

Ekologisk produktion och klimatpåverkan

– *En sammanställning av kunskapsläge
och framtida forskningsbehov*

Elin Röö, Cecilia Sundberg, Eva Salomon och Maria Wivstad



Ekologisk produktion och klimatpåverkan

*– En sammanställning av kunskapsläge
och framtida forskningsbehov*

Utgivningsår: 2013, Uppsala

Utgivare: SLU, EPOK – Centrum för ekologisk produktion och konsumtion

Layout: Pelle Fredriksson, SLU, EPOK

Illustration, omslag: © F. Stendahl 2012

Tryck: Fyris-Tryck AB

Typsnitt: Akzidenz Grotesk & Bembo

ISBN: 978-91-576-9159-0

© SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Förord

Livsmedelsproduktionen är en betydande källa till utsläppen av växthusgaser och vi vet att produktionssystem och metoder har betydelse för utsläppens storlek. Att kunna värdera hur olika typer av produktionssystem i sin helhet, såväl som enskilda åtgärder, påverkar utsläpp av klimatgaser är viktigt för att utveckla en klimatsmart livsmedelsproduktion. Samtidigt bör inte produktionssystemen utvärderas enbart ur klimatsynpunkt, avvägningar behöver göras utifrån andra viktiga hållbarhetsmål såsom hög biologisk mångfald och god djurvälstånd.

EPOK har tagit initiativ till denna populärvetenskapliga syntes för att ge en överblick av det vetenskapliga kunskapsläget vad gäller det ekologiska lantbrukets klimatpåverkan. Utifrån kunskapsöversikten diskuteras vilka utmaningar jordbruket, och specifikt det ekologiska jordbruket, står inför för att de långsiktiga klimatmålen ska uppnås.

Syntesen pekar på att vi idag har relativt goda kunskaper om hur enskilda åtgärder i våra produktionssystem påverkar utsläppen, men att kunskapsluckan är desto större för att utvärdera klimatpåverkan på en högre systemnivå. I ett eget kapitel diskuteras därför behovet av ett brett systemanalytiskt per-

spektiv för att rätt kunna värdera den totala klimatpåverkan från det ekologiska lantbruket såväl som från andra sätt att producera livsmedel – här finns ett stort behov av mer tvärvetenskaplig forskning!

Elin Rööös och Cecilia Sundberg är huvudförfattare till rapporten och Eva Salomon och Maria Wivstad har varit delaktiga i arbetet vad gäller rapportens struktur samt textbearbetning. En rad forskare har generöst bidragit med expertkunskaper dels via en workshop då ett rapportutkast diskuterades, dels genom enskilda intervjuer. Därför tackar vi: Serina Ahlgren, Göran Bergkvist, Kerstin Berglund, Örjan Berglund, Sven Bernesson, Jan Bertilsson, Georg Carlsson, Per-Anders Hansson, Erik Steen Jensen, Håkan Jönsson, Karl-Ivar Kumm, Thomas Kätterer, Åke Nordberg, Ingrid Strid och Pernilla Tidåker (samtliga från SLU) samt, Andras Baky och Lena Rodhe från Institutet för jordbruks- och miljöteknik och Åsa Kasimir Klemedtsson från Göteborgs universitet.

Uppsala, juli 2013
Maria Wivstad
Föreståndare EPOK

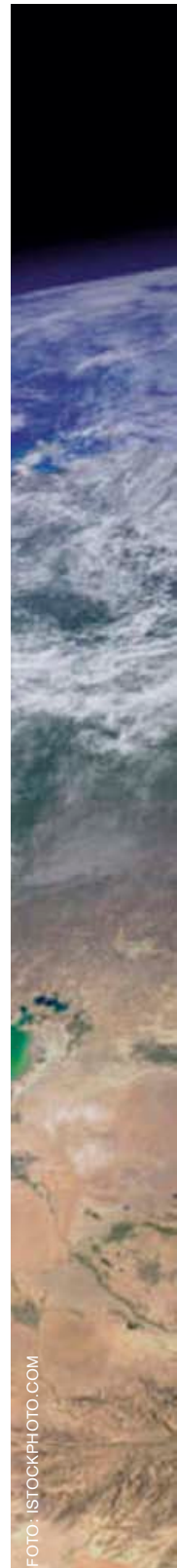


FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	5
Summary	6
Inledning	7
Bakgrund	8
Växthuseffekten	8
Klimatförändringen.....	9
Varifrån kommer utsläppen?	9
Hur mycket kan och måste utsläppen från jordbruket minska?.....	12
Vad vet vi om de stora utsläppsposterna?	14
Lustgas från mark	14
Metan från djurens fodermältning	19
Kol till och från mark	22
Lagring och spridning av stallgödsel.....	26
Energianvändning i jordbruket	28
Klimatpåverkan från olika produktionssystem	35
Klimatpåverkan i ett systemperspektiv	36
Livsmedelsproduktion	41
Bioenergiproduktion	47
Förändrad markanvändning	51
Samhällets växtnäring i kretslopp	57
Slutsatser och diskussion	61
Författarnas reflektioner	66
Slutnoter och referenser	68

Sammanfattning

Livsmedelssektorn står för 25 procent av genomsnittssvenskens växthusgasutsläpp, och dessa uppstår främst inom jordbruket. EU-länderna har som mål att minska växthusgasutsläppen med 80–95 procent till 2050, så det behövs stora utsläppsminskningar.

Syftet med denna rapport är att beskriva kunskapsläget och framtida forskningsbehov för det ekologiska lantbrukets klimatpåverkan och dess möjligheter att bidra till minskad klimatpåverkan från livsmedelssektorn. I rapporten förklaras också den systemsyn som krävs för att kunna dra slutsatser om klimatpåverkan från olika jordbrukssystem. Resultaten sammanfattas i fem punkter:

Ökad kväveeffektivitet: Lustgas från mark är den största och mest osäkra källan till växthusgaser från jordbruket. Det är viktigt att mäta lustgasavgången från nuvarande och alternativa produktionssystem. Lustgasavgången påverkas av överskott av kväve i marken, så ökad kväveeffektivitet är viktigt för att minska växthusgasutsläppen från såväl konventionell som ekologisk produktion.

Ökad avkastning: Åtgärder för ökad avkastning och lägre svinn inom den ekologiska produktionen är viktiga för minskad klimatpåverkan per kg produkt. Hög avkastning orsakad av hög kväveeffektivitet innebär dubbel klimatnytta, medan vissa avkastningshöjande åtgärder riskerar att försämra biologisk mångfald och djurvålfärd.

Mer kol i marken: Mycket vallodling inom det ekologiska jordbruket bidrar till att bevara och

lagra in kol i jordbruksmark och på så sätt minska klimatpåverkan. Det krävs dock en mycket hög inlagring för att kompensera för idisslarnas växthusgasutsläpp. Om en del av vallskörden används till bioenergi blir klimatnyttan stor.

Resurseffektiva system: Forskning och utveckling krävs för att designa produktionssystem som producerar nyttigheter för samhället med minskade krav på mark och andra begränsade resurser. Användningen av lokala resurser såsom betesmark, lokala fodergrödor, rest- och avfallsprodukter och spillvärme bör optimeras för att minska trycket på odlingsmark globalt. Inom detta område bör den ekologiska produktionen ta ledarskapet. Växthusgasutsläppen från energianvändningen inom jordbruket är små, men består till stor del av fossila bränslen. De bör därför bytas ut mot förnybara energikällor. Biodrivmedel för gårdsbehov kan produceras genom att använda bara en liten del av jordbruksmarken.

Mer vegetabilier: Svenskt ekologiskt lantbruk domineras av mjölkproduktion, men animaliska livsmedel har mycket större klimatpåverkan än vegetabilier. Ekologisk odling av nya och gamla grödor för humankonsumtion i olika produktionssystem (utan djur eller i mixade system som producerar både animaliska och vegetabiliska livsmedel) behöver utvecklas. Rötning av gödsel, vall och organiskt avfall till biogas kan vara ett sätt att förbättra växtnäringförsörjningen i system med vegetabilieproduktion. Samtidigt produceras då förnybar energi och därigenom minskar klimatpåverkan från energianvändning.

Summary

Climate impact of organic agriculture – *A synthesis of current knowledge and research needs*

The food sector accounts for 25 percent of the greenhouse gas emissions from the average Swede, most of which arise in agricultural production. The EU countries aim to reduce the emissions of greenhouse gases by 80–95 percent by 2050, so there is a need for radical emission reduction.

This report aims to describe current knowledge and identify knowledge gaps regarding greenhouse gas emissions from organic agriculture in Sweden and its potential to contribute to reduced climate impact from the food sector. Included in the report is also an explanation of the need to use a system perspective when comparing the climate impact from different agricultural production systems. The results are summarised in the following five themes:

Improved nitrogen efficiency: Nitrous oxide emissions from soil are the largest, but also the most uncertain source of greenhouse gas emissions from agriculture. It is important to monitor emissions from current and alternative production systems. It is known that nitrous oxide emissions are linked to availability of surplus nitrogen, so improved nitrogen use efficiency is important for reducing the nitrous oxide emissions from organic as well as conventional agriculture.

Higher yields: Increasing the yields and decreasing losses in organic production is important for decreased climate impact per kg of product. High yields caused by increased nitrogen use efficiency give double climate benefit, but other measures aiming at higher yields may be in conflict with animal welfare or biodiversity.

Increased soil carbon stocks: Grass and clover forage, common crops in organic farming, contributes to reduced climate impact through increased soil carbon stocks. However, very high increases in soil carbon are required if this is to compensate for methane emissions from ruminants. The climate benefit can be large if grass and clover are used for bioenergy production.

Resource efficient systems: There is a need for research and development for design of production systems that produce valuable products with reduced requirements on land and other limited resources. Optimal use of local resources such as pasture land, local feed crops, by-products and waste heat is necessary, in order to reduce the pressure on global land and energy resources. Organic farming should show leadership in this area. Energy use is a minor part of greenhouse gas emissions from agriculture, but the energy used is largely of fossil origin. This can be replaced by renewable fuels, and bioenergy production for on-farm use requires only a small proportion of the agricultural land.

More vegetarian food: Swedish organic farming is dominated by milk production, but animal products have much higher climate impact than crop produce. There is a need for development of organic production of new and old crops for human consumption in a variety of production systems (without livestock or in mixed systems that produce animal and vegetal foods). In these systems, nutrient supply is a key issue. Anaerobic digestion of manure, grass and residues can contribute to nutrient supply as well as reduced climate impact through supply of renewable energy.

Inledning

Klimatförändringen är en av vår tids stora utmaningar. En ökad global medeltemperatur förutspås leda till osäkrare väderförhållanden, stigande havsnivåer, mer oväder och allvarliga störningar i ekosystem och livsmedelsproduktion. En betydande del av utsläppen av växthusgaserna orsakas av jordbruket. Under de senaste åren har det diskuterats hur ett klimatsmart jordbruk bör vara utformat.

Syftet med denna syntesrapport är att

- Kortfattat redogöra för det vetenskapliga kunskapsläget och framtida forskningsbehov vad gäller det ekologiska lantbrukets klimatpåverkan och dess möjligheter att bidra till minskad klimatpåverkan från livsmedelssektorn.
- Förklara den systemsyn som krävs för att kunna dra slutsatser om klimatpåverkan från olika jordbrukssystem.
- Tillhandahålla en gemensam kunskapsbas för fortsatt forskning.

Rapporten behandlar främst det ekologiska lantbruket och jämförelser med konventionell produktion är inte ett huvudsyfte¹. Mer producentinriktad information har tidigare tagits fram inom exempelvis Greppa näringen² och Klimatcertifieringen³. Syftet har heller inte varit att beskriva åtgärder för att förbereda jordbruket för kommande klimatförändringar eller energibrist, eller att beakta ekonomiska eller sociala aspekter kring klimatåtgärder.

Viktiga målgrupper för rapporten är myndigheter, politiker och forskningsfinansiärer som vill få en sammanställning över vilka utmaningar jordbruket

står inför om de långsiktiga klimatmålen ska uppnås. En annan målgrupp är forskare som här kan få en överblick över klimatpåverkan från ekologiskt jordbruk ur flera olika perspektiv. Ytterligare målgrupper som vi haft i åtanke är studenter, rådgivare, livsmedelsproducenter och andra intresserade av det ekologiska lantbruket.

Arbetet har baserats på en genomgång av aktuell litteratur, samt ett antal intervjuer med forskare i syfte att kunna göra en beskrivning av vad som är vetenskapligt belagt och vad som fortfarande är osäkert inom respektive område. De områden som identifierats som stora källor till växthusgasutsläpp från jordbruket; lustgas från mark, metan från idisslare, nettoutsläpp av koldioxid från mark, utsläpp från gödsel och energianvändning, presenteras i kapitlet ”Vad vet vi om de stora utsläppsposterna?”. För att förstå och kunna jämföra klimatpåverkan från hela produktionssystem räcker det inte med kunskap om olika utsläppskällor. Det behövs även en systemanalys. Hur jämförelser mellan odlingsystem kan göras på olika systemnivåer och deras relevans för olika frågeställningar diskuteras i kapitlet ”Klimatpåverkan från olika produktionssystem”. I det näst sista kapitlet ges en sammanfattning och diskussion av syntesarbetet. Rapporten avslutas med författarnas personliga reflektioner.

När inte annat anges gäller redogörelsen svenska förhållanden. Detta är ofta relevant även för andra länder i västvärlden, men inte nödvändigtvis i länder med en helt annan struktur på jordbruket såsom i de flesta utvecklingsländer.

Bakgrund

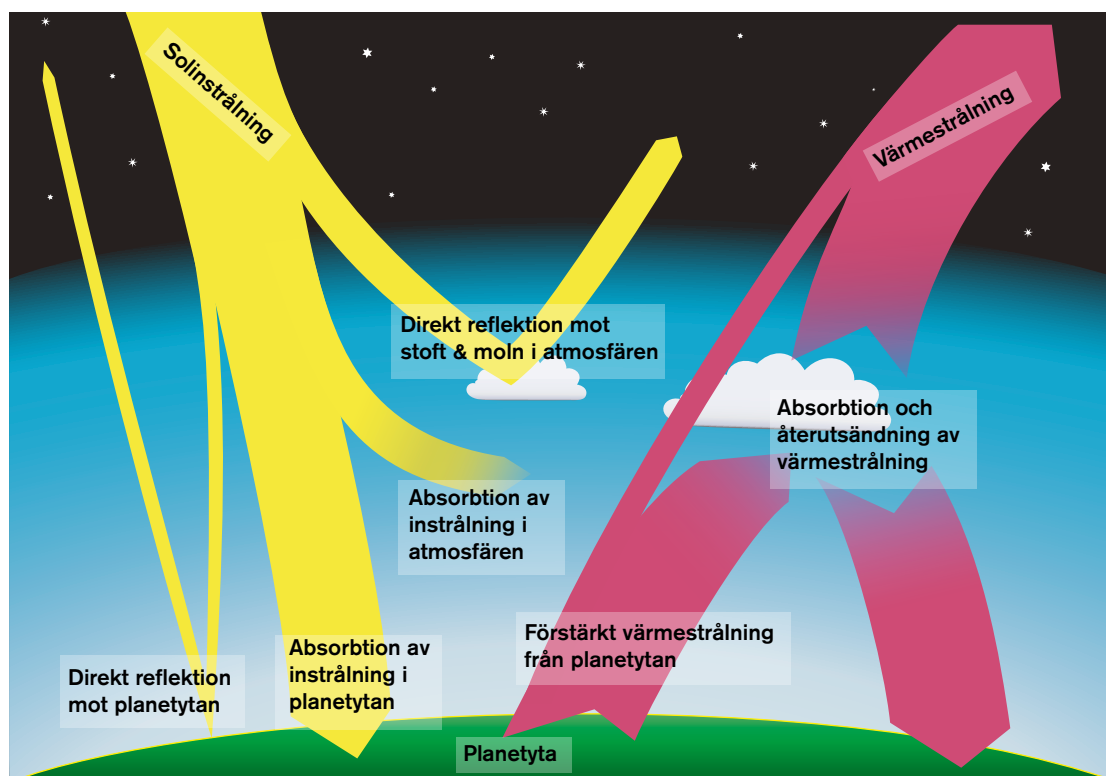
Växthuseffekten

Tack vare att vissa gaser i jordens atmosfär fungerar som glaset i ett växthus och sänder tillbaka viss del av den värmestrålning som jordytan sänder ut är jordklotet beboeligt. Utan denna växthuseffekt skulle jorden vara alldeles för kall för liv. Växthusgaserna fungerar så att de släpper igenom det kortvågiga solljuset som når och absorberas av jordytan. Jordytan sänder ut energin i solljuset i form av långvågig värmestrålning som absorberas av växthusgaserna och återsänds åt alla håll. En del av värmestrålningen sänds alltså tillbaka mot jordytan igen och en uppvärmning sker.

Luften består till största delen av syre och kvävgas. Dessa gaser släpper igenom både ljus- och värme-

strålning och verkar således inte som växthusgaser. Vattenånga i atmosfären står för den största växthuseffekten. Andra viktiga växthusgaser är koldioxid, metan och lustgas. För att kunna beräkna en sammanlagd klimateffekt från olika växthusgaser kan de olika växthusgaserna räknas om till koldioxidekvivalenter genom att mängden utsläpp av en viss gas multipliceras med ett tal som beskriver gasens potential att verka uppvärmning i förhållande till koldioxid.

Sammantagen klimatpåverkan i ett hundraårsperspektiv beräknas då enligt följande: klimatpåverkan i koldioxidekvivalenter (kg CO₂e) = 1 gånger mängden koldioxid (CO₂) + 25 gånger mängden metan (CH₄) + 298 gånger mängden lustgas (N₂O)⁴.



Klimatförändringen

Klimatförändringen syftar i dagligt tal på den ökning av jordens medeltemperatur som skett och förväntas ske under 1900- och 2000-talen. Sedan förra sekelskiftet har den globala medeltemperaturen ökat med knappt en grad. Idag är man inom vetenskapssamhället överens om att huvudorsaken till denna ökning är utsläpp av växthusgaser från mänsklig aktivitet, framför allt förbränning av fossila bränslen och avskogning⁵. På så sätt förstärks den naturliga växthuseffekten och jorden värms.

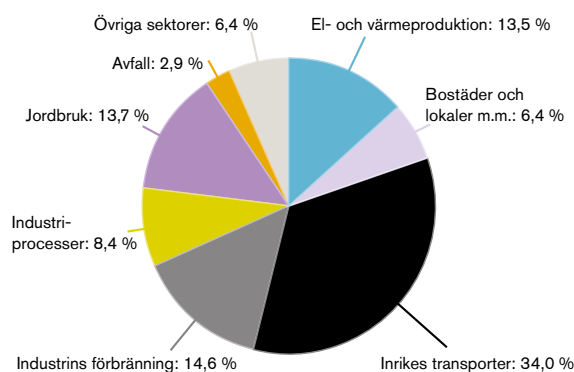
Enligt FN:s klimatpanel IPCC antas temperaturen fortsätta stiga. Hur stor temperaturökningen blir, beror på hur mycket växthusgaser mänskligheten fortsätter att släppa ut och även exempelvis storleken på utsläppen från den sibiriska tundran om den tinar, samt hur jordens klimatsystem reagerar på de ökade utsläppen.

Det övergripande målet i Sverige och även i FN:s ramkonvention för klimatförändringar är att ”halten av växthusgaser i atmosfären ska stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig”.

Politiskt har man enats om att en temperaturhöjning på maximalt två grader är den risknivå man är beredd att acceptera, även om IPCC varnar för risker för allvarliga effekter på ekosystem och samhällen redan under två grader. Sveriges riksdag fattade år 2009 beslut om en klimatpolitik som innebär att utsläppen ska minska med 40 procent från 1990 års nivå till år 2020. Visionen är sedan att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp år 2050. EUs mål är att minska utsläppen med 80–95 procent till år 2050 från 1990 års nivå. Målen är satta för att kunna stabilisera koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på en nivå om högst 400 ppm koldioxidkvivalenter för att kunna nå 2-gradersmålet med god sannolikhet. Snabba åtgärder krävs för att bromsa klimatförändringen då den globala koncentrationen redan ligger på en nivå över 450 ppm. Trots klimatmålen ökar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären och det krävs kraftiga åtgärder för att nå klimatmålen⁶.

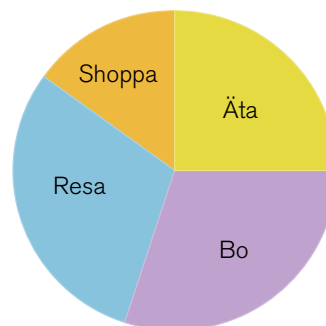
Varifrån kommer utsläppen?

Av de utsläpp som sker inom Sveriges gränser är det transporter som står för de största utsläppen, följt av industrin och tätt därefter jordbruket samt el- och värmeproduktionen.



Figur 1. Utsläpp av växthusgaser inom Sveriges gränser. Källa: Naturvårdsverket.

Man kan också studera hur utsläppen från det som konsumeras i Sverige fördelar sig⁷. Merparten av utsläppen kommer från resande och boende. Maten står för 25 procent av utsläppen och inkluderar jordbrukets utsläpp såväl som utsläpp från förädling, transporter, förpackningar, samt importerade livsmedel och insatsvaror såsom mineralgödselkväve, (syntetiskt framställt mineralkväve, även benämnt konstgödselkväve). Utsläppen från det som konsumeras i Sverige är cirka 25 procent större än de utsläpp som sker i Sverige, vilket betyder att stor del av svenskarnas växthusgasutsläpp sker i andra länder.



Figur 2. Utsläpp av växthusgaser från privat konsumtion i Sverige. Källa: Naturvårdsverket, 2008. Konsumtionens klimatpåverkan, Rapport 5903.



ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012

Utsläppen av växthusgaser från jordbruket domineras av metan och lustgas och inte av koldioxid såsom i energi- och transportsektorn. Då kväve tillförs marken i form av mineralgödsel, stallgödsel eller växtrester avgår en liten del av kvävet som lustgas. Idisslarna andas ut metan som bildas som en biprodukt i deras foderspjälningsprocess. Betydande utsläpp sker också från Sveriges kolrika mulljordar i form av koldioxid och lustgas.

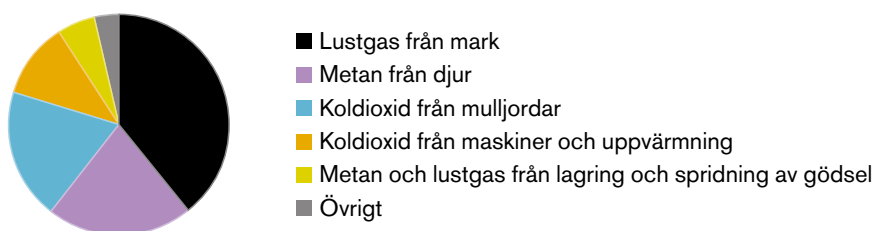
De största källorna till växthusgasutsläpp från det svenska jordbruket är lustgas från mark, följt av metan från idisslare och utsläpp från mulljordar (Figur 3). Dessa tre dominerande utsläppskällor, som står för 75

procent av jordbrukets utsläpp, är svåra att kontrollera då de drivs av naturliga biologiska processer.

För övriga utsläppskällor; tillverkning av mineralgödselkväve, utsläpp från lagring och spridning av stallgödsel, koldioxid från fossila bränslen och importerat foder, finns nya metoder och alternativa system som minskar utsläppen (till exempel ny teknik för kvävegödseltillverkning, biogas från gödsel, förnybara drivmedel och odling av inhemskt proteinfoder). Här krävs dock mer forskning och utveckling för att anpassa systemen så att de blir ekonomiskt, ekologiskt och socialt hållbara.

Utsläppen från jordbruksproduktionen på gården dominerar utsläppen av växthusgaser för ett enskilt livsmedel fram till konsument. Efterföljande led

såsom förädling, förpackningar, tillagning, lagring och transporter står för en relativt liten del av utsläppen för de flesta livsmedel⁸.



Figur 3. Fördelning av källor till växthusgasutsläpp från det svenska lantbruket. Källa: Jordbruksverket.

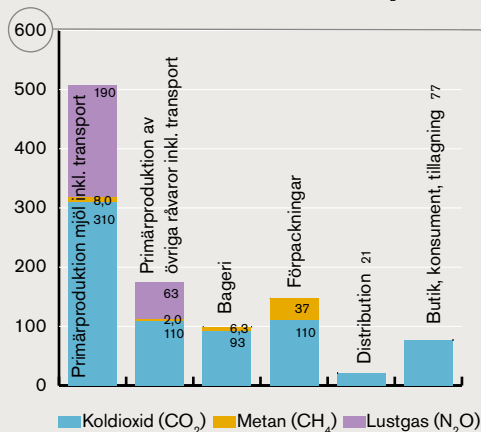
Fakta: Livscykelanalys av mat

Livscykelanalys (LCA) är en standardiserad metod där man kartlägger utsläpp och förbrukning av resurser i alla led för att ta fram och använda en produkt eller en tjänst och hantera det avfall som uppstår. För ett livsmedel ingår utsläpp i jordbruket i form av utsläpp från tillverkning och användning av gödsel, kemikalier, drivmedel och annan energi, maskiner och byggnader, samt utsläpp från djur och gödsel. I en fullständig livscykelanalys ingår även förädling, förpackning, lagring, transporter, tillagning och avfallhantering av livsmedlet. Resursförbrukning (energi, vatten, mark) och olika typer av utsläpp kartläggs för att få en helhetsbild över hur produkten påverkar miljön. Resultaten presenteras i olika miljökategorier såsom klimatpåverkan, övergödnings- och försurningspotential, eko- och humantoxicitet etc. Inom LCA finns metoder för att följa dessa miljökategorier

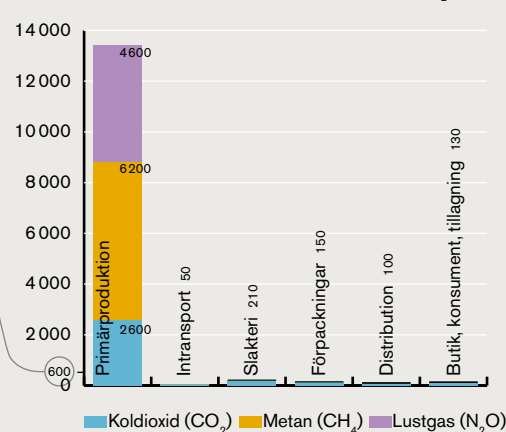
vidare till vilka effekter de har på miljön. Olika miljöaspekter kan sedan vägas samman till ett enda mått, men då ökar samtidigt osäkerheten. Klimatpåverkan redovisas som koldioxidekvivalenter genom att växthuseffekten från de olika växthusgaserna (koldioxid, metan och lustgas) vägs samman.

Växthusgasutsläppen från den totala livsmedelskonsumtionen kommer i stor utsträckning från produktion av kött och mejeriprodukter även om dessa står för en mindre del av kosten⁹. Orsaken är att produktion av animaliska produkter ger stora utsläpp av växthusgaser jämfört med produktion av vegetabiliska livsmedel. Det beror dels på att idisslarna släpper ut metan, men också på att djuren behöver äta flera gånger mer foder än vad de producerar i form av animaliska livsmedel.

Klimatpåverkan – bröd [gram CO₂-ekv/kg]



Klimatpåverkan – nötkött [gram CO₂-ekv/kg]



Källa: LRF m. fl. 2002. Maten och miljön. Livscykelanalys av sju livsmedel.



FOTO: PELLE FREDRIKSSON

Hur mycket kan och måste utsläppen från jordbruket minska?

De totala nettoutsläppen av växthusgaser ska enligt EU:s målsättning till 2050 minska med minst 80 procent från 1990 års nivå. För transport- och energisektorn kan man teoretiskt föreställa sig sänkningar ned mot nettoutsläpp som ligger nära noll med hjälp av energieffektiviseringar samt förnybar energi och ny teknik. Inom jordbruket är det svårt, i alla fall med nu känd teknik, att genom teknikutveckling minska utsläppen av de dominerande utsläppskällorna; lustgas från mark och metan från idisslare. I EU:s färdplan mot ett utsläppsnålt samhälle år 2050 bedöms att jordbrukets metan- och lustgasutsläpp kan minska med 36–37 procent till år 2030 och med 42–49 procent till år 2050¹⁰. Jordbruksverket gör bedömningen att utsläppen från svenskt jordbruk kan minska med cirka 20 procent till år 2050 med bibehållen produktionsnivå¹¹. Sveriges jordbruk har redan en relativt hög effektivitetsnivå, så för ytterligare minskningar av utsläpp från livsmedelsproduktionen krävs förändrade konsumtionsvanor så att antalet djur minskar.

Dock kräver detta att importen inte ökar eftersom utsläppen då bara exporteras. En minskad animalieproduktion i Sverige kan också vara negativt för den biologiska mångfalden och odlingslandskapet estetiska värden. Åtgärder som Jordbruksverket föreslår i sin kartläggning för minskade utsläpp från jordbruksproduktionen i Sverige är ytterligare effektivitetsökningar, ökad rötning av stallgödsel, förbättrad gödselhantering, minskad mineralgödselanvändning, återföring av mulljord till våtmark, energieffektiviseringar, förnybara drivmedel, ökad kolinlagring och bioenergiproduktion, mer högvastande grödor samt ökad produktivitet i mjölk- och nötköttsproduktionen.

EU, Naturvårdsverket och Jordbruksverket¹² påpekar alla tre vikten av att vända den globala trenden av ökad animaliekonsumtion och att styra konsumtionen till livsmedel med lägre klimatpåverkan, men ingen kvantifiering av denna potential har genomförts.

Hur mycket utsläppen av växthusgaser från jordbruket behöver minska beror på hur mycket utsläppen kan minska i andra sektorer och hur mycket animalier, vegetabilier, bioenergi och andra bioråvaror jordbruket kan och behöver leverera. Mat kommer vi att behöva, och ska vi producera

livsmedel i Sverige kommer det att medföra utsläpp av lustgas och metan. Om utsläppsmålen ska nås behöver jordbrukets utsläpp kompenseras med större minskningar i andra sektorer, alternativt genom ökad kolinlagring i mark eller större produktion av bioenergi.

Fakta: Ekologiskt lantbruk

I praktiken definieras ekologiskt lantbruk av olika regelverk för certifieringar och stödformer. I Sverige finns följande former av regelsystem:

1. Certifiering enligt EU:s regelverk för ekologiskt jordbruk (förordning 834/2007)
2. Certifiering enligt KRAV (omfattar regler enligt EU-förordningen samt ytterligare regler)
3. Miljöersättning för kretsloppsriktad produktion (ekologisk produktion som ger miljöersättning från EU:s jordbruksstödssystem och som grundar sig på EU-direktiven, utan att produkterna behöver certifieras enligt 1 eller 2)

Regelverken har skapats, och förändras kontinuerligt, i en process med medverkan av olika aktörer i hela livsmedelskedjan. De utgår ifrån generella principer för ekologiskt lantbruk, som bland annat



formulerats av IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) som är den internationella sammanslutningen för ekologiskt lantbruk. Läs mer på www.ifoam.org.

Definition av ekologiskt lantbruk enligt IFOAM:

Ekologiskt lantbruk är ett produktionssystem som bevarar jordarnas, ekosystemens och människornas hälsa. Det förlitar sig på ekologiska processer, biologisk mångfald och lokalt anpassade kretslopp i stället för användning av insatsmedel med skadliga effekter. Ekologiskt lantbruk kombinerar tradition, innovation och vetenskap till gagn för vår gemensamma miljö samt främjar rättvisa relationer och en god livskvalitet för alla.

Läs mer om...

...jordbrukets klimatpåverkan

- Cederberg, C. m.fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830.
- RTOACC. 2011. Organic agriculture and climate change mitigation. FAO.
- Scialabba, E-H. N., Muller-Lindenlauf, M. 2010. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 25(2); 158–169.
- Ekologiska lantbrukarna. 2010. En klimat- och energistrategi för det ekologiska lantbruket. <http://ekolantbruk.se/pdf/18975.pdf>.

...potentialen att minska växthusgasutsläppen från jordbruket

- Jordbruksverket. 2012. Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Rapport 2012:35.
- Garnett, T., 2011. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy* 36, 23–32.

- Johnson, J., Franzluebbers, A., Lachnicht Weyers, S., Reicosky, D. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental pollution* 150, 107–124.

...EU:s färdplan mot ett utsläppsnått samhälle

- Europeiska kommissionen. 2011. Färdplan för ett konkurrenskraftigt utsläppsnått samhälle 2050. Bryssel den 8.3.2011. KOM(2011) 112 slutlig.

...klimatpåverkan från olika livsmedel och kostval

- Röös, E. 2012. Mat-klimat-listan version 1.0. Rapport 040. Institutionen för energi och teknik. SLU.
- Jordbruksverket. 2009. Hållbar konsumtion av jordbruksvaror – hur påverkas klimat och miljö av olika matvaror? Rapport 2009:20.

Vad vet vi om de stora utsläppsposterna?

I detta kapitel beskrivs kunskapsläget och forskningsbehovet vad gäller de stora källorna till växthusgasutsläpp från jordbruket, det vill säga lustgas och kol från mark, metan från idisslarnas foder-smältning, metan och lustgas från stallgödsel, samt koldioxid från energianvändningen.

Det ekologiska jordbrukets för- och nackdelar när det gäller att bidra till minskade utsläpp sammanfattas. Det går dock inte att utifrån enskilda utsläppsposter göra jämförelser mellan produktions-system eller produkter, utan dessa måste studeras utifrån ett systemperspektiv där alla utsläppsposter och alla steg i produktens livscykel beaktas. Läs mer om jämförelser i kapitlet ”Klimatpåverkan från olika produktionssystem”.

Lustgas från mark

Utsläpp av lustgas från marken är den största källan till växthusgasutsläpp inom jordbruket. Lustgas är en stark växthusgas, och utsläpp av 1 kg lustgas ger lika stor klimatpåverkan under 100 år som utsläpp av cirka 300 kg koldioxid. Cirka 70 procent av utsläppen av lustgas i Sverige kommer från jordbruket¹³. Lustgas bildas i marken genom de två biologiska processerna nitrifikation och denitrifikation (Figur 4). Nitrifikation innebär att ammoniumjoner genom en mikrobiologisk process reagerar med syre och bildar nitrat. Om det finns mycket ammonium tillgängligt och lite syre kan lustgas bildas istället för nitrat. Denitrifikation innebär att nitrat omvandlas till kvävgas. Lustgas bildas som biprodukt vid denitrifikation. Denitrifikationsprocessen står för den största delen av utsläppen av lustgas från marken och nitrifikationsprocessen för en mindre del.

Den lustgas som avgår från jordbruksmarken på grund av nitrifikation och denitrifikation kallas för direkta lustgasutsläpp eftersom de sker i själva jordbrukssystemet. Kväve försvinner också från

jordbrukssystemet i form av ammoniak och nitratkväve. När dessa kväveföreningar omsätts i andra ekosystem finns risk för att lustgas bildas även där. Dessa utsläpp kallas för indirekta lustgasutsläpp.

Lustgasutsläpp från marken är svåra att kvantifiera då variationen är stor i tid och rum. Stora utsläpp från marken kan ske vid enstaka tillfällen under året för att resten av året vara små. Hur stora utsläppen blir beror på olika mark- och väderförhållanden, liksom vad som odlas och hur odlingen sker. Risken för lustgasutsläpp ökar med mängden växttillgängligt kväve i marken i kombination med avsaknad av en gröda som kan ta upp kvävet. Det växttillgängliga kvävet kommer dels från den gödsel som tillförs under odlingsäsongen och dels från det kväve som frigörs från jordens organiska material, som byggs upp under lång tid av tillförsel av växtmaterial och gödsling. Därför avgår lustgas även från jordbruksmark som inte gödslas ett visst år. Andra viktiga faktorer som påverkar utsläppen av lustgas är markens syrehalt, mullhalt, temperatur och pH-värde¹⁴.

På väl-dränerade jordar med bra struktur är risken för lustgasutsläpp mindre. På kompakta lerjordar är risken för lustgasavgång större. Risken är som störst under regniga perioder på hösten och om mycket växttillgängligt kväve finns kvar i marken efter skörd.

Lustgas uppstår också vid tillverkning av mineralgödsel då ammoniak omvandlas till nitrat i fabriken. Mycket av den mineralgödsel som säljs på den svenska marknaden är tillverkad med reningsteknik som minskar dessa utsläpp. Utsläppen av lustgas motsvarar med reningsteknik cirka 1,3 kg koldioxidekvivalenter per kg tillverkat kväve (utöver det kommer cirka 2,3 kg koldioxidekvivalenter per kg kväve från energianvändningen som krävs för att tillverka mineralgödsel)¹⁵. Utan reningsteknik för lustgas blir utsläppen dubbelt så stora eller mer.

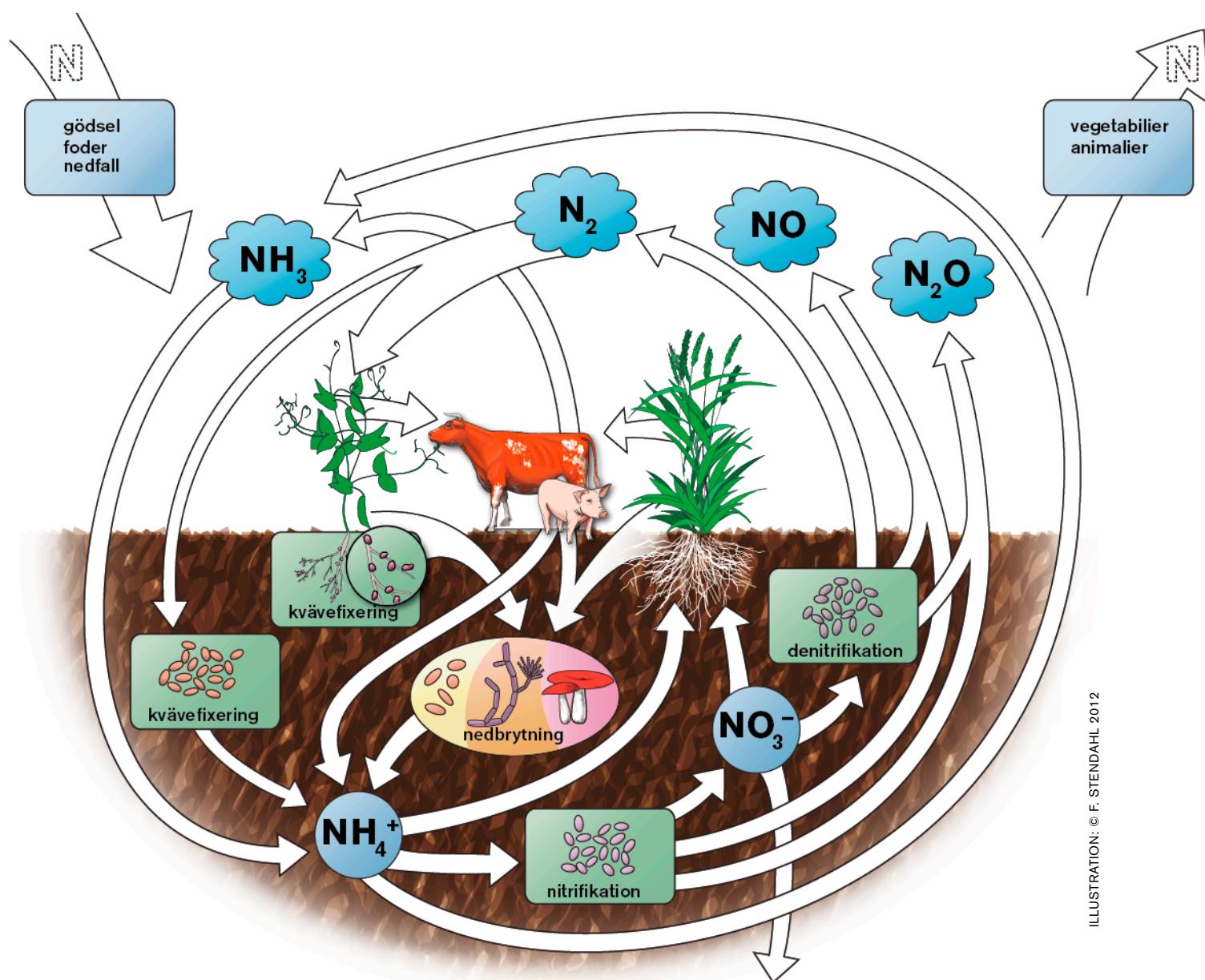


ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012

Figur 4. Förenklad bild av kvävet (N) kretslopp. Lustgas (N_2O) bildas i jorden som "biprodukt" vid nitrifikation och denitrifikation (direkta utsläpp). Lustgas bildas också från det kväve som förloras från jordbruksmarken i form av nitrat (NO_3^-) och ammoniak (NH_3) (indirekta utsläpp). OBS! Pilarnas tjocklek avspeglar inte storleken på de olika kväveflödena.

Kunskapsläget

- Risken för lustgasutsläpp kan minskas genom strategier där grödorna effektivt tar upp det växttillgängliga kvävet. Att ha marken bevuxen med grödor under större delen av året är en bra strategi, liksom att gödselgivan är väl anpassad till växternas behov. Genom att både minska mängden ”nytt kväve” (mineralgödselkväve eller kväve fixerat med baljväxter) in i jordbruksystemet och den totala mängden kväve som är i omlopp kan lustgasutsläppen minskas.
- Den senaste forskningen tyder på att endast små lustgasutsläpp sker när baljväxter fixerar kväve från luften. I de mätningar som gjorts motsvarar utsläppen från en mark med baljväxtgröda (som inte kvävegödslas eftersom växten fixerar sitt eget kväve) i de flesta fall utsläppen från ogödslad mark som odlas med en icke-kvävefixerande gröda¹⁶.
- Då gräsmarker (vallar) plöjs upp, finns risk för stora lustgasutsläpp. Risken är som störst vid tidigt vallbrott på hösten, om vallen har en stor andel baljväxter eller om vallen gödslas i samband med plöjning.
- Forskningen visar att det finns risk för större lustgasutsläpp vid gödsling med stallgödsel jämfört med mineralgödsel¹⁷. Resultaten är dock osäkra och motsägelsefulla.
- Nedbrukning av stallgödsel kan ge ökad lustgasavgång jämfört med om gödseln placeras på markytan. Snabb nedbrukning är dock effektiv för att minska ammoniakavgången, vilket ger mer växttillgängligt kväve till grödan och mindre indirekt lustgasavgång¹⁸.
- Lustgasutsläppen är betydligt högre från mulljordar än från mineraljordar (se även avsnittet ”Kol till och från mark”) eftersom mycket kväve mineraliseras från det organiska materialet. Om marken är bevuxen under större delen av året minskar risken för lustgasutsläpp. För att stoppa lustgasutsläppen från mulljordarna måste dessa läggas helt under vatten.
- Nitrifikationshämmare är substanser som hindrar oxidationen av ammonium till nitrat och på så sätt hämmas även kväveförlusterna, däribland lustgas. Nitrifikationshämmare används i en del länder men är förbjudna i Sverige. Hittills har nitrifikationshämmare varit syntetiskt framställda ämnen. Det finns möjlighet att ta fram ett växtmaterial som kan släppa ut ”naturliga nitrifikationshämmare”¹⁹.
- De emissionsfaktorer som IPCC rekommenderar för beräkningar av lustgasutsläppen från jordbruket, och som används i de flesta livscykelanalyser och i den nationella klimatrapporteringen, är behäftade med stora osäkerheter. Metoden är mycket förenklad och innebär att av mängden tillfört kväve antas att 1 procent avgår som direkta lustgasutsläpp. Indirekta utsläpp beräknas som om 1 procent av nitratutlakningen samt 0,75 procent av ammoniakavgången avgår som lustgas²⁰.
- Om man beaktar hur mycket koncentrationen av lustgas har ökat i atmosfären sedan förindustriell tid och kopplar det till den mängd kväve som tillförts i jordbruket, framförallt genom mineralgödsel, tyder beräkningar på att snarare 3–5 procent av det kväve som tillförs jordbruksystemet totalt sett avgår som lustgas²¹.

Ekologisk produktion och lustgas

All kvävgas från luften som omvandlas till mineraliskt kväve eller binds in i växten tillför nytt kväve till odlingsystemen och kommer att ge upphov till lustgasutsläpp. Det kan ske antingen direkt från odlingsmarken, eller indirekt från stallgödsel eller från det kväve som läcker ut till kringliggande marker och vattendrag. Förbud mot mineralgödselkväve inom det ekologiska regelverket stimulerar till ett bättre utnyttjande av stallgödseln och kan således

minska mängden ”nytt kväve” in i odlingsystemet. De lägre kvävegivorna per hektar inom ekologiskt jordbruk och en stor andel vallodling minskar risken för lustgasutsläpp per ytenhet. Då mineralgödselkväve inte används inom ekologiskt jordbruk blir det heller inga lustgasutsläpp från gödseltillverkningen.

Organiska gödselmedel, i jämförelse med mineralgödselkväve, kan vara svårare att dosera efter grö-

FOTO: MARIA WIVSTAD



dans kvävebehov, vilket kan öka risken för kväveförluster och medföljande lustgasutsläpp. För att minska lustgasutsläppen från ekologisk produktion gäller det att utforma metoder för att effektivt använda växtnäring i organiskt material, såsom skörderester, grön gödsling, stallgödsel och också organiska restprodukter från livsmedelskedjan samt avloppen. Det finns dock flytande organiska gödselmedel, såsom flytgödsel och rötrest från biogasproduktion, som innehåller en hög andel mineralkväve, och som är möjligt att dosera med stor precision.

Idag används ren grön gödsling i liten omfattning inom det ekologiska jordbruket²². Om det ekologiska jordbruket ska fungera fristående från det konventionella jordbruket, det vill säga inte vara beroende av exempelvis stallgödsel från konventionella gårdar, och producera mer vegetabilier för humankonsumtion, blir det viktigare med olika typer av grön gödslingssystem. Utmaningen är att minimera kväveförlusterna i form av lustgas och utlakning, som kan bli betydande. En annan utmaning inom det ekologiska jordbruket är att organisera djurens utvistelse på ett sätt så att gödselkvävet kan användas effektivt i växtodlingen.

För att utifrån dessa för- och nackdelar utvärdera om ett ekologiskt jordbrukssystem ger mindre eller mer utsläpp av lustgas *totalt sett* än något annat odlingsystem måste utsläppen av lustgas studeras från ett systemperspektiv där hela växtföljder, produktionssystem och helst hela landskap inkluderas. Även vad och hur mycket som produceras måste beaktas (se avsnittet "Klimatpåverkan i ett systemperspektiv").

Forskningsbehov

Mer forskning behövs kring hur lustgasutsläppen påverkas av olika typer av jordbrukssystem och olika odlingsåtgärder. Speciellt viktigt för ekologisk produktion är utformning av effektiva odlingsystem med små förluster som bygger på kvävefixerande växter. Bättre modeller för beräkning av lustgasutsläpp som tar hänsyn till bland annat klimat, grödor, jordar, gödseltyper och spridningstekniker för gödsel behöver utformas. För att kunna utveckla bra modeller krävs fältmätningar under olika förhållanden. Bättre dataunderlag behövs också för att en lustgasoptimal gödselgiva ska kunna bestämmas för olika jordar och grödor. Dessutom behöver pedagogiska verktyg utvecklas för rådgivning om kvävegödsling till lantbrukare.

Tänkvärt...

När det ekologiska jordbruket utnyttjar stallgödsel från det konventionella jordbruket, såsom sker nu, blir stallgödselanvändningen i det ekologiska jordbruket generellt större. Detta kan leda till högre lustgasutsläpp än på den konventionella djurgården som "lånat ut" sin gödsel och istället använder mineralgödselkväve (antingen på den egna gården eller via inköpt foder). Är det då relevant att belasta det ekologiska jordbruket med de eventuellt högre lustgasutsläppen från stallgödsel i förhållande till mineralgödsel? Eller borde snarare det system där gödseln uppstår belastas med utsläpp från användning av stallgödsel?

Genom ökad kväveeffektivitet och andra produktionstekniska åtgärder kan utsläppen av lustgas från åkermarken minskas betydligt, men inte undvikas helt. I en uppmärksam studie som kartlade olika sätt att minska lustgasutsläppen drog slutsatsen att för att stabilisera nivån av lustgas i atmosfären krävs förutom kraftiga produktionsförbättringar även en minskning av köttkonsumtionen i västvärlden med 50 procent²³ (se vidare i avsnittet "Livsmedelsproduktion").



FOTO: ISTOCKPHOTO

Läs mer om...

... lustgasutsläpp från ekologisk produktion

Einarsson, P. 2011. Mindre kväve viktigaste klimatåtgärden. Ekologiskt lantbruk 5/2011.
Scialabba, E-H. N., Muller-Lindenlauf, M. 2010. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems 25(2), 158–169.

... svårigheterna med att mäta lustgasutsläpp

Flechar, C. R. m. fl. 2007. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 121, 135–152.

... beräkningarna som ligger bakom IPCC:s emissionsfaktorer

Stehfest, E., Bouwman L. 2006. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems (2006) 74, 207–228.



FOTO: BIRGITTA JOHANSSON

Metan från djurens fodersmältning

Idisslare, det vill säga kor, får, hjortdjur och getter, har en unik förmåga som djur som kycklingar, grisar och vi människor saknar. Idisslare kan tillgodogöra sig energin i cellulosa som är den dominerande ingrediensen i växternas cellväggar. Med hjälp av mikroorganismer i våmmen kan idisslarna bygga upp högvärdigt protein från enkla kväveföreningar. Detta innebär att idisslare kan livnära sig på gröna växter antingen genom bete eller att växtmaterialet skördas (vall, oftast i form av en klövergräsblandning) och lagras torkat i form av hö eller konserverat i form av ensilage. För att kunna spjälka cellulosan och tillgodogöra sig dess energi krävs ett matsmältningssystem som med hjälp av mikroorganismer med speciella enzymer kan bryta ned cellulosan. I denna process där kolhydraterna i cellulosan bryts ned bildas också metangas, CH_4 , som är en kraftig växthusgas. Metanet följer med utandningsluften och släpps ut i atmosfären.

Hur mycket metan som bildas beror på hur mycket och vad djuret äter. Mjölkkor, samt nötkreatur och lamm som föds upp inom det svenska jordbruket, äter en varierande mängd kraftfoder (energi- och

proteinrikt foder som spannmål, raps och soja) som komplement till det cellulosarika grovfodret (vanligtvis ensilage av vallfoder). Idisslare behöver äta en stor mängd grovfoder för att upprätthålla en bra mag- och tarmfunktion och må bra.

Metanutsläpp från djur kan uppskattas med diverse tekniker. För att mäta metanproduktionen direkt måste djuret stängas in i en tät kammare, vilket är kostsamt och komplicerat för stora djur som kor. Man kan också tillsätta ett spårämne i djurets våm som verkar som indikator för metan och mäta detta spårämne och därifrån räkna ut metanproduktionen. Med hjälp av mätningar har man utarbetat modeller och nyckeltal för att kunna beräkna metanutsläppen från olika typer av idisslare och foderstater²⁴.

Även enkelmagade djur som gris och kyckling producerar en del metan i sin fodersmältning men denna mängd av mycket mindre än för idisslarna. Hästar äter också mycket vallfoder men producerar mindre metan än idisslare på grund av ett annorlunda system för fodersmältning.

Kunskapsläget

- Ju mer foder djuret äter desto mer metan bildas.
- Uppfödningstiden har stor betydelse för metanutsläppen per kg kött. Kött från djur som växer snabbt och slaktas vid tidig ålder ger upphov till lägre utsläpp per kg kött, eftersom de inte hinner släppa ut lika mycket metan under sin livstid som ett djur som växer långsamt. Hög produktion genom friska djur och väl anpassade foderstater är därför viktigt för att minska utsläppen av metan per kg produkt (mjölk och kött). Att kvigor får sin första kalv tidigt och kalvar om med korta intervall gör att metanutsläppen per kg produkt minskar.
- Nedbrytning av kraftfoder (stärkelse) ger generellt mindre metanutsläpp än nedbrytning av grovfoder (cellulosa). Hur stor skillnaden blir beror på kvaliteten på grovfodret. Ett tidigt skördat grovfoder med god smältbarhet²⁵ och högt energiinnehåll ger mindre metanutsläpp än ett sent skördat vallfoder.²⁶
- En svensk mjölkko med en avkastning på cirka 8 000 kg mjölk per år släpper ut cirka 130 kg metan per år. Svenska försök har visat att utsläppen är cirka 15 procent högre för en foderstat med 90 procent grovfoder i jämförelse med 50 procent grovfoder. För foderstater med 50 respektive 70 procent grovfoder hittades ingen signifikant skillnad när grovfodret hade hög kvalitet.²⁷
- Från andra idisslare än mjölkkor har inte lika många mätningar genomförts och osäkerheten kring hur stora metanutsläppen är från dessa djur är osäkra. I livscykelanalyser och vid till exempel klimatrapporteringen används därför schablonvärden som anges som kg metan per år för olika djurslag.²⁸
- Genom olika fodertillsatser, antingen naturliga såsom fett, eller syntetiska såsom antibiotikaliknande ämnen, kan metanutsläppen minskas något. Dessa tillsatser har dock oftast visat sig också ha någon oönskad effekt. Fett i fodret kan exempelvis påverka fett- och proteinhalten i mjölken.

Ekologisk produktion och metan från djur

Inom ekologisk produktion finns krav på att en hög andel grovfoder ska användas i foderstaten, vilket kan leda till något högre metanutsläpp än om foderstater med mer kraftfoder används. Dessutom kommer eventuella framtida fodertillsatser för minskad metanproduktion ha svårt att bli godkända för ekologisk produktion på grund av att försiktighetsprincipen är en vägledande princip för ekologiskt lantbruk. För att utifrån detta svara på om den ekologiska mjölk- och köttproduktionen totalt sett ger mindre eller mer utsläpp än något annat produktionssystem måste utsläppen av växthusgaser studeras från ett systemperspektiv där hela djurhållningen och foderproduktionen inkluderas (se kapitel ”Klimatpåverkan från olika produktionssystem”). Foderstater med mer grovfoder leder ex-

empelvis till att vallodlingen ökar vilket kan leda till ökad kolinlagring (se nästa avsnitt ”Kol till och från mark”) och således bidra till minskade utsläpp.

Forskningsbehov

För minskade metanutsläpp finns behov att utveckla de ekologiska systemen för produktion av mjölk och kött, inte minst vad gäller en effektiv betesdrift. Mer kunskap om foderutnyttjande och utformning av ett produktionssystem som håller djuren friska och i god tillväxt är viktigt för att reducera utsläppen per kg produkt. Forskning krävs också för att öka förståelsen kring mikroorganismerna i våmmen och vad som påverkar deras aktivitet. Även förståelsen för interaktionen mellan djur-mikrober-foder behöver utvecklas, samt hur genetiska komponenter påverkar, vilket kan leda till avel för minskade metanutsläpp.



FOTO: ISTOCKPHOTO

Läs mer om...

... olika beräkningsmodeller för att uppskatta metanutsläppen för olika djurslag

Berglund, M., Cederberg, C., Clason, C., Henriksson, M., Törner, L. 2009. Jordbrukets klimatpåverkan – underlag för att beräkna växthusgasutsläpp på gårdsnivå och nulägesanalyser av exempelgårdar. Delrapport i JoKer-projektet. Mars 2009. Hushållningssällskapet Halland.

... metanutsläpp från mjölkkor utfodrade med varierande mängd grovfoder

Strid I., Gunnarsson C., Karlsson H., Edström M., Bertilsson J. 2012. Mer och bättre vall till mjölkproduktion och återväxtvall till biogas. Rapport 050. Institutionen för energi och teknik, SLU.

Liljeholm, M., Bertilsson, J., Strid, I. 2009. Närproducerat foder till svenska mjölkkor – miljöpåverkan från djur. Rapport 273, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Danielsson, R. 2009. Metanproduktion hos mjölkkor utfodrade med hög andel grovfoder. Examensarbete 282. Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU.

... olika sätt att minska metangasutsläppen

Eckard, R.J., Grainger, C., de Klein, C.A.M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, 130: 47–56.

Kol till och från mark

I marken finns stora mängder kol som är bundet i markens mull. En stor del av kolet finns i stabilt organiskt material och nedbrytningen till koldioxid sker långsamt. En mindre del av markens kol finns i form av växtrester och markorganismer som bryts ner relativt snabbt (inom en odlingsäsong) och en stor del av kolinnehållet omvandlas då till koldioxid. Kolinnehållet i olika jordar varierar, från mullfattiga sandjordar med endast någon procent mull till mycket mullrika jordar som kan innehålla upp till 50 procent kol.

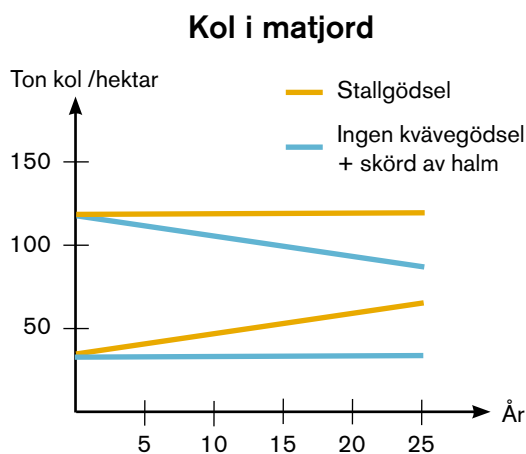
Om mer kol tillförs marken än vad som avgår, binder marken in kol och det blir en positiv effekt för klimatet, eftersom koldioxid tas upp från atmosfären och kolet ombildas till mer stabila former i marken. Marken blir då en kolsänka. Om marken är en kolsänka eller en kolkälla påverkas av vilken kolhalt marken har från början (en hög kolhalt ini-

tialt medför en betydande sänkning av halten när marken börjar odlas), hur mycket kol som tillförs i form av rötter, växtrester, stallgödsel och annat organiskt material samt hur marken bearbetas (Figur 5). Plöjning och annan bearbetning av marken snabbar på nedbrytningen som också gynnas av ökad temperatur och lämplig vattenhalt.

Eftersom förrådet av kol i marken är stort, kan små procentuella förändringar i markkolet ha stor betydelse för den totala växthusgasbalansen jämfört med andra utsläppskällor från jordbruket såsom till exempel användning av drivmedel. Det går att mäta kolförändringar, men för att säkert bestämma förändringar krävs långa tidsförlopp (decennier). Det finns modeller som är kalibrerade mot långliggande försök som kan användas för studier av förändringar med kortare tidsperspektiv.

Kunskapsläget

- Endast ny biomassa som tillförs marken kan bidra till ökat kolförråd och minskad klimatpåverkan. En hög skörd ger även en större biomassa av rötter och skörderester som bidrar till kolinlagringen. Variationen i potentialen för kolinlagring hos olika typer av jordar är stor.
- Många långliggande försök visar att vid konstant tillförsel av kol så avtar inlagringen med tiden då marken närmar sig och till slut uppnår ett nytt jämviktsläge²⁹. För att då lagra in mer kol måste mängden kol som tillförs årligen öka ytterligare.
- Kolinlagring är en reversibel process. Om kolförrådet byggs upp till exempel genom vallodling under en längre tid, kommer detta kolförråd att minska igen om marken åter börjar bearbetas.
- Mulljordar består till stor del av organiskt material som bryts ned när marken odlas. Koldioxidavgången blir då mycket stor, och totalt orsakar mulljordarnas koldioxidutsläpp 5–7 procent av Sveriges totala växthusgasutsläpp trots att mulljordarna endast utgör 10 procent av åkermarken³⁰. Dessutom är lustgasavgången betydande³¹.
- I en stor del av forskningen har man studerat det översta marklagret (matjorden, cirka 25–30 cm). Det finns mindre kunskap om hur kollagret förändras djupare ner i marken. Skillnaden vad gäller kolinnehåll i marken mellan olika sätt att odla en viss jord minskar med djupet.
- Det är inte belagt att odling av ettåriga grödor med reducerad jordbearbetning (plöjningsfri odling) ger någon ökning av markkolet i hela markprofilen jämfört med system med plöjning³² (se faktaruta sidan 24).
- Biokol, det vill säga kol framställt genom upphettning av biomassa under begränsad syretillförsel, är mycket stabilt i marken. Tillförsel av biokol har därför potential att bidra till kolinlagring i marken, men eftersom biokol kan påverka nedbrytningen av annat kol i marken så är de långsiktiga effekterna okända. Det är ännu oklart på vilka sätt biokol påverkar markens odlingssegenskaper i vårt klimat.



Figur 5. Förändring av kolmängd i matjord vid olika utgångspunkter och odlingsåtgärder. Källa: Temafakta, Naturvårdsverket 2009, figur 3.

Ekologisk produktion och kol i marken

De studier som jämfört hur markens kolförråd förändras vid ekologisk respektive konventionell produktion har ofta visat att ekologisk produktion gett en större ökning av kolförrådet, vilket bland annat orsakats av större användning av organisk gödsel³³. Ekologiska odlingsystem innehåller också mycket vall, vilket gynnar kolinlagringen. Andelen vall på svensk åkermark har ökat med cirka 15 procent sedan 1990, till stor del på grund av ökad ekologisk odlad areal. Omställningen till ekologisk produktion under denna period har därmed bidragit till en större kolinlagring än om marken fortsatt att odlas konventionellt³⁴. Å andra sidan är hektarskördarna i

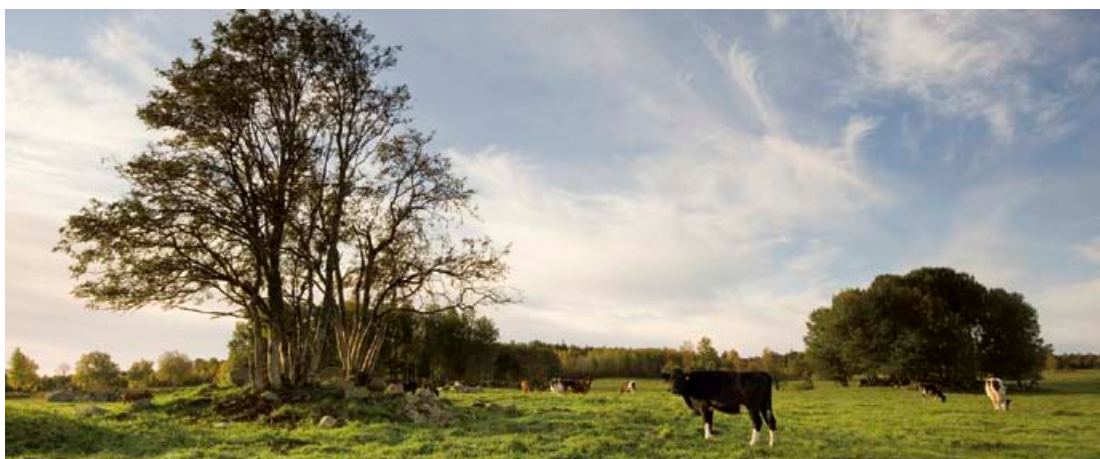
genomsnitt lägre i ekologisk produktion, och mindre mängd skörderester medför minskad potential för kolinlagring³⁵. De sammantagna effekterna av ekologisk produktion när det gäller kolinlagring är således mycket osäkra och behöver även studeras i relation till den mängd livsmedel som produceras på marken och med hänsyn tagen till vad som marken använts till om den inte odlats ekologiskt. Läs mer om detta i kapitel ”Klimatpåverkan från olika produktionssystem”.

Vid beräkning av växthusgasutsläppen per kg produkt från livsmedelsproduktion med livscykelanalys (LCA) har markkolsförändringar oftast inte beaktats på grund av brist på tillförlitliga metoder. När man beaktar markkol i LCA har det visat sig att små procentuella förändringar i markkolsinnehållet kan ha stor påverkan på den totala växthusgasbalansen³⁶.

Forskningsbehov

Utformning av odlingsystem som binder in och håller kvar kol och samtidigt producerar livsmedel eller andra värdefulla produkter är ett mycket angeläget forskningsområde. För att kunna utforma odlingsystem som binder in eller bibehåller kol i marken behövs fortsatta långliggande försök för att utvärdera hur olika system med vall och exempelvis samodling av grödor påverkar kolinlagringen. Forskning behövs också kring hur biokol av olika slag påverkar markens odlingsegenskaper, samt om metoder för att tillverka biokol. Eftersom mulljordar orsakar stor avgång av växthusgaser behöver kunskapen öka om hur växthusgasutsläppen från dessa uppstår och vad som kan göras för att minska dem.

FOTO: ISTOCKPHOTO



Fakta: Potential till kolinlagring

Flera studier visar att stora mängder kol skulle kunna bindas in i jordens jordbruksmarker³⁷ och således vara en viktig del i att förhindra klimatförändringarna. Det kan ske genom etablering av långliggande gräsmarker och odling av andra perenna grödor, inklusive träd. Även vall i växtföljden har potential³⁸. Vissa särdrag i den ekologiska produktionen medför goda förutsättningar för kolinlagring, till exempel en stor vallodling, men bedömningarna av de sammanlagda effekterna är osäkra³⁹.

Grundprinciperna för kolinlagring (se "Kunskapsläget" sidan 22) gäller oavsett var man är. För jordar i andra delar av världen, med annat klimat och andra grödor, blir dock konsekvenserna av olika typer av förändringar annorlunda än i Sverige. I områden med utarmade jordar finns ofta stor potential till synergieffekter – genom att öka markens kolhalt minskar erosionen och bördigheten ökar, liksom jordens vattenhållande förmåga.

Svenska naturbetesmarker

Kol som lagras in i åkermark riskerar att avgå till atmosfären igen om odlingen intensifieras i framtiden. Därför är kolinlagring i svenska naturbetesmarker extra intressant eftersom dessa marker sannolikt inte kommer att plöjas i framtiden. Svenska data från markinventering på naturbetesmarker på drygt 200 platser i Sverige har analyserats på två oberoende sätt av forskare från SLU⁴⁰. Båda metoderna kommer fram till att en liten kolinlagring sker i svenska naturbetesmarker (cirka 30–60 kg kol per hektar och år i genomsnitt, men med stora variationer och osäkerheter). En omfattande internationell vetenskaplig studie har visat på stor potential till kolinlagring i gräsmarker, uppemot 1 ton per hektar och år⁴¹. Studien har fått stor uppmärksamhet. Man måste dock vara försiktig med att överföra dessa resultat till svenska förhål-

landen, och speciellt till naturbetesmarkerna då det atmosfäriska kvävenedfallet, och således gödslingen av betesmarkerna, är mycket större i sydligare delar av Europa än i Sverige. Dessutom är bara några få av de marker som ingår i studien vad som i Sverige klassas som naturbetesmark. De andra är gödslade och insådda vallar av olika slag. Studien bygger på tvååriga flödesmätningar och det är alltid vanskligt att dra långsiktiga slutsatser av korta tidsserier i studier av markkolsförändringar. Förändringar mellan enskilda år kan skilja sig mycket från den långsiktiga trenden. I en svensk studie där det faktiska kolförrådet i marken har uppmätts under lång tid har ingen ökning av markkolet skett mellan 1937 och 2002 på mark som varit betesmark sedan åtminstone 1850⁴².

Kompenseras andra utsläpp av kolinlagringen?

Det krävs hög kontinuerlig inlagring av kol i mark för att inlagringen ska kunna kompensera för de utsläpp som animalieproduktionen orsakar genom metan från fodermältning och utsläpp från foderodling. För en intensiv nötköttsproduktion som nyttjar 70 kvadratmeter mark per kg kött för foderodling och bete och släpper ut 20 kg koldioxidekvivalenter per kg kött⁴³ krävs en inlagring på 0,7–0,8 ton kol per hektar. I IPCCs senaste sammanställning bedöms potentialen för kolinlagring i Europeiska gräsmarker vara i snitt 0,22 ton kol per hektar, men variationen är stor (-0,03 till 0,4 ton kol per hektar)⁴⁴. Det finns också studier som visar på ännu högre potential men dessa är inte alltid applicerbara på svenska förhållanden (se ovan). För att kolinlagring ska bidra med en positiv klimateffekt måste kolet också stanna i marken.

Genom att odla träd i betesmarker, i åkerkanter och i annan mark på gårdarna som inte lämpar sig för odling,

lagras kol in så länge träden växer. Väljer man att räkna bort de klimatvinster som fås då träd i till exempel betesmarker skördas och ersätter fossil energi, från utsläppen från nötköttsproduktion skulle man kunna resonera så att denna produktion är betydligt mer klimatsmart än nötköttsproduktion utan trädodling⁴⁵. Dock finns en väsentlig skillnad mellan kolinlagring i mark och inlagring i träd. I fallet när träd odlas innebär det en bioenergiproduktion som är frikopplad från animalieproduktionen och detta sätt att räkna innebär att biobränslet (träden) får bära en del av utsläppen från nötköttsproduktionen, vilket inte är rimligt. Att en producent kompletterar sin kött-, mjölk- eller äggproduktion med bioenergi odling är mycket gynnsamt för en minskning av växthusgasutsläppen från lantbruket och samhället som helhet. Klimatnyttan av att bioenergin ersätter fossila bränslen bör dock bokföras på biobränslet, inte på det livsmedel som också produceras på gården.

Reducerad bearbetning ökar troligen inte inlagringen

I den studie som gjorts i Sverige, som jämförde djup (24–29 cm) och ytlig (12–15 cm) plöjning var slutsatsen att det inte var någon skillnad i markens kollager ned till 30 cm efter 15–20 år⁴⁶. Reducerad bearbetning gav högre kolhalt i ytskiktet och lägre kolhalt djupare ned. Internationellt finns många studier som visar att markens kolinnehåll i det övre marklagret ökar om en och samma gröda odlas med reducerad bearbetning, jämfört med vanlig plöjning. Men det fåtal studier som gjorts på djupare marknivåer visar att det omvända sker på djupet⁴⁷. Nettoeffekten på markkolet mellan de två metoderna blir därför noll. Denna effekt förklaras med att den plöjningsfria odlingen ger mindre rottillväxt på djupet, vilket beror på att marken är kallare och mer kompakt.



FOTO: MICHAEL KVICK, SLU

Läs mer om...

...inlagring av kol i svenska betesmarker

Karlton, E., Jacobson, A., Lennartsson, T. 2010. Inlagring av kol i betesmark. Jordbruksverket, Rapport 2010:25.

...potential för kolinlagring i jordbruksmark

Powlson, D.S., Whitmore, A.P. and Goulding K. W. T. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. European Journal of Soil Science, 62, 42–55.

...effekter av reducerad bearbetning

Baker, J.M., Ochsner, T.E., Venterea, R.T., Griffis, T.J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? Agriculture, Ecosystems and Environment, 118, 1-5.

...växthusgasavgång från mulljordar

Berglund, Ö. Greenhouse gas emissions from cultivated peat soils in Sweden. Doktorsavhandling, Institutionen för mark och miljö, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae 2011:2.

Lagring och spridning av stallgödsel

Gödsel från djur inne i byggnader, gödsel under lagring samt gödsel som sprids på jordbruksmark ger upphov till växthusgaser. Även gödsel från betande djur bidrar med växthusgaser. Fram till att gödseln sprids på jordbruksmarken utgör dessa utsläpp cirka 5 procent av de totala utsläppen av växthusgaser från jordbruket i Sverige⁴⁸. Från stallgödsel avgår också ammoniak som ger indirekta utsläpp av lustgas då ammoniaken faller ned på mark i och utanför jordbruket.

Lustgas i gödsel bildas genom samma processer som lustgas i mark (se avsnitt ”Lustgas från mark”). Hur mycket lustgas som bildas beror dels på hur mycket kväve gödseln innehåller dels vilken typ av gödselsystem som används. Utsläppen kan bli stora i djupströsystem som har god syretillgång (bäddar med mycket strö och lite gödsel som gödslas ut mer sällan) jämfört med flytgödselsystem (gödsel

som gödslas ut varje dag och lagras under syrefria förhållanden i flytande form i en gödselbrunn). Generellt i Sverige hanteras nästan all gödsel från mjölkkor och slaktsvin som flytgödsel (82 respektive 95 procent). För övriga nötkreatur och saggor är även hantering av gödseln i fast form vanlig.⁴⁹ Även på ekologiska mjölkgårdar dominerar flytgödselhantering, medan det på ekologiska grisgårdar och inom ekologisk nötköttsuppfödning är vanligast med system rika på strö.

I syrefria miljöer, framförallt i flytgödselsystem, finns betydande risk för metanavgång. De faktorer som påverkar hur mycket metan som bildas under lagringstiden är flytgödselns innehåll av kol, dess pH och temperatur. Metanavgången påverkas också av hur gödseln lagras där till exempel täckning av flytgödsellagret kan minska metanavgången.

Kunskapsläget

- Gödsel från idisslare avger mindre metan än gödsel från enkelmagade djur, grisar och fjäderfå, eftersom fodret har brutits ner mer fullständigt i idisslarnas mag-tarmsystem.
- Metanavgång sker i huvudsak från lagring av flytgödsel, speciellt i varmt klimat. Metanproduktionen från svenska flytgödsellager är lägre än de utsläppsfaktorer som IPCC anger och som ofta används i livscykelanalyser och i klimatrapporteringen, på grund av längre vinterperiod med lägre temperaturer och att flytgödsel lagras utomhus⁵⁰. Forskning pågår för att ta fram mer korrekta faktorer. Metanemissioner vid gödselspridning är mycket små⁵¹.
- Metanavgång från flytgödsellager kan minskas genom att gödsellagret täcks⁵². Utnyttjas metan från lagren som energikälla i form av biogas (se faktaruta sidan 32–33) blir klimatnyttan dubbel genom att metanutsläpp undviks och biogas kan ersätta fossila bränslen.
- I strörrika stallgödsellager med omväxlande syrerika och syrefattiga miljöer finns förutsättningar för både nitrifikation och denitrifikation och utsläppen av lustgas kan bli betydande. Speciellt djupströbeddar antas kunna avge mycket lustgas⁵³. Även i flytgödselbehållare som täcks av ett svämtäcke (ett flytande täcke bestående av fiberrikt organiskt material som flyter upp och lägger sig på ytan) riskerar lustgas att bildas av samma anledning.
- Under vilka markförhållanden som stallgödseln sprids påverkar avgången av lustgas. Genom att inte sprida gödsel under blöta markförhållanden kan utsläppen minskas⁵⁴.
- Genom att minska ammoniakavgången från gödselhantering minskar risken för indirekta lustgasutsläpp. Ammoniakavgång kan minskas genom att lagra gödsel i form av flytgödsel istället för mer strörrik gödsel, täcka gödselbehållaren och mylla ned gödseln direkt vid spridning. Myllning av stallgödsel kan dock gynna den direkta lustgasavgången⁵⁵.
- Betesgödseln utsätts för både upptorkning och uppfuktning, vilket kan skapa förutsättningar för både nitrifikation och denitrifikation och utsläpp av lustgas. Ammoniakavgången, som leder till indirekt lustgasavgång, från träckhögar är försumbar medan den kan vara hög från urinfläckar under varma och torra förhållanden.

Ekologisk produktion och utsläpp från stallgödsel

I ekologisk mjölkproduktion är flytgödselhantering vanlig och dominerar i nybyggda lösdriftsstallar. Den tekniska utvecklingen har gjort det möjligt att hantera flytgödsel med små utsläpp av ammoniak och lustgas, samt att kvävegödsla grödan med stor precision. Om kraven på ökad djurvälstånd innebär att mer djupströbäddar används så finns risk för ökade utsläpp av lustgas och ammoniak jämfört med flytgödselsystem. Dessutom ger fastgödselsystem sämre möjligheter att ta tillvara metan för biogasproduktion. Det pågår dock forskning om rötning av fast stallgödsel vid SLU och JTI. Idag är det framför allt inom den ekologiska

gris- och nötkrattsuppfödningen som djupströ används. Foderstater med högre andel grovfoder kan ge upphov till högre metanproduktion i flytgödsellagret än foderstater med mer kraftfoder⁵⁶.

Forskningsbehov

Fördjupad kunskap behövs vad gäller hantering av stallgödsel för att minska avgång av metan och lustgas. Även teknisk utveckling kring gödsellager och spridningsutrustning behövs. Det är också viktigt med mer kunskap om stallgödselns kväveleverande förmåga under olika förutsättningar samt att rådgivningsverktyg utvecklas som beräknar kväveeffekt av stallgödsel på kort och lång sikt så att stallgödsel kan användas effektivare.

Läs mer om...

... utsläpp av växthusgaser från gödsel och hur de kan beräknas

Rodhe, L. m. fl. 2012. Växthusgaser från stallgödsel – Litteraturrenövning och modellberäkningar. Rapport 402, Lantbruk & Industri. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. ISSN-1401-4963.

Berglund, M., Cederberg, C., Clason, C., Henriksson, M. och Törner, L. 2009. Jordbrukets klimatpåverkan – underlag för att

beräkna växthusgasutsläpp på gårdsnivå och nulägesanalyser av exempelgårdar. Delrapport i JoKer-projektet. Mars 2009. Hushållningssällskapet Halland.

... metanutsläpp från nötflytgödsel under svenska förhållanden

Rodhe, L. m. fl. 2008. Växthusgasemissioner från lager med nötflytgödsel. Rapport 370. Lantbruk & Industri. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. ISSN-1401-4963,



FOTO: PELLE FREDRIKSSON

Energianvändning i jordbruket

Jordbruket är idag starkt beroende av fossil energi, särskilt i form av diesel som traktorbränsle. Det är dock utsläpp av lustgas och metan som är de stora utsläppsposterna inom jordbruket. Förbränning av fossil energi står bara för en mindre del av växthusgasutsläppen från jordbruket⁵⁷, men det är utsläpp som går att åtgärda med tekniska alternativ.

Det finns flera möjligheter för jordbruket att producera förnybar energi för egen användning eller försäljning: dels i form av sol- och vindkraft, dels olika former av bioenergi. Gödsel och annat organiskt material kan rötas till biogas. Fasta biobränslen som halm eller salix kan eldas för att producera värme eller kraftvärme (samtidig el- och värmeproduktion). Biodrivmedel kan framställas i form av RME från rapsolja och etanol från socker eller stärkelse. Utveckling pågår för att kunna producera

andra generationens biodrivmedel från cellulosa-baserade material som halm och salix. Det finns fullskaliga demonstrationsanläggningar, men driften är ännu inte lönsam och mer kunskap behövs om produktionens miljöpåverkan.

Den koldioxid som frigörs vid förbränning av biodrivmedel och annan bioenergi innebär inte ett nettoutsläpp av koldioxid eftersom växterna tagit upp motsvarande mängd i fotosyntesen, men precis som för all annan jordbruksproduktion så uppstår växthusgasutsläpp i olika delar av produktionskedjan, vid sådd, gödsling och förädling av biobränslet. EU kräver att biodrivmedel ska minska växthusgasutsläppen med minst 35 procent jämfört med användning av fossila bränslen, räknat på produktens hela livscykel, och kravet kommer att öka till 60 procent från 2018^{58 59}.

Kunskapsläget

- Den direkta energianvändningen inom jordbruket är cirka 4 400 GWh per år, vilket är drygt 1 procent av den totala energianvändningen i Sverige. Av detta är drygt hälften dieselanvändning i arbetsmaskiner, en fjärdedel el och en fjärdedel olja och biobränsle för uppvärmning.⁶⁰ Mest energi används inom växtodling inklusive djurfoderproduktion.
- Växthusodlingen använder cirka 700 GWh per år. Där går det mesta till uppvärmning, men en hel del el används till belysning, kylar och pumpar. Användningen av olja till uppvärmning minskar, med biobränsle och värmepumpar som de vanligaste alternativen.
- Jordbruket har också en stor indirekt energianvändning i form av energi som gått åt för att framställa och transportera insatsvaror till jordbruket. Denna uppskattas till cirka 3 600 GWh per år, varav 2 300 GWh till framställning av mineralgödselkväve och 680 GWh till importerat foder. Den mesta indirekta energin är fossil⁶¹.
- Bioenergi i olika former är de energibärare som är mest lika fossila bränslen. De finns i fast och flytande form och som gas, och är lagringsbara. De kan nyttjas med samma eller liknande utrustning som fossila bränslen och kräver därför mindre teknikutveckling och har lägre kostnader än annan lagringsbar förnybar energi.
- Sol och vind är förnybara energikällor som kan ersätta fossila bränslen, direkt på gården och indirekt genom försäljning av el. Solceller för elproduktion är förhållandevis dyra och energikrävande att producera, men sett över hela deras livslängd är de ändå betydligt bättre för klimatet än motsvarande användning av fossila bränslen. Energimässigt är återbetalningstiden för ett vindkraftverk mindre än ett år. Miljöproblem såsom buller, skuggning, påverkan på fåglar och fladdermöss kan finnas vid lokalisering i känsliga miljöer⁶².
- Solkraft och vindkraft produceras när solen skiner eller vinden blåser. De kan inte direkt styras utifrån behov, vilket är en begränsning

(KUNSKAPSLÄGET FORTSÄTTNING)

jämfört med lagringsbara energiformer som biobränslen eller fossila bränslen.

- Etanol och RME är de tekniska alternativ som finns tillgängliga idag för att ersätta bensin respektive diesel. Produktionen av dessa drivmedel, så som den bedrivs i Sverige idag, innebär minskade växthusgasutsläpp jämfört med fossil energi, om man tar hänsyn till hela produktionskedjan⁶³, men utan att beakta de indirekta effekterna av att mark tas i anspråk (se vidare i avsnittet ”Förändrad markanvändning”). Etanol och RME från spannmål respektive raps innebär att livsmedel används för energiproduktion.
- Biogas kan användas till traktorbränsle, men det är förknippat med tekniska, ekonomiska och juridiska problem⁶⁴. I dagsläget är det lättare att använda biogasen till kraftvärme eller

som fordonsbränsle till exempelvis stadsbussar (se faktarutor sidorna 30–33).

- Småskalig kraftvärme (samtidig produktion av el och värme) från fasta biobränslen har potential att bli en effektiv användning av bioenergi. Det finns dock en del tekniska utmaningar, och det finns ännu inte robust och lönsam teknik på gårdsskala, men det kan vara möjligt om några år⁶⁵.
- Genom att kombinera diesel- och elmotorer, så kallad hybridteknik, kan utsläppen minska. De studier som gjorts har visat på en potential på omkring 20 procent minskad bränsleförbrukning för traktorer och något mer för skördetröskor. Stor energibesparing bör även vara möjlig för jordbruksredskap, vilket studier på konstgödselspridare har visat. I samtliga fall är tekniken i sin linda och behöver vidareutvecklas och kommersialiseras⁶⁶.

Ekologisk produktion och energi

Produktion av mineralgödselkväve kräver stora mängder fossil energi, vilket undviks inom det ekologiska lantbruket som inte använder denna typ av gödsel. Ekologisk odling medför för många grödor en högre maskin användning per kg produkt, vilket innebär mer dieselanvändning. Oftast är effekten av att inte använda mineralgödselkväve större, så att ekologisk produktion totalt sett ger en lägre användning av fossil energi per kg produkt⁶⁷. Produktion av kött och mjölk som bygger på mycket bete, kan vara energieffektiva då djuren själva samlar in delar av sitt foder, och således minskar energianvändningen i foderodling. Inom KRAV-certifieringen finns regler som kräver att 100 procent av elen som används på gården ska komma från förnybara källor och att gården ska arbeta systematiskt med energieffektivisering. Inom animalieproduktionen utgör energianvändningen en mindre del av utsläppen av växthusgaser som domineras av utsläpp från djurens fodermältning när det gäller idisslarna och foderodling när de gäller de enkelmagade djuren. Därför får dessa regler en mindre effekt på det totala klimatavtrycket från animaliska livsmedel.

När det gäller produktion i växthus däremot, så innebär regeln som kräver att 80 procent av energin för uppvärmning och belysning ska komma från förnybara källor att klimatavtrycket för ekologiska grönsaker sänks väsentligt. Även många växthus som används för konventionell produktion använder biobränsle för uppvärmning.⁶⁸

Forskningsbehov

Utveckling av biodrivmedel som kan använda trä, halm och andra cellulosebaserade råvaror är angelägen, eftersom det innebär att man kan använda råvaror som inte är livsmedel eller kräver att jordbruksmark tas i anspråk. Kraftvärme är en energieffektiv användning av biobränslen. Ny kraftvärmeteknik behöver utvecklas för gårdsskala, och den teknik som tas fram behöver testas i praktiken med olika typer av bränslen. Även energibesparande teknik, såsom hybridteknik, behöver utvecklas för traktorer och andra maskiner inom lantbruket. Genom att utforma produktionssystem som nyttjar lokala resurser såsom bete och spillvärme kan energibehovet minska.

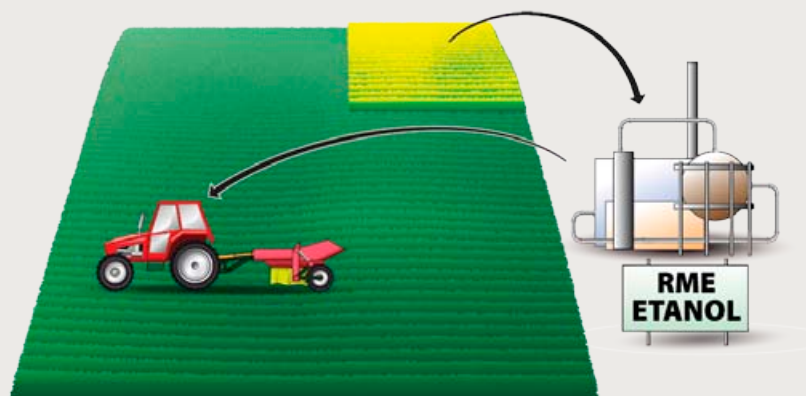
Fakta: Självförsörjning av energi

Det finns mycket forskning och utveckling av intressanta systemlösningar med integrerad bioenergiproduktion och livsmedelsproduktion, som teoretiskt innebär att gårdar kan producera sina egna drivmedel och annan energi och således bli självförsörjande på energi⁶⁹. Mark kan avsättas för spannmåls- eller rapsproduktion och drivmedlen, etanol respektive RME, tillverkas av dessa råvaror. Vall och växtrester kan rötas till biogas. Med andra generationens biodrivmedel, som är under utveckling, kan

drivmedel tillverkas av restprodukter utan att mark behöver avsättas för bioenergiproduktion. Djurgårdar kan framställa energi genom att röta gödsel till biogas. Biprodukter som inte utnyttjas i dagsläget är särskilt bra att använda som energikällor.

Forskning har visat att en ekologisk växtodlingsgård behöver avsätta 5 procent av marken till veteodling för etanolproduktion eller 9 procent av marken till rapsodling för RME⁷⁰ för att bli självförsörjande på

ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012



Figur 6. Drivmedel som behövs på gården kan produceras genom att del av marken avsätts till odling av råvara för drivmedelsproduktion (raps för RME eller spannmål för etanol).

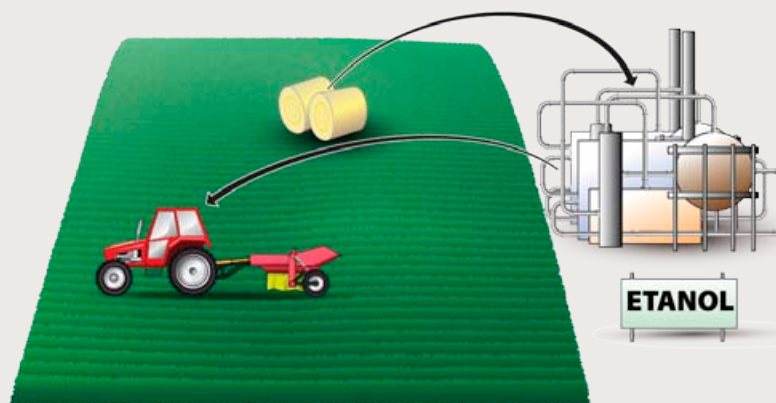


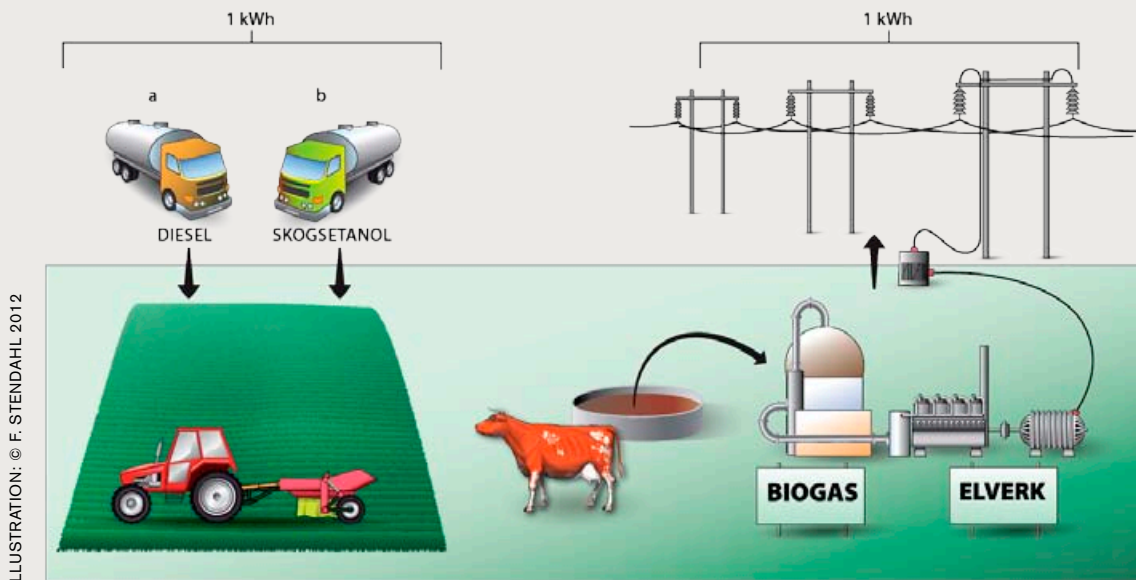
ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012

Figur 7. Med andra generationens biodrivmedel kan man producera etanol eller andra drivmedel från halm och andra restprodukter. Jordbruksmark behöver inte tas i anspråk för biodrivmedelsproduktionen.

energi. En ekologisk mjölkgård kan bli självförsörjande på energi genom att gödseln och restprodukter rötas till biogas⁷¹. Det är särskilt positivt att röta till biogas, eftersom växtnäringen och en del av det organiska kolet då bevaras i en stabil form som kan föras tillbaka till marken.

Självförsörjning med energi på gårdsnivå eller inom jordbruket är inte självklart det bästa. Många av teknikerna kräver omfattande infrastruktur och det är

varken kostnads- eller energieffektivt att bygga anläggningar på varje enskild gård. I ett samhällsperspektiv är det viktigare att energin används effektivt, än att den används lokalt inom till exempel det ekologiska lantbruket. Det kan således vara mer energieffektivt att fortsätta köra traktorn på diesel och använda den producerade biogasen till el och värme för uppvärmning av närliggande villor.



Figur 8. I ett samhällsperspektiv är inte lokal självförsörjning med energi självklart det bästa. Det är viktigt att energin används effektivt. Det kan till exempel vara bättre att sälja el från biogas och köra traktorn på diesel eller inköpt biobränsle, än att investera i dyr och miljöbelastande infrastruktur för att använda biogasen lokalt som drivmedel.

Läs mer om...

...jordbrukets energianvändning

Jordbruksverket. 2010. Energikartläggning av de areella näringarna. Rapport 2010:16.

...fossilfritt jordbruk

Avsnitt "Förändrad markanvändning" i denna rapport.
 Ahlgren, S., 2009. Crop production without fossil fuels. Doktorsavhandling, Institutionen för energi och teknik, SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2009:78.
 Kimming, M., 2011. Energy and greenhouse gas balance of

decentralized energy supply systems based on organic agricultural biomass – a life cycle perspective. Licentiate thesis 028, Institutionen för energi och teknik, SLU.

...biogas och ekologiskt lantbruk

Salomon, E. m. fl. Rapport från EPOK, SLU som publiceras under 2013.

...småskalig kraftvärme

Sundberg, C., Svensson, R., Johansson, M. 2011. Lönsamhet för småskalig biobränslebaserad kraftvärme. Rapport 033. Institutionen för energi och teknik, SLU

Fakta: Biogas

Biogas bildas vid syrefri (anaerob) nedbrytning av organiskt material till exempel gödsel och växtrester. Den energibärande gasen i biogas är metan som också är huvudbeståndsdel i naturgas. Biogas kan förbrännas direkt för att producera el och värme. Om den ska användas som fordonsbränsle måste den renas och komprimeras (uppgraderas).

Biogas från gödsel

Produktion av biogas från gödsel ger dubbel klimatnytta. Genom att röta gödsel undviker man utsläpp av metan från gödsellager och dessutom kan biogasen som produceras ersätta fossila energikällor. Efter rötning finns all växtnäring kvar i den så kallade rötresten samtidigt som den rötade gödseln luktar mindre och blir mer lättflytande. Detta gör att den vid spridning lättare kan rinna ned i marken och komma växterna tillgodo. Ammoniak kan dock avgå från rötresten vid spridning precis som vid stallgödselspridning. Vid skörd och rötning av kvävefixerande gröngödslingsgrödor mineraliseras också stora delar av det organiska kvävet till ammoniumkväve, vilket förbättrar kvävet tillgänglighet för växter.

Biogas från vall

Biogas kan också produceras genom att vall skördas och rötas, eventuellt tillsammans med gödsel och växtrester (Figur 9). Rötresten utgör ett bra kvävegödselmedel som kan spridas med god precision. I konventionell växtodling där vall endast förekommer i mindre utsträckning innebär biogasproduktion från vall att en flerårig gröda introduceras i växtföljden, vilket minskar kväveutlakning och förekomst av ogräs, samtidigt som markens mullhalt byggs upp. För ekologiska gårdar innebär biogasproduktion ett sätt att producera kvävegödsel som kan innebära mindre förluster av kväve än gröngödsling. Biogasen kan också innebära en ny inkomstkälla. System som bygger på rötning av vall och restprodukter är under utveckling och mer forskning behövs kring hur sådana system kan utformas.

Biogas från avfall

Biogas kan också rötas från annat organiskt avfall, såsom slakteriavfall och matavfall. Denna typ av biogasproduktion har ökat mycket under de senaste

5–10 åren. Tidigare var det vanligt att det organiska materialet lades på deponi med bildning och avgång av metan som följd. Genom biogasproduktion förhindras dessa utsläpp och energi som kan ersätta fossil energi produceras, vilket innebär dubbel klimatnytta.

Uppgradering

För att biogas ska kunna användas som fordonsbränsle måste den uppgraderas. Det innebär att andra gaser än metan, framför allt koldioxid, renas bort samt att metangasen komprimeras för att öka energitätheten. Detta sker idag vid större biogasanläggningar, då det är mycket kostsamt i gårdsskala. Det går att konvertera dieseldrivna traktorer med så kallad dual-fuel-teknik som gör det möjligt att köra på biogas. För närvarande finns inget regelverk för traktorer med dual-fuel drift, men arbete pågår med att se över lagstiftningen⁷². För att traktorn ska få en rimlig aktionsradie krävs dock montering av utrymmeskrävande gastuber på traktorn. Vidare krävs stora och kostsamma trycklager på gården för att traktorn ska kunna försörjas med drivmedel under det intensiva vår- och höstbruket när traktorn används som mest.

Biogasens potential

Biogasproduktion har många fördelar. Metanutsläpp från gödsel och avfall undviks, energi utvinns och biogasproduktion från växter innebär också produktion av kvävegödsel med hög växttillgänglighet och som kan spridas då växterna behöver det. Det svenska jordbrukets totala energianvändning uppgår till cirka 4,4 TWh. Om allt gödsel i Sverige rötades till biogas skulle cirka 4 TWh energi kunna utvinnas. Till det kan ytterligare cirka 6 TWh från odlingsrester adderas.⁷³ Teoretiskt finns alltså potential för det svenska jordbruket att producera sin egen energi från endast restprodukter, det vill säga utan att ta odlingsmark i anspråk. Däremot är det viktigt att komma ihåg att Sveriges totala energianvändning uppgår till 400 TWh, så ur ett samhällsperspektiv har energi från biogas från jordbruket en mindre roll att spela.

Biogasens klimatnytta

Med biogasproduktion från gödsel kan utsläppen från gödsellager minskas väsentligt och energin som produceras kan ersätta fossila bränslen och minska dessa

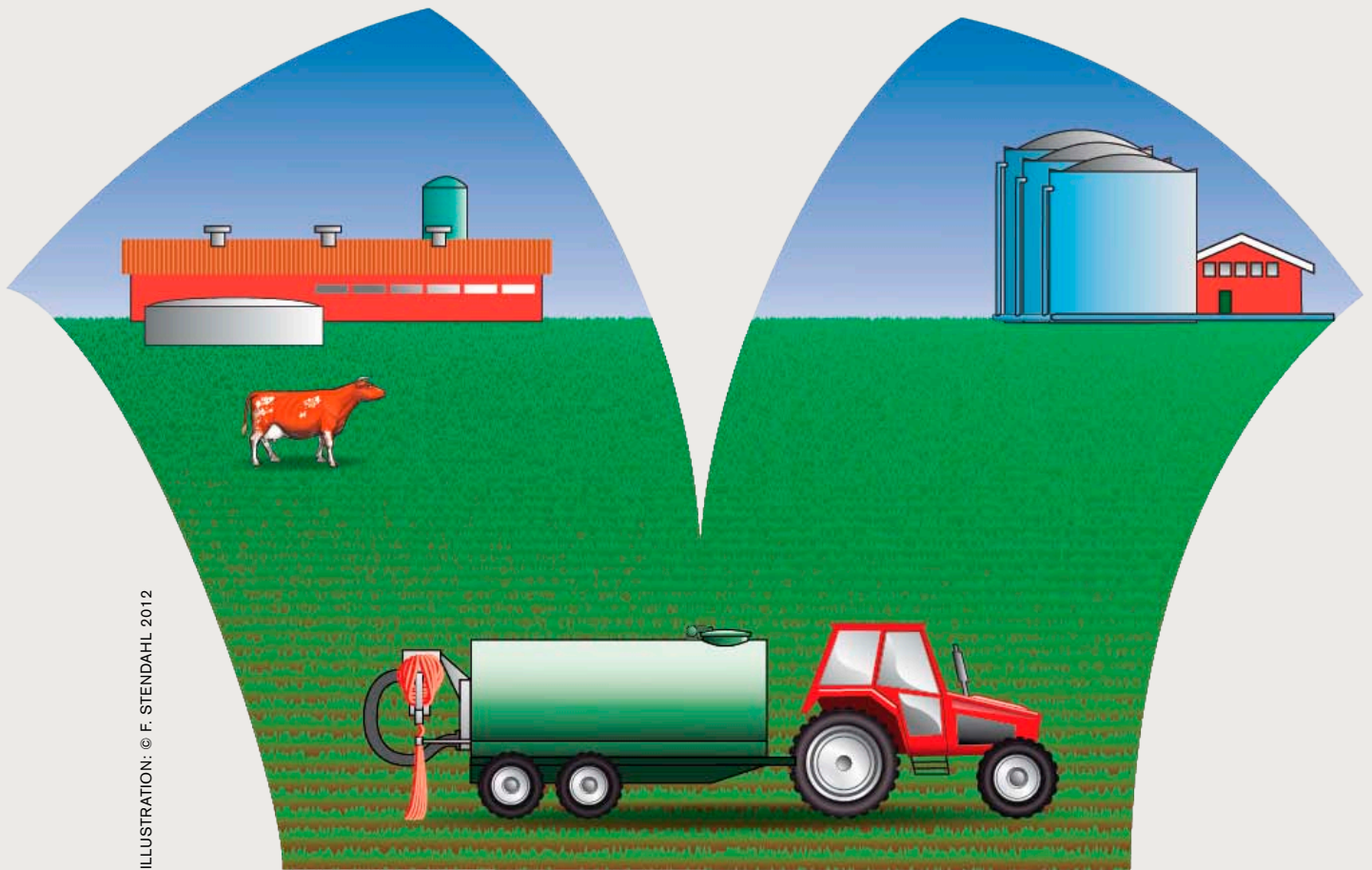


ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012

Figur 9. För att i ekologisk odling få tillgång till ett gödselmedel som kan spridas till de marker som behöver ett närings-tillskott kan man antingen låta grödan passera ett djur som producerar livsmedel och stallgödsel, eller låta grödan passera genom en biogasreaktor som producerar energi och rötrest.

koldioxidutsläpp. Betraktas jordbrukets totala växthusgasutsläpp utgör dock dessa poster mindre delar.

De stora posterna av växthusgasutsläpp från jordbruket kvarstår, det vill säga utsläpp av koldioxid och lustgas från mark och metanutsläpp från djur. Dessutom återstår det att utreda hur produktion av biogas från restprodukter och användning av rötrest

påverkar markens kolbalans och långsiktiga bördighet. I rötresten har mängden kol reducerats eftersom kolet återfinns i biogasen. Det kvarvarande kolet i rötresten är dock i en stabilare form som i större grad lagras in i marken. Mer forskning krävs för att studera hur markens kolbalans och bördighet påverkas av att odlingsrester bortförs och återförs i form av rötrest eller att gödsel rötas till rötrest innan det sprids.

Läs mer om biogas

Christensson, K. m. fl. 2009. Gårdsbiogashandboken. Rapport SGC 206. Svenskt Gastekniskt Center.

Biogas på gården – en introduktion. LRF (årtal saknas).

Baky, A., Nordberg, Å., Palm, O., Rodhe, L., Salomon, E. 2006. Rötrest från biogasanläggningar, JTI informerar nr 115, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Basdata om biogas 2012. Svenskt Gastekniskt Center (SGC).



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM



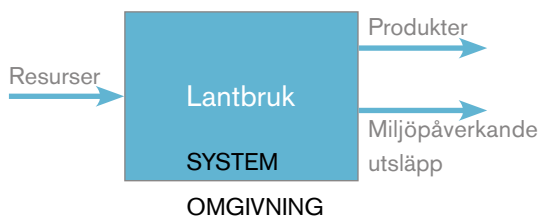
FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Klimatpåverkan från olika produktionssystem

I förra kapitlet beskrevs kunskapsläget kring jordbrukets stora källor till växthusgasutsläpp. Utsläppen av växthusgaser måste minska för att dämpa den globala uppvärmningen. För att vi ska kunna se om insatta åtgärder får önskad effekt måste utsläppen kunna mätas, eller beräknas.

Olika typer av studier svarar på olika frågeställningar. Fältförsök och fallstudier ger svar på hur lokala förhållanden påverkar utsläppen, till exempel hur olika gödselspridningstekniker påverkar utsläppen på olika marktyper. Genom att sammanställa resultat från flera studier kan generella samband upptäckas och modeller utvecklas. Dessa kan sedan användas i mer övergripande systemanalyser med framtidsscenarioer för att studera hela jordbrukssystem på längre sikt.

I en systemanalys avgränsar man det system man undersöker från dess omgivning. Sedan beskriver man vad som sker inne i systemet, och hur det samverkar med omgivningen. Det görs med hjälp av en modell, som kan vara en matematisk modell eller en tankemodell (Figur 10). En modell ger alltid en begränsad bild av verkligheten, och kan i den meningen inte vara sann. Men en modell kan däremot vara felaktig om den inte tar med alla viktiga delar, eller om någonting räknas med två gånger.



Figur 10. En modell över ett lantbrukssystem. Det kan till exempel vara ett fält, ett odlingsystem eller en gård.

Frågan om ett jordbrukssystem har mindre klimatpåverkan än ett annat kan tyckas vara enkel, men att besvara den är ytterst komplext. Dels måste utsläpp från de utsläppsposter som beskrivits i förra kapitlet beräknas och dessutom måste systemaspekter kring vad och hur mycket som produceras tas med i analysen. Hur klimatpåverkan från jordbruksproduktion kan beräknas med systemanalys beskrivs vidare i nästa avsnitt. Avsnitten därefter belyser andra komplexa frågor på en högre systemnivå som också måste inkluderas när olika jordbrukssystem utvärderas.

Livsmedel kan produceras i form av vegetabilier eller animalier; kött, mjölk och ägg. Det ekologiska lantbruket i Sverige domineras av mjölkproduktion. Animalieproduktion är ett sammansatt system av både djur, foder och gödsel. Det kräver mer resurser, inte minst i form av mark, jämfört med produktion av vegetabiliska livsmedel, och klimatpåverkan är större. Hur produktion av olika typer av livsmedel bidrar till klimatpåverkan diskuteras i avsnittet "Livsmedelsproduktion".

En viktig del av Sveriges strategi för minskad klimatpåverkan är en ökad produktion av bioenergi, även på jordbruksmark. Aspekter som har att göra med sambandet mellan klimatpåverkan från bioenergiproduktion och ekologiskt lantbruk beskrivs i avsnittet "Bioenergiproduktion".

En ökad efterfrågan på livsmedel och bioenergi ökar efterfrågan på jordbruksmark. Eftersom handeln med jordbruksprodukter sker på en global marknad så finns ett samband mellan den yta som behövs för att odla mat i Sverige och klimatpåverkan från den avskogning som sker i andra delar av världen, vilket beskrivs i avsnittet "Förändrad markanvändning".

Växthusgasutsläpp från livsmedel sker inte bara i själva jordbruket, utan även i efterföljande led såsom avfallshantering och avloppsrening. Dessa utsläpp påverkas av hur samhälls- och jordbruksystemet utformas till exempel hur vi återcirkulerar näringen från stad till land. Sådana aspekter behandlas i avsnittet "Växtnäringskretslopp".

Klimatpåverkan i ett systemperspektiv

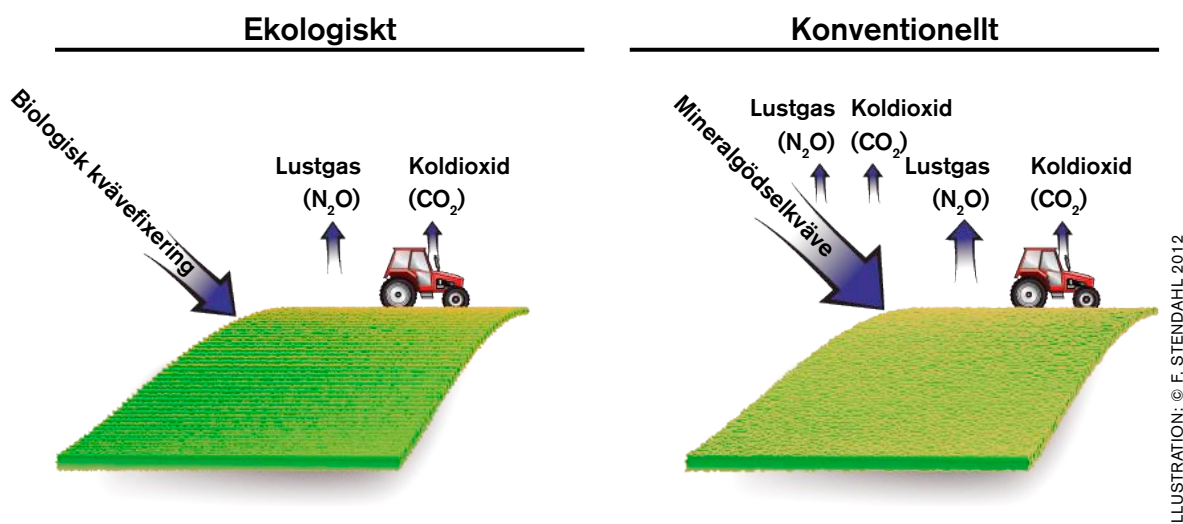
När klimatpåverkan, och annan typ av miljöpåverkan, från olika typer av jordbruksproduktion ska jämföras kan det göras på olika sätt, vilket beskrivs i detta kapitel.

Jämförelse per ytenhet

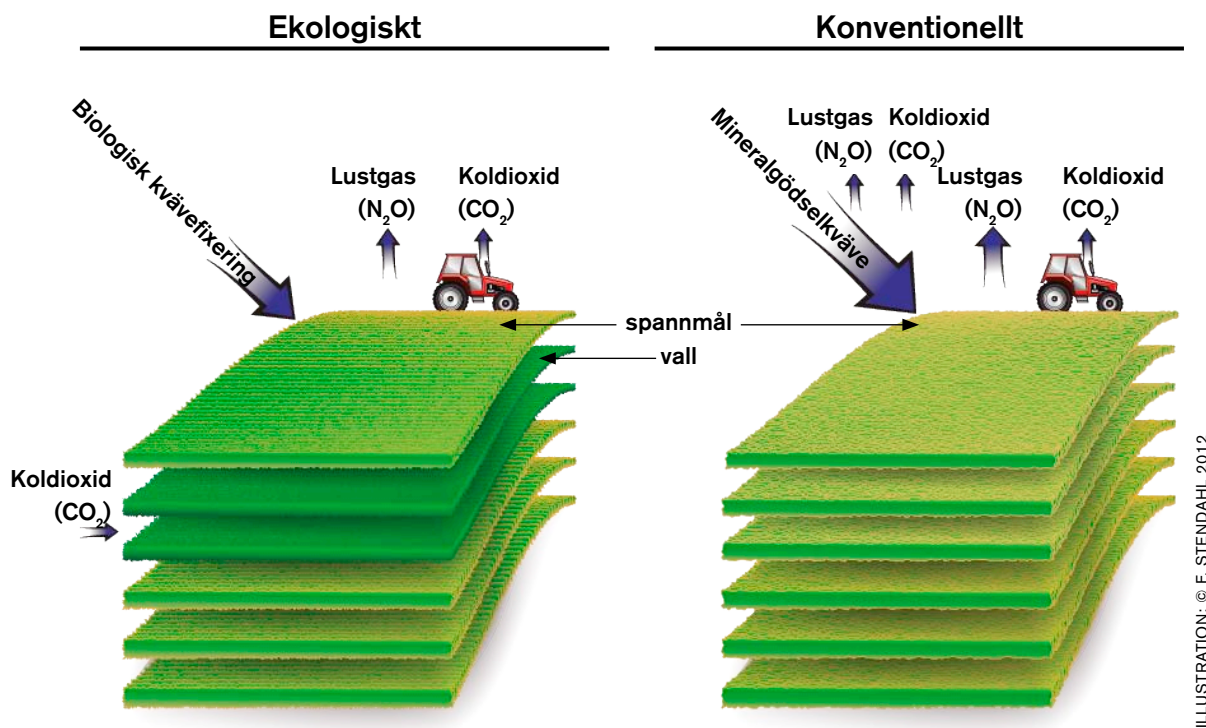
Lokala miljöeffekter såsom utsläpp av övergödande ämnen eller spridning av naturfrämmande kemiska ämnen kvantifieras ofta som utsläpp per ytenhet, ofta per hektar. Även växthusgasutsläpp kan jämföras per ytenhet. Den enklaste typen av jämförelse är att beakta utsläpp av växthusgaser för olika odlings-

system från ett hektar odlad mark under ett år för en specifik gröda. Klimatpåverkan från produktion och transport av alla insatsvaror, utsläpp från diesel- förbrukning i maskiner, samt utsläpp som sker från marken inkluderas i analysen (Figur 11).

Sådana jämförelser resulterar oftast i mindre klimatpåverkan från jordbrukssystem med små insatser och för system som inte använder mineralgödselkväve. Ett problem med denna typ av årsvisa jämförelser är att insatser som görs ett år, till exempel tillförsel av kväve till marken genom gödsling eller nedbrukning av en vall med baljväxter, kommer flera efterföljande grödor till nytta. Det är svårt att veta hur utsläppen för dessa insatser ska fördelas rättvist över åren och variationen i utsläpp mellan olika år blir ofta stor. Detta problem blir extra uttalat inom ekologisk produktion där en välplanerad växtföljd är avgörande för både växtnäringsförsörjning och reglering av ogräs. Där kan man inte på samma sätt som i konventionell produktion tillföra gödsel varje enskilt år.



Figur 11: Principiell jämförelse av växthusgasutsläpp från ett hektar ekologiskt kontra konventionellt odlad mark under ett år. Utsläppen är lägre från det ekologiska fältet beroende på lägre tillförsel av kväve och inga utsläpp från produktion av mineralgödselkväve.



Figur 12. Principiell jämförelse av växthusgasutsläpp från ett hektar ekologiskt kontra konventionellt odlad åkermark för en 6-årig växtföljd där det ekologiska jordbruket avsätter mark till kvävefixerande grödor och där den konventionella gården klarar sin kväveförsörjning med i huvudsak mineralgödselkväve. Utsläppen är lägre från det ekologiska fältet på grund av lägre tillförsel av kväve och inga utsläpp från produktion av mineralgödselkväve, samt eventuell kolinlagring från vallodling.

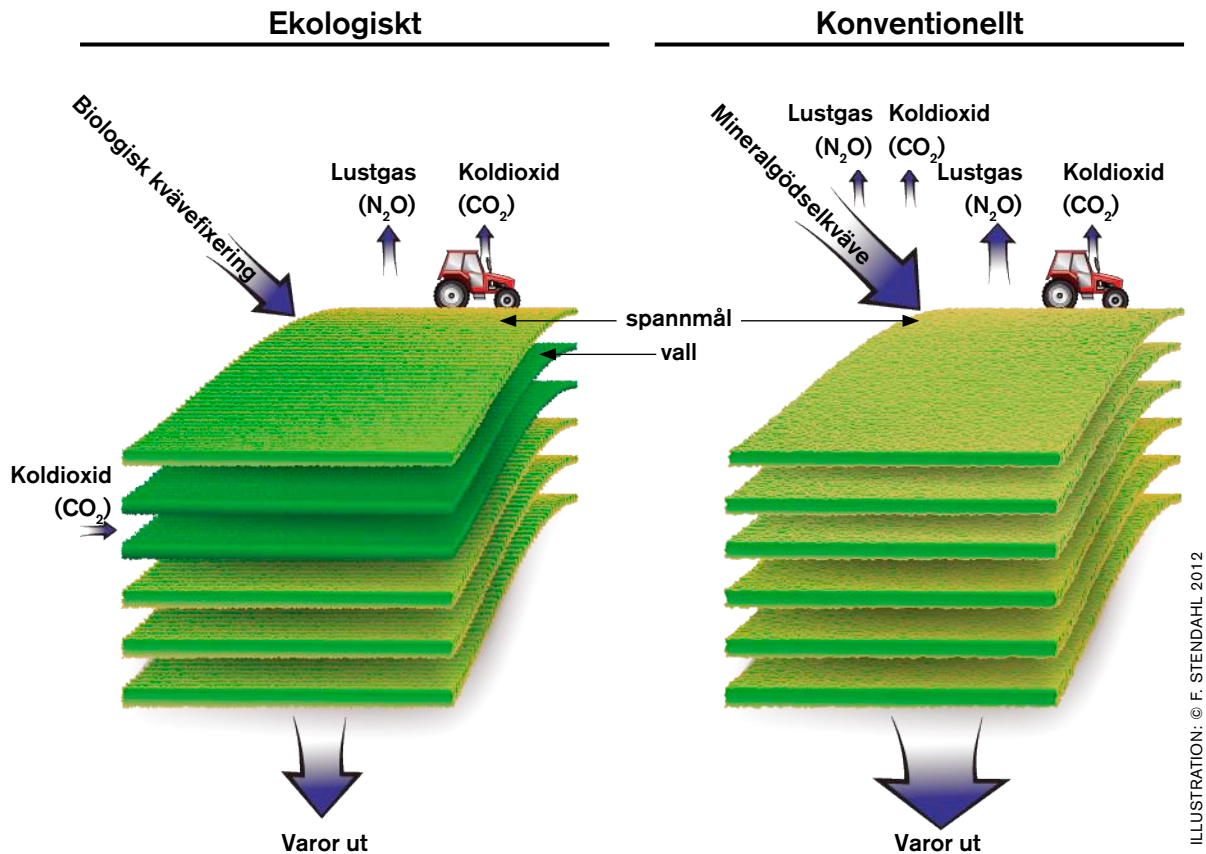
Det är således inte möjligt att dra välgrundade slutsatser mellan olika systems för- och nackdelar genom att studera en gröda under ett år. Ett sätt att lyfta perspektivet är att beakta hela växtföljder. Ett ekologiskt odlingssystem där mark avsätts för grüngödsling vissa år kan exempelvis jämföras med ett konventionellt system där kvävetillförseln kommer från mineralgödsel (Figur 12). Oftast ger det ekologiska jordbruket då mindre utsläpp per hektar än det konventionella av samma orsak som vid jämförelsen för ett år. Dessutom förekommer mer vallodling i den ekologiska växtföljden, vilket ger möjlighet att binda in kol i marken.

Av denna typ av jämförelse kan man ledas att dra slutsatsen att om Sveriges jordbruksmark odlades ekologiskt skulle utsläppen av växthusgaser från den svenska marken minska. Om utsläppen från

hela jordbruksproduktionen, inklusive jordbrukets husdjur, skulle minska vid övergång till ekologisk produktion beror på om och hur djurhållningen skulle förändras. Det gäller antalet djur, fördelning mellan olika djurslag och hur produktionssystemen är utformade. Resultatet skulle också i stor utsträckning bero på jordbruksmarkens totala förmåga att lagra in kol. Det krävs alltså en bredare systemansats som inkluderar djurhållning och vad som produceras för att kunna dra slutsatser om utsläppen från olika typer av produktion.

Jämförelse per kg produkt

Konsumtionen av livsmedel i Sverige idag är inte styrd av den svenska livsmedelsproduktionen eftersom en stor andel av vår mat importeras. Även om växthusgasutsläppen per hektar minskar i det svenska jordbruket är det inget som säger att klimat-



Figur 13. Växthusgasutsläppen per ytenhet är oftast mindre i ekologisk produktion. Om hänsyn tas till hur mycket som produceras och utsläppen fördelas över producerade varor blir utsläppen oftast jämförbara mellan ekologisk och konventionell produktion.

påverkan från den svenska livsmedelskonsumtionen minskar. Svenskarna exporterar en stor del av utsläppen till länderna som producerar livsmedlen. Detta åskådliggör problemet med att jämföra utsläpp av växthusgaser per ytenhet, eftersom ingen hänsyn då tas till förbrukningen av livsmedel totalt sett. Man kan argumentera för att en produktionsform bara är mer klimatsmart om den minskar utsläppen per kg livsmedel.

Om utsläppen fördelas på mängden livsmedel som vi får ut hamnar klimatavtrycket per kg gröda för den ekologiska respektive den konventionella produktionen ofta ganska lika, baserat på dagens skördenivåer⁷² (Figur 13). Fördelarna i den ekologiska växtproduktionen med mindre gödsel och ingen användning av mineralgödselkväve äts upp av att skörden ofta är mindre, vilket ger färre kg produkt

att fördela utsläppen på. Grödor som fixerar sitt eget kväve och som har ett lågt tryck från skadedörare har oftast lägre klimatpåverkan i ekologisk än i konventionell produktion. En typisk gröda är klöver-gräsvall, och ekologiskt grovfoder ger således oftast betydligt mindre utsläpp av växthusgaser än konventionellt grovfoder⁷⁵. På motsvarande sätt ger grödor som lätt angrips av sjukdomar och där effektiva alternativa växtskyddsåtgärder saknas, till exempel potatis, en större klimatpåverkan per kg potatis vid ekologisk produktion på grund av mindre skördar. Skördenivåerna tillsammans med kvävehushållningen är avgörande för klimatpåverkan från vegetabilier per kg produkt.

Även om ett jordbrukssystem utan mineralgödselkväve skulle kunna leverera lika stora skördar per år som det konventionella jordbruket, blir mängden

producerade varor totalt sett mindre i de odlings-system där en viss yta behöver avsättas för att ”odla kvävegödsel”. Hur stor yta som behöver avsättas beror på hur växtföljden är uppbyggd. Odla baljväxter som mellangrödor för att få gröngödsling och i samodling istället för som en helårsgröngödsling är markbehovet mindre. Tendensen på dagens ekologiska växtodlingsgårdar är att andelen helårsgröngödsling minskar och att man istället försöker finna olika användningsområden för en gröngödslingsgröda (klöverfröproduktion, försäljning av vallfoder, bioenergiråvara) och också kompletterar med mellangrödor som fixerar kväve⁷⁶. Även krav på utevistelse för djur ökar behovet av mark inom ekologisk produktion.

En mindre produktion totalt i odlingsystemet medför en mindre mängd varor att fördela utsläppen på. Odla en vallgröda påverkas det totala utsläppet av växthusgaser kraftigt av hur växtmaterialet används. På en ekologisk växtodlingsgård där vallen plöjs ner som ren gröngödsling blir utsläppen av växthusgaser ofta betydligt större per kg skördad produkt än på en konventionell växtodlingsgård, men om vallen skulle skördas och användas för produktion av biogas som ersätter fossila bränslen blir resultatet betydligt gynnsammare för den ekologiska gården.

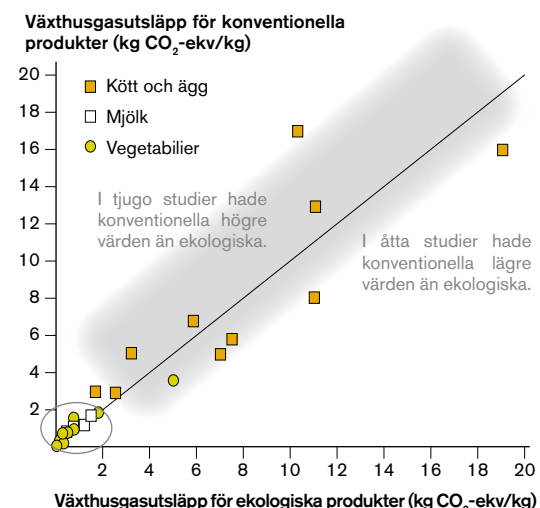
Samma princip om att stor avkastning och små insatser ger ett litet klimatavtryck per kg produkt gäller även för animalieproduktionen⁷⁷. Inköpt foder (och i konventionell produktion även mineralgödselkväve) är de viktigaste externa insatserna till animalieproduktionen⁷⁸. Hur länge idisslarna lever och hur snabbt de växer har också stor betydelse. En bra hantering av stallgödseln som medför små förluster har också betydelse för det totala klimatavtrycket.

När det gäller animalieproduktion baserad på idisslare ger klöver-gräsvallen foder och samtidigt bidrag till odlingsystemets kväveförsörjning via baljväxternas kvävefixering. Det innebär att behovet av att avsätta mark för gröngödsling inte är relevant för dessa system. Det blir istället mängden insatsvaror i foderproduktionen och effektiviteten i uppödningsen som avgör vilket av produktionssystem

men som producerar det minst klimatbelastande köttet och mjölken. Inom animalieproduktionen är variationen i klimatpåverkan mellan olika gårdar ofta betydligt större än mellan konventionella och ekologiska produktionssystem.

Jämförelse mellan olika produkter

Figur 14 nedan sammanfattar resultaten från en rad internationella publikationer som i samma studie jämfört klimatavtrycket för ekologiska och konventionella produkter. Studier som ligger över den diagonala linjen har visat på lägre växthusgasutsläpp för ekologisk produktion, medan studier under linjen har visat på en klimatfördel för de konventionella systemen. För vegetabilier ligger resultaten väl samlade kring linjen vilket indikerar att skillnaden är liten i absoluta mått. Skillnaden är större för de animaliska produkterna och resultaten varierar mycket. Den verkligt stora skillnaden i klimatavtryck ligger mellan vegetabiliska och animaliska produkter. Det är därför av högsta relevans att beakta i vilken utsträckning det är resurseffektivt att producera olika typer av livsmedel. Detta behandlas i avsnittet ”Livsmedelsproduktion”.



Figur 14. Sammanställning av internationella fallstudier som jämfört växthusgasutsläpp per kg produkt från ekologiskt och konventionellt jordbruk. För studier över linjen är utsläppen lägre för ekologisk produktion och för studier under linjen är utsläppen lägre för konventionell produktion⁷⁹. Källa: RTOACC, 2011. Organic agriculture and climate change mitigation. FAO.



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Ytterligare aspekter måste beaktas

I Sverige idag behöver ekologisk produktion mer mark för att leverera samma mängd produkter som konventionell produktion. I ett scenario där ekologisk produktion bedrivs på en större yta i Sverige och konsumenterna inte ändrar sitt konsumtionsmönster kan det leda till att produktion någon annanstans på jorden måste intensifieras eller att ny jordbruksmark måste tas i anspråk, vilket skulle innebära en större klimatpåverkan jämfört med dagens omfattning av ekologisk produktion.

Man kan också resonera så att de större skördarna vid konventionell produktion gör att mer mark blir ”över”. Denna mark skulle kunna användas för odling av bioenergi som ersätter fossila bränslen och då kan jordbruket tillgodoräkna sig minskade utsläpp ifrån energi- och transportsektorn och från jordbrukets egna energianvändning. Tar man med denna substitutionseffekt blir det konventionella jordbruket mer klimatteffektivt än det ekologiska eftersom det är mindre arealkrävande.

Men det är inte givet att jordbruksmark som blir ”över” på grund av intensiv odling med höga av-

kastningsnivåer kommer avsättas för bioenergiproduktion. Vad som odlas beror bland annat på den globala prisutvecklingen på råvaror och politiska styrmedel. Bioenergi från jordbruksmark påverkar också andra miljömål såsom biologisk mångfald, övergödning och användning av kemiska bekämpningsmedel vilket måste vägas in i en jämförelse mellan olika förnybara energikällor. I avsnittet ”Bioenergiproduktion” behandlas därför produktion av bioenergi på jordbruksmark och hur det relaterar till ekologisk produktion mer ingående.

De flesta befintliga jämförelser av klimatpåverkan från ekologisk och konventionell produktion per kg gröda beräknar inte konsekvenser vad gäller markanvändning eller förändring av kolinlagring i jordbruksmarken. Dessa förändringar kan vara betydelsefulla. Kolinlagringen i mark kan vara stor om en omfattande odling av vall sker på mullfattiga jordar, speciellt i ett globalt perspektiv. Om produktionen driver en ökad avskogning kan de utsläpp detta orsakar mer än fördubbla en produkts utsläpp av växthusgaser. Denna viktiga aspekt att beakta när olika typer av jordbrukssystem utvärderas behandlas i avsnittet ”Förändrad markanvändning”.

Livsmedelsproduktion

Jordbrukets primära uppgift är att producera livsmedel. Principiellt kan man dela upp livsmedel i animaliska livsmedel det vill säga kött, fisk, ägg och mejeriprodukter, och vegetabiliska livsmedel såsom spannmål, baljväxter, vegetabiliska oljor, rotfrukter, frukt och grönsaker.

Produktion av animaliska livsmedel ger upphov till större klimatpåverkan per kg produkt eller per energimängd i livsmedlet än odling av vegetabilier. Det beror på att den största delen av energin i fodret som djuren äter går förlorad under djurets livstid. Mycket av fodret till grisar och fjäderfå, så kallade enkelmagade djur, är sådant som människor skulle kunna äta direkt, till exempel spannmål och soja. Idisslare äter däremot en stor mängd fiberrikt foder såsom gräs som människor inte kan tillgodogöra sig. Baksidan av detta är att idisslarna i sin matsmältningsprocess släpper ut mycket metan (se avsnitt ”Metan från djurens matsmältning”).

Historiskt har djuren i lantbruket fyllt flera funktioner. Idisslarna har betat marker som inte lämpat sig för odling såsom strandängar och skogsbeten. På så

sätt har människoföda producerats på icke odlingsbar mark och näringsämnen har också flyttats från betesmarker och ängar till åkermarken genom att djurens gödsel har använts för att gödsla åkern. Grisar och höns har ätit matavfall och annat som inte lämpat sig som humanföda och omvandlat dessa till för människan ätbart protein, vilket är ett resurseffektivt sätt att producera mat på.

Med upptäckten av mineralgödsel kom djurens roll i jordbruket att kraftigt förändras. Nu kunde näringsämnen framställas på industriellt sätt och djuren blev i huvudsak kött- och mjölkproducenter, inte växtnäringsomvandlare. Därför ser animalieproduktionen radikalt annorlunda ut idag. Rester från livsmedelsindustrin såsom vassel, betmassa och drank, används som foder men utgör bara en liten del av den totala mängden foder. Djuren äter till största del foder som odlats på åkermark. Idisslarna får främst grovfoder som ensilage, men även kraftfoder i form av spannmål. Mjölkkorna får även en del soja som importerats från andra länder. Grisar och fjäderfån utfodras med spannmål och proteinfoder, vilket till viss del utgörs av importerad soja⁸⁰.



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Kunskapsläget

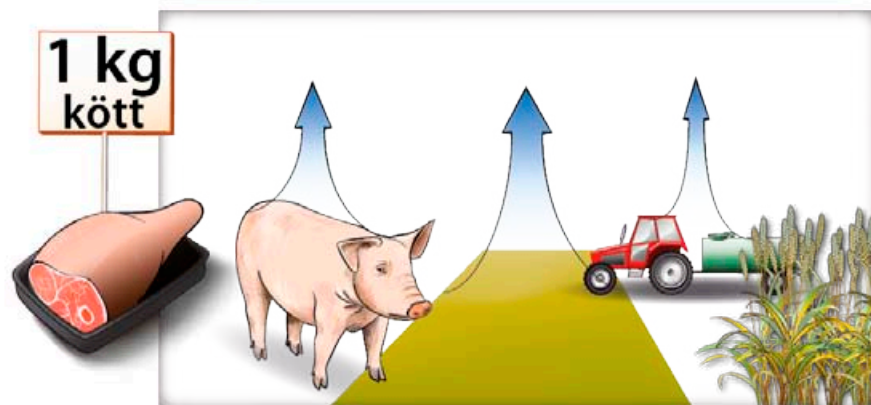
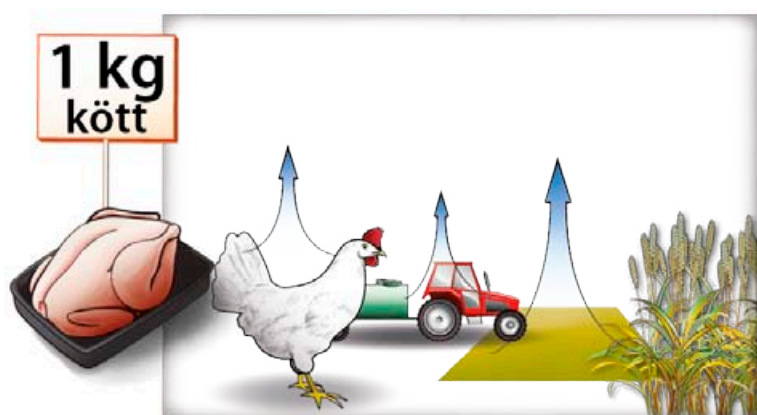
■ De allra flesta vegetabiliska livsmedel har ett klimatavtryck under 1 kg koldioxidkvalenter per kg. Minst blir klimatpåverkan för grödor som odlas i fält, som ger stor avkastning och där kvävegödslingen är begränsad, till exempel rotfrukter såsom morötter och potatis. Störst blir klimatpåverkan från

grönsaker i växthus som värms med fossil energi, speciellt vid odling av lågväxtande grödor⁸¹. Odling på mulljord ger betydligt större utsläpp än odling på mineraljord⁸².

■ För kött från idisslare utgör metan från fodermältningen den största utsläppsposten, följt av utsläpp från foderodling.

För kött från enkelmagade djur uppstår det mesta av växthusgaserna vid odling av fodergrödor. Utsläpp av lustgas från mark dominerar, och till detta kommer energirelaterade utsläpp från maskinanvändning i fält, torkning av grödor och transporter. Lagring och spridning av gödsel ger också upphov till lustgas- och metanutsläpp (se avsnittet som heter "Lagring och spridning av stallgödsel"). Energianvändning i stallar och slakterier ger upphov till koldioxidutsläpp, men dessa är oftast små i förhållande till övriga utsläpp⁸³.

■ Utsläppen av växthusgaser per kg kött är generellt större för idisslare än för gris och kyckling (Figur 15). Detta beror på tre saker; 1) betydligt större metanutsläpp från idisslarnas



Figur 15: Idisslare ger större utsläpp per kg kött beroende på metanutsläpp och större areal för foderproduktion. Kyckling har störst fodereffektivitet och ger lägst utsläpp.

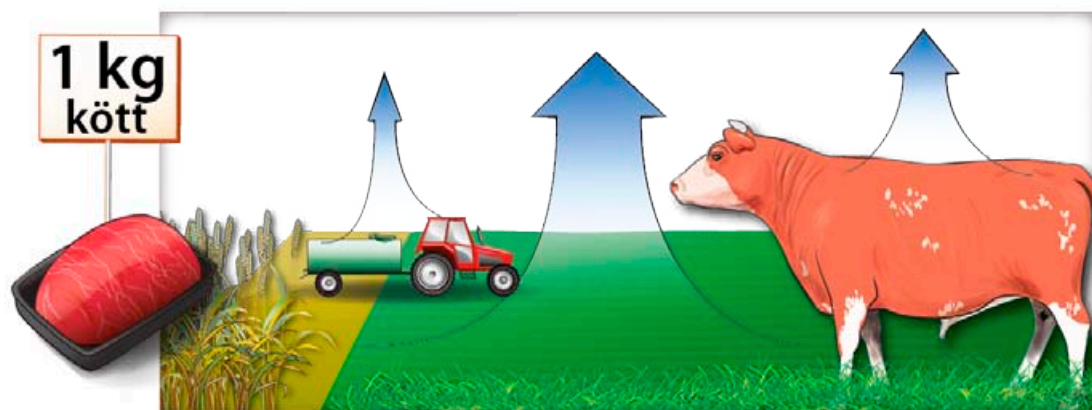
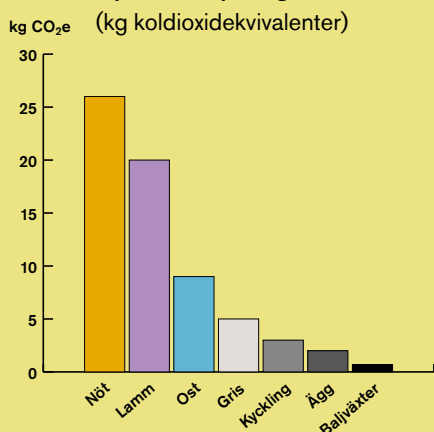


ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012

matsmältning 2) förmågan att omvandla foder till kött varierar mellan olika djurslag samt 3) reproduktionshastigheten (jämför en ko som får en kalv per år med en suga som får 20–25 smågrisar per år)⁸⁴.

- För att producera 1 kg kött från grisar krävs cirka 7 kg foder, från kyckling krävs cirka 4 kg foder och för ägg 2–3 kg foder⁸⁵. Kött från idisslare kräver betydligt mer foder, men fodret kan till stor del utgöras av grovfoder (klöver och gräs).
- Utsläppen av växthusgaser per kg produkt är i storleksordningen 17–40 kg koldioxidkvivalenter per kg befritt nötkött, 15–33 kg för lamm, 4–8 kg för fläskkött, 2–4 kg för fågelkött, 1,5–4,5 kg för ägg och 0,8–2,5 kg för mjölk⁸⁶. I beräkningarna av de animaliska produkternas klimatpåverkan ingår utsläpp från foderproduktion (i huvudsak lustgas från mark), metanutsläpp från fodersmältning, utsläpp från gödsel och från energianvändning i stallar, men inte eventuell inlagring av kol i marken (se faktaruta sidan 24) eller utsläpp från eventuell avskogning (se avsnitt ”Förändrad markanvändning”).

Klimatpåverkan per kg livsmedel



Källa Rööös, E. 2012. Mat-klimat-listan version 1.0

- De viktigaste faktorerna som avgör animalieprodukters klimatpåverkan är:
 - ◆ Låga utsläpp av växthusgaser i foderproduktionen fås framför allt genom ett effektivt kväveutnyttjande. Soja och andra importerade proteinfodermedel ökar utsläpp från transporter och riskerar att leda till förändrad markanvändning vilket ger stora utsläpp som följd.⁸⁷ Foder som odlas på den egna gården eller på granngårdar minskar behovet av transporter och förenklar ett effektivt utnyttjande av stallgödseln.
 - ◆ En effektiv och anpassad utfodring under djurets hela livstid är viktig för att minimera överutfodring med framförallt protein. Mindre foder per kg producerat kött minskar klimatavtrycket per kg kött. Moderdjur bör få sin första avkomma så tidigt som möjligt och efterföljande avkommor med så korta intervall som möjligt.
 - ◆ Friska djur växer och producerar bättre, vilket innebär att fodret och andra insatser utnyttjas effektivt och utsläppen per kg produkt minskas.
 - ◆ En effektiv hantering av gödsel i stall, i lager och vid spridning minskar miljöpåverkan. Vilken typ av gödsel det är påverkar avgången av metan och lustgas. Se avsnitt ”Lagring och spridning av stallgödsel”.
 - ◆ För köttproducerande idisslare gäller även att hög tillväxt och därmed kortare livslängd ger lägre

metanutsläpp per kg kött.

- ◆ För nötkött gäller också att kött som är kopplat till mjölkproduktionen har lägre klimatpåverkan än kött från rena köttdjur, då växthusgasutsläppen kan fördelas mellan mjölk och kött.
- Klimatpåverkan från förändrad markanvändning, framförallt avskogning, kan bli betydande och behöver kvantifieras. Speciellt efterfrågan på soja har tidigare drivit avskogning (se faktaruta sidorna 54–55).
- Koldioxid från atmosfären kan tas upp och lagras in i betesmark och mark som används för foderproduktion. Internationella publicerade studier, som dock är få och med delvis osäkra data, visar att utsläppen per kg kött kan minska med 10–40 procent om effekten av markens kolinlagring inkluderas⁸⁸ (se faktaruta sidan 24).
- Varje svensk åt i snitt 85 kg kött (slaktvikt = kött inklusive ben) år 2010⁸⁹. Vår köttkonsumtion ökade med mer än 50 procent under perioden 1990–2005. Många studier visar att det är nödvändigt med minskad animaliekonsumtion i västvärlden för att nå uppsatta klimat- och hållbarhetsmål⁹⁰.
- En fokusering på klimatfrågan kan leda till målkonflikter. Av Sveriges rödlistade arter finns en stor mängd i de gamla betesmarkerna. För att bevara markernas höga biologiska värde behöver de betas. Krav på högre produktivitet och högre foderutnyttjande för minskade klimatgasutsläpp riskerar även att hamna i konflikt med djurens välfärd⁹¹.

Ekologisk produktion av livsmedel

Det ekologiska jordbruket i Sverige domineras av animalieproduktion och cirka 90 procent av den ekologiska åkerarealen används för foderproduktion⁹². Djurhållning är dock inte en förutsättning för att bedriva ekologisk produktion, men stallgödseln som genereras inom djurhållningen är ett sätt att lagra växtnäring för spridning till grödor vid en tidpunkt då näringen behövs. Med hjälp av varierade växtföljder där kvävefixerande grödor spelar en avgörande roll genom att bidra med kväve, och genom att röta till exempel växtrester och vallgrödor till biogas och sedan sprida rötresten kan den ekologiska växtproduktionen utan djurhållning utvecklas. I den ekologiska växtproduktionen används inte mineralgödselkväve och utsläpp av koldioxid och lustgas som sker vid tillverkningen undviks. Denna klimatfördel kan dock ätas upp av en väsentligt lägre avkastning i vissa grödor i jämförelse med konventionell odling. Utsläppen per kg produkt är små för vegetabilier i förhållande till animaliska produkter. Betraktar man utsläppen från den totala livsmedelskonsumtionen är därför skillnaden i växthusgasutsläpp på grund av eventuell skördeskillnad mellan ekologiska och konventionella vegetabilier av mindre betydelse.

Regelverket för ekologisk produktion innebär vissa generella för- och nackdelar när det gäller att minska klimatpåverkan från animalieproduktionen. På plussidan finns krav på hög grad av självförsörjning med foder och förbud mot mineralgödselkväve. Detta stimulerar till ett effektivt utnyttjande av stallgödsel som minskar behovet av nytt kväve in i systemet, vilket leder till minskade lustgasutsläpp. Kravet på hög andel grovfoder till idisslare kan leda till att mer koldioxid binds och lagras in som kol i jordbruksmarken genom att andelen vall ökar. Likaså kan krav på bete till gris och fjäderfå leda till mer vallodling vilket kan öka kolinlagringen⁹³. Speciellt om omställning till ekologisk grisproduktion sker i slättbygder som domineras av spannmålsodling och där jordarna har låga mullhalter. Förbudet mot syntetiska aminosyror är en nackdel ur klimatsynpunkt eftersom det försvårar optimering av essentiella aminosyror i fodret till de enkelmagade djuren, gris och fjäderfå, och kan leda till överutfodring av protein med ökade förluster

av kväve som följd. Krav på utevistelse kan öka djurens foderbehov och således sänka produktions-effektiviteten.

Baserat på de livscykelanalyser som genomförts hittills går det inte att generellt avgöra om ekologisk animalieproduktion idag är mer eller mindre klimatbelastande än konventionell produktion⁹⁴. Det beror dels på att variationen mellan gårdar ofta är lika stora som de generella skillnaderna mellan ekologiskt och konventionellt. Dels beror det på att befintliga analyser endast i begränsad omfattning beaktat avskogning och kolinlagring i mark. Internationella studier av ekologisk fjäderfäproduktion tyder dock på en större klimatpåverkan än från konventionell fjäderfäproduktion, främst beroende på en lägre tillväxt under en längre uppfödningstid och således större foderförbrukning⁹⁵. En nyligen publicerad studie om klimatpåverkan från EUs animaliesektor som inkluderat både avskogningseffekter och kolinlagring rekommenderar en satsning på mer extensiva system för nötkreatursuppfödning med mindre kraftfoder i foderstaten på grund av de utsläpp som riskeras från avskogning som orsakas av ökad efterfrågan på kraftfoder. Man uppmuntrar speciellt till användning av gräsmarker och hagmarker som inte kan användas för annan livsmedelsproduktion⁹⁶.

Forskningsbehov

Mer forskning behövs kring hur optimala odlings-system kan utformas, både på ekologiska växtodlingsgårdar och på gårdar med kombinerad animalie- och växtproduktion. Speciellt behöver system som levererar mer vegetabilier för humanföda utvecklas. Det handlar dels om odlings-specifika frågor såsom förebyggande växtskydd och effektivt utnyttjande av kväve i odlings-system med stort inslag av baljväxter, inklusive ökad kunskap om nya baljväxtarter. Teknik för ogräsreglering behöver förbättras. Systemanalytisk forskning behöver stärkas för utvärdering av odlings-systemen ur både miljö-, resurs- och produktionsperspektiv.

Vidare behövs teknisk utveckling kring förädling av vegetabiliska råvaror till attraktiva livsmedel. Det behöver studeras hur en hållbar kosthållning som bygger på svenska ekologiska livsmedel kan se ut

och hur mycket animalieproduktion som är ”lagom” i Sverige och globalt för att nå de uppsatta miljömålen och samtidigt tillfredsställa de behov som finns av olika typer av livsmedel och energi.

Mer forskning behövs också kring hur animalieproduktionen kan ske med så små utsläpp av växthusgaser som möjligt. Dels krävs forskning kring lustgas från mark i foderproduktionen, metan och lustgas från gödsel samt metanutsläpp från idisslarna som beskrivits i avsnitten ”Lustgas från mark”, ”Metan från djurens matsmältning” och ”Lagring och spridning av stallgödsel”. Dels behövs forsk-

ning på systemnivå för att utforma animalieproduktionssystem som är kväveeffektiva, binder in maximalt med kol i mark och biomassa på lång sikt (se avsnitt ”Kol till och från mark”) och som inte är beroende av importerade fodermedel som riskerar att driva på avskogningen. Ett annat forskningsområde är hur lokala resurser som bete kan utnyttjas på bästa sätt och hur naturvård kan kombineras med effektiv produktion av kött och mjölk. Ytterligare tvärvetenskaplig forskning behövs kring produktionssystem där man förutom klimatpåverkan även beaktar andra miljömål liksom djurens välfärd.

Tänkvärt...

Är det kyckling man bör välja för minimerad klimatpåverkan? Att producera ett kg kycklingkött ger väsentligt lägre utsläpp av växthusgaser än produktion av ett kg nötkött. I dagens kycklingproduktion används dock spannmål och sojamjöl, livsmedel som kan konsumeras direkt av människor. Om idisslarnas grovfoder kommer från naturbetesmarker eller marginella åkermarksbeten som är olämpliga för annan odling, är det ett resurseffektivt sätt att producera kött på och kan också indirekt minska klimatpåverkan eftersom inte annan jordbruksmark behöver tas i anspråk för livsmedelsproduktion⁹⁷. På bördig jordbruksmark däremot kan det vara mer resurs- och klimateffektivt att producera vegetabilier för humankonsumtion eller foder för gris och fjäderfå, istället för grovfoder till idisslare. Då frigörs arealer som skulle kunna användas till att producera mer vegetabiliska livsmedel eller till exempel biogas från långliggande vall som lagrar in kol precis som i idisslarfallet. Ett annat sätt att nyttja mark som blir över är att anlägga våtmarker eller naturreservat. Att säkerställa att marken verkligen används till syften som gynnar klimatet eller den biologiska mångfalden kan dock vara svårt i en marknadsekonomi när konkurrensen om marken ökar.

Hög mjölkavkastning per ko och år kan innebära ökade växthusgasutsläpp för nötkött. Det kan

tyckas motsägelsefullt då den generella regeln när det gäller låga växthusgasutsläpp är hög avkastning och låga insatser. Förklaringen är att när mjölkavkastningen per ko ökar, minskar mängden kött som produceras eftersom färre kor behövs för att producera samma mängd mjölk. Om det uteblivna köttet ersätts med nötkött från dikoproduktion som har högre utsläpp än nötkött från mjölkproduktionen, vilket skett i Sverige, ökar utsläppen från nötköttet totalt sett⁹⁸.

Den ökade areal för gröngödsling som ekologisk produktion behöver jämfört med system som förlitar sig på mineralgödselkväve kritiserar ibland för att vara för markkrävande för att man globalt ska kunna producera tillräckligt med livsmedel för att föda en växande befolkning. I ett större perspektiv handlar det dock om vad vi väljer att odla; foder, livsmedel, energi för värme eller drivmedel, råvara till textilier eller alkohol, eller odling av kväve genom gröngödslingsgrödor. Idag odlas foder på 70 procent av den svenska åkermarken och 50–55 procent av den svenska spannmålen används som foder⁹⁹. Dessutom används jordbruksmark för en rad andra ändamål, såsom bostäder och industrier.

Konsumenter som köper mycket ekologiska livsmedel äter också ofta mindre kött, visar en studie från Danmark.¹⁰⁰



FOTO: ANNA WALLENBECK

Läs mer om...

... klimatpåverkan från animalieproduktion och konsumtion i Sverige

- Jordbruksverket. 2013. Hållbar köttkonsumtion. Vad är det? Hur når vi dit? Rapport 2013:1.
- Naturvårdsverket. 2011. Köttkonsumtionens klimatpåverkan. Rapport 6456.
- Cederberg, C. m. fl. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK Report No 793.

... miljöpåverkan från animalieproduktion i ett internationellt perspektiv

- Garnett, T., 2009. Livestock-related greenhouse gas emissions: impact and options for policy makers. *Environmental Science and Policy* 12, 491-503.
- Weidema, B.P., Wesnæs, M., Hermansen, J., Kristensen, T., Halberg, N., Editors: Eder, P., Delgado, L., 2008. Environmental Improvement Potentials of Meat and Dairy Products. Joint Research Center, European Commission. EUR 234 91 EN – 2008.
- Stienfeld, H. m. fl. 2006. Livestock's long shadow – environmental issues and options. FAO.

... djurlösa odlingssystem och biogas

- Jordbruksverket. 2005. Biogas ger energi till ekologiskt lantbruk. Jordbruksinformation 22 – 2005.
- Jensen, E. S., Peoples, M. B., Boddey, R. M., Gresshoff, P. M., Hauggaard-Nielsen, H., Alves, B., Morrison, M. 2011. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-011-0056-7.

... behovet av minskad köttkonsumtion

- Garnett, T. 2011. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy* 36, 23-32.
- Beddington, J., Asaduzzaman, M., Fernandez, A., Clark, M., Guillou, M., Jahn, M., Erda, L., Mamo, T., Van Bo, N., Nobre, C. A., Scholes, R., Sharma, R., Wakhungu, J. 2011. Achieving food security in the face of climate change: Summary for policy makers from the Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark.
- Foley, J.A. m. fl. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478,337–342.
- Foresight. The Future of Food and Farming (2011) Executive Summary. The Government Office for Science, London.

Bioenergiproduktion

Det finns flera skäl att samtidigt betrakta bioenergi och ekologisk produktion i klimatsammanhang. En fråga gäller användningen av marken – hur ska den bäst användas för att minska klimatpåverkan? Jordbruksmark kan avsättas till att odla mat, djurfoder, bioenergi eller biomaterial för annan användning. Den mest klimateffektiva användningen av mark är att låta skog växa, eftersom koldioxid tas upp och blir kvar. När skogen vuxit klart är det bästa för klimatet att avverka den så att ny skog kan växa. Det avverkade träet bör lagras, så att inte koldioxid frigörs vid nedbrytning eller förbränning. Men naturligtvis kan inte markanvändningen optimeras endast utifrån klimatpåverkan, marken behövs för att producera mat, och vi behöver energi som också kan produceras på åker eller i skog.

Ett annat perspektiv på bioenergi är att det ekologiska lantbruket bör bryta sitt fossilenergiberende¹⁰¹, och för traktorbränsle är biodrivmedel det

mest realistiska alternativet. En möjlighet är att det ekologiska jordbruket producerar sin egen bioenergi (se faktaruta sidorna 30–31).

Det finns många olika former av bioenergi, och produktionen kräver varierande mängd mark och insatsvaror. Påverkan på livsmedelsproduktionen och miljön, inte minst klimatet, varierar därför mycket för olika slags bioenergi. Principiellt kan man skilja på bioenergi som produceras från restprodukter och avfall, till exempel från halm, slaktavfall och gödsel, och således inte konkurrerar med livsmedelsproduktionen, och bioenergi som produceras från grödor som produceras på åkermark. Mycket systemforskning inom bioenergiområdet har visat att de mest energieffektiva och klimatsmarta produktionssystemen är de som använder jordbrukets restprodukter eller återför restprodukter till jordbruket, eftersom det inte innebär att någon mark tas i anspråk för bioenergiproduktionen. Ett sådant exempel är biogas från gödsel (se faktaruta sidorna 32–33).

Kunskapsläget

- Bioenergi innebär en klimatnytta eftersom den kan ersätta fossila bränslen, men klimatutsläpp uppstår också vid produktion av bioenergi. Att ersätta 1 kWh av fossil energi innebär en klimatnytta på cirka 360 g koldioxidkvivalenter. Växthusgasutsläppen i biobränslets hela produktionskedja får alltså inte överstiga detta värde om bioenergin totalt sett ska innebära en klimatnytta.
- Olika typer av bioenergiproduktion ger bränslen av olika mängder och kvaliteter. Om spannmål används till etanolproduktion, blir det cirka 13 MWh etanol per hektar och år, och cirka 9 MWh foder¹⁰². Då har i grova drag 3 MWh energi tillförts för att så, skörda, gödsla och torka grödorna och ytterligare 3 MWh energi för etanolproduktionen. Växthusgasutsläppen från spannmålsproduktionen ger cirka 80 g koldioxidkvivalenter per kWh etanol. Sammantaget för hela livscykeln ger etanol som säljs i Sverige idag cirka 20–50 procent så stora växthusgasutsläpp som bensen. Då har inte förändringar i markens kolinnehåll eller utsläpp på grund av förändrad markanvändning tagits med i beräkningen.
- Om vi odlar energiskog i form av salix på åkern så kan vi få ut minst 15 gånger mer energi i form av flis, än vad som gått åt för att odla och skörda salix¹⁰³. En hektar ger cirka 50 MWh biomassa per år. Det kan jämföras med att en hektar solceller i Mellansverige kan leverera cirka 1000 MWh el per år. Solceller är alltså mycket mer effektiva när det gäller att omvandla solenergi än vad växternas fotosyntes är. Dock är framställning av solceller energikrävande, men under sin livstid ger solceller cirka 4–15 gånger mer energi än vad som gått åt för att producera dem¹⁰⁴. Växthusgasutsläppen för produktion av el för solceller är ca 10–100 g koldioxidkvivalenter per kWh. Variationen beror på solcellstyp, produktionsätt, livslängd och solinstrålning. Växthusgasutsläppen för salixproduktion är cirka 20 g koldioxidkvivalenter per kWh¹⁰⁵. Om man tar med i beräkningen att kol lagras in i mark och växtdelar vid salixodling på svensk jord-

(KUNSKAPSLÄGET FORTSÄTTNING)

bruksmark så blir koldioxidutsläppen mindre än noll, men då har man inte tagit med hänsyn till att salixgrödan tränger undan annan produktion, vilket skulle ge högre utsläppsvärden (se kapitel "Förändrad markanvändning").

- Biobränslen står för mer än 100 TWh av Sveriges totala energianvändning på cirka 400 TWh per år. Det allra mesta är skogsbränsle och endast 1 TWh kommer från jordbruket (3 procent av åkermarken används för bioenergiproduktion). Potentialen för biogas från rötning av all gödsel i Sverige är cirka 4 TWh/år och från odlingsrester drygt 6 TWh/år¹⁰⁶. Om hela Sveriges åkermark används till bioenergiproduktion skulle detta ge 50–135 TWh, variationen beror av typ av energigröda och energisystem.
- Den globala skörden av livsmedelsgrödor är cirka 60 EJ/år¹⁰⁷, biobränslen (i huvudsak från skog) cirka 50 EJ/år och uttaget av träråvara cirka 15–20 EJ¹⁰⁸. Den årliga globala användningen av fossil energi är cirka 420 EJ. Att ersätta en stor andel av den globala fossilbränsleanvändningen med bioenergi skulle alltså ta en mycket stor del av marken i anspråk. Enligt de mest optimistiska prognoserna över biomassapotentialet är detta möjligt, men förutsätter att en stor andel av marken globalt används för

bioenergiplantager, vilket naturligtvis skulle få stora konsekvenser. Mängden restprodukter från jord och skogsbruk som kan användas för bioenergiändamål bedöms vara mellan 15 och 70 EJ per år.

- De flesta bioenergisystem ger en nettovinst i energi. Det finns system utomlands där det går åt nästan lika mycket fossil energi under produktionen som man får ut i form av biodrivmedel¹⁰⁹. I Sverige lönar sig inte sådana system ekonomiskt på grund av våra höga skatter på fossil energi.
- Andra generationens drivmedel innebär att man kan göra biodrivmedel av gräs, halm och vedartade växtdelar. Det innebär att man kan få ut mer biodrivmedel per hektar än med dagens produktion av etanol från spannmål, och således kan producera biodrivmedel med lägre klimatpåverkan.
- Uttag av halm som biobränsle ger en viss minskning av kolet i marken. Det har effekt på växthusgasbalansen, men totalt sett ger uttag av halm oftast en minskning av växthusgasutsläppen genom att halmen ersätter fossila bränslen.¹¹⁰ Att föra bort halmen kan dock ha negativa konsekvenser för markens bördighet och därmed för framtida produktionspotential.



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Ekologisk produktion och bioenergi

Bioenergi är förnybar energi som kan ersätta fossila energikällor. Det ekologiska lantbruket strävar efter att minimera användningen icke-förnybara resurser. Det finns möjlighet att försörja lantbruket med egenproducerad bioenergi (se mer i faktaruta sidorna 30–31). Gödsel är en energiresurs som kan rötas till biogas och som finns tillgänglig inom ekologisk animalieproduktion. Det är särskilt värdefullt att röta gödsel, eftersom det ger minskade utsläpp från gödseln (se vidare i faktaruta sidorna 32–33).

Biogas från rötning av vall innebär en möjlig ny inkomstkälla för ekologisk växtodling, samtidigt som vallen bidrar med kvävefixering och biogasproduktionen ger ett organiskt gödselmedel i form av rötrest (se mer i faktaruta sidorna 32–33). Detta är ett exempel på hur bioenergiproduktion kan integreras i växtföljden och bidra med andra mervärden än bara energi.

Ekologisk produktion ger ofta lägre avkastning än konventionell. Därigenom behövs mer mark för att producera mat, och mindre mark blir tillgänglig för att producera bioenergi. Den stora potentialen att frigöra mark till bioenergiproduktion finns dock genom en minskad konsumtion av animalieprodukter.

Forskningsbehov

System för integrerad produktion av livsmedel och bioenergi behöver studeras och utvecklas, och miljöeffekterna behöver mätas och utvärderas. Både avseende lustgasavgång och kolomsättning finns stora kunskapsbehov. Det finns potential för synergieffekter med andra miljömål, inte minst biologisk mångfald, genom bioenergiproduktion i jordbrukslandskapet, vilket behöver studeras i fält.¹¹¹ Att utvärdera klimatpåverkan från integrerad produktion av mat och bioenergi är komplicerat och en fortsatt metodutveckling behövs inom den systemanalytiska forskningen.



FOTO: KARIN ULLVÉN

Tänkvärt...

Kan vi vara säkra på att bioenergi som produceras ersätter fossila bränslen? Drivmedel för fordon domineras helt av fossila bränslen. Därför antar man normalt att biodrivmedel ersätter olja. För el är det inte lika enkelt¹¹². I Sverige produceras el främst med vattenkraft och kärnkraft och är därför nästan fossilfri. Men vi är sammankopplade med Europa, och den el som används på marginalen (när andra källor inte räcker till) är europeisk kolkraft. Därför anses ökande eller minskande elanvändning i Sverige bestå av kolkraft, som har höga koldioxidutsläpp¹¹³. Däremot påverkas produktion av förnybar el även av ekonomiska styrmedel (handel med elcertifikat), så ökad produktion av el från biobränslen kan göra att mindre vindkraft eller solceller installeras.

Köra bil eller äta kött? Att tillverka till exempel etanol av prima spannmål kan verka moraliskt tveksamt när många människor på jorden svälter. Dock används 50–55 procent av den svenska spannmålsskörden till djurfoder¹¹⁴ medan 10 procent används för etanolproduktion¹¹⁵.

Det pågår forskning och utveckling för att kunna producera mineralgödselkväve från förnybar energi istället för naturgas¹¹⁶. Det skulle möjliggöra ett minskat fossilberoende i produktionssystem där gödsling sker med industriellt fixerat mineralkväve. Kan en viss användning av fossilfritt mineralgödselkväve vara en möjlighet för ekologisk produktion framöver?



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Läs mer om...

...dagens och framtidens energianvändning

Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. 2007. Statens offentliga utredningar SOU 2007:36.
Energiläget 2012. Rapport ET 2012:34, Energimyndigheten, Eskilstuna.
Nordic Energy Technology Perspectives – Pathways to a Carbon Neutral Energy Future. 2013. International Energy Agency.

...klimatpåverkan från etanol och andra biobränslen

Cherubini, F. 2010. GHG balances of bioenergy systems – Overview of key steps in the production chain and methodological concerns *Renewable energy* 2010, 1565–1573.
Börjesson, P. 2009. Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective – What determines this? *Applied energy* 86, 589–594.

...prognoser för markanvändning

Hallström, E., Ahlgren, S., Börjesson, P. (2011) Challenges and opportunities for future production of food, feed and biofuel. A land use perspective, Report no 74. Department of Environmental and Energy System Studies, Faculty of Engineering, Lund University.

...fossilfritt jordbruk

Ahlgren, S. 2009. Crop production without fossil fuels. Doktorsavhandling, Institutionen för energi och teknik, SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 2009:78.
Kimming, M. 2011. Energy and greenhouse gas balance of decentralized energy supply systems based on organic agricultural biomass – a life cycle perspective. Licentiate thesis 028, Institutionen för energi och teknik, SLU.



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Förändrad markanvändning

Avskogningen är en stor källa till globala växthusgasutsläpp genom att kol bundet i träd och mark avges som koldioxid till atmosfären när marken omvandlas från skog till odlingsmark. Förändrad markanvändning bedöms också vara det största hotet mot förluster av biologisk mångfald under detta sekel. Avskogningen drivs dels av en efterfrågan på virke, dels av efterfrågan på mark, både av fattiga självförsörjande bönder och exporterande storjordbruk¹¹⁷. Kopplingen till den svenska jordbruksmarken är indirekt, den går alltså via tillgång och efterfrågan för mat, foder och bioenergi på världsmarknaden. Det innebär att om livsmedelsproduktionen på mark i Sverige minskar, så finns det en teoretisk, indirekt koppling till ökad avskogning någon annanstans i världen, men den är svår att spåra. En mer direkt koppling mellan det svenska jordbruket och markanvändningens förändring i andra delar av världen sker genom import av foder och palmolja.

Det pågår mycket forskning om klimatpåverkan från förändrad markanvändning men ännu finns

ingen samsyn i forskarsamhället, om hur man ska se på, eller beräkna denna påverkan. Frågan är mycket komplex, då den internationella handeln med jordbruksprodukter kräver ett globalt perspektiv. Forskningen drivs framförallt av frågor kring biodrivmedlens klimatpåverkan¹¹⁸, men eftersom mycket av dagens biodrivmedel produceras av livsmedelsgrödor har forskningsresultaten från bioenergiområdet direkt relevans för livsmedelsproduktion, både ekologisk och konventionell.

Omvandling från skog till åkermark är den mest extrema markanvändningsförändringen. Även mindre förändringar, som övergång från gräsmark till åkermark, eller förändrad grödstruktur inom jordbruket, kan betraktas som förändrad markanvändning och har effekter på växthusgasbalansen genom förändring av mängden kol i marken (se avsnitt ”Kol till och från mark”). I detta kapitel ligger fokus på globala samband och omvandling av skog till jordbruksmark, eftersom det har störst betydelse för utsläppen av växthusgaser.

Kunskapsläget

- Omvandling av skog, buskmarker och savanner till jordbruksmark sker globalt, och bidrar till cirka 10 procent av ökningen av växthusgaser i atmosfären¹¹⁹ genom att koldioxid avgår från växter som bränns eller bryts ner, samt från marken.
- Efterfrågan på livsmedel är den främsta drivkraften till förändrad markanvändning, men efterfrågan på bioenergi och timmer är också viktiga drivkrafter. Den livsmedelsproduktion som driver avskogning är dels storskalig produktion av soja och nötkött i Sydamerika samt palmolja i Sydostasien, dels småskaligt skiftesjordbruk¹²⁰.
- Det är svårt att avgöra hur en viss jordbruksproduktion i Sverige indirekt påverkar den globala markanvändningen och därmed utsläppen av växthusgaser. De högsta publicerade värdena för klimatpåverkan från markanvändning är mycket höga och om man använder dem blir arealbehovet den viktigaste faktorn vid beräkning av klimatpåverkan i både spannmåls- och animalieproduktion¹²¹ (se faktabox sidorna 54–55).
- För jämförelser mellan två produkter, där en orsakar låga direkta koldioxidutsläpp men kräver stor areal, och en annan som orsakar högre utsläpp men kräver mindre mark, finns ingen samsyn om vilken produkt som ger lägst klimatpåverkan. Det enda som är säkert är att de bästa systemen ut klimathänseende är de som både har låga direkta koldioxidutsläpp och litet markbehov.
- De globala växthusgasutsläppen på grund av avskogning har under den senaste 10-årsperioden minskat, speciellt i Sydamerika där kraftfulla åtgärder genomförts både politiskt och genom att internationella uppköpare slutat köpa soja från mark som nyligen avskogats. Mellan 2006 och 2011 möttes den ökade efterfrågan på soja främst genom ökade skördar och odling på mark som avskogades längre tillbaka i tiden¹²². Trots detta kan indirekta markförändringseffekter ha skett genom att boskap trängs undan av sojaodling och skog röjs för ny betesmark. Från och med 2011 ökade uppodlingen av ny jordbruksmark för sojaproduktion igen¹²³.

Ekologisk produktion och förändrad markanvändning

Ekologisk produktion ger ofta mindre avkastning än konventionell, vilket innebär att mer mark behövs för att odla samma mängd livsmedel. Ekologisk mjölkproduktion får generellt en större klimatpåverkan än konventionell om man beaktar de indirekta klimateffekterna av denna markanvändning¹²⁴. Det är dock inte uppenbart att det är lämpligt att räkna så för svenska ekologiska produkter, eftersom den odlade arealen i Sverige minskar i motsats till den globala trenden med en ökande jordbruksareal. Internationella analyser av markanvändningens klimatpåverkan utgår vanligtvis från den globala trenden med en hög och ökande efterfrågan på jordbruksmark. De är därför inte självklart tillämpbara på svensk jordbruksproduktion, eftersom vi här har en motsatt trend. Den svenska odlade arealen har minskat under lång tid och det finns inga tydliga tecken på förändring. Det är

oklart om det kommer att fortsätta så, eller om det blir en förändring när världens ökande befolkning och ökade välstånd driver en ökad efterfrågan på livsmedel och därmed på jordbruksmark.

Forskningsbehov

Klimatpåverkan från markanvändning och förändrad markanvändning har hittills sällan beaktats vid livscykelberäkningar av livsmedel. Flera olika metoder har presenterats på senare år och allt fler menar att detta måste beaktas för en fullständig utvärdering av klimatpåverkan. Därför behöver det utredas vilka metoder och modeller för beräkning av markanvändningens klimatpåverkan som ger användbara resultat. Det är också viktigt att utreda hur utsläppen från olika svenska jordbruksystem påverkas av hur de indirekta utsläppen genom förändrad markanvändning beräknas. Särskilt intressant är att analysera effekterna av att den svenska jordbruksarealen minskar.



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

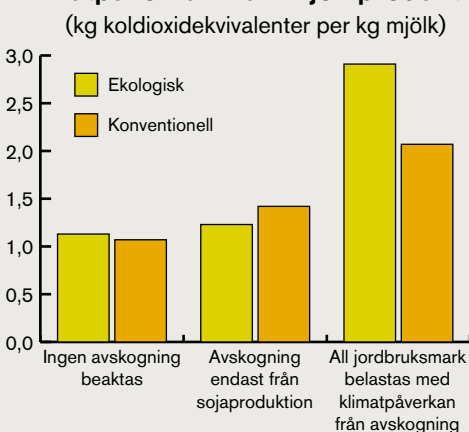
Fakta: Att beräkna klimatpåverkan från avskogning

Klart är att omvandling av skog till jordbruksmark leder till stora utsläpp av växthusgaser. Däremot är det oklart hur dessa utsläpp ska fördelas på de produkter som produceras på den globala jordbruksmarken. Flera olika metoder som ger mycket skiftande resultat finns publicerade. Till exempel visar livscykelanalysberäkningar att den totala klimatpåverkan från svensk ekologisk mjölk kan variera mellan 1,1 och 2,9 kg koldioxidkvalenter per liter mjölk (Figur 16), beroende på vilken metod som väljs för markanvändningens klimatpåverkan (även klimatavtrycket för konventionell mjölk varierade mycket)¹²⁵. Det saknas en samsyn kring hur klimateffekter från avskogningen ska fördelas, och det blir i slutändan något av en etisk fråga som handlar om vem som bär ansvaret för avskogningen och hur handeln på världsmarknaden driver på efterfrågan på ny mark.

Grödor på nyligen avskogad mark får bära ansvaret

Ett sätt att bokföra växthusgasutsläppen från skogsavverkning är att följa utvecklingen lokalt inom ett visst markområde. Man låter då effekterna av avskogningen belasta den odling som sedan sker på

Klimatpåverkan från mjölkproduktion



Figur 16. Den beräknade klimatpåverkan från produktion av svensk mjölk varierar stort beroende på hur klimatpåverkan från skogsavverkning beräknas. Vänster: skogsavverkning beaktas ej. Mitten: endast skogsavverkning på grund av sojaodling i Brasilien tas med och belastar endast sojagrödan (system som använder mer soja får högre utsläpp). Höger: Klimatpåverkan från all världens avskogning fördelas på all världens jordbruksmark. Varje hektar mark som används i mjölkproduktionen bidrar således med utsläpp från avskogning (system som använder mer mark generellt får högre utsläpp).¹²⁵

den mark där skog avverkas. Efterföljande grödor belastas då med växthusgasbördan från avskogningen som fördelas över ett antal år¹²⁶ (Figur 17).

Det är dock inte självklart över vilken tidsperiod utsläppen ska fördelas. Växthusgasutsläppen från avskogningen blir oftast mycket stora med detta sätt att räkna, och överskuggar alla andra utsläpp av växthusgaser från produktionen, till exempel lustgas från mark och koldioxid från förbränning av diesel.

Grödor från länder där avskogning sker får bära ansvaret

En vidgning av detta synsätt är att välja en politisk gräns, till exempel en region eller ett land, och låta all produktion av en gröda i det landet bära sin andel av växthusgasutsläppen från nyligen avverkad mark i landet¹²⁷ (Figur 18). Detta synsätt har använts i flera systemanalyser som pekat ut till exempel sojan från Brasilien eller palmoljan från Malaysia som särskilt problematisk. Den teoretiska grunden för denna avgränsning är svag då en geografisk gräns kan betraktas som godtycklig. Användningen av en geografisk gräns motiveras framförallt av att den fördelar ansvar till en part som har möjlighet att påverka. På den nationella nivån kan man utkräva politiskt ansvar för markanvändning och avskogning.

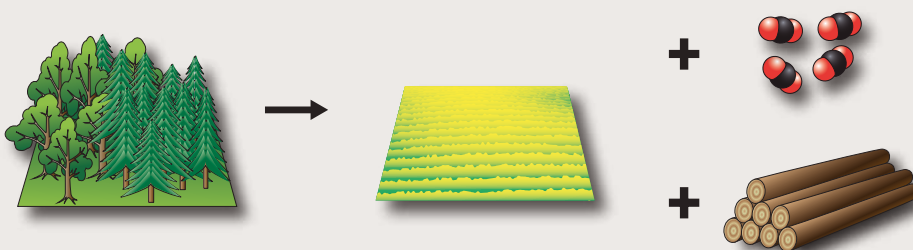
All markanvändning driver avskogning

En annan metod är att fördela bördan av all jordens avskogning på all markanvändning på jordklotet¹²⁸ (Figur 19). Då belastas alla produkter som produceras på jordbruksmark i världen under ett år med växthusgasutsläpp från den globala avskogningen som sker det året.

Ekonomiska modeller

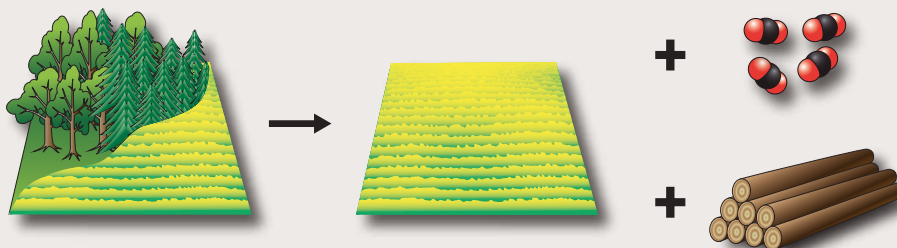
En ytterligare metod är att försöka spåra förändrad markanvändning med hjälp av ekonomiska modeller. Om man till exempel minskar odlingen av vete i Sverige, så påverkar det (teoretiskt) det globala vetepriiset, vilket kommer att påverka producenter i olika delar av världen till att intensifiera odlingen av vete eller snarlika grödor, eller att odla upp ny odlingsmark. Med globala och regionala ekonomiska jämviktsmodeller beräknas hur och var produktionen förändras, och därefter kan växthusgasutsläppen från dessa förändringar beräknas. Denna metod har använts mycket i analys av biodrivmedelsproduktion under de senaste åren, och olika modeller och antaganden

ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012



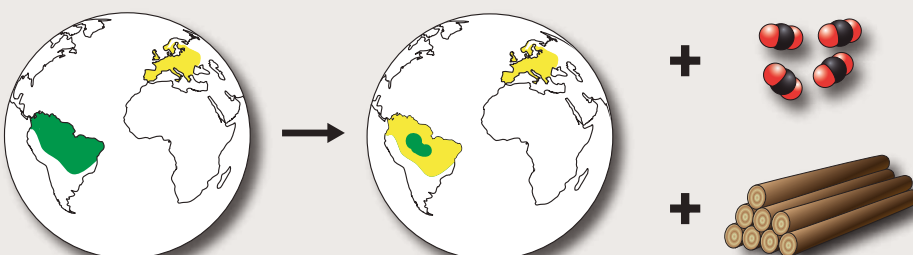
Figur 17. Grödor på nyligen avskogad mark får bära ansvaret. De koldioxidutsläpp som sker när skog avverkas fördelas mellan timret och de grödor som odlas på marken under ett visst antal år framöver.

ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012



Figur 18. Grödor från länder där avskogning sker får bära ansvaret. Växthusgasutsläppen från odling i hela det land där avskogning sker fördelas på alla eller vissa grödor från det landet.

ILLUSTRATION: © F. STENDAHL 2012



Figur 19. Växthusgasbördan av all jordens avskogning fördelas på all markanvändning på jordklotet. Eftersom det finns en global handel med jordbruksvaror och en ökande efterfrågan på jordbruksprodukter så kan man se det som att all användning av jordbruksmark har del i ansvaret för den avskogning som sker globalt.

har gett väldigt skiftande resultat. Vissa studier visar på att biobränslen bidrar till minskad avskogning eftersom restprodukterna från biobränsletillverkningen kan ersätta soja som fodermedel, medan andra studier visar på kraftigt ökade utsläpp på grund av att odling av biobränselråvara driver avskogning¹²⁹.

Soja särskilt problematiskt

Världens ökande köttkonsumtion innebär en ökad efterfrågan på soja som proteinfoder. En stor del av sojaodlingen sker i Brasilien där mycket ny jordbruksmark har brutits för sojaodling. Stora utsläpp av koldioxid sker när regnskog eller buskmarker avverkas eller gräsmarker odlas upp. Inom ekologisk produktion i Sverige används ekologisk soja som importerar från Italien och Argentina och denna sojaproduktion är inte direkt förknippad med avskogning. Det finns

dock risk för indirekta markförändringseffekter då Italien importerar mycket konventionellt odlad soja från Sydamerika, vilket de inte i lika stor utsträckning skulle behöva göra om de inte exporterade den ekologiska sojan som de själva producerar¹³⁰. Odling av egna proteingrödor på svenska gårdar är positivt av många anledningar, till exempel ökar möjligheterna för ett bättre kretslopp av växtnäring och mer varierade växtföljder. Men även i detta fall måste man beakta indirekta markförändringseffekter. Var och hur ska grödan som ersätts av de inhemska proteingrödorna odlas? Så länge det finns bra jordbruksmark i Sverige som inte utnyttjas är kopplingen till skogsskövling i Sydamerika långsökt, men det kan bli betydelsefullt i ett längre tidsperspektiv. Hänsyn måste också tas till hur marken som tas i bruk annars skulle ha använts och hur kolförrådet då skulle ha påverkats.

Tänkvärt

I de flesta systemanalyser utgår man från ett nuläge som referensalternativ. Detta är ibland uttalat, ibland underförstått. Det innebär att dagens produktion får ta ansvar för den avskogning och annan markanvändningsförändring som sker idag, medan historisk avskogning inte beaktas. Men det finns alternativa sätt. Ett är att betrakta allt jordbruk som en avvikelse från ett naturtillstånd, som i vår del av världen skulle vara skog. Då innebär ett års produktion på befintlig jordbruksmark att man skjuter återbeskogning av jordbruksmarken ett år framåt, vilket blir en koldioxidskuld som belastar dagens odling. Med det synsättet kan man på ett mer rättvisande sätt väga avskogning på ett ställe mot återbeskogning på ett annat¹³¹.

Att betrakta ekologiskt som randvillkor. Om all jordbruksmark, eller en stor del, skulle odlas ekologiskt och brytning av ny jordbruksmark stoppas¹³², så finns en naturlig gräns för hur mycket som kan produceras och vi skulle få anpassa vår konsumtion till denna gräns. Utsläppen från jordbrukssektorn skulle minska totalt, den biologiska mångfalden gynnas och kemikalieanvändningen minskar.

Även markens förmåga att reflektera solljus, dess albedo, påverkar klimatet. Om markanvändningen förändras så att ljuset reflekteras mer eller mindre, så kan det ha lika stor betydelse som utsläppen av växthusgaser från odlingen. Särskilt stor påverkan har det om grödan påverkar snötäcket, eftersom snö reflekterar solljuset medan barmark absorberar det och återsänder värmestrålning¹³³.

Läs mer om ...

...markanvändning och biodrivmedel

Ahlgren, S., Börjesson, P. 2011. Indirekt förändrad markanvändning och biodrivmedel- en kunskapsöversikt. Rapport nr. 73. Institutionen för teknik och samhälle. Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.

from land use change – critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production* 28, 134–142.

...hur olika sätt att betrakta markanvändning påverkar växthusgasbalansen

Flysjö A., Cederberg C., Henriksson M., Ledgarde S. 2012. The interaction between milk and beef production and emissions

...drivkrafter bakom avskogning

Boucher, D. m. fl. 2011. The Root of the Problem: What's driving tropical deforestation today?. Union of Concerned Scientists. www.ucsusa.org/whatsdrivingdeforestation.

Samhällets växtnäring i kretslopp

De växtnäringsämnen som lämnar jordbruket hamnar så småningom i våra soppsåsar och toaletter. Idag återförs denna växtnäring inte i någon större utsträckning till åkermarken¹³⁴. Istället orsakar växtnäringsförlusterna stora kostnader och har stor miljöpåverkan, särskilt genom övergödning. En annan form av miljöpåverkan är genom utsläpp av växthusgaser, som uppstår vid transport, behandling och lagring av avfall och avloppsvatten. Dessa växthusgaser kan betraktas som indirekta utsläpp från jordbruket, eftersom de uppstår i slutet av jordbruksprodukternas livscykel.

Växtnäring förs bort från åkermarken genom produktion av livsmedel och genom att växtnäring förloras till luft och vatten genom naturliga processer. För att säkerställa markens bördighet behöver bortförsliden av växtnäring kompenseras med en tillförsel till åkermarken. Kväve kan tillföras genom kvävefixerande grödor men det tar mycket mark i anspråk. Alltså behöver även kväve tillsammans med övriga växtnäringsämnen som finns i begränsad

mängd återanvändas effektivt. Om jordbruket använde växtnäringen från matavfall och humangödsel skulle en del av den negativa klimatpåverkan som orsakas av dagens avfalls- och avloppshantering kunna undvikas. Dessutom skulle klimatpåverkan från produktion av mineralgödselkväve minska. Samtidigt skulle nya risker behöva hanteras, framför allt olika föroreningar i gödselprodukter från avfall.

I de allra flesta livscykelanalyser av livsmedel beaktas inte den del av livscykeln som ligger efter konsumtionen. Detta har ingen betydelse vid jämförelser mellan olika sätt att producera samma livsmedel, eftersom livsmedelen har samma avfalls- och avloppshantering. Den forskning som gjorts tyder på att avfalls- och avloppshantering står för en mycket liten del av livsmedelskedjans samlade utsläpp av växthusgaser¹³⁵. Avloppshantering står dock för en stor del av de övergödande utsläppen, drygt 30 procent av kväveutsläppen till havet och fosforutsläppen till vatten¹³⁶.

Kunskapsläget

- Samhällets restprodukter hanteras på ett mer eller mindre klimatbelastande sätt i Sverige.
 - ◆ Restprodukter från livsmedelsindustrin används mycket kostnads- och resurseffektivt idag. En stor andel används som djurfoder inom konventionell djurhållning eller till sällskapsdjur¹³⁷.
 - ◆ Överbliven mat från livsmedelsbutiker transporteras till viss del tillbaka till livsmedelsindustrin och deras restprodukthantering. Resten hanteras som annat matavfall i den kommunala avfallshanteringen. Att undvika svinn ger mycket mindre klimatbelastning än att bara återanvända maten som växtnäring eller djurfoder.
 - ◆ Matavfall från hushåll, restauranger och storkök behandlas i ökande grad biologiskt genom rötning eller kompostering. Det är en behandling som ger betydligt lägre klimatpåverkan än deponering, som var vanligt till för 5–10 år sedan. Rötning av matavfall för biogasproduktion är ur klimatsynpunkt ungefär likvärdigt med förbränning för utvinning av energi¹³⁸. Kompost är likvärdigt ur klimatsynpunkt om komposten ersätter torv som odlingssubstrat¹³⁹. Rötrest från matavfall är ett värdefullt gödselmedel för ekologisk produktion och det innehåller en hög andel växttillgängligt kväve.
 - ◆ Källsorterat toalettavfall, urin och fekalier var för sig eller blandat, är en betydligt renare produkt än avloppsslam från reningsverk. Urin innehåller höga halter av växttillgängligt kväve.
- Avloppsreningsverk är energikrävande, framförallt i form av el till pumpning av stora mängder vatten. Kväverening är särskilt energikrävande.
- Utsläpp av metan och lustgas sker vid lagring och spridning av slam från avloppsreningsverk¹⁴⁰. I Sverige rötas en stor andel av slammet, vilket innebär att biogas tas om hand. Vid efterföljande hantering av rötslammet finns risk för avgång av metan och lustgas. På samma sätt kan metan utvinnas vid rötning av källsorterat avfall, men det finns alltid en risk för metanavgång i senare hantering.
- Vid kompostering av avfall bildas metan och lustgas. Mängderna från en välkött matavfallskompost är små men inte försumbara¹⁴¹. Transporter i alla led av avfalls- och avloppshantering kräver fossil energi som orsakar växthusgasutsläpp.
- Beräkningar av climateffekter vid användning av samhällets restprodukter i jordbruket är beroende av de antaganden som görs om samhället i övrigt, till exempel vilka de alternativa användningsområdena för restprodukten är och climateffekterna från dessa. Därför kan olika systemstudier ge motstridiga resultat. Sammantaget kan dock konstateras att det finns stora vinster med att skapa bra system för att återföra växtnäring till jordbruket, speciellt vad gäller att minska övergödningen, men det kan även finnas klimatvinster. Några exempel:
 - ◆ Genom att sortera ut urin så att reningsverk får ett mindre kväverikt avloppsvatten minskar behovet av kväverening, vilket innebär minskat elbehov och minskat behov av att bygga ut reningsverken när städer växer. Detta ger indirekta klimatvinster.
 - ◆ När kväve i avloppsvatten renas bort i reningsverk så omvandlas 1–2 procent till lustgas¹⁴². Av det kväve som inte renas bort, utan blir kvar i utgående vatten, blir en mindre del till lustgas i vattendragen. Om urin källsorteras i hushållen och används i jordbruket så slipper man dessa utsläpp. Samtidigt kan urin ersätta andra klimatbelastande kvävekällor i lantbruket.
- Kompost och rötrest innehåller stabilt organiskt kol som kan bidra till inlagring av kol i jordbruksmark (se avsnitt ”Kol till och från mark”).

Ekologisk produktion och samhällets växtnäring

Inom ekologisk produktion finns behov av lokalt anpassade kretsloppssystem som kan leverera användbara gödselmedel. Genom att använda mer av samhällets restprodukter som växtnäringsskälla skulle det ekologiska lantbruket också bidra till minskad klimatpåverkan från avlopps- och avfallshanteringen. Ekologisk produktion bygger på varierade växtföljder med inslag av kvävefixerande grödor. Ofta är kväve det som begränsar skördenivån. Genom att exempelvis samrota växtmaterial från dessa kvävefixerande grödor tillsammans med källsorterat organiskt avfall från samhället blir en större andel av kvävet i växtmaterialet växttillgängligt vilket kan ge ett högre växtnäring utnyttjande i förhållande till om växtmaterialet brukas ner direkt. Gödselmedel med stor andel växttillgängligt kväve är ofta en bristvara i ekologisk produktion, speciellt på växtodlingsgårdar som inte har tillgång till flytgödsel, och dessa gödselmedel kan bidra till högre skördar på dessa gårdar. Även källsorterade avloppsfractioner som urin skulle kunna ha en liknande funktion.

Forskningsbehov

Det finns ett behov av systemstudier som beaktar effekterna av förändringar i ekologiskt jordbruk vid användning av källsorterade avlopps- eller avfallsprodukter. Då grödan gödslas med växtnäring kan effekterna vara både kort- och långsiktiga och därför behöver ett helt växtföljdsförlopp ofta beaktas. Det behövs även forskning under nordiska odlingsbetingelser för att utreda hur växttillgängligt kväve från urin och rötrest bäst används inom ekologisk odling för att öka skördarna med minimala kväve- och fosforförluster, och samtidigt stärka markens bördighet långsiktigt.

För att möjliggöra användning av källsorterade avloppsfractioner inom ekologisk odling behövs forskning kring risker och attityder. Det är angeläget att undersöka hur urin och fekalier kan behandlas för att bli tillräckligt säkra för användning inom ekologisk produktion. Slutligen behöver det också utredas vilka hinder och möjligheter det finns för att få acceptans för användning av human gödsel inom ekologisk produktion i EU.



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Tänkvärt

Ätbar mat som blir avfall innebär att stora utsläpp av växthusgaser skett helt i onödan. Även om matavfallet rötas till biogas är det alltid bättre att se till att inga matrester uppstår genom bra planering och lagom stora portioner.

Läs mer om...

...växtnäringsskretslopp och ekologiskt lantbruk

Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. och Jönsson, H. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning, Centrum för hålligt lantbruk, SLU.

...samhällets organiska avfall

Jönsson, H. m. fl. 2003. Samhällets organiska avfall – en resurs i kretsloppet. Fakta Jordbruk, SLU.

...användning av toalettavfall i jordbruket

Tidåker, P. 2007. Integrating Farming and Wastewater Management. A system perspective. Doktorsavhandling, SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2007:85.

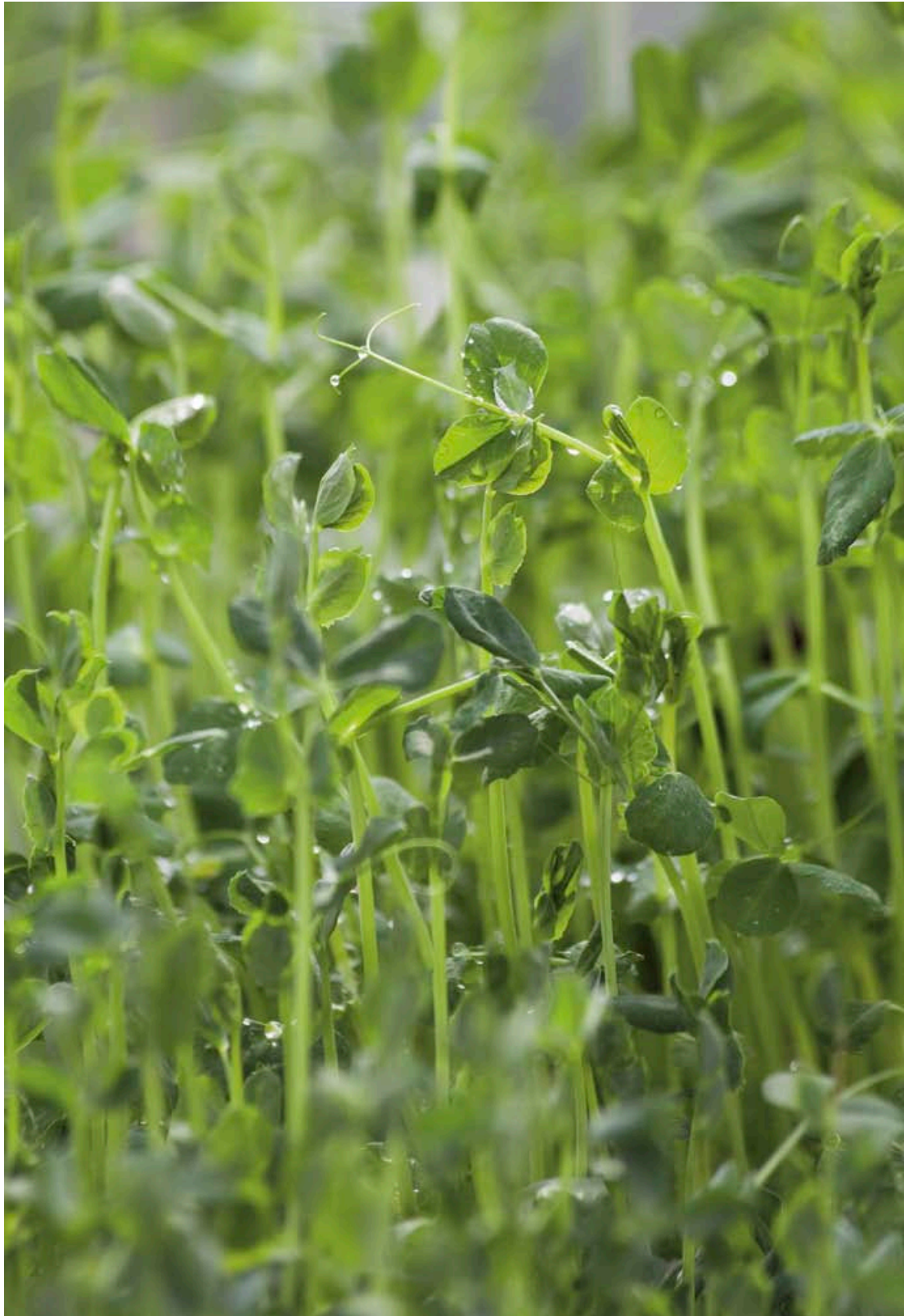


FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

Slutsatser och diskussion

Ekologisk produktion med minskad klimatpåverkan

För att hejda klimatpåverkan krävs stora utsläppsminskningar inom en snar framtid. Alla sektorer måste bidra. Jordbruket har möjlighet att förutom att minska sina egna utsläpp även bidra till övriga samhällets omställning genom produktion av bioenergi. Många av det ekologiska jordbrukets klimatutmaningar är gemensamma för alla typer av jordbruk. Men ekologisk produktion bygger på ett antal principer som tar sig uttryck i ett regelverk, vilket dessutom skapar specifika förutsättningar för det ekologiska jordbrukets möjligheter att minska sina växthusgasutsläpp. Nedan sammanfattas viktiga områden när det gäller klimatpåverkan från ekologiskt jordbruk.

Ökad kväveeffektivitet

Lustgasutsläppen från mark uppstår ur biologiska processer när det finns växttillgängligt kväve i marken. Kväve tillförs jordbruket i stora mängder genom gödsling, foderimport, kvävefixerade växter och atmosfäriskt nedfall. Förluster av kväve orsakar både klimatpåverkan och övergödning. Ekologiska gårdar har generellt ett lägre kväveöverskott per hektar (tillfört kväve minus kväve som förs bort i animalier och vegetabilier) än konventionella gårdar, men kväveeffektiviteten (kg bortfört kväve per kg tillfört kväve) ligger oftast på samma nivå (mjölkgårdar) eller lägre (växtodlingsgårdar)¹⁴³. Lägre kväveöverskott leder till mindre risk för lustgasutsläpp per hektar, men risken för lustgasutsläpp per kg gröda är kopplad till kväveeffektiviteten.

Ökad kväveeffektivitet är en mycket viktig fråga att arbeta med i det ekologiska jordbruket för minskade lustgasutsläpp.

Högre avkastning

Minskad klimatpåverkan per kg livsmedelsprodukt handlar mycket om ökad effektivitet, det vill säga stor avkastning i förhållande till använda resurser, speciellt mark och kväve. Klimatpåverkan från ekologiska produkter kan minskas genom att avkastningen ökas, så att utsläppen per hektar kan fördelas på en större mängd produkter. Görs detta genom förbättrad kväveeffektivitet, är klimatnyttan dubbel eftersom även risken för lustgasutsläpp minskar. Ökas avkastningen genom strukturförändringar, till exempel större fält, förändrade växtföljder, eller genom mer ogräsfria grödor, finns risk för att det ekologiska jordbrukets positiva effekter på biologisk mångfald minskar¹⁴⁴. Om djuren producerar mycket för att de är friska, är det positivt för både djuren och klimatet. Däremot kan en ökad intensitet i animalieproduktionen innebära försämringar i djurvälståndet. Att minska svinnet i alla led är också mycket viktigt eftersom livsmedel som produceras men aldrig äts upp bidrar till klimatpåverkan helt i onödan.

Åtgärder för ökad avkastning och lägre svinn inom den ekologiska produktionen är viktiga för minskad klimatpåverkan per kg produkt. Stor avkastning tack vare hög kväveeffektivitet innebär dubbel klimatnytta, medan vissa avkastningshöjande åtgärder riskerar att försämra biologisk mångfald och djurvälstånd.

Mer kol i marken

Ekologiskt odlade jordar innehåller generellt mer kol än konventionellt brukade jordar¹⁴⁵. Det beror på större andel vall i ekologisk produktion och större användning av stallgödsel. Det är positivt att det ekologiska jordbruket nyttjar konventionell stallgödsel och andra organiska gödselmedel med ursprung i det konventionella jordbruket om detta minskar den totala kvävegödslingen på de konven-

tionella gårdarna. Men stallgödseln skulle ha bidragit till kolinlagring även på de konventionella gårdarna så frågan är om det ekologiska jordbruket kan tillskrivas denna fördel. För att behålla och lagra in kol i jordbruksmarken är det dock bra med de regler som finns inom ekologisk produktion som kräver vallodling och en hög andel grovfoder till idisslare.

Mycket vallodling inom det ekologiska jordbruket bidrar till att bevara och lagra in kol i jordbruksmark och på så sätt minska klimatpåverkan. Det krävs dock en mycket stor inlagring för att kompensera för idisslarnas växthusgasutsläpp. Om en del av vallskörden används till bioenergi blir klimatnyttan stor.

Resurseffektiva system

Växthusgasutsläppen från energianvändningen inom jordbruket är små, både i förhållande till utsläppen från den totala energisektorn och i förhållande till de totala växthusgasutsläppen från jordbruket. Jordbruket kan bli självförsörjande på energi utan att betydande arealer behöver avsättas för energiproduktion. Även det ekologiska jordbruket kan bidra till samhällets energiförsörjning, och således minskade växthusgasutsläpp, genom olika typer av bioenergiproduktion. Biogastillverkning från gödsel innebär dubbel klimatnytta genom att de klimatbelastande utsläppen från

gödselhanteringen minskar och förnybar energi produceras. Bioenergi från grödor som odlas på åkermark konkurrerar med odlingen av foder och mat. Ekologiskt jordbruk kräver oftast större arealer än det konventionella jordbruket för att producera samma mängd livsmedel eller energi eftersom skördenivåerna generellt är lägre och areal även behöver avsättas för att fixera kväve. Trenden för areal brukad mark i Sverige är nedåtgående, men det bryts ny jordbruksmark i andra länder med mycket stora växthusgasutsläpp och förluster av biologisk mångfald som följd.

Forskning och utveckling krävs för att designa produktionssystem som producerar nyttigheter för samhället med minskade krav på mark och andra begränsade resurser. Användningen av lokala resurser såsom betesmark, lokala fodergrödor, rest- och avfallsprodukter och spillvärme bör optimeras för att minska trycket på odlingsmark globalt.

Mer vegetabiliska livsmedel

Metan från idisslarnas matsmältning och lustgas från marken orsakad av kvävegödsling utgör jordbrukets största källor till växthusgasutsläpp. Det svenska ekologiska jordbruket är idag dominerat av animalieproduktion baserat på idisslare. Metanutsläppen kan minskas genom effektiva produktions-



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

system med väl anpassade foderstater och där friska djur producerar och växer bra. Om det ekologiska jordbruket även kan producera mer vegetabiliska livsmedel (och även gris och kyckling med inhemskt foder) kan den som vill äta svensk ekologisk mat minska sin klimatpåverkan väsentligt, då växthusgasutsläppen är betydligt lägre för vegetabiliska än animaliska livsmedel.

Ekologisk produktion av nya och gamla grödor för humankonsumtion i olika produktionssystem (utan djur och med djur i mixade system som producerar både animaliska och vegetabiliska livsmedel) behöver utvecklas. Rötning av gödsel, vall och organiskt avfall till biogas kan vara ett sätt att förbättra växtnäringförsörjningen i system med vegetabilieproduktion samtidigt som de producerar förnybar energi och således minskar klimatpåverkan från energianvändning.

Ekologisk och konventionell produktion – plus och minus för klimatet

Generella slutsatser om klimatpåverkan när det gäller jämförelser mellan ekologisk och konventionell produktion är mycket svåra att göra och har inte varit syftet med denna kunskapssyntes. Men mycket förenklat kan kunskapsläget för produktionssystemen under svenska förhållanden idag sammanfattas så här:

1. Klimatpåverkan per hektar – fördel eko.
2. Klimatpåverkan per kg produkt – mycket stor variation för olika produkter men i stort oavgjort.
3. Klimatpåverkan per kg produkt med kolinlagring beaktad under förutsättning att kolet stannar i marken – fördel ekologiskt för animalieprodukter, oklart för vegetabilier.
4. Klimatpåverkan per kg produkt med hänsyn tagen till hur mycket mark som används och att bioenergi som ersätter fossila bränslen produceras på mark som blir över – fördel konventionellt.

Relativt mycket forskning finns kring jämförelser enligt punkt 1 och 2 och dessa resultat bedöms som tåmligen säkra¹⁴⁶. Få studier finns dock kring punkt

3 och 4 och jämförelser blir mycket mer komplexa så dessa slutsatser ska tillämpas med stor försiktighet. Potential för kolinlagring varierar stort mellan olika marker så där är det mycket svårt att uttala sig generellt.

Markanvändning påverkar klimatet och mycket annat

Bara för att mark för bioenergiödling teoretiskt blir över i en jämförelse mellan extensiv och intensiv produktion betyder inte det att den marken i praktiken kommer att användas till bioenergi. Det avgörs av styrmedel och råvarupriser på den globala marknaden. Det är heller inte alltid resurseffektivast att odla bioenergi på bra jordbruksmark som kan användas för livsmedelsproduktion. Är vetepri-serna höga kommer mer vete att produceras om marken lämpar sig för det. Globalt producerades år 2010 livsmedel motsvarande ett energiinnehåll på 5 300 kcal per person och dag¹⁴⁷. Det är uppenbart att det finns tillräckligt med mat för att föda hela jordens befolkning om förlusterna och svinnet minskar och fördelningen av livsmedel blir mer rättvis. Köttkonsumtionen i Sverige har ökat med 50 procent sedan 1990 och konsumtionen av kött och mejeriprodukter ligger idag över vad som rekommenderas ur hälsosynpunkt¹⁴⁸. Med en minskad animaliekonsumtion i västvärlden och minskat svinn finns det utrymme för både bioenergi och extensivt jordbruk. Dock är ett effektivt nyttjande av marken mycket viktigt för minskad klimatpåverkan, inte minst för att hejda vidare avskogning. Huruvida extensiv odling kan motiveras beror således på hur den kan anses driva avskogning och vilka andra mervärden den extensiva odlingen levererar. Följande frågeställningar är exempel på ytterligare naturvetenskapliga aspekter utöver klimat som måste beaktas vid utformningen av ett hållbart jordbrukssystem:

- Ett extensivt jordbruk utan bekämpningsmedel gynnar den biologiska mångfalden och minskar spridningen av naturfrämmande ämnen i miljön, medan ett jordbruk med höga avkastningsnivåer och effektivt kväveutnyttjande kan leverera produkter med lägre klimatpåverkan. Finns en gyllene medelväg eller är en samexistens av båda systemen att föredra?

- Markens långsiktiga bördighet är en viktig hållbarhetsfråga. Hur påverkas den av kort- och långsiktiga insatser för att minska klimatpåverkan?
- Klimatoptimerade system för animalieproduktion påverkar djurhållningen. Hur mår djuren i dessa system?
- Priset på fossila bränslen och andra råvaror stiger. Hur kan produktionen anpassas till en minskad tillgång på fossila bränslen och andra ändliga råvaror?
- Jordbruksmark är en ändlig resurs. I framtiden ökar kraven på att marken ska producera inte bara mat åt en växande befolkning utan även energi och andra råvaror. Vilka system kan optimalt utnyttja lokala resurser såsom betesmark (som inte är lämplig som åkermark) och restprodukter?
- Odlingsförutsättningarna i Sverige och globalt förändras i och med en ökad temperatur. Hur påverkas jordbruket av ett framtida förändrat klimat, och hur designas robusta system som tål oväntade förändringar?

Utmaningar på vägen mot minskad klimatpåverkan

Det går att teoretiskt optimera markanvändningen för minskad miljö- och klimatpåverkan med hjälp av systemanalytiska studier. Systemanalytiska modeller innebär alltid en förenkling och alla aspekter kan inte studeras i en och samma studie. Vissa aspekter såsom klimatpåverkan kan, om än med stor osäkerhet, beräknas, medan det för andra områden kan vara mycket komplicerat att beräkna påverkan kvantitativt. Ett sådant exempel är biologisk mångfald ur ett globalt perspektiv där både påverkan på land och i hav inkluderas. Osäkerheten i systemstudier ökar med ökad komplexitet, men beräkningarna ger värdefull kunskap om storleksordningar och mönster när det gäller hur olika produktionssystem påverkar miljön. Utan att räkna finns stor risk för suboptimering. Det finns till exempel en utbredd föreställning att transportererna och användning av traktordiesel är det som mest bidrar till klimatpåverkan från livsmedel. Rent intuitivt kan det verka logiskt eftersom transportsektorn totalt sett bidrar mycket till växthusgasutsläppen. Men livscykelanalyser på livsmedel har visat att transportererna

ofta utgör en mindre del och att de största utsläppen av växthusgaser uppstår i primärproduktionen.

Det krävs en målbild av det hållbara jordbruket för att arbetet mot målet ska ske effektivt och utan allt för många omvägar. För att ta fram en sådan krävs mer systemanalytisk forskning för att utvärdera hållbarheten i olika typer av jordbrukssystem. Utmaningarna vi står inför är dock inte bara naturvetenskapliga. Mycket kunskap och teknik finns för att minska växthusgasutsläppen idag, men ekonomiska och sociala faktorer hindrar en bred tillämpning. Den naturvetenskapliga forskningen behöver integreras med och kompletteras av forskning inom samhällsvetenskap. För att framgångsrikt arbeta med minskad klimatpåverkan av den svenska livsmedelskonsumtionen och för att staka ut en väg mot ett hållbart jordbruk behövs också en värdebaserad diskussion kring vad den svenska jordbruksmarken ska användas till, kring individens vilja, ansvar och förutsättningar att klimatanpassa sin livsmedelskonsumtion till en hållbar nivå och vilken plats ekologisk produktion ska fylla i ett framtida jordbruk.

Idag finns inga produktionsmål i Sverige och en stor del av livsmedlen importeras. Då ett produktionsmål saknas, är det svårt att veta om en förändring av det svenska jordbruket mot minskad klimatpåverkan leder till en total minskning av utsläppen från livsmedelskonsumtionen. Om importen av livsmedel som producerats på ett klimatbelastande sätt ökar är inget vunnet. Vad ska den svenska jordbruksmarken användas till? Foder, livsmedel för humankonsumtion, energi, fibrer, hästgårdar, köpcentrum eller villaområden? Finns ett moraliskt ansvar och ett behov ur beredskapsperspektiv att se till att marken används för livsmedelsproduktion så det räcker till den svenska befolkningen? Eller bör Sverige i framtiden vara en nettoexportör av livsmedel när klimatförändringen försämrar förutsättningarna för jordbruk på andra platser på jorden? Är det rimligt att utfodra djur med spannmål och proteinfoder som kan ätas av människor? Hur mycket och vilken typ av energi kan produceras på jordbruksmark?

Vilken roll ska det ekologiska jordbruket fylla i framtiden? Svaret på den frågan avgör i viss mån



FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

hur det ekologiska jordbruket måste utvecklas mot ökad hållbarhet. Om det ekologiska jordbruket ska ha en framträdande roll i stor skala och utvecklas till framtidens hållbara jordbruk är det viktigt att växtnäringsförsörjningen kan upprätthållas utan ett beroende av näringsämnen i form av stallgödsel och restprodukter från det konventionella jordbruket. För klimatets skull är det viktigt att detta sker med mycket små förluster av kväve. Samtidigt måste då det ekologiska jordbruket kunna leverera mer än mjölk och kött då en klimatanpassad kosthållning i större utsträckning baseras på vegetabilier. Om det ekologiska jordbruket ska fortsätta att vara en mindre produktionsgren blir inte näringsförsörjningen lika kritisk så länge det finns ett överskott i det konventionella jordbruket som det ekologiska jordbruket kan utnyttja. Vissa produkter kan då också produceras ekologiskt och andra konventionellt. Det angelägna för mänsklighetens välbefinnande på jorden är att tillräcklig mängd mat pro-

duceras, att utsläppen från jordbruket i stort blir så små som möjligt och att den biologiska mångfalden upprätthålls. Hur kan ekologisk och konventionell produktion optimeras med hänsyn tagen till både miljö och produktion, tillsammans eller var för sig?

Många nya frågor ställs i detta avslutande kapitel, varav många är gemensamma för både ekologiskt och konventionellt jordbruk. Forskning pågår inom många områden men det behövs också en ökad dialog, en diskussion kring etiska aspekter och större grad av tvärvetenskapliga forskningsansatser. Samtidigt bokstavligen brinner det i knutarna för att hejda den negativa klimatpåverkan. Vi måste också agera på den kunskap som finns nu. Förhoppningsvis har denna skrift bidragit till att formulera vad vi faktiskt har goda belägg för, och hjälpt till att belysa vad som fortfarande är osäkert.

Författarnas reflektioner

Att arbeta med detta syntesarbete har varit utmanande, spännande och lärorikt. Utgångspunkten har varit att beskriva kunskapsläget och peka på forskningsbehov. Vi har konstaterat att vi vet mycket och att mycket är oklart. Särskilt när det gäller kunskap på den höga systemnivå som krävs för att beakta både direkta och indirekta effekter av att bedriva ekologisk produktion behövs mer kunskap.

När det gäller att avgöra vilken kunskap som är tillräckligt belagd för att fungera som utgångspunkt för att agera blir det en avvägning som främst handlar om vilka risker man är beredd att ta och en värdering av olika mål. Går det att motivera något högre utsläpp av växthusgaser från ett ekologiskt jordbruk med tanke på fördelarna inom andra områden? Svaret på den frågan beror i stor utsträckning på hur mycket större utsläppen är och hur stora övriga fördelar är. Vi kan ställa oss frågan; hur extensivt kan vi tillåta oss att odla marken? Eller är en intensiv odling att föredra för att den ”sparar” mark? Hur kan vi i så fall säkerställa att den sparade marken används på ett klimat- och miljöfrämjande sätt? Svaret på den frågan ligger delvis i vilka produkter och tjänster vi vill ha ut av marken på kort och lång sikt; vegetabilier, kött, mjölk, energi, ekosystemtjänster, vackra landskap. Listan kan göras lång.

Principiellt kan man som konsument minska klimatpåverkan från sin livsmedelskonsumtion på två olika sätt. Antingen kan varor som producerats på ett sätt med minskade växthusgasutsläpp väljas, till exempel mjölk som producerats på en gård med biogasanläggning. Eller så kan en annan vara med liknande funktion, men med mindre klimatbelastande produktion, konsumeras, till exempel havredryck istället för mjölk från kor. Både produktionsförbättringar och ändrade konsumtionsmönster krävs för att nå klimatmålen. Är konsumenten villig att minska andelen klimatbelastande produkter i sin

kosthållning blir mer mark och utsläppsutrymme ”över” för mer extensiv produktion med andra fördelar som exempelvis minskad kemikalieanvändning, ökad biologisk mångfald och bättre djurvälstånd eller för ökad produktion av bioenergi. Men vilka krav kan ställas på konsumenter att göra dessa större förändringar i sin kosthållning? Individens fria val, och kanske alldeles särskilt när det gäller att välja vad man äter, är viktigt. Men om individens fria val skadar vår gemensamma framtid kan man argumentera för att politikerna måste agera för kollektivets bästa. Kanske kan information och en livlig debatt om livsmedlens klimatpåverkan bana väg för en acceptans av politiska styrmedel som styr kosthållningen i en hållbar riktning?

Ekologiskt lantbruk har ett mycket stort förtroende att förvalta. Konsumenter av ekologiska produkter betalar ett merpris för dessa varor, och förväntar sig ett mervärde i form av bland annat minskad miljöpåverkan. Det kan dock konstateras att en konsument i dagsläget snarare ska välja ekologisk mat av andra skäl än viljan att minska sin klimatpåverkan. För en radikalt minskad klimatpåverkan är det viktigaste att inte äta för mycket, inte slänga mat och äta en mindre mängd animalieprodukter.

För att på allvar mildra jordens uppvärmning behöver vi lyfta blicken och tänka nytt, och inte fastna i en jämförelse mellan dagens ekologiska och konventionella jordbrukssystem när vi kan konstatera att inget av dessa system är bra nog. Men vi måste beakta vad en satsning nu på dessa system leder till. Styr en satsning på det ekologiska jordbruket i rätt riktning? Kanske är det viktigaste skälet att som konsument välja ekologiskt att det möjliggör fortsatt forskning och praktisk utveckling av ett alternativt jordbrukssystem som försöker minska behovet av resurskrävande insatsmedel och nyttja lokala resurser. I så fall är det mycket viktigt att för-

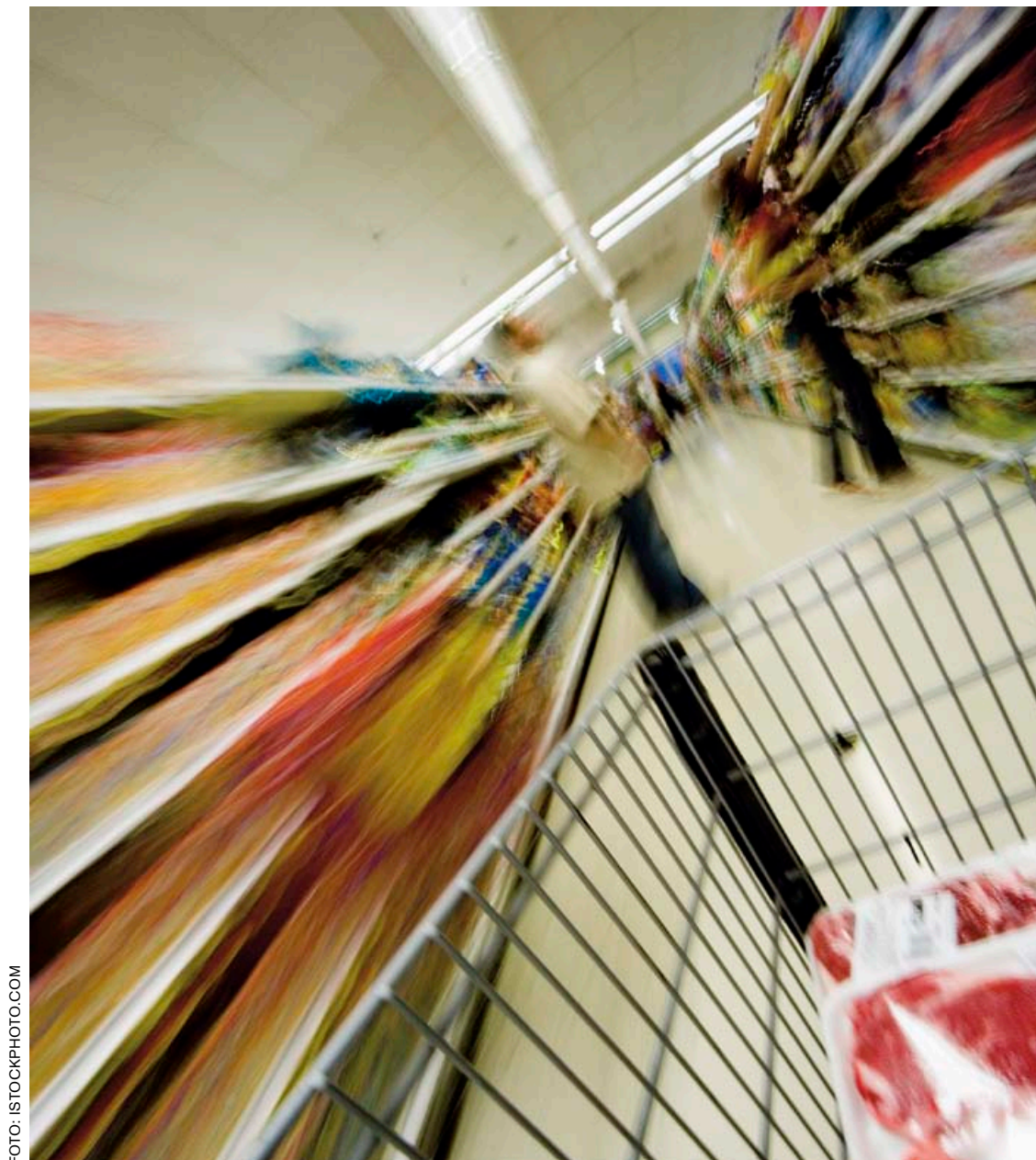


FOTO: ISTOCKPHOTO.COM

valta detta förtroende på bästa sätt och se till att den forskning som bedrivs ger kunskap som kan vägleda både vilka åtgärder som kan genomföras här och nu och vilka större strukturella förändringar som krävs för att uppnå de långsiktiga målen om minskad klimatpåverkan.

Vi har i denna skrift fokuserat på naturvetenskapliga, tekniska och systemanalytiska aspekter när det

gäller klimatpåverkan från jordbruket. För att uppnå en hållbar livsmedelsproduktion behövs också kunskap om ekonomiska och sociala aspekter, vilket inte rymts inom detta arbete. Detta kan vara nog så viktigt, med tanke på vilka dilemman och svåra vägval som behöver hanteras om vi ska kunna förändra jordbruksproduktionen och livsmedelskonsumtionen för att nå målen om begränsad klimatpåverkan.

Slutnoter och referenser

- 1 För en aktuell jämförelse av klimatpåverkan från ekologisk och konventionell produktion, se Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830 2011.
- 2 www.greppa.nu
- 3 www.klimatmarkningen.se
- 4 "Global Warming Potentials". Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- 5 IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 6 <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetssmalen/Begransad-klimatpaverkan/Precisering-av-Begransad-klimatpaverkan/#>
- World Bank. 2012. Turn down the heat – why a 4 °C warmer world must be avoided.
- 7 Naturvårdsverket. 2008. Konsumtionens klimatpåverkan. Rapport 5903.
- 8 Angervall, T., Sonesson, U., Ziegler, F., Cederberg, C. 2008. Mat och klimat. En sammanfattning om matens klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv. SIK-rapport Nr 776 2008.
- 9 Jordbruksverket. 2009. Hållbar konsumtion av jordbruksvaror – hur påverkas klimat och miljö av olika matvanor? Rapport 2009:20.
- 10 EU-kommissionen. 2011. Färdplan för ett konkurrenskraftigt utsläppsnått samhälle 2050. KOM(2011) 112.
- 11 Jordbruksverket. 2012. Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Rapport 2012:35.
- 12 Jordbruksverket. 2013. Hållbar köttkonsumtion. Vad är det? Hur når vi dit? Rapport 2013:1.
- 13 SCB, Jordbruksverket, Naturvårdsverket och LRF. 2012. Hållbarhet i svenskt jordbruk.
- 14 Rodhe, L. m. fl. 2012. Växthusgasutsläpp från stallgödsel. Litteraturgenomgång och modellberäkningar. JTI rapport 402.
- Jenssen, E.S. m. fl. 2011. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 329–364.
- 15 http://www.yara.com/doc/29413_Yara_carbon_life_cycle.pdf
- 16 Neumann, A., Torstensson, G. & Aronsson, H. 2011. Losses of nitrogen and phosphorus via the drainage system from organic crop rotations with and without livestock on a clay soil in southwest Sweden. *Organic Agriculture*. 1: 217–229.
- Jenssen, E.S. m. fl. 2011. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 329–364.
- 17 Scialabba, E-H. N. & Muller-Lindenlauf, M. 2010. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 25(2); 158–169.
- 18 Rodhe, L. m. fl. 2012. Växthusgasutsläpp från stallgödsel. Litteraturgenomgång och modellberäkningar. JTI rapport 402.
- 19 Philippot, L. & Hallin, S. 2011. Towards food, feed and energy crops mitigating climate change. *Trends in Plant Science*, Volume 16, Issue 9, 476–480.
- 20 IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- 21 Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. 2007. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 11191–11205.
- Smith K. A., Mosier A. R., Crutzen P. J. and Winiwarter W. 2012. The role of N₂O derived from biofuels, and from agriculture in general, in Earth's climate *Phil. Trans. R. Soc. B* 367 1169–74.
- Davidson, E. A. 2009 The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860 *Nature Geosci.* 2 659–62.
- 22 Wivstad, M. m. fl. 2009. Ekologisk produktion – Möjligheter att minska övergödningen. CUL, SLU.
- 23 Davidson, E. A. 2012. Representative concentration pathways and mitigation scenarios for nitrous oxide. *Environ. Res. Lett.* 7 024005.
- 24 Danielsson, R. 2009. Metanproduktion hos mjölkkor utfodrade med hög andel grovfoder. Examensarbete 282. Institutionen för husdjurens utfodring och vård. SLU. http://stud.epsilon.slu.se/370/1/danielsson_r_090709.pdf.
- 25 Smältbar energi är den energi som är kvar i djuret efter att en viss mängd av energin i fodret följt med ut i träcken.
- 26 Eckard, R. J., Grainger, C., de Klein, C. A. M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, 130: 47–56.
- 27 Danielsson, R. 2009. Metanproduktion hos mjölkkor utfodrade med hög andel grovfoder. Examensarbete 282. Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU. http://stud.epsilon.slu.se/370/1/danielsson_r_090709.pdf.

- 28 Berglund, M., Cederberg, C., Clason, C., Henriksson, M. och Törner L. 2009. Jordbrukets klimatpåverkan - underlag för att beräkna växthusgasutsläpp på gårdsnivå och nulägesanalyser av exempelgårdar. Delrapport i JoKER-projektet. Mars 2009. Hushållningssällskapet Halland.
- 29 Powlson, D. S., Whitmore, A. P., and Goulding K. W. T. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*. 62, 42–55.
- 30 Berglund, Ö. 2011. Greenhouse gas emissions from cultivated peat soils in Sweden. Doktorsavhandling, Institutionen för mark och miljö, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae 2011:2.
- 31 Se avsnittet "Lustgas från mark" i denna rapport.
- 32 Etana A., Håkansson, I., Zagal, E., Bucas, S. 1999. Effects of tillage on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. *Soil & Tillage Research* 52, 129–139.
- Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., Griffis, T.J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 1–5.
- 33 Leifeld, J. and Fuhrer, J. 2010. Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? *AMBIO* 39, 58–599.
- 34 Cederberg, C., 2009. Hur har miljöersättningen till ekologisk produktion påverkat växthusgasutsläppen från det svenska jordbrukssystemet? Institutet för livsmedel och bioteknik, SIK, Jordbruksverket, diarienummer: 26-6026/09.
- 35 Andrén, O., Kätterer T. 1997. ICBM - the introductory carbon balance model for exploration of soil carbon balances. *Ecol. Appl.* 7, 1226-1236.
- 36 Kimming, M., Sundberg, C., Nordberg, A., Baky, A., Bernesson, S., Norén, O. m. fl. 2011. Life cycle assessment of energy self-sufficiency systems based on agricultural residues for organic arable farms. *Bioresource Technology*. 102(2) 1425-32.
- 37 Smith, P. m. fl. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363: 789-813.
- 38 Bolinder, M. A., Kätterer, T., Andrén, O., Ericson, L., Parent, L-E., Kirchmann, H. 2010. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63-64o N). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 335–342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.009>
- 39 Leifeld, J. and Fuhrer, J. 2010. Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? *AMBIO* 39, 58–599.
- 40 Karlton, E. m. fl. 2010. Inlagring av kol i betesmark. Jordbruksverket, Rapport 2010:25.
- 41 Soussana, J. F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C. m. fl., 2007. Full accounting of greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget for nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121, 121–134.
- 42 Kätterer, T., Andersson, L., Andren, O., Persson, J. 2008. Long-term impact of chronosequential land use change on soil carbon stocks on a Swedish farm. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81, 145–155.
- 43 Cederberg, C., Darelus, K. 2000. Livscykelanalys (LCA) av nötkött – en studie av olika produktionsformer. Naturresursforum, Landstinget Halland.
- 44 Smith, P., D. Martino, Z. Cai, m. fl. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 27, 363 no. 1492 789–813. (doi:10.1098/rstb.2007.2184).
- 45 Kumm, K-I. 2011. Den svenska kött- och mjölkproduktionens inverkan på biologisk mångfald och klimat – skillnader mellan betesbaserade och kraftfoderbaserade system. Rapport 2011:21. Jordbruksverket.
- 46 Etana, A., Håkansson, I., Zagal, E., Bucas, S. 1999. Effects of tillage on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. *Soil & Tillage Research* 52, 129-139
- 47 Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., Griffis, T. J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 1-5.
- 48 SCB, Jordbruksverket, Naturvårdsverket och LRF. 2012. Hållbarhet i svenskt jordbruk.
- 49 SCB. 2012. Gödselmedel i jordbruket 2010/11 Mineral- och stallgödsel till olika grödor samt hantering och lagring av stallgödsel. MI 30 SM 1203.
- 50 Rodhe, L. m. fl. 2008. Växthusgasemissioner från lager med nötflytgödsel. JTI rapport 370.
- 51 Rodhe, L. m. fl. 2006. Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. *Soil Use and Management*, 22, 229–23.
- 52 Rodhe, L. m. fl. 2008. Växthusgasemissioner från lager med nötflytgödsel. JTI rapport 370.
- 53 IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- 54 Rodhe, L. m. fl. 2012. Växthusgaser från stallgödsel. Rapport nr 403 JTI.
- 55 Rodhe, L. m. fl. 2012. Växthusgaser från stallgödsel. Rapport nr 402 JTI.
- 56 Masse m. fl. 2008. Methane emissions from manure storage. *Transactions of the ASABE*. Vol. 51(5), 1775–1781.
- 57 Den direkta energianvändningen står för cirka 7 % av jordbrukets växthusgasutsläpp. Källa: Jordbruksverket 2008, Hur påverkar jordbruket klimatet? <http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Jordbruksstod/ovr163.pdf>.
- 58 Då ingår dock inte indirekt markanvändning, se avsnitt "Livsmedelsproduktion".
- 59 Direktiv 2009/28/EG, Hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränsle. Faktablad från energimyndigheten, ET2011:30
- 60 Jordbruksverket 2010. Energikartläggning av de areella näringarna. Rapport 2010:16.
- 61 Baky, A. m. fl. 2010. Kartläggning av jordbrukets energianvändning. Ett projekt utfört på uppdrag av Jordbruksverket. Uppdragsrapport, JTI, Uppsala.

- 62 Boverket, 2009. Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden
- 63 Ahlgren, S. 2009. Crop production without fossil fuels. Doktorsavhandling, Institutionen för energi och teknik, SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2009:78.
- 64 Jordbruksverket 2012. Biogastraktorer – marknadsförutsättningar för nya arbetsmaskiner med metandieseldrift. Rapport 2012:5.
- 65 Sundberg, C., Svensson, R., Johansson, M. 2011. Lönsamhet för småskalig biobränslebaserad kraftvärme. Rapport 033. Institutionen för energi och teknik, SLU.
- 66 Larsson, G. 2012. Hybridisering av mobila maskiner – översikt över teknikläget samt drivkrafter och begränsningar för framtida utveckling. Rapport 043, Institutionen för energi och teknik, SLU.
- 67 Gomiero, T., Paoletti, M. G., Pimentel, D. 2008. Energy and Environmental Issues in Organic and Conventional Agriculture. *Critical Reviews in plant Sciences*, 27:4, 239-254
- Halberg, N., Dalgaard, R., Olesen, J. E., Dalgaard, T. 2008. Energy self-reliance, net-energy production and GHG emissions in Danish organic cash crop farms. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(1), 30–37
- 68 Jordbruksverket. 2012. Energianvändning i växthus 2011. Statistikrapport 2012:05.
- 69 Ahlgren, S. 2009. Crop production without fossil fuels. Doktorsavhandling, institutionen för energi och teknik, SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2009:78.
- Kimming, M. 2011. Energy and greenhouse gas balance of decentralized energy supply systems based on organic agricultural biomass – a life cycle perspective. Licentiate thesis 028, institutionen för energi och teknik, SLU.
- 70 Ahlgren, S. 2009. Crop production without fossil fuels. Doktorsavhandling, institutionen för energi och teknik, SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2009:78
- 71 Sundberg, C., Kimming, M., Nordberg, Å., Baky, A., Hansson, P-A. 2012. Organic farming without fossil fuels – LCA of energy self-sufficiency. 143-148. Proceedings 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 1-4 Oct 2012.
- 72 Jordbruksverket 2012. Biogastraktorer – marknadsförutsättningar för nya arbetsmaskiner med metandieseldrift. Rapport 5.
- 73 Linné, M., Ekstrand, A., Engellsson, R., Persson, E., Björnsson, L. och Lantz, M. 2008. Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. BioMil AB, Lund.
- 74 Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830.
- 75 Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830.
- 76 Wivstad, M. m. fl. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning Centrum för uthålligt lantbruk, SLU.
- 77 Dock gäller det att se upp med den kombinerade produktionen av mjölk och kött inom mjölkproduktionen. Ökad mjölkavkastning ger mindre kött. Om denna köttminskning ersätts med kött från dikoproduktion ökar utsläppen från mjölken och köttet totalt sett.
- 78 Wivstad, M. m. fl. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning Centrum för uthålligt lantbruk, SLU.
- 79 RTOACC. 2011. Organic agriculture and climate change mitigation. FAO.
- 80 Cederberg, C. m. fl. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK-rapport nr 793.
- 81 Röös, E. 2012. Mat-klimat-listan. Version 1.0. Rapport 040. Institutionen för energi och teknik. SLU.
- 82 Weslien, P., Rutting, T., Kasimir-Klemedtsson, Å. & Klemedtsson, L. 2012. Carrot cropping on organic soil is a hotspot for nitrous oxide emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 94: 249-253.
- 83 de Vries, M., & de Boer, I. J. M. 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128, 1–11.
- 84 de Vries, M., & de Boer, I. J. M. 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128, 1–11.
- 85 Cederberg, C. m. fl. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK Report No 793.
- 86 Röös, E. 2012. Mat-klimat-listan. Version 1.0. Rapport 040. Institutionen för energi och teknik. SLU.
- 87 Flysjö, A. m. fl. 2008. LCA-databas för konventionella fodermedel. SIK-rapport 772.
- 88 Röös, E. m. fl. 2013. Can carbon footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? *Ecological indicators*. Volume 24, Pages 573–581.
- 89 Naturvårdsverket. 2011. Köttkonsumtionens klimatpåverkan Drivkrafter och styrmedel. Rapport 6456.
- 90 Beddington, J. m. fl. 2011. Achieving food security in the face of climate change: Summary for policy makers from the Commission on Sustainable Agriculture and Climate Change. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark.
- Foley, J. A. m. fl. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478,337–342.
- Foresight. The Future of Food and Farming (2011) Executive Summary. The Government Office for Science, London.
- 91 Avel med för ensidigt fokus på produktionsegenskaper (t.ex. mjölkproduktion hos kor och tillväxt hos grisar) kan leda till försämring i funktionella egenskaper (t.ex. hälsa och fruktsamhet). Ett annat exempel där djurvälståndet riskerar att försämrats är när djur hålls i trånga och ostimulerade miljöer. I dessa miljöer utvecklar djuren ofta stereotypa (tvångsmässiga beteenden så som tunggrullning hos kalvar) eller oönskade skadliga beteenden (t.ex. fjäderplockning hos värphöns och svansbitning hos gris).
- 92 Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830 2011
- 93 Halberg, N., Hermansen, J.E., Kristensen, I.S., Eriksen, J., Tvedegaard, N., Petersen, B.M., 2010. Impact of organic pig production systems on CO₂ emission, C sequestration and nitrate pollution. *Agron Sustain Dev*. 30, 721–731

- 94 Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830 2011
- 95 Leinonen, I. m. fl. 2012. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. *Poult Sci. Jan* 91(1), 8–25.
- Da Silva, V. P. m. fl. 2010. LCA of French and Brazilian broiler poultry production systems, 7th International Conference on Food LCA.
- 96 Bellarby, J. m. fl. 2012. Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Global Change Biology*, 19:1, 3–18.
- 97 De Boer, I. J. M., Cederberg, C., Eady, S., Gollnow, S., Kristensen, T., Macleod, M., Meul, M., Nemecek, T., Phong, L.T., Thoma, G., van der Werf, H. M. G., Williams, A. G., Zonderland-Tomassen, M. A. 2011. Greenhouse gas mitigation in animal production: towards an integrated life cycle sustainability assessment. *Current opinion in environmental sustainability* 3, 423–431
- Garnett, T. 2009. Livestock – related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Environmental science and policy* 12:491–503.
- 98 Cederberg, C. m. fl. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK Report No 793.
- 99 Cederberg, C. m. fl. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK Report No 793.
- 100 Jensen, K. m. fl. 2008. Hvorfor køber forbrugerne økologi? ICROFS. ISBN 978-87-991343-6-6
- 101 Alternativ energi för lantbruket beskrevs i avsnittet "Energi-användning".
- 102 Paulsson, P. 2007. Energianalys av etanolproduktion; en fallstudie av Lantmännen Agroetanol's produktionssystem i Norrköping. Examensarbete 2007:03, Institutionen för biometri och teknik, SLU.
- 103 Djomo, S. N., Kasmoui, O. E. and Ceulemans, R. 2011, Energy and greenhouse gas balance of bioenergy production from poplar and willow: a review. *GCB Bioenergy*, 3, 181–197.
- 104 Sherwani, A.F, Usmani, J.A., Varun, 2010. Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 540–544.
- 105 Ericsson, N., Porsö, C., Ahlgren, S., Nordberg, Å., Sundberg, C., Hansson P-A. 2013. Time dependent climate impact of a bioenergy system – methodology development and application to Swedish conditions. *Global change Biology Bioenergy*.
- 106 Linné, M. m. fl. 2008. Den svenska biogaspotentialen från inhemska restprodukter. BioMil AB, Lund.
- 107 1 EJ = 278 TWh.
- 108 Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y. m. fl. (Ed) 2012. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- 109 Wang, M. m. fl. 2007. Life cycle energy and greenhouse gas emission impacts of different corn ethanol plant types. *Environmental Research Letters* 2, 024001.
- 110 Kimming, M. m. fl. 2011. Life cycle assessment of energy self-sufficiency systems based on agricultural residues for organic arable farms. *Bioresource Technology* 102(2), 1425–1432.
- 111 Helldin, J-O., Lennartsson, T. & Emanuelsson, U. 2010. Biologisk mångfald och bioenergi i odlingslandskapet – en kunskapssammanställning. CBM/SLU, Uppsala.
- 112 Cherubini, F. 2010. GHG balances of bioenergy systems – Overview of key steps in the production chain and methodological concerns. *Renewable Energy* 35(7), 1565–1573.
- 113 Gode, J. m. fl. 2009. Miljövärdering av el ur systemperspektiv – en vägledning för hållbar utveckling. IVL Svenska miljöinstitutet, Rapport B1882.
- 114 Cederberg, C. m. fl. 2009. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs 1990 and 2005. SIK-report no 793.
- 115 SCB, Jordbruksverket, Naturvårdsverket och LRF. Hållbarhet i svenskt jordbruk 2012.
- 116 Ahlgren, S., A. Baky, m. fl. 2008. Ammonium nitrate fertiliser production based on biomass – Environmental effects from a life cycle perspective. *Bioresource Technology* 99(17): 8034-8041.
- 117 Boucher, D. m. fl. 2011. The Root of the Problem: What's driving tropical deforestation today?. Union of Concerned Scientists. www.ucsusa.org/whatsdrivingdeforestation.
- 118 Ahlgren, S., Börjesson, P. 2011. Indirekt förändrad markanvändning och biodrivmedel- en kunskapsöversikt. Rapport nr. 73. Institutionen för teknik och samhälle Avdelningen för miljö- och energisystem, Lunds tekniska högskola.
- 119 Nettoavskogningen står för ca 10 % av de globala koldioxidutsläppen och 7–8 % om man tar hänsyn till alla växthusgaser. Global Carbon Project (2011) Carbon budget and trends 2010. [www.globalcarbonproject.org/carbonbudget] released on 4 December 2011.
- 120 Boucher, D. m. fl. 2011. The Root of the Problem: What's driving tropical deforestation today?. Union of Concerned Scientists. www.ucsusa.org/whatsdrivingdeforestation.
- 121 Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgarde, S. 2012. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change – critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production* 28, 134–142.
- 122 Macedo, M. N. m. fl. 2012 Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. *PNAS* 109, 4, 1341–1346.
- 123 Swedwatch. 2012. Mera soja mindre mångfald. En granskning av sojaimporten från Brasilien. Uppföljningsrapport #48.
- 124 Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgarde, S. 2012. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change – critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production* 28, 134–142.

- 125 Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgarde, S. 2012. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change – critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production* 28, 134–142.
- 126 Ahlgren, S., Börjesson, P. 2011. Indirekt förändrad markanvändning och biodrivmedel- en kunskapsöversikt. Rapport nr. 73. Institutionen för teknik och samhälle Avdelningen för miljö - och energisystem, Lunds tekniska högskola.
- 127 Meul, M., Ginneberge, C, VanMiddelaaar C. E., deBoer I. J. M., Fremaut, D., Haesaert, G. 2012. Carbon footprint of five pig diets using three land use change accounting methods *Livestock Science* 149, 215–223.
- Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgarde, S., 2012. The interaction between milk and beef production and emissions from land use change – critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. *Journal of Cleaner Production* 28, 134-142.
- 128 Schmidt, J.H., Reinhard, J., Weidema, B. m. fl., 2011. A model of indirect land use change. *Proceedings LCA Food 2012*, p.245-251. <http://colloque4.inra.fr/lcafood2012>.
- 129 Ahlgren, S., Börjesson, P. 2011. Indirekt förändrad markanvändning och biodrivmedel- en kunskapsöversikt. Rapport nr. 73. Institutionen för teknik och samhälle, Avdelningen för miljö - och energisystem, Lunds tekniska högskola.
- Klöverpris m. fl., 2010. Life cycle inventory modelling of land use induced by crop consumption. *Int. J. Life Cycle Assess*, 15, 90–103.
- 130 Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830 2011.
- 131 Müller-Wenk, R., Brandão, M. 2010. Climatic impact of land use in LCA—carbon transfers between vegetation/soil and air. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 172–182.
- Schmidinger, K. and Stehfest, E., 2012. Including CO₂ implications of land occupation in LCAs – method and example for livestock products. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), 962–972.
- 132 Avskogningen i Brasilien avtog under åren 2006–2011 p.g.a. lagstiftning och andra kraftfulla åtgärder (se not 115).
- 133 Bright, R. M., Strømman, A. H., Peters, G. P. 2011. Radiative forcing impacts of boreal forest biofuels: a scenario study for Norway in light of albedo. *Environmental Science and Technology* 45(17), 7570–80.
- 134 Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. och Jönsson, H. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning. Centrum för uthålligt lantbruk, SLU.
- 135 Munoz, I., Canals L.M.I. and Clift R. 2008. Consider a Spherical Man – A Simple Model to Include Human Excretion in Life Cycle Assessment of Food Products. *Journal of Industrial Ecology*, 12(4), 521–538.
- Munoz, I., Canals L.M.I. and Fernandez-Alba A.R. 2010. Life cycle assessment of the average Spanish diet including human excretion. *International Journal of Life Cycle Assessment* 15(8), 794–805.
- 136 Brandt, M., Ejhed, H. och Rapp L. 2008. Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2006. Underlag till Sveriges PLC5-redovisning till HELCOM. Naturvårdsverket, rapport 5815.
- 137 Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. och Jönsson, H. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning. Centrum för uthålligt lantbruk, SLU.
- 138 Bernstad, A., la Cour Jansen, J., 2011. A life cycle approach to the management of household food waste – a Swedish full-scale case study. *Waste Management* 31, 1879–1896.
- Bernstad, A., la Cour Jansen, J., 2011. Review of comparative LCAs of food waste management systems – Current status and potential improvements. *Waste Management* 31 1879–1896.
- 139 Kompost kan t.ex. ersätta torv i parker, trädgårdar och växthusodling
- 140 Utsläpp från lagring och spridning av slam undersöks i ett pågående doktorandprojekt (Agnes Willén) vid SLU, Institutionen för energi och teknik och JTI.
- 141 Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H. & Scheutz, C. 2010. Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. *Waste Management*, 30, 2475–2482.
- 142 Westling, K. 2011. Lustgasemissioner från avloppsreningsverk – en litteraturstudie. Rapport B 1977. IVL Svenska miljöinstitutet, Stockholm.
- 143 Wivstad, M., Salomon, E., Spångberg, J. och Jönsson, H. 2009. Ekologisk produktion – möjligheter att minska övergödning. Centrum för uthålligt lantbruk, SLU.
- 144 Winqvist, C. 2013. Ekologiskt lantbruk, biologisk mångfald och ekosystemtjänster – i ett landskapsperspektiv. EPOK, SLU.
- 145 Leifeld, J. and Fuhrer, J. 2010. Organic farming and soil carbon sequestration: what do we really know about the benefits? *AMBIO* 39, 58–599.
- Cederberg, C., 2009. Hur har miljöersättningen till ekologisk produktion påverkat växthusgasutsläppen från det svenska jordbruksystemet? SIK - Institutet för livsmedel och bioteknik.
- 146 Cederberg, C. m. fl. 2011. Klimatavtryck av ekologiska jordbruksprodukter. SIK-rapport Nr 830.
- 147 FAO Statistisk årsbok 2012. Del 3. <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>.
- 148 Naturvårdsverket. 2011. Köttkonsumtionens klimatpåverkan. Drivkrafter och styrmedel. Rapport 6456.

”Vi har i denna skrift fokuserat på naturvetenskapliga, tekniska och systemanalytiska aspekter när det gäller klimatpåverkan från jordbruket. För att uppnå en hållbar livsmedelsproduktion behövs också kunskap om ekonomiska och sociala aspekter, vilket inte rymts inom detta arbete.”

