Gt i øvre vannlag
- 800 Gt atmosfæren

Dødt organisk materiale er karbonrikt og kalles gjerne humus når det befinner seg i jordsmonnet. Levende jordorganismer og planterøtter er også organisk materiale i jord. Humus deles gjerne i tre typer ut fra hastigheten på omsetninga av det organiske materialet: lettomsattelig- halveringstid 0,5-2 år, middels- halveringstid 15-25 år og stabil humus- halveringstid ca. 800 år (Breland 1992). I nedbrytningsprosessene sørger det organiske materialet for næring og energi til jordorganismenes livsprosesser.

Tilførsel av planterester og bruk av organisk gjødsel øker karboninnholdet i jorda. Nedbrytning av det organiske materialet reduserer innholdet, og differansen mellom tilførsel og tap av organisk karbon i jorda bestemmer karbonbalansen. Disse prosessene påvirkes av plantevekst, klima, jordtype, næringsinnhold og fuktighet.

Driftsmåtene i jordbruket påvirker karboninnholdet i jorda, både gjennom lagring og frigjøring i form av CO₂. Oppdyrking og jordbruksdrift har redusert karboninnholdet i dyrkajorda, og Lal (2010) hevder at mye av verdens dyrkajord har mistet 50-70 % av sitt opprinnelige karbonlager i dyrkajorda, mest i tropiske strøk.

Karbonmengden i jord kan bare øke opp til et visst nivå, for deretter å innstille seg på en ny balanse. Potensialet for reduksjon av atmosfærisk CO₂ ved økt innlagring i jord er usikkert, men vil kunne spille en viss rolle, hvor spesielle driftssystem, som økologisk landbruk kan gi viktige bidrag, men også enkelttiltak, som bruk av husdyrgjødsel, vil være viktig (Smith m.fl. 2011).

Det er vanskelig å fastslå hva som er optimalt innhold av organisk materiale for dyrkamark på ulike jordtyper. Bli innholdet for lavt går det utover vannlagringsevne, næringsstoffbinding, struktur og erosjonsfare i jorda. Et høyt innhold gir fare for CO₂-utslipp ved åpen åker og tap av nitrogen i perioder uten plantevekst (Grønlund m.fl. 2010).

5.1 Innhold av organisk materiale i norsk jord

Klimaet, i form av både temperatur og fuktighet, har avgjørende betydning for mengden karbon som kan lagres i jorda. Ved et gitt klima og en gitt driftsmåte vil innholdet av organisk materiale i jorda stabilisere seg på et visst nivå. På grunn av det relativt kjølige klimaet og en stor andel engareal, er dyrkajordas karboninnhold i Norge relativt høyt. Myrjord med høyt karboninnhold utgjør i underkant av 8 % av det norske jordbruksarealet. Karbontapet fra drenert og dyrka myr er langt større enn fra mineraljord, sjøl ved grasdyrking (Grønlund m.fl. 2008a).

Ut fra glødetapsanalyser av rundt 85 000 jordprøver tatt i årene 2000-2007, går det fram at gjennomsnittlig karboninnhold i norsk jord med ensidig åkerdyrking var ca. 2,5 % og ca. 3,5 % i jord med langvarig eng. Størst mulighet for økt opptak av karbon er det på jord med et vekstskifte med mye åker, der karboninnholdet er lavt (Bárcena m.fl. 2016). For å kunne øke moldinnholdet i åkerjord vesentlig, må det dyrkes eng.

Mange steder på Østlandet har overgang fra vekstskifte med eng til ensidig åkerbruk ført til en gradvis nedgang i karboninnholdet i mineraljord. Nedgangen fra 1990 til 2000 var i gjennomsnitt 0,023 g C/100 g jord, noe som tilsvarer 55 kg karbon per dekar i de øverste 20 cm med jord. Prøver tatt på Hedemarken viste mer enn dobbelt så stor nedgang per år som gjennomsnittet, 0,050 g C/år (Riley & Bakkegard 2006). Reduksjonen i moldinnholdet i norsk åkerjord skjer fortsatt. Dette gjelder særlig der moldinnholdet var høyt da det ble oppdyrket. I jord med lavt moldinnhold er det ikke vist endring eller svak økning i moldinnholdet over tid (Tørresen m.fl. 2015).

Dyp pløying og varmere klima har bidratt til at reduksjon i dyrkajordas karboninnhold har fortsatt fram til i dag. Bruk av eng i vekstskiftet er avgjørende for utviklingen av moldinnholdet i jorda på lang sikt. I et langvarig vekstskifteforsøk på leirjord med 3,8 % moldinnhold på Ås i Akershus ble jordas moldinnhold undersøkt etter 30 år. Moldinnholdet økte med 2/3 eng i omløpet, forutsatt at det ble brukt husdyrgjødsel. Med 1/3 eng i vekstskiftet ble moldinnholdet redusert, men noe mindre når husdyrgjødsel ble brukt. Størst reduksjon i moldinnholdet ble det med ensidig korndyrking, sjøl om halmen ble pløyd ned (Riley 2017, etter Uhlen 1991).

Innholdet av organisk materiale i form av humus i jorda har blitt målt i det langvarige gjødslingsforsøket på Møystad ved Hamar. Siden 1922 har det vært kontrollruter uten gjødsling, og ruter gjødslet med kunstgjødsel eller husdyrgjødsel. I 1996 hadde den ugjødsla jorda det laveste humusinnholdet (rel. verdi 100). Jord gjødslet med kunstgjødsel hadde noe høyere humusinnhold (rel. verdi 104), mens jord gjødslet med husdyrgjødsel hadde humusinnhold tilsvarende rel. verdi 120. Humusinnholdet målt i 1996 var høyest på de feltene som hadde fått størst mengde husdyr-gjødsel de siste 14 årene før måling (Ekeberg 1997). Fra 2004 til 2007 ble ettervirkningen av de ulike gjødslingene på feltet undersøkt mht. avling. Ettervirkningen av husdyrgjødsel varer lenge, sjøl etter 12 år uten gjødsling ga tidligere bruk en meravling på rundt 20 % i forhold til ugjødslet jord (Riley 2017).

5.2 Driftsformens betydning for innholdet av organisk materiale i jord

Driftsformen påvirker innholdet av organisk materiale i jorda, bl.a. gjennom vekstskiftet, grad av jordarbeiding og jorddekke, gjødselmengde og -type. Det tar lang tid å påvise eventuelle virkninger av en endret driftsform på innholdet av organisk materiale i jord. Et vekstskifte med stort innslag av eng vil gi et høyere innhold enn et vekstskifte med mye åpen åker.

I flere vestlige land er det påvist at intensive driftsmåter i jordbruket reduserer innholdet av organisk materiale i jord. I britisk jordbruksjord har innholdet av organisk materiale i gjennomsnitt blitt halvert i løpet av de siste 20 årene (Pretty 2001). National Soil Resources Institute i Storbritannia har regnet ut at denne nedgangen tilsvarer 13 millioner tonn karbon per år (Soil Association 2007). I Belgia har antall områder med åkerjord med et innhold av organisk materiale under det optimale nivå økt fra 23 til 50 % i løpet av 20 år (Mondelaers m.fl. 2009).

Bruk av dekkvekst i deler av året hvor jorda ellers hadde ligget naken vil være et viktig tiltak for å øke mengden organisk materiale i jorda. En metaanalyse av 139 sammenligninger, foretatt på 37 ulike steder over hele verden viste at jord med dekkvekst hadde høyere innhold av organisk materiale enn jord uten. Innhold av organisk materiale i jorda økte med antall år med dekkvekst. De mest langvarige forsøkene gikk over 54 år, mens en framskrivning av dataene viste at karbonlagringen kunne fortsette i mer enn 100 år, selv om halvparten av total mengde organisk materiale ble lagret i jorda de første 20 årene. Likevekt ble oppnådd etter 155 år med dekkvekst, med et lager på rundt 1,6 tonn organisk materiale per daa ned til 22 cm dybde. Forskerne bak metaanalysen konkluderer med bruk av dekkvekst er et bærekraftig og effektivt tiltak for å redusere klimaendringene (Poeplau & Don 2015).

I en undersøkelse ble i alt 659 prøver fra økologisk drevet jord og 728 prøver fra konvensjonelt drevet jord i hele USA analysert for organisk materiale. Forskerne fant at jorda fra de økologiske gårdene i snitt hadde 13 % mer organisk materiale enn jorda fra konvensjonelle bruk. De analyserte også hva slags forbindelser det organiske materialet bestod av. Grovt sett kan det deles i to: i en lettomsattelig del, hvor karbonet kontinuerlig veksler mellom luft, i form av CO₂, levende organismer og jord, og en mer tungt nedbrytbar del som lagres i jorda over lang tid. En felles betegnelse på den tungt nedbrytbare delen er stabil humus. Humus består av humussyrer og fulvosyrer, med viktige egenskaper som stor overflate med både positive og negative ladninger. Det organiske materialet i jorda på de økologiske gårdene inneholdt i snitt en større andel humus enn det organiske materialet i jorda på de konvensjonelle gårdene, i form av mer humussyrer og fulvosyrer. Ut fra resultatene av undersøkelsen antyder forskerne at økologisk jordbruksdrift gir sunn jord og bygger og/eller opprettholder organisk materiale i jord mer effektivt enn konvensjonelt jordbruk (Ghabbour m.fl. 2017).

Forskere har foretatt en metaanalyse av 56 ulike prosjekter, med i alt 149 sammenligninger mellom konvensjonell og økologisk drift. Registreringene er utført i ulike klimatiske soner og med varighet fra tre til mer enn 100 år. Resultatene av metaanalysen viste at jord som ble drevet økologisk hadde høyere innhold av karbon og nitrogen bundet i jordliv, og høyere aktivitet av dehydrogenase, urease og protease, som er mål på jordorganismenes aktivitet. Det var særlig vekstskifte, bruk av belgvekster og organisk gjødsel som hadde betydning for mikrolivets størrelse og aktivitetsnivå (Lori m.fl. 2017).

Leifeld & Fuhrer (2010) analyserte 32 studier fra ulike land der jordas karboninnhold ble sammenlignet på økologiske og konvensjonelle gårder. I gjennomsnitt økte karboninnholdet i jorda 2,2 % årlig etter omlegging til økologisk drift, mens det forble uforandret ved konvensjonell drift. Dette skyldtes for en stor grad ulikt vekstskifte mellom økologisk og konvensjonell drift og større tilførsel av organisk gjødsel ved økologisk drift. I de få studiene hvor vekstskifte og mengde organisk gjødsel var tilnærmet likt i de to driftsformene var det heller ikke signifikant forskjell i innhold av organisk materiale i jord mellom de to driftsformene.

Det er gjort noen få sammenligninger mellom økologisk og konvensjonelt landbruk mht. innhold av organisk materiale i jord under nordiske forhold.

På Sjælland ble nabojordene undersøkt som hadde vært drevet henholdsvis økologisk i 40 år og ensidig plantekultur i minst 20 år. Karboninnholdet i den økologisk dyrka jorda var 2 %, mens den konvensjonelt drevne nabojordene hadde 1,45 % karbon (Schjønning & Munkholm 2004).

I Järna sør for Stockholm pågikk et langvarig dyrkingsforsøk med ulike gjødseltyper fra 1958 til 1990. Endringer i ulike jordegenskaper ble registrert. Innholdet av karbon i jorda økte i de fleste forsøksleddene. Da forsøket ble avsluttet var det i det øverste jordlaget størst karboninnhold der det var gjødslet med husdyrgjødsel. I leddene der det var eng i omløpet økte karboninnholdet fra 2,4 til 2,9 % på 29 år. Ugjødslet og kunstgjødslet jord hadde minst karboninnhold. I 25-35 cm dybde økte karboninnholdet fra 1985 til 1989 i alle ledd gjødslet med husdyrgjødsel, mens leddet med kunstgjødsel og det ugjødsle leddet ikke hadde slik økning. I samme tidsrom økte også karboninnholdet i 50-60 cm dybde. Beregnet mengde organisk karbon ned til 60 cm var 160 tonn der det var brukt kompostert husdyrgjødsel og biodynamiske preparater, 146 tonn der det var brukt fersk husdyrgjødsel og 135 tonn per hektar der det var brukt kunstgjødsel. Dette innebærer at det har vært en økning på 800 kg karbon per hektar og år ved biodynamisk drift og en økning på 300 kg ved vanlig økologisk drift i perioden 1958-1990 (Granstedt & Kjellenberg 2008).

Jorda på 12 gårder spredt over hele Norge ble undersøkt i 1989 og 1995, mens de var under omlegging til økologisk drift. I jord med lavt innhold av organisk materiale, dvs. der karboninnholdet var mindre enn 1,7 % ved starten av målingene, økte mengden karbon i jorda fram til målingene i 1995 (Løes & Øgaard 1997).

På Apelsvoll på Toten har ulike dyrkingssystem blitt undersøkt siden 1988, hvor ulike vekstskifter innen økologisk og konvensjonell drift har blitt sammenlignet. Fram til 2003 var nedgangen i organisk innhold størst i jorda med vekstskifter uten eng. Også i jord med eng i vekstskiftet ble mengde organisk materiale noe redusert. På feltene med redusert jordarbeiding endret ikke innholdet av organisk materiale i jorda seg i perioden, og i 2003 var konsentrasjonen høyest på denne jorda. Det var ingen signifikant forskjell i innholdet av organisk materiale mellom jorda på økologiske og konvensjonelle forsøksruter (Riley m.fl. 2008).

5.3 Binding av karbon i jorda ved økologisk drift

Innholdet av organisk materiale i jord påvirkes av driftsmåten, slik undersøkelsene over viser. Flere av tiltakene som gir økt organisk innhold i jorda, er tiltak som ofte inngår i et økologisk driftsopplegg. En svensk gjennomgang av tiltak for at landbruket kan bidra til økt karboninnlagring i jord nevner økt økologisk landbruksareal som et mulig tiltak fordi driftsformen omfatter en kombinasjon av dyrkings-tiltak som bidrar positivt til lagring av karbon i jord, bla. allsidig vekstskifte hvor eng er en viktig del, resirkulering av planterester og bruk av husdyrgjødsel og fangvekster. Forfatterne hevder dessuten at regelmessig tilførsel av husdyrgjødsel og annen organisk gjødsel er nødvendig for å lagre karbon i jord. (Cederberg m.fl. 2012). Undersøkelsene som presenteres her, viser at økologisk drift kan ha en gunstig effekt på innholdet av organisk materiale i jorda.

Leifeld & Fuhrer (2010) analyserte 32 studier der jordas karboninnhold ble sammenlignet på økologiske og konvensjonelle gårder. I gjennomsnitt økte karboninnholdet i jorda med 2,2 % årlig etter omlegging til økologisk drift, mens det forble uforandret ved konvensjonell drift. I de få studiene hvor vekstskifte og mengde organisk gjødsel var tilnærmet likt i de to driftsformene var det imidlertid ikke signifikant forskjell i innhold av organisk materiale i jord mellom de to driftsformene. Forskerne forklarer økningen i karboninnholdet etter omlegging til økologisk hovedsakelig med endringer i vekstskiftet til mer eng ved omlegging og større tilførsel av organisk gjødsel i den økologiske drifta.

Engelske forskere har analysert feltforsøk hvor økologiske og konvensjonelle driftssystemer blir sammenlignet med hensyn til lagring av karbon i jord. Seks europeiske og to amerikanske studier ble analysert. I tre av disse studiene var forskjellen mellom driftsmåtene signifikant, ved at økologisk drift førte til høyere innhold av organisk materiale i jord enn konvensjonell drift. Variasjonen i effekt av økologisk drift var imidlertid stor mellom studiene. Forskerne konkluderer med at økologiske driftssystemer har et stort potensial for å kunne øke karboninnholdet i jorda gjennom bruk av kløverrik eng og husdyrgjødsel i et allsidig vekstskifte, sammenlignet med monokultur (Smith m.fl. 2011).

En metaanalyse av 74 studier ble gjennomført i 2012 for å undersøke konsentrasjonen av organisk jordkarbon ved økologisk drift. Noen av studiene inneholdt også data for totalt lager av organisk materiale i jord, noe som også muliggjorde beregning av potensialet for karbonlagring. Alle de 74 studiene var parvise sammenligninger mellom økologisk og konvensjonell drift. Forskerne fant signifikant høyere konsentrasjon, total mengde og lagringspotensial ved økologisk drift, sammenlignet med konvensjonell drift. De fant også at allsidige vekstskifter med bruk av bla. belgvekster og resirkulering av organisk materiale var det som hadde betydning for forskjellene. Metaanalysen omfattet bare studier i det øverste jordlaget og bare fra tempererte soner på kloden, forskerne fant ingen studier fra tropiske strøk og heller ikke fra dypere jordlag. De konkluderer med at metaanalysen viser at økologisk landbruk har potensiale til å kunne akkumulere karbon i jord (Gattinger m.fl. 2012).

Områder med middelhavsklima har ofte jord med lite organisk materiale. Økt innhold av organisk materiale kan gjøre jord mer motstandsdyktig mot klimaendringer og bidra til å redusere klimagassutslippene. Endringer i innhold og lagringsevne av organisk materiale i jord ved ulike anbefalte driftsmåter ble sammenlignet med nærliggende jordområder drevet konvensjonelt. Studien omfattet

174 data-sett fra i alt 79 studier. Størst lagringsevne hadde de driftsmåtene som tilførte mest organisk materiale, hvor økologisk drift var en av dem. Driftsmåter hvor tilførsel av organisk materiale og dekkvekst eller redusert jordarbeiding ble kombinert, la forholdene godt til rette for karbonlagring i jord. I samme undersøkelse ble også endringer i innhold av organisk materiale ved økologisk landbruk spesielt studert, for i alt 80 datasett fra 30 studier. Resultatene tydet på at det er mengden karbon som tilføres som har størst betydning for akkumuleringen av karbon også i økologiske driftssystem. Forskerne påpeker imidlertid at resultatene er usikre fordi dybden jordprøvene ble tatt på ofte var for liten og varigheten på målingene var for kort (Aguilera m.fl. 2013).

Svenske forskere har gjennomført flere langvarige feltforsøk i Järna, sør for Stockholm, hvor blant annet endringer i innholdet av organiske karbonforbindelser i jord har blitt målt. I perioden 1991 til 2005 ble bruk av kompostert og ikke kompostert husdyrgjødsel sammenlignet med ugjødslete ruter. Halvparten av rutene ble behandlet med biodynamiske preparater. I utgangspunktet inneholdt leirjorda i overkant av 2 % organisk materiale. Karboninnholdet i jorda (0-25 cm) økte med 40 kg per daa og år i gjennomsnitt i forsøksperioden. Bruk av kompostert husdyrgjødsel ga større karbonlagring enn bruk av ubehandlet gjødsel. Bruk av biodynamiske preparater økte karbonlagringen i jord for begge gjødseltypene, og størst innlagring av karbon ble det med kompostert husdyrgjødsel tilsatt biodynamiske preparater. I jord med slik gjødsel økte karboninnholdet med 50 kg per daa årlig. Til sammenligning var den årlige økningen i jord med kompostert gjødsel uten biodynamiske preparater 43 kg karbon per daa. I jord hvor det ble brukt ubehandlet husdyrgjødsel uten preparater økte karboninnholdet med 30 kg per daa årlig. Disse resultatene stemmer godt overens med tidligere forsøk, hvor bruk av biodynamiske preparater økte karboninnholdet i jorda, særlig under pløyelaget (Granstedt & Kjellenberg 2017).

Det sveitsiske DOK-forsøket har pågått siden 1978. I forsøket sammenlignes konvensjonelt, økologisk og biodynamisk landbruk i et sjuårig vekstskifte. Jorda med biodynamisk drift opprettholdt nivået for karboninnhold etter 21 år, mens de andre driftssystemene medførte nedgang i karboninnholdet. Konvensjonell drift med husdyrgjødsel medførte 7 % reduksjon og økologisk drift med husdyrgjødsel medførte 9 % reduksjon i innhold av organiske karbonforbindelser i jord. Uten tilførsel av husdyrgjødsel var tapet størst i jorda som ikke ble gjødslet, med hele 22 % lavere karboninnhold etter 21 år (Fliessbach m.fl. 2007).

Resultatene fra dette forsøket er i tråd med resultatene fra et langvarig feltforsøk på sandjord i Tyskland. Etter atten år var det bare jorda gjødslet med kompostert husdyrgjødsel med biodynamiske preparater som hadde beholdt mengden organisk karbon. Selv med samme mengde husdyrgjødsel ble karboninnholdet redusert der det ikke ble brukt biodynamiske preparater. Endringene skjedde de første årene etter at forsøket startet, mens i de ti siste årene av forsøket var mengden karbon i alle ledd tilnærmet konstant (Raupp 2001). I disse forsøkene har altså kompostert husdyrgjødsel med biodynamiske preparater ikke økt innholdet av organisk materiale i jorda, men denne måten å behandle husdyrgjødsel på har gjort at tilført mengde i større grad har blitt bevart i jorda enn det andre behandlingsmåter har ført til.

5.4 Biokull

Bruk av biokull i jordbruksjord er et tiltak som studeres i flere land, både som jordforbedringsmiddel og som tiltak mot klimaendringer. Grønlund m.fl. (2010) beskriver biokull slik:

«Biokull er forkullede rester av biomasse, f. eks halm, trevirke og skogsavfall, har høyt karboninnhold og består hovedsakelig av aromatiske forbindelser. Karbonet i biokull er svært motstandsdyktig mot nedbryting. Ved produksjon av biokull brytes det naturlige karbonkretsløpet, slik at karbon bundet gjennom fotosyntesen ikke brytes ned og går tilbake til atmosfæren, men kan lagres i jord i flere tusen år. Biokull kan dannes ved naturlige skogbranner eller ved pyrolyse, som innebærer oppvarming til 500-600 grader ved lav oksygentilgang.På grunn av den høye stabiliteten kan produksjon av biokull betraktes som «karbon-negativ», siden den bryter syklusen hvor nedbryting av plante-materiale fører til utslipp av CO₂ som er bundet i plantevekst.»

Ved pyrolyse dannes også olje og ulike gasser, i tillegg til biokullet. Biokullet kan inneholde opptil 50 % av opprinnelig karbon, mens oljen, som kan brukes til biodrivstoff eller brensel, inneholder ca. 30 % av opprinnelig karbon (Lehmann 2007). Tjue prosent av karbonet omdannes til såkalte syngasser, en blanding av CO₂, CO og CH₄ (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010).

I tillegg til å lagre karbon, tyder flere undersøkelser på at biokull også kan bidra til å redusere utslippene av lystgass fra jord. For å undersøke dette har forskere utført en metaanalyse av litteratur publisert fra 2007 til 2013. I alt 30 studier ble analysert. De fant at biokull i snitt reduserte lystgass-utslippene fra jord med 54 %, både i laboratorieforsøk og feltforsøk. Faktorer som hadde betydning var biokull-råstoffet, pyrolyseprosessen og C/N-forholdet i biokullet. Biokull hadde størst effekt når nitrogen ble tilført som NO₃⁻ (Cayuela m.fl. 2014). Imidlertid kan det være store forskjeller mellom ulike jordtyper og hvordan lystgass dannes i jorda. I forsøk med identiske forhold, hvor biokull ble tilført jord, økte utslippene av lystgass med 54 % fra en jordtype, mens de ble redusert med 76 % fra en annen jordtype, sammenlignet med kontrollledet (Sánchez-García m.fl. 2014).

Mengden karbon som kan lagres i jord varierer med jordtype, nedbørsmengde, temperatur og bruken av arealene (Hole m.fl. 2016). De mest aktuelle råstoffene til produksjon av biokull i Norge er skogsavfall, halm og kornavrens (Grønlund m.fl. 2010). Dette er råstoff som også kan brukes på andre måter, f.eks. til framstilling av bioenergi. Brukt som biokull kan disse råstoffene gi en karbonlagrings-effekt i tillegg til jordforbedringseffekter, som sterkere binding av plantenæringsstoffer, økt vannlagringsevne, bedre jordstruktur og redusert jorderosjon. Effekt av dette i form av høyere avling er imidlertid hittil ikke påvist i norske forsøk. Aktuell tilførselsmengde for norske forhold er rundt 500 kg/daa (A. O'Toole, pers med. 31.3.2017). Bruk av biokull er ikke tillatt i økologisk landbruk.

6 Bruk av livsløpsanalyser (LCA) ved sammenligning av driftsformer

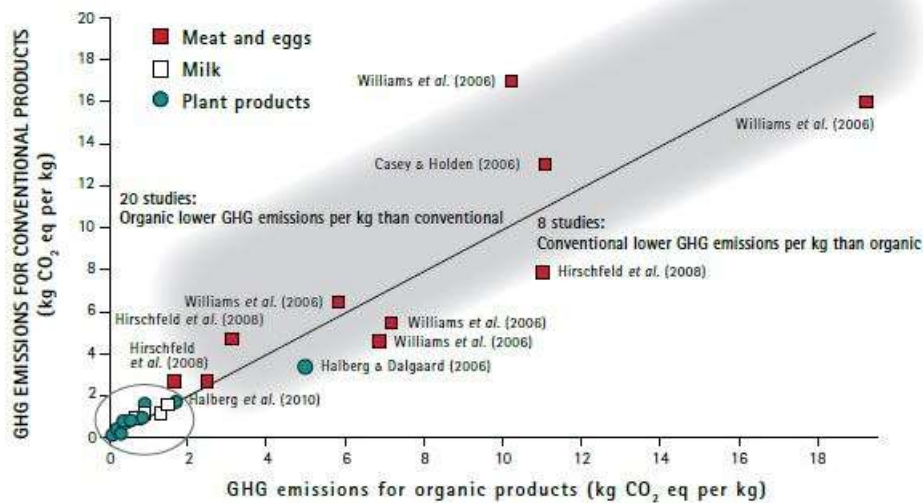
Livsløpsanalyser (LCA) er en mye brukt metode for å måle miljøeffekter av en bestemt produksjon og dermed også miljømessig bærekraft for ulike jordbruksprodukter. Klimagassutslipp er en av miljøeffektene som kan beregnes i slike analyser.

Under FN's klimakonferanse i København i 2009 ble det dannet en «rundebords»-gruppe for økologisk landbruk og klimaendringer, bestående av forskere fra hele verden. Gruppen har gått gjennom litteratur og uttaler bl.a. at for klimagassutslipp er det ingen klar konklusjon for sammenligninger mellom økologisk og konvensjonell. Uttrykt som utslipp per arealenhet kommer økologisk best ut, men på grunn av generelt lavere avlinger enn i konvensjonelt, i det minste i industriland, er denne positive effekten mindre tydelig uttrykt per produsert enhet, eller ikke til stede i det hele tatt (FAO 2011). De gjengir en illustrasjon fra Knudsen (2010), som har gjennomgått LCA-studier som sammenligner økologisk og konvensjonell produksjon av kjøtt, egg, melk og planteproduksjon (se neste side).

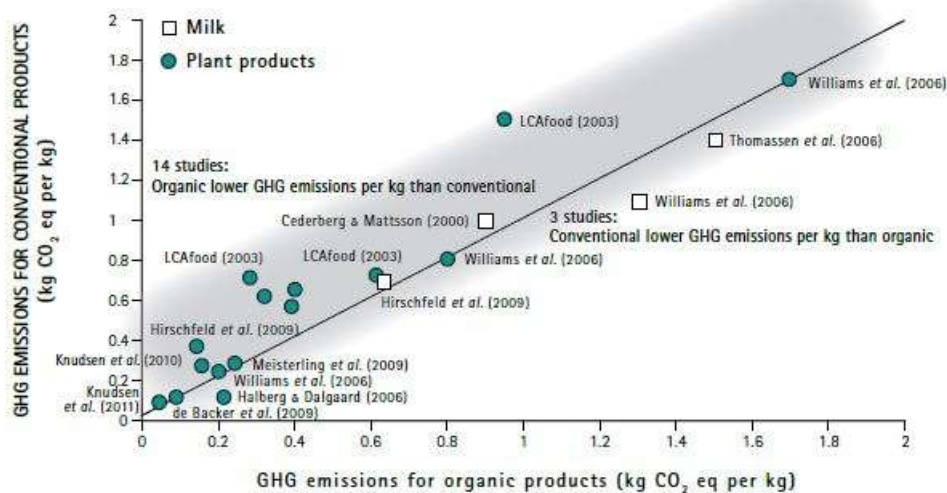
Figuren under viser at det ikke kunne påvises noen generelle forskjeller mellom driftsformene når det gjaldt klimagassutslipp per produsert enhet, selv om det var en overvekt av undersøkelser hvor økologisk landbruk ga minst klimagassutslipp. I tjue av studiene var det minst utslipp fra økologisk drift, mens i åtte av studiene var det minst utslipp fra konvensjonell drift. Blant de av studiene som omfatter melk og planteproduksjon ga økologisk produksjon lavest utslipp i 14, men konvensjonell produksjon ga lavest utslipp i 3 av undersøkelsene.

En mangel ved disse undersøkelsene var at karbonlagring i jord generelt ikke var tatt med i beregningene.

Det er gjort få norske LCA-beregninger av økologiske og konvensjonelle jordbruksprodukter. Det er gjort en LCA-analyse bygd på tall fra norske modellbruk, som omfattet melk, brød, poteter og oksekjøtt. Undersøkelsen viser at gjennomsnittlige klimagassutslipp fra konvensjonelt produsert melk, brød og oksekjøtt er 30-70 % høyere enn tilsvarende produkter, økologisk produsert. På et kombinasjonsbruk med produksjon av 150 tonn korn og 140 tonn melk ga økologisk drift noe lavere utslipp av klimagasser per produsert enhet. Imidlertid var kjøttproduksjonen mindre og arealbehovet var større i den økologiske drifta. Ved omlegging fra 100 % konvensjonell til 100 % økologisk produksjon for melk, oksekjøtt og brød for hele Norge, viser beregningene at CO₂-utslippene vil reduseres med ca. 0,9 mill. CO₂-ekvivalenter. Dette krever mer bruk av areal i Norge, samtidig som bruk av arealer i andre land reduseres. Økologisk drift gir noe større direkte-utslipp fra buskap, maskiner og gjødsling, men gir samtidig mindre utslipp fra produksjon av innsatsmidler som fôr og gjødsel, enn konvensjonell produksjon (Refsgaard m.fl. 2011, Pettersen 2011, Schärer 2013).



The upper graph contains the total number of LCA studies, whereas the lower graph is a zoom in on the studies of milk and plant products.



Source: Knudsen, 2011

Figur 4. Prosjektene fra litteraturgjennomgang utført av Knudsen (2010) presentert i diagram. Prosjektene er inndelt i kategoriene kjøtt og egg, melk og planteprodukter. Klimagassutslipp per kg av økologiske og konvensjonelle produkter. Den øverste figuren omfatter alle CLA-studiene, den underste bare studier av melk og planteproduksjon. Prosjekter under linja: økologisk gir lavere utslipp, prosjekter over linja: konvensjonelt gir lavere utslipp. Fra FAO (2011)

En oversikt med danske LCA-beregninger av økologiske og konvensjonelle produkter viser at økologisk mjølk, kjøtt og egg gir høyere klimagassutslipp per produsert enhet enn tilsvarende produkter produsert konvensjonelt. En undersøkelse hvor økologisk og konvensjonell plante-produksjon ble sammenlignet viste imidlertid ingen forskjell i klimagassutslipp mellom driftsformene, målt per produktenhet. En studie av produksjon av soyabønner i Kina for bruk i Danmark viste at økologisk produksjon ga lavere utslipp per produsert enhet sammenlignet med tilsvarende konvensjonell produksjon. De samme undersøkelsene viste at klimagassutslippene per arealenhet

var klart lavere for økologisk produksjon. Unntaket var oksekjøtt, hvor produksjonen foregikk på permanente beiter med lave avlinger (Fog m.fl. 2015).

I regi av det svenske Livsmedelsverket ble det i 2016 gjort en litteraturstudie av svensk LCA-forskning hvor klimapåvirkning av økologiske og konvensjonelle jordbruksprodukter ble beregnet (Landquist m.fl. 2016). Forskerne konkluderte med at de økologiske produktene i de fleste tilfellene hadde klimagassutslipp på nivå med de konvensjonelle, eller lavere. Unntaket var for grønne erter, hvor det ikke brukes mineralgjødsel i konvensjonell drift, og hvor de økologiske avlingene er inntil 30 % lavere enn de konvensjonelle (Landquist 2012).

Landquist m.fl. (2016) gikk også gjennom vitenskapelige studier fra ulike land, hvor det hadde vært brukt LCA for å sammenligne miljøeffekter av økologisk og konvensjonell produksjon. De tok utgangspunkt i dataene i en analyse (Meier m.fl. 2015) av 34 studier og supplerte med kvantitative data fra ytterligere 23 studier fra ulike land, hvor det hadde vært brukt LCA for å sammenligne miljøeffekter av økologisk og konvensjonell produksjon. Klimapåvirkning var et av flere miljøaspekt. I seks av totalt ni produktgrupper var det ingen forskjell i klimapåvirkning mellom de driftsformene. For to produktgrupper (kyllingkjøtt og grønnsaker) ga konvensjonell drift lavest klimagassutslipp. Forfatterne konkluderer med at det er vanskelig å sammenligne driftsformer på produktnivå fordi vekstskifte og produksjonsform ofte er ulike. Variasjonen mellom gårder innen hver driftsform er ofte stor og noen ganger større enn mellom driftsformene. Dessuten gir avlingsnivå stort utslag når det måles effekt per produsert enhet.

En metaanalyse av LCA-studier som samlet omfattet 742 intensive jordbrukssystemer med mer enn 90 ulike produkter ble brukt til å sammenligne konvensjonell og økologisk drift. Flesteparten (86 %) av studiene kom fra Europa, Nord-Amerika, Australia og New Zealand, dvs. fra regioner med industrialisert landbruk. Fem ulike miljøindikatorer ble undersøkt: arealbruk, eutrofiering, forsurening, energibruk og utslipp av klimagasser. Forskerne bak analysen fant at økologisk drift krevde mer areal og ga større fare for eutrofiering, men brukte mindre energi og slapp ut like mye klimagasser per arealenhet som konvensjonell drift. De forklarer dette med forskjellene i gjødseltilførsel mellom de to driftsmetodene. Viktige indikatorer for miljøet, som biodiversitet, jordkvalitet og pesticidforurensning var ikke med i analysen (Clark & Tilman 2017).

Hvis det bare er klimagassutslipp som analyseres, vil en slik analyse gi svar i form av jordbruksproduktenes klimaavtrykk. I 2011 ble det gjort en analyse av utslippene av klimagasser fra økologiske jordbruksprodukter produsert i Sverige. Alle utslipp, fra produksjon av innsatsmidler til produktet ble sendt fra gården, var med i beregningene. Resultatene viste at produksjon av økologisk grovfôr ga lave utslipp, det som i rapporten er kalt klimaavtrykk. Utslippene var gjennomsnittlig lavere enn i konvensjonell produksjon av grovfôr. Gode avlinger, kombinert med moderate mengder gjødsel, ga lavere klimaavtrykk i økologisk korndyrking, sammenlignet med tilsvarende konvensjonell produksjon. Klimaavtrykket for økologiske oljevekster, åkerbønner og erter var på nivå med tilsvarende konvensjonell produksjon. Forfatterne forklarer dette med lavt avlingsnivå i økologisk produksjon av oljevekster og fravær av N-gjødsel i konvensjonell åkerbønndyrking. Evt. karbonlagring i jord som brukes til eng og beite var ikke med i beregningene (Cederberg m.fl. 2011).

6.1 Mangler ved metoden

Ved bruk av LCA benyttes ofte forskjellige definisjoner av produksjonssystemet, beregningsmetoder og datagrunnlag. Cederberg m.fl. (2011) nevner f.eks. tre faktorer som gjør beregninger av klimapåvirkning usikre: usikkerhet i beregningsmodellene, usikkerheten i dataene som brukes i målingene og variasjonen i utslipp mellom gårder pga. ulike driftsforhold. Dette betyr at det kreves relativt store forskjeller i klimapåvirkning mellom to produkter for å kunne si at forskjellen er statistisk sikker, for eksempel 15-20 % for melk.

Forskjeller på sammenligninger av samme produkt produsert økologisk eller konvensjonelt ved bruk LCA-studier kan derfor skyldes mange ulike ting. Ved slike sammenligninger vil f.eks. karbonlagring i jord og klimagassutslipp ved produksjon av kunstgjødsel være viktige å ta med i beregningene. Danske forskere påpeker to områder hvor mulige endringer i menden karbon lagret i jord er særlig relevant å ta med: ved sammenligning av økologisk og konvensjonell produksjon og ved produksjon av bioenergi. De studerte omlegging til økologisk soyaproduksjon i Kina som eksempel. Beregningene viste at valg av tidsperspektiv vil ha stor betydning for resultatene. De fant at omlegging til økologisk ga henholdsvis 32, 60 eller 143 kg mer jordkarbon per hektar og år med tidsperspektiv 200, 100 og 20 år. Forskerne konkluderer med at et 100 års-perspektiv for endringer i lagring av karbon i jord vil være egnet til bruk i LCA-beregninger som har med vurderinger av globalt oppvarmingspotensial (GWP) å gjøre (Petersen m.fl. 2013).

Vanligvis er konklusjonen i LCA-studier som sammenligner driftsformer at økologisk produksjon gir lavere miljøpåvirkning per arealenhet, men at det per produsert mengde ofte er motsatt. Sveitsiske forskere undersøkte om dette bare skyldes lavere avlinger ved økologisk drift, eller om det også kunne ha andre årsaker, knyttet til metoden. De gikk gjennom 34 sammenlignende studier hvor LCA var brukt. Studiene omhandlet melk og kjøtt, egg og planteprodukter. I de fleste tilfellene ble data fra gårdsbruk benyttet, enten direkte eller via offisiell statistikk. De fleste studiene var fra Europa.

Forskerne fant at det i livsløpsanalysene ikke blir differensiert godt nok mellom driftsmetodene ved modelleringen og i analysene. Dette gjelder ikke minst for nitrogenet i systemet, som har betydning for blant annet forsuring, eutrofiering, utslipp av klimagasser og biodiversitet. N-tap til vann og luft baseres ofte på modellberegninger, som ikke tar hensyn til at det er organisk gjødsel og mindre nitrogenmengder i omløp i et økologisk driftssystem. Modellene for N-utslipp er utviklet med tanke på konvensjonell drift og fanger ikke opp forskjellene et økologisk system representerer.

De fant også at ofte ble bare et begrenset antall kategorier av miljøpåvirkninger målt. I ti av studiene ble bare utslipp av klimagasser analysert, i fem av studiene bare energi. Når analysene er så begrensede gir de ikke et fullstendig bilde av jordbrukets miljøpåvirkning. For eksempel var effekter på biodiversitet og jordfruktbarhet i liten grad med i analysene. Forskerne konkluderer derfor med at LCA som metode ikke er tilstrekkelig utviklet til å kunne brukes til å trekke endelige konklusjoner om miljømessig bærekraft ved sammenligning mellom konvensjonell og økologisk drift (Meier m.fl. 2015).

Lokale produksjonsforhold må også tas i betraktning i større grad i LCA-analyser av landbruksprodukter. Meier m.fl. (2017) hevder dette bør gjelde på ulike nivå, både i modellering av klimagassutslipp og ved vurdering av ulike miljøeffekter som biodiversitet og jordkvalitet. Ut fra at LCA-

beregninger er produktbasert, gir metoden ikke svar på om produksjonen lokalt er miljømessig gunstig. For eksempel må overforbruk av lokale resursser være med i analysene.

Landquist m.fl. (2016) konkluderer i sin litteraturgjennomgang at beregninger av klimagassutslipp per arealenhet og per produsert enhet begge er relevante. Hvilken av disse som er best egnet i en gitt situasjon er avhengig hvilke miljøeffekter som skal måles og arealtilgang og miljøbelastning eller der produksjonen foregår. De påpeker at klimagassutslipp bare er et av flere miljøaspekt som må beregnes for å kunne si noe om en driftsform er miljømessig gunstig eller ikke.

7 Diskusjon

Alle former for landbruk bidrar til utslipp av klimagasser, særlig gjelder dette lystgass og metan. Fordi landbruk drives under ulike geografiske og klimatiske forhold, med stadige endringer gjennom hvert år og mellom ulike år og fordi hver gård drives forskjellig er det svært vanskelig å generalisere mht. utslipp av klimagassutslipp. Standardverdier som brukes av FN's klimapanel IPCC for å beregne utslipp fra jordbruket, passer ikke inn over hele verden. Så mange og til dels store variasjoner, helt ned på gårds- og skiftenivå, gjør det vanskelig å sammenligne klimagassutslipp fra ulike driftsformer.

I sammenligningene av klimagassutslipp fra økologisk og konvensjonelt landbruk er det i større eller mindre grad tatt hensyn til betydningen av de lokale variasjonene. De siste årene har slike enkeltstudier dannet grunnlag for vitensynteser og metaanalyser som har omhandlet klimagassutslipp fra de to driftsformene. Som gjennomgangen av disse viser, er klimagassutslippene per arealenhet fra økologisk drift som regel lavere enn fra konvensjonell drift. Regnet per produsert enhet er imidlertid forholdet mellom utslippene fra de to driftsformene mer uklart, og i flere undersøkelser kommer økologisk drift dårligere ut enn konvensjonelt landbruk. Dette forklares gjerne med at i land med industrialisert landbruk gir økologisk drift lavere avlinger enn konvensjonell drift. De fleste sammenlignende studiene er gjort i slike land.

Viktige enkeltdeleer av en økologisk driftsform kan bidra til lavere klimagassutslipp. Blant annet vil fravær av kunstgjødsel, kjemiske sprøytemidler og andre innsatsmidler, bruk av belgvekster, liten dyretetthet per arealenhet, lavere nitrogengjødselnivå og vekt på lokale ressurser som beite og annet grovfôr kunne bidra til lavere klimagassutslipp. Uten tilførsel av nitrogen i form av kunstgjødsel er mengden nitrogen som tilføres begrenset i økologisk landbruk. En vellykket produksjon er avhengig av god utnyttning av næringen, noe som vil gi lave tap av nitrogen til vann og luft og dermed små klimagassutslipp. Scialabba & Müller-Lindenlauf (2010) antyder f.eks. at fravær av kunstgjødsel kan redusere de årlige, globale utslippene av klimagasser fra landbruket med ca. 20 %.

Det er lagret store mengder karbon i form av organisk materiale i jord. Mengden karbon som til enhver tid er lagret i jorda varierer, blant annet ut fra driftsmåten. Grovt inndelt kan en si at jord som brukes til eng og beite øker mengden organisk materiale, mens åkerdrift reduserer karboninnholdet i jorda. Dette er langsomme prosesser, men oppbygging av organisk materiale foregår uansett bare til ny likevekt mellom nedbrytning og oppbygging er opprettet.

Karbonlagring i jord er sjelden tatt med når klimapåvirkningene av landbruk beregnes. Viktige deler av en økologisk driftsform gir også her mulighet for oppbygging av organisk materiale i jord, blant annet vekstskifte med eng og belgvekster, jorddekke og bruk av husdyrgjødsel og annen organisk gjødsel. Det er ikke gjort mange sammenligninger mellom driftsformer mht. karbonlagring, men resultatene i de undersøkelsene som er gjengitt i denne rapporten tyder på at økologisk landbruk kan gi større karbonlagring i jord enn konvensjonell drift, f.eks. Gatteringer m.fl. (2012).

Ved vurdering av klimagassutslipp fra en driftsform er det nødvendig å vurdere alle utslippene samlet. Utslipp i en del av produksjonen kan oppveies av reduserte utslipp i andre deler av produksjonen. Et eksempel på dette kan være bruk av lokale beiteressurser framfor bruk av importert kraftfôr. Her må blant annet økt metanutslipp på grunn av mer grovfôr, økt karbonlagring ved bruk av beite, dyras levetid, lavere ytelse, utslipp knyttet til dyrking av kraftfôr i andre verdens-

delers og transporten av dette vurderes samlet. Soussana m.fl. (2010) hevder f.eks. at binding av karbon i jord ved beite og grovfôrproduksjon langt på vei kan oppveie drøvtyggenes metanproduksjon.

Det er ikke bare klimapåvirkninger som må regnes som viktige miljøeffekter av landbruket, andre viktige effekter er biodiversitet, erosjon, vannforurensning, jordkvalitet osv. Noen miljøeffekter er globale, som utslipp av klimagasser, og for disse er beregninger per produsert enhet hensiktsmessig. Andre miljøeffekter har betydning for nærmiljøet. For slike miljøeffekter, som f.eks. avrenning av næringsstoff til vann, bør effektene i tillegg vurderes per arealenhet. Forskning viser at det kan være negativ sammenheng mellom lokale og globale miljøeffekter. Repar m.fl. (2017) foreslår derfor at det innføres separate lokale og globale miljøindikatorer. Dette vil gi et bedre grunnlag for sammenligninger mellom gårdssystem, samtidig som en hindrer at miljøproblemer flyttes fra lokalt til globalt nivå – eller motsatt. Da unngår en at lavere globale miljøbelastninger bidrar til at lokale miljøforhold forverres – eller omvendt.

Det er ofte livsløpsanalyser (LCA) som benyttes når miljøeffektene av ulike driftsformer skal vurderes. Slike analyser har foreløpig sine begrensninger når produkter fra økologisk landbruk skal sammenlignes med konvensjonelle. Forutsetningene for modelleringen og analysene er mangelfulle fordi modellene for N-utslipp har konvensjonell drift som utgangspunkt. Likeledes er ofte ikke viktige miljøeffekter med i analysen, slik som biodiversitet og jordfruktbarhet, som er viktig i økologisk landbruk. Andre mangler ved metoden er at lokale forhold og tidsperspektivet sjelden blir tatt med i analysene (Meier m.fl. 2015, Meier m.fl. 2017, Petersen m.fl. 2013).

For å kunne redusere klimagassutslippene fra matproduksjonen mest mulig er det nødvendig å vurdere utslippene i alle samfunnssektorene matvarekjeden er involvert i. Matvaresektoren omfatter ikke bare landbruket, men også transport, industri, handel og forbruk. Ut fra helhetstankegangen i økologisk landbruk er det viktig å ta med effektene av blant annet matvaresystemets oppbygging, emballasje, matsvinn i alle ledd og kostholdsammensetning når miljøeffekter fra matproduksjon skal analyseres. Klimagassutslipp i forbindelse med matsvinn langs hele produksjonskjeden står for 10 % av totale utslipp i EU (Muller m.fl. 2017).

Samtidig har kostholdsammensetningen stor betydning for arealbehovet i landbruksproduksjonen. Et kosthold med stort innslag av planteprodukter og lite animalske produkter reduserer arealbehovet. Hille m.fl. (2009) samlet data om klimagassutslipp fra 24 studier, som totalt omfattet 72 parvise resultater for enkeltprodukter produsert økologisk eller konvensjonelt. Alle studiene ble utført i Nord-Europa eller Sentral-Europa. Hvis arealbehovet ble holdt konstant ut fra tanken om endret kosthold, til tross for lavere avlinger, viser oversikten at 69 av de 72 undersøkelsene ga lavere klimagassutslipp fra økologisk produksjon per arealenhet.

Basert på kostholdet til 15 familier i Midt-Sverige ble klimabelastningene ved endringer i kostholdet undersøkt. Undersøkelsene viste at reduksjoner i klimabelastningen ved vårt vestlige kosthold er mulig gjennom endringer i hele matvarekjeden. Sammenlignet med konvensjonell produksjon ble utslippene redusert med 25 % ved overgang til økologisk kretsløpsjordbruk. Et slikt jordbruk kjenne- tegnes av strengere krav til selvforsyningsgrad av fôr og gjødsel enn minstekravene for økologisk produksjon. Ytterligere reduksjon i klimautslippene framkommer hvis økt karbonlagring tas med i regnestykket, sammen med bruk av lokal mat, overgang til et kosthold med lite kjøtt og bruk av

egenprodusert biogass som drivstoff på gårdene. Beregningene viste at det var mulig å redusere klimabelastningen med 85 %, sammenlignet med et gjennomsnittlig svensk kosthold (Granstedt 2016).

Ved å se hele matvaresektoren i sammenheng, kan konklusjonene bli annerledes enn når hver enkelt del vurderes for seg. For eksempel fant Muller m.fl. (2017) at økologisk landbruk kan fø verdens befolkning på 9 milliarder mennesker i 2050 med endret kosthold og mindre matsvinn. Ved å redusere antall husdyr og gi dem hovedsakelig fôr som ikke kan brukes til menneskemat og i tillegg redusere matsvinnet, vil det være nok mat til verdens befolkning i 2050 med 100 % økologisk landbruk, mener disse forskerne. De har benyttet de agronomiske retningslinjene innen driftsformen, som bruk av belgvekster, tilpasset husdyrantall til arealet og lite bruk av menneskemat til dyrefôr, i modelleringen. Forskerne konkluderer med at denne kombinasjonen av strategier kan gi nok mat til 9 milliarder mennesker, med positive effekter for ulike miljøindikatorer, også arealbruken.

Forskere i Nederland har vurdert effektene av et mer ekstensivt jordbruk i Europa, blant annet i form av mindre tilførsel av nitrogen. Dette vil redusere nitrogenforurensningen i form av lavere lystgassutslipp og mindre avrenning til elver og hav. De har også vurdert effektene av å redusere kjøttforbruket med 50 %. Dette vil redusere behovet for jordbruksareal i andre deler av verden med mer enn 100 millioner hektar og gjøre EU til en mateksportør, samtidig som mindre areal til fôrproduksjon mer enn kompenseres for økt behov for jordbruksareal ved overgang til økologisk drift (van Grinsven m.fl. 2015).

7.1 Utfordringer for økologisk landbruk

Et bærekraftig landbruk kjennetegnes blant annet av at klimagassutslippene er redusert til et minimum, og at driftsformen samtidig bidrar til å opprettholde en stedstilpasset karbonbalanse i jorda. Allsidig drift, med balanse mellom husdyrantallet og planteproduksjonen ut fra tilgjengelig areal, er et viktig prinsipp for å kunne opprettholde jordfruktbarhet og avlingsnivå. I tråd med spesialiseringen ellers i landbruket er det imidlertid stadig flere økologiske gårdsbruk som velger enten husdyrproduksjon med grovfôrdyrking eller husdyrløs planteproduksjon med mye åpen åker. Slike driftsmåter gir utfordringer mht. bærekraft på lang sikt, både for næringsbalanse og nærings effektivitet, jordfruktbarhet og innhold av organisk materiale i jorda (Lin m.fl. 2017, Hansen m.fl. 2007).

Prinsippene og regelverket for økologisk landbruk har som mål å utvikle et bærekraftig landbruk. Den økologiske driftsformen representerer et system som kan redusere miljøpåvirkningene av landbruket sammenlignet med konvensjonell drift. Per i dag har ikke det norske regelverket for økologisk landbruk spesifikke regler for klimagassutslipp og karbonlagring i jord. Det er heller ingen konkrete krav i Demeter-reglene angående miljøtiltak som har betydning for klimagassutslipp eller karbonlagring. Mange av enkeltreglene i begge disse regelverk gir imidlertid indirekte mulighet for lavere klimagassutslipp (Mattilsynet 2017, Biologisk-dynamisk forening 2017).

Den svenske organisasjonen KRAV har noen regler som kan relateres til lavere klimagassutslipp. Det er bl.a. forbudt å grøfte og nydyrke myrjord, men allerede oppdyrket torvjord er det lov å bruke (pkt

4.5.4). Pkt. 4.6. omfatter vekstnæringshusholdning, i form av krav om vekstskifte, gjødslingsplan og andre tiltak for å redusere tap av næringsstoffer og utslipp av klimagasser. Gylle, urin og råtnerest skal moldes ned i åpen åker innen fire timer etter spredning (pkt. 4.6.4) (KRAV 2017).

Økologisk landsforening i Danmark har vedtatt en klimastrategi for økologisk landbruk. Her inngår blant annet utfasing av fossilt brensel, redusert energiforbruk, binding av karbon i jord, bruk av husdyrgjødsel til biogassproduksjon, redusert nitrogen-overskudd, forbedret jordkultur og endring av kostholdet til mer grønt og mindre kjøtt (Tersbøl 2011).

Undersøkelsene som er referert i denne rapporten viser i mange tilfelle at økologisk landbruk slik det drives i dag gir mindre klimagassutslipp per arealenhet, mens resultatene per produsert enhet ikke er like entydige. Lave avlinger og ytelse i økologisk landbruk øker utslippene per produsert enhet. Beregninger utført av NIBIO, av et kombinasjonsbruk med melk/kjøtt/korn, viste at økologisk drift ga lavere utslipp av klimagasser enn konvensjonell drift per produsert enhet av korn, melk og kjøtt, men med de lave avlingene var det behov for mer areal for å produsere like mye som konvensjonell drift (Schärer 2013).

I slike beregninger er det imidlertid viktig å ta med alt areal som går med til fôrproduksjon, også arealet som brukes til å dyrke innkjøpt fôr. I et prosjekt som omfattet 10 konvensjonelle og 10 økologiske mjølkeproduksjonsbruk fant Koesling m.fl. (2017) at de konvensjonelle gårdene brukte et større areal utenom gården enn de økologiske. Ved å ta hensyn til dette, ble forskjellen mellom mjølkeytelsen på de økologiske og konvensjonelle mjølkeproduksjonssystemene per arealenhet redusert. Dette viser at arealet for hele driftssystemet må tas med når arealproduktiviteten for økologisk og konvensjonell drift skal sammenlignes.

Metanutslippene fra landbruket stammer særlig fra drøvtyggere, fra gjødsellagre og fra jord med anaerobe forhold. I økologisk landbruk ønsker en å bruke lokale grovfôrressurser, noe som vil gi utslipp av metan fra drøvtyggerne. Samtidig vil høyere alder og lenger produksjonsperiode for mjølkekyr kunne redusere metanutslipp per produsert enhet. Husdyrgjødsel må lagres og håndteres slik at metanproduksjonen blir minimal. God jordstruktur og et aktivt mikroliv vil bidra til aerobe forhold i jorda, slik at metanet kan omdannes til CO₂.

Utslipp av lystgass fra landbruket betyr at nitrogenet i systemet blir dårlig utnyttet. I økologisk landbruk er tilførselen av nitrogen begrenset, og en vellykket produksjon er avhengig av god utnytting av næringen. En utstrakt bruk av belgvekster er nødvendig, noe som krever godt gjennomtenkt håndtering av grønngjødsel og annen avling for å unngå tap av nitrogen. God lagring og håndtering av husdyrgjødsel er viktig for å utnytte nitrogenet optimalt.

Jordarbeiding påvirker blant annet omdanningen av organisk materiale i jord, og bidrar dermed til å redusere mengden jordkarbon. Redusert jordarbeiding kan derfor bidra til å redusere jordbrukets klimabelastning, men fordrer gjerne økt bruk av kjemiske sprøytemidler mot ugras. Redusert jordarbeiding kan derfor være vanskelig å få til i økologisk drift. I et seksårig sveitsisk feltforsøk ble ulike jordarbeidingsmetoder ved økologisk drift sammenlignet. I løpet av seks år økte innholdet av organisk materiale i det øverste jordsjiktet (0-10 cm), mens det var konstant i 10-20 cm jorddybde. Forskerne fant flere positive effekter på jordkvaliteten ved redusert jordarbeiding og konkluderer med at dette er en egnet metode for å øke jordfruktbarheten i økologisk drift (Gadermaier m.fl. 2011). Langvarige registreringer av organisk materiale i norsk morenejord viste imidlertid at sjøl om

mengden økte i det øverste jordlaget, økte ikke den totale mengden i jorda fordi innholdet ble redusert i den nedre del av jordprofilen (Riley 2014).

På samme måte som for andre miljøfaktorer er variasjonen i klimagassutslipp *innen* driftsformene økologisk og konvensjonelt landbruk stor, i noen tilfelle kanskje større enn *mellom* driftsformene. I en tysk undersøkelse, hvor økologiske og konvensjonelle gårder ble sammenlignet med hensyn på CO₂-belastning, var variasjonen innen de økologiske gårdene stor. Den økologiske gården med lavest utslipp hadde en CO₂-belastning per produktenhet som var under en tidel av det gjennomsnittet for alle gårdene var (Küstermann m.fl. 2007). En analyse av 30 norske, konvensjonelle mjølkeproduksjonsbruk viste at metan fra drøvtyggenes fordøyelse var den største kilden til utslipp, nemlig i overkant av en tredjedel av de totale utslippene. Det var imidlertid utslipp av lystgass fra jord som utgjorde den største variasjonen mellom gårdene (Bonesmo m.fl. 2013).

Det er derfor viktig å avdekke de faktorene som bidrar til å redusere klimagassutslippene til et minimum på slike gårder, slik at andre kan ta i bruk denne kunnskapen. Niggli m.fl. (2009) nevner vekstskifte, planteneringsforsyning, husdyrhold, forbedringer innen eng- og beitedyrking, jordfruktbarhet og restaurering av ødelagt dyrkingsjord (erosjon, forsøling, forørkning) som eksempler på områder økologisk landbruk har potensiale til å bli et lavutslipp-landbruk.

7.2 Viktige faktorer uavhengig av driftsform

Faktorer uten tilknytning til driftsform har også betydning for mengden klimagassutslipp som slippes ut fra et gårdsbruk. Noen faktorer er nevnt tidligere i rapporten, her skal det nevnes noen få andre i tillegg.

Forskning viser at mange faktorer påvirker metangassutslippene fra fordøyelsen hos drøvtyggere, blant annet andel av kraftfôr og grovfôr i fôret (Broucek 2014). Ved Sveriges Lantbruksuniversitet har metanutslippene fra kyr på individnivå blitt undersøkt. Det viste seg at forskjellene mellom individer var større enn mellom ulike fôring. Kyr som fikk 90 % grovfôr slapp ikke ut mer metan enn kyr som fikk 50 % grovfôr. Artssammensetningen av vomfloraen har sammenheng med metan-utslippene, men hadde ingen betydning for fôrutnyttelsen i dette forsøket (Danielsson 2016).

En engelsk rapport peker på betydningen av god dyrehelse i sammenheng med klimagassutslipp fra husdyrproduksjonen. Av de ti storfesykdommene som har størst effekt på utslipp av klimagasser, er det flere som i svært liten grad, eller overhodet ikke fins i Norge, bla. paratuberkulose, salmonella og BVD. En LCA-analyse viste at syke dyr kan ha opptil 25 % høyere klimagassutslipp enn friske dyr. Friske dyr er derfor et viktig bidrag for å redusere klimagassutslippene fra husdyrproduksjonen (Anon. 2015). Norske drøvtyggere har svært lite sykdom i forhold til drøvtyggere i mange andre land.

Klimagassutslipp per kg storfekjøtt varierer, blant annet ut fra om det er spesialisert kjøttproduksjon på ammeku eller kombinert mjølk- og kjøttproduksjon. Utslippene per kg kjøtt er betydelig høyere i spesialisert kjøttproduksjon enn i den kombinerte drifta fordi alle utslippene fra slik drift må belastes kjøttproduksjonen, mens de i kombinert produksjon kan fordeles mellom mjølk- og kjøttproduksjonen. Med en fortsatt økning i avdråttsnivået i mjølkeproduksjonen, og dermed færre kalver

knyttet til slik produksjon, kombinert med et stabilt forbruk av storfekjøtt, vil derfor klimagassutslippene fra kjøttproduksjon på storfe øke betydelig i tida framover (Grønlund m.fl. 2014).

Biogassproduksjon av husdyrgjødsel og annet organisk restmateriale på gården kan bidra til å redusere utslippene av både karbondioksid, lystgass og metan. Dette forutsetter tett lagring, lite tap i løpet av biogassproduksjonen og gunstige forhold under spredning av råtneresten. Produksjonen krever at det er avsetning på biogassen.

Dårlig agronomi i form av dårlig jordstruktur, dårlig drenering og sur jord øker faren for utslipp av klimagasser fra jorda. I pakket jord er det lite luft og reduserende forhold som gir økt danning av lystgass. I pakket jord er også jordas evne til å ta opp metan redusert. Lystgassutslippene øker i vassjuk jord, spesielt rett etter gjødsling med nitratholdig gjødsel. Er jorda sur, hemmes omdanningen av nitrogen, og en større del av plantetilgjengelig nitrogen omdannes til lystgass.

Dyrket myr er en stor kilde til CO₂-utslipp fra norsk jordbruk. Næringstilgang, jordstruktur og drenering er krevende ved dyrking av myr. Dette er ikke minst viktig ved økologisk drift, noe som gjør myr dyrking lite egnet til økologisk produksjon. Bruk av torv til planteoppal og som vekstmedium vil også gi klimagassutslipp, og myndighetene ønsker å fase ut bruken av torv.

Leiejord ligger ofte langt unna gårdstunet. Lang kjøreavstand kan medføre at mengden husdyrgjødsel brukt på slike arealer reduseres til fordel for gårdens egne arealer. Samarbeid mellom gårdbrukere, hvor en gjødsler hverandres jorder vil kunne redusere kjøringa og gi bedre utnytting av gjødsla. Klimagassutslipp fra gjødseltransport og fra gjødsla i seg sjøl blir dermed redusert (Bergslid & Ebbesvik 2017).

Produksjon og bruk av biokull vil kunne bidra positivt til samlete klimagassutslipp fra landbruket. Lagring av karbon i jord kan være en kostnadseffektiv strategi for å dempe klimaendringene de første tiåra framover. I tillegg til å gi bedre jordkvalitet kan strategien gjøre at vi «kjøper oss» tid før virkningen av fossilfritt drivstoff blir merkbar (Lal 2010).

En gjennomgang av mange studier viste at karbonlagring i jord brukt til grasdyrking har potensiale til delvis å kunne redusere den negative GHG-balansen for drøvtyggerproduksjoner. Men dette må ikke ses på som en «sovepute» siden karbonlagring i jord er reversibel og kan påvirkes av redusert biologisk mangfold og klimaendringer. Forfatterne konkluderer derfor med at utslipp av metan og lystgass fra drøvtyggerne samtidig må reduseres og det organiske materialet som allerede fins i jorda må beholdes (Soussana m.fl. 2010).

I sektorrapporten for jordbruk i Klimakur 2020 angis bruk av biokull som et av tiltakene for reduksjon av klimagassutslipp fra jordbruket. Sammenlignet med de andre tiltakene som er nevnt i sektorrapporten er produksjon av biokull det tiltaket som gir størst utslippsreduksjon (Klima- og forurensningsdirektoratet 2010). Dette forutsetter blant annet at oljen og gassen som produseres i framstillingsprosessen også blir brukt optimalt.

8 Konklusjon

Alle former for landbruk bidrar til utslipp av klimagasser. Landbruksdrift påvirker også mengden av karbon i dyrkingsjorda. Ved sammenligning av driftsformer er det viktig å vurdere alle sider ved driftsformen, inkludert produksjonen av driftsmidler. Sammenligninger av klimapåvirkningen av ulike driftsmåter i landbruket viser at de estimerte utslippene av klimagasser fra konvensjonelt landbruk generelt er større enn fra økologisk landbruk når klimagassutslippene regnes per arealenhet. Beregnes dette per produsert enhet kommer økologisk drift ofte dårligere ut enn konvensjonelt landbruk. De fleste undersøkelsene er gjort i land med industrialisert landbruk, og høyere utslipp per produsert enhet i økologisk drift kan delvis forklares med at økologisk landbruk gir lavere avlingsnivå enn konvensjonelt i slike områder. Hvis en tar karbonbalansen i jord med i regnestykket viser flere undersøkelser at en økologisk driftsform gir bedre mulighet for å lagre mer karbon i jorda enn konvensjonell drift.

Det er særlig utslipp av lystgass fra jord og gjødsel og metanutslipp fra dyr, gjødsel og jord som bidrar til landbrukets negative klimapåvirkning. Virkningene av utslippene av karbondioksid er små, både fordi mengdene er forholdsvis små og fordi metan og lystgass har sterkere oppvarmingseffekt (GWP). Måling av klimagassutslipp fra landbruket og lagring av karbon i jord er komplisert. Fordi dette er prosesser i naturen, i stor grad avhengig av klima og andre faktorer i omgivelsene, vil variasjonene være store, både geografisk og over tid. Slike målinger bør derfor foretas mange steder og foregå over tid for å kunne gi sikre data.

Transport, videreforedling, salg og konsum gir et betydelig bidrag til samlede klimagassutslipp fra matvarekjeden. I tillegg til å redusere utslippene i systemet fram til gårdsgrinda, er det nødvendig å redusere utslippene også etter at produktene har forlatt gården. Reduksjon av matsvinn i alle ledd og et endret kosthold vil bidra vesentlig til å redusere klimapåvirkningen fra matproduksjonen.

Det er registrert store variasjoner i klimagassutslipp mellom enkeltgårder, både ved en konvensjonell og økologisk driftsform. Det betyr at potensialet for reduksjon av utslipp er tilstede i begge driftsformer. Merkelappen «økologisk» er ingen garanti for lave klimagassutslipp fra gårdsdrifta, det er summen av alle tiltakene som settes inn som er avgjørende. Dette gjelder både på systemnivå og for enkelttiltak. Spesialisering framfor en allsidig driftsform med eng i vekstskiftet, eller økt import av gjødsel og fôr på en økologisk gård vil gi større muligheter for økte gassutslipp og reduksjon av karboninnholdet i jorda.

Metanutslipp fra drøvtyggenes fordøyelse er en stor kilde til utslipp fra landbruket. Ut fra idegrunnlaget i økologisk landbruk vil tilpasning av dyretallet til gårdens arealer, kombinert mjølk- og kjøttproduksjon og en reduksjon av kjøttforbruket være bedre systemtilpasninger framfor å redusere mengden grovfôr og øke kraftfôrandelen i fôrrasjonen for å redusere metangassproduksjonen.

God gjødselhandtering, drenering og fornuftig handtering av grønn gjødsel er eksempler på enkelttiltak som er nødvendige også i økologisk drift for å redusere klimagassutslippene. Stabile og relativt høye avlinger er dessuten avgjørende for lave klimagassutslipp regnet per produsert enhet. Ved å produsere egen energi i form av sol, vind eller biogass kan klimagassutslippene reduseres ytterligere. God jordfruktbarhet er viktig i økologisk landbruk og mange økologiske bønder er bevisste på å stimulere jordlivet ved å tilføre mye organisk materiale og dermed karbon i jord.

De internasjonale prinsippene utviklet av IFOAM Organics International og regelverket for økologisk landbruk har som mål å utvikle et bærekraftig landbruk. Reduksjon av klimagassutslipp er bare ett av flere mål for økologisk landbruk. Driftsformen bør kunne bidra til å redusere utslippene, sammen med kunnskap om hvordan jordbruket kan bidra til økt biodiversitet, økt jordfruktbarhet, redusert tap av næringsstoffer, økt motstandsevne mot effektene av klimaendringer og økt matsikkerhet. Det er per i dag ingen enkeltpunkter i det norske regelverket for økologisk produksjon som omhandler klimagassutslipp direkte. Mange av punktene i regelverket har imidlertid indirekte betydning for utslippene, som f.eks. begrensningen i nitrogen som kan tilføres.

Livsløpsanalyser, LCA, er en vanlig metode for å regne ut miljøpåvirkningene av et produkt. Brukes metoden til å sammenligne jordbruksprodukter fra ulike driftsformer vil mangler ved metoden påvirke resultatene. Differensieringen mellom driftsformene i modelleringen og analysene kan være mangelfull, dessuten vil det ofte bare være et begrenset antall kategorier av miljøpåvirkninger som er med i beregningene. I tillegg kan lokale effekter bli undervurdert i forhold til de globale effektene. Disse manglene er det derfor viktig å være klar over ved presentasjon av konklusjonene fra slike sammenligninger.

Denne litteraturgjennomgangen viser at mange faktorer som vektlegges i økologisk landbruk kan bidra til en reduksjon av landbrukets klimagassutslipp. Mange av disse faktorene kan også tas i bruk for å redusere klimagassutslipp i konvensjonell drift.

9 Litteraturreferanser

- Aguilera, E., L. Lassaletta, A. Gattinger & B.S. Gimeno 2013. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 168, s. 25-36
- Anon. 2015. Study to Model the Impact of Controlling Endemic Cattle Diseases and Conditions on National Cattle Productivity, Agricultural Performance and Greenhouse Gas Emissions. ADAS UK Ltd.
- Audsley, E., K. Stacey, D.J. Parsons & A.G. Williams 2009. Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. Cranfield University, England
- Bárcena, T.G., A. Grønlund, A. O'Toole & D. Rasse 2016. Landbruket i møte med klimaendringene. Karbonbalansen i dyrket mark. Landbruk og klima – utredning fra partssammensatt gruppe.
- Bergslid, R. & M. Ebbesvik 2017. Samarbeid om spredning av husdyrgjødsel – til beste for bonde, klima og økonomi. NORSØK Faginfo nr. 4, 2017.
- Biologisk-dynamisk Forening 2017. Regelverk. www.biodynamisk.no/demeter-2/regelverk/
- Bleken, M.A., H. Steinshamn & S. Hansen 2005. High nitrogen costs of dairy production in Europe: worsened by intensification. *Ambio* 34, s. 598-606
- Breland, T.A. 1992. Organisk materiale og biologiske prosessar i jorda. SFLL Faginfo nr. 19, 1992. Statens fagtjeneste for landbruket, Ås.
- Broucek, J. 2014. Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry: A Review. *Journal of Environmental Protection* 5, s. 1482-1493
- Bye, A.S., P.A. Aarstad, A. I. Løvberget & H. Høie 2017. Jordbruk og miljø. Tilstand og utvikling 2016. Rapport nr 2017/4. Statistisk Sentralbyrå
- Bye, A.S., P.A. Aarstad, A. I. Løvberget & H. Høie 2016. Jordbruk og miljø. Tilstand og utvikling 2015. Rapport nr 2016/14. Statistisk Sentralbyrå
- Cayuela, M. L., L. Van Zwieten, B.P. Singh, S. Jeffery, A. Roig, & M. A. SánchezMonedero 2014. Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: a review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191, s. 5–16
- Cederberg, C., B. Landquist & M. Berglund 2012. Potentialer för jordbruket som kolsänka. SIK-rapport nr 850, Göteborg.
- Cederberg, C., M. Wallman, M. Berglund & J. Gustavsson 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport nr 830, Göteborg.
- Clark, M. & D. Tilman 2017. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Env. Res. Lett.* 12 (2017) 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
- Danielsson, R. 2016. Methane Production in Dairy Cows. Impact of Feed and Rumen Microbiota. Doc. Thesis, *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* 2016:45, Sveriges Lantbruksuniversitet
- FAO 2011. Organic agriculture and climate change mitigation. A report of the Round Table on Organic Agriculture and Climate Change. Roma, Italia
- Fliessbach, A., H.-R. Oberholzer, L. Gunst & P. Mäder 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (2007): 273–284

- Fog, E., F. Oudshoorn, K. Halsnæs, T. Kristensen, J. E. Olesen, M. Lübeck & M. Tersbøl 2015. Energi og klima. I: Jespersen, L.M. 2015: Økologiens bidrag til samfundsgoder. Vidensyntese 2015. ICROFS, Danmark
- Gadermaier, F., A. Berner, A. Fliessbach, J.K. Friedel & P. Mäder 2011. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27 (1): 68-80
- Gattinger, A. Muller, M. Haeni, C. Skinner, A. Fliessbach, N. Buchmann, P. Mäder, M. Stolze, P. Smith, N. E. Scialabba & U. Niggli 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *PNAS*, Vol 109, no. 44, s. 18266-18231
- Ghabbour, E., G. Davies, T. Misiewicz m.fl. 2017. National Comparison of the Total and Sequestered Organic Matter Contents of Conventional and Organic Farm Soils. *Advances in Agronomy*, Vol 146, s. 1-35
- Gomiero, T., M.G. Paoletti & D. Pimentel 2008. Energy and Environmental Issues in Organic and Conventional Agriculture. *Critical Reviews in Plant Science*, 27: 239-254
- Gomiero, T., D. Pimentel & M.G. Paoletti 2011. Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* (30), 1-2, s. 95-124
- Granstedt, A. 2016. Morgondagens jordbruk – med fokus på Östersjön. www.sbf.se
- Granstedt, A. & L. Kjellenberg 2017. Carbon sequestration in long term on farm studies in Organic and Biodynamic Agriculture, Sweden. In: Rahmann m.fl. 2017. Proceedings of the Scientific Track "Innovative Research for Organic agriculture 3.0", Organic World Congress 2017 in New Dehli, India, Nov 9-11, 2017
- Granstedt, A. & L. Kjellenberg 2008. Organic and biodynamic cultivation – a possible way of increasing humus capital, improving soil fertility and providing a significant carbon sink in Nordic conditions. In: Neuhoff, D., N. Halberg, T. Alföldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I.A. Rasmussen, J. Hermansen, M. Vaarst, L. Lueck, F. Caporali, H. H. Jensen, P. Migliorini & H. Willer (eds.): *Cultivating the Future Based on Science. Vol 1 Organic Crop Production. Proceedings of Second Scientific Conference of ISOFAR, Modena, Italia.*
- Grønlund, A., T. Briseid, T. Garmo, O.M. Harstad, J. Morken & H. Volden 2008b. Klimagasser fra landbruket. Utslippsreduksjoner, forslag til mål, tiltak og virkemidler. *Bioforsk Rapport 3* (9), 41 s.
- Grønlund, A. & O.M. Harstad 2014. Klimagasser fra jordbruket. Kunnskapsstatus om utslippskilder og tiltak for å redusere utslippene. *Bioforsk Rapport 9* (11), 51 s.
- Grønlund, A., de Zarruk, K.K. & D.P. Rasse 2010. Klimatiltak i jordbruket – binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk Rapport 5* (5), 34 s.
- Grønlund, A., K.K. de Zarruk, D.P. Rasse, H. Riley, O. Klakegg & I. Nystuen 2008a. Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk Rapport 3* (132), 47 s.
- Hammer, T.J., N. Fierer, B. Hardwick, A. Simojoki, E. Slade, J. Taponen, H. Viljanen & T. Roslin 2016. Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. *Proc. R. Soc. B* 283: 20160150. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.0150>
- Hansen, S., J.E. Mæhlum & L.R. Bakken 1993. N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biol. Biochem.* 25 (1993), s. 621-630
- Hansen, S., Bleken, M.A., Løes, A.-K., E. Govasmark, A.F. Øgaard & T.A. Breland 2007. Sustainable nutrient supply of organic farming challenged by specialisation. In: *NJF 23rd Congress 2007. Trends and Perspectives in Agriculture. NJF Report Vol 3*, nr. 2, s. 193-194

- Hessen, D. O. 2015. C Karbon - en uautorisert biografi. Cappelen Damm AS
- Hille, J., F. Ekström, C. Aall & E. Brendehaug 2009. Klimamerking av mat – er det mulig? Vestlandsforskning rapport nr. 8/2009.
- Jensen, E.S., M.B. Peoples, R.M. Boddey, P.M. Gresshoff, H. Hougaard-Nielsen, B.J.R. Alves & M.J. Morrison 2012. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2012, 32 (2), s. 329- 364.
- Jewert, J. 2017. Det gäckande metanet. KSLA Nytt & Noterat, nr. 2, 2017, s. 4-8. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, Stockholm
- Kasperczyk, N. & K. Knickel 2006. Environmental impacts of organic farming. I: Kristiansen, P., A. Taji & J. Reganold: *Organic Agriculture – A Global Perspective*. CABI Publishing, s. 259-294
- Klima- og forurensningsdirektoratet 2010. Tiltak og virkemidler for reduserte utslipp av klimagasser fra jordbrukssektoren. Klimakur 2020 Sektorrapport jordbruk. TA-2593/2010
- Knudsen, M.T. 2010. Environmental assessment of imported organic products. PhD thesis, University of Copenhagen
- Koesling, M., S. Hansen & M.A. Bleken 2017. Variations in nitrogen utilisation on conventional and organic dairy farms in Norway. *Agricultural Systems* 157 (2017), s. 11-21
- KRAV 2017. Regler för KRAV-certifierad produktion – utgåva 2017. www.krav.se
- Küstermann, B., & K.-J. Hülsbergen 2008. Emission of Climate-Related Gases in Organic and Conventional Cropping Systems. <http://orgprints.org/12813>
- Küstermann, B., M. Kainz & K.-J. Hülsbergen 2007. Modelling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23:1-16.
- Lal, R. 2010. Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Vol 22 (2), s. 151-184
- Lal, R. 2004. Carbon emissions from farm operations. Review article. *Environmental International* 30 (2004) s. 981-990
- Landquist, B. 2012. Jämförelse av klimatpåverkan för ekologiskt resp. IP-odlade gröna ärter. SIK-Rapport Nr. 838, 2012
- Landquist, B., M. Nordborg & S. Hornborg 2016. Litteraturstudie av miljöpåverkan från konventionellt och ekologiskt producerade livsmedel. Livsmedelsverket, Rapport 2 2016, 62 s.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 445, s. 143-144
- Leifeld, J. & J. Fuhrer 2010. Organic Farming and Soil Carbon Sequestration: What Do We Really Know About the Benefits? *AMBIO* 39, s. 385-599. DOI 10.1007/s13280-010-0082-8
- Lin, H.-C., J.A. Huber, G. Gerl & K.-J. Hülsbergen 2017. Effects of changing farm management and farm structure on energy balance and energy-use efficiency - A case study of organic and conventional farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy* 82: 247-253
- Lori, M., S. Symnaczik, P. Mäder, G. de Deyn & A. Gattinger 2017. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLoS One*, 12(7): e0180442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>
- Lynch, D.H., R. MacRae & R.C. Martin 2011. The Carbon and Global Warming Potential Impacts of Organic Farming: Does It Have a Significant Role in an Energy Constrained World? *Sustainability* 2011, 3, s. 322-362; doi:10.3390/su3020322

- Løes, A.-K. & A.F. Øgaard 1997. Changes in the nutrient content of agricultural soil on conversion to organic farming in relation to farm-level nutrient balances and soil contents of clay and organic matter. *Acta Agric. Scand. Sec. B. Soil Plant Sci*, 47 (1997), s. 201-214
- Meier, M, F. Stoessel, S. Hörtenhuber, C. Schader & M. Stolze 2017. Organic Farming and Sustainability: Life cycle assessments of organic foods. Fact Sheet. FiBL Research Institute of Organic Agriculture, Frick
- Meier, M, F. Stoessel, N. Jungbluth, R. Juraske, C. Schader & M. Stolze 2015. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management* 149, s. 193-208
- Miljødirektoratet 2017. Klimagassutslipp fra jordbruk. www.miljostatus.no, 6.2.2017
- Mondelaers, K., J. Aertsens & G. Van Huylenbroeck 2009. A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *British Food Journal*, Vol 111(10), s. 1098-1119
- Muller, A., L. Bautze, M. Meier, A. Gattinger, E. Gall, E. Chatzinikolaou, S Meredith, T. Ukas & L. Ullmann 2016. Organic farming, climate change mitigation and beyond. Reducing the environmental impacts of EU agriculture. IFOAM EU Group, Brussel, 70 s. www.ifoam-eu.org
- Muller, A., C. Schader, N. E.-H. Scialabba m.fl. 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications* 8: 1290
- Niggli, U., A. Fliessbach, A. Hepperly & N. Scialabba 2009. Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation and Adaption Potential of Sustainable Farming Systems. FAO, Rev. 2 - 2009
- Niggli, U., H. Schmid & A. Fliessbach 2007. Organic farming and climate change. International Trade Center UNCTAD/WTO & FiBL, Geneve, 27 s.
- Petersen, B.M., M. T. Knudsen, J.E. Hermansen & N. Halberg 2013. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* 52, s. 217-224
- Poepplau, C. & A. Don 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200 (2015), s. 33-41
- Powlson, D.S., K.W.T. Goulding, T.W. Willison, C.P. Webster & B.W. Hütsch 1997. The effect of agriculture on methane oxidation in soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49(1):59-70, DOI 10.1023/A:1009704226554.
- Pretty, J. 2001. The real cost of modern farming. *Resurgence* no 205
- Rahmann, G., M.R. Ardakani, P. Barberi, H. Boehm, S. Canali, M. Chander, W. David, L. Dengel m.fl. 2016. Organic Agriculture 3.0 is innovation with research. *Organic Agriculture*, DOI 10.1007/s13165-016-0171-5
- Raupp, J., 2001. Manure fertilization for soil organic matter maintenance and its effects upon crops and the environment, evaluated in a long-term trial. I: Rees, R.M., Ball, B.C., Campbell, C.D., Watson, C.A. (Eds.), *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. CABI, London, s. 301–308.
- Refsgaard, K., H. Berglann & H. Bergsdal 2011. Klimagassutslipp fra mat – kast mindre, reduser kjøttforbruket, spis mer økologisk og sykle til butikken. Artikkel 2011-3, NILF. www.nilf.no, 15.11.2011.
- Riley, H. 2017. Trusler mot jordas fruktbarhet: Endringer i moldinnhold over tid. Foredrag fagseminar Ås 31.3.2017. www.oikos.no/newsread/readimage.aspx?asset=9604

- Riley, H. 2014. Hva har vi lært gjennom 35 års forsøk med redusert jordarbeiding på morenejord? I: Bioforsk-konferansen 2014. Bioforsk Fokus 9 (2), s. 44.
- Riley, H. & M. Bakkegard 2006. Declines of soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, 56: 217-223
- Riley, H., R. Pommeresche, R. Eltun, S. Hansen & A. Korsæth 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer level and manure use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 124, s. 275-284
- Røed, K. 2007. Gjødselplanlegging er viktig. *Nationen*, september 2007.
- Röös, E., C. Sundberg, E. Salomon & M. Wivstad 2013. Ekologisk production och klimatpåverkan. En sammanställning av kunnskapsläge och framtida forskningsbehov. EPOK, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala
- Scharlemann, J.P.W., E.V.J. Tanner, R. Hiederer & V. Kapos 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5(1), s. 81-91, DOI: 10.4155/cmt.13.77
- Schärer, J. 2013. Økte avlinger kan gi miljøgevinst. www.bioforsk.no, 22.3.2013
- Schjønning, P. & L.J. Munkholm 2004. Organisk stof i jord – hvor meget er nok og hvor lidt er kritisk? *FØJO e-nyt* nr. 2
- Scialabba, N. E.-H. & M. Müller-Lindenlauf 2010. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25(2), s. 158-169
- Shcherbak, I., N. Millar & G.P. Robertson. 2014. Global metaanalysis of the nonlinear responses of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. *PNAS* 111 (25), s. 9199-9204
- Skinner, C., A. Gattinger, A. Muller, P. Mäder, A. Fliessbach, M. Stolze, R. Ruser & U. Niggli 2014. Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – A global meta-analysis. *Science of the Total Environment* 468-469 (2014) s. 553-563
- Slade, E.M., T. Riutta, T. Roslin & H. L. Tuomisto 2016. The role of dung beetles in reducing greenhouse gas emissions from cattle farming. *Scientific Reports* 6:18140. DOI: 10.1038/srep18140
- Smith, L., S. Padel & B. Pearce 2011. Soil Carbon Sequestration and Organic Farming: An overview of current evidence. *Organic Centre Wales*
- Soussana, J.F., T. Tallec & V. Blanfort 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4:3, s. 334-350
- Steinemann, B., A. Gattinger, M. Krauss m. fl. 2015. Mitigating the impact of agriculture on air quality and climate change. Solutions for improved nitrogen management. IFOAM EU Group
- Stockdale, E.A., N. Lampkin, M. Hovi, R. Keatinge, E.K.M. Lennartsson, D.W. MacDonald, S. Padel, F.H. Tattersall, M.S. Wolfe & C.A. Watson 2001. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Advances in Agronomy*, vol. 70.
- Stolze, M., A. Piorr, A. Häring & S. Dabbert 2000. The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe. *Organic Farming in Europe: Economics and Policy* Vol. 6, Univ. of Hohenheim, Germany
- Swensen, B. 2010. Økologisk landbruk og klima. *Oikos Rapport* nr. 1, Oikos, Oslo.
- Tuomisto, H.L., I.D. Hodge, P. Riordan & D.W. Macdonald 2012. Does organic farming reduce environmental impacts? A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management* 112 (2012) s. 309-320

Tørresen, K.S., E. Skarbøvik, S. Kværnø, M. Bechmann, M. Stenrød, O. M. Eklo, G. Brodal, I. S. Hofgaard, M. Björkman, H. Riley, V. Kvakkestad, K. Refsgaard, T. Børresen, P. Dörsch, J. Stabbetorp & E. Strand 2015. Effekter av ulik jordarbeiding i korn. NIBIO POP, nr. 5, 2015

Van Grinsven, H.J.M., J. W. Erisman, W. de Vries & H. Westhoek 2015. Potential of extensification of European agriculture for a more sustainable food system, focusing on nitrogen. Environ. Res. Lett. 10

Yara 2017. Mineralgjødsel og klimaavtrykk. www.yara.no

Yara 2008. Gjødsling kan gi positiv klimabalanse. Yara Nyhetsbrev nr 2

10 Vedlegg

10.1 Prosjekter

Her nevnes prosjekter som er relevante for arbeidet med å redusere effekten av landbruket på klimaet, spesielt effekten av økologisk landbruk. Det er stor aktivitet på området og lista her er på ingen måte utfyllende.

Prosjektet «Strategies for organic and low-input farming to mitigate and adapt to climate change» (SOLMACC) er et EU-finansiert prosjekt som skal vise hvordan klimasmarte tiltak og økologiske metoder kan redusere utslippene av klimagasser fra landbruket. Tolv økologiske gårder i Sverige, Tyskland og Italia skal vise hvordan det er mulig, gjennom resirkulering av vekstnæring, vekstskifter med belgvekstrik eng, redusert jordarbeiding og agroforestry.

Prosjektperiode: 2013-2018

<http://solmacc.eu/sv/om-oss/>

Prosjektet «Klimasmart Landbruk», tidligere kalt «Klimarådgivning på gårdsnivå» har som mål å utvikle et nytt system og verktøy for å beregne klimaavtrykk og registrere klimakutt tilpasset hvert enkelt gårdsbruk. Verktøyet skal gi grunnlag for effektiv og målrettet beslutningsstøtte for å ta gode miljøvalg tilpasset enkeltbruk.

Behovet for systemutvikling var større enn antatt ved oppstarten av prosjektet. Sentralt i dette står Holos, som er utvikling av modeller for beregning av klimagassutslipp på gårdsnivå. HolosNor er tilpasset norske forhold, og det er utviklet tre modeller for å beregne nettoutslippet av klimagasser fra: (1) produksjonen av de mest vanlige åkervekstene, (2) kombinert mjølk- og kjøttproduksjon på storfe og (3) kjøttproduksjon på svin. I oppfølgingsprosjektet «Ajourføre og vedlikeholde Holos modellen for beregning av klimagasser fra landbruket» er hovedmålet å opprettholde/videreutvikle kompetansen på HolosNor. I dette arbeidet har forskere NMBU og NIBIO, og rådgivere ved Norsk Landbruksrådgivning vært involvert.

HolosNor står sentralt i arbeidet i «Klimasmart Landbruk». Arbeidet med å implementere HolosNor i rådgivningen ble satt i gang i 2017. Målet er å ha et landsdekkende klimarådgivingstilbud til norske bønder klart i løpet av 2018.

På hjemmesida legges det jevnlig ut konkrete tiltak for utslippskutt i landbruket, i form av «100 klimaløsninger».

Norsk Landbruksrådgivning har utarbeidet ni faktaark med klimaråd for bønder. Disse omhandler blant annet erosjonshindrende tiltak, drenering, jordpakking, karbonbinding i jord og planter, bruk av nitrogengjødsel og redusert bruk av fossil energi, og omfatter ulike konkrete tiltak innen de ulike temaene. Se <https://www.nlr.no/nyhetsarkiv/2010/5305>

Prosjekteier: Landbrukets Klimaselskap SA, som eies av Norges Bondelag, Norsk Landbruksrådgivning. TINE, Nortura og Felleskjøpet Agri.

<https://klimasmartlandbruk.no/>

Prosjektet «Jordkarbon – utvikling og formidling av karbonbindende landbrukspraksis i Norge»

(Jordkarbon) har som mål å skaffe kunnskap om og erfaring med karbonbindende dyrkingsmetoder tilpasset norsk klima og ulike driftsformer.

Prosjektet er delt i tre deler:

I. Innhente mer kunnskap om de biologiske prosessene som binder karbon i jordsmonnet og gir stabil grynstruktur. II. Utprøving og registreringer ny praksis og oppfølging av storskalaforsøk og mindre forsøk hos bønder. III. Formidling av forskning og erfaring inn- og utland.

Prosjektperiode: 2016-2018

Prosjekteier: Norsk Landbruksrådgivning Østafjells

<https://ostafjells.nlr.no/prosjekter/jordkarbon/>

Økologisk Landsforening i Danmark

Foreningen har en egen satsing på klimaspørsmål, inkludert prosjektet «Forsterket klimainnsats i økologisk jordbruk». Formål: Fornytt fokus på redusert utslipp av klimagasser i økologisk landbruk og øke karbonbindingen i jorda. Tiltak: Klimakatalog, klimaoptimering på bedriftsnivå, klimaskoler, demoeiendommer- «best practice».

www.okologi.dk/landbrug/projekter/klima



Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK er ei privat, sjølstendig stifting.

Stiftinga er eit nasjonalt senter for tverrfagleg forskning og kunnskapsformidling for å utvikle økologisk landbruk. NORSØK skal bidra med kunnskap for eit meir berekraftig landbruk og samfunn. Fagområda er økologisk landbruk og matproduksjon, miljø og fornybar energi.

**Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK / Gunnars veg 6 / NO-6630 TINGVOLL/
Telefon: +47 930 09 884 / E-post: post@norsok.no / www.norsok.no**